

## سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی سازند قرمز بالایی در محدوده بزرگراه تهران - قم برای ساخت آجر

محسن رنجبران<sup>۱\*</sup> و فرزاد ستوهیان<sup>۲</sup>

۱- دانشیار دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲- دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران

نویسنده مسئول: m.ranjbaran@ut.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۴/۱/۱۴ پذیرش: ۱۴۰۴/۵/۱

نوع مقاله: پژوهشی

## چکیده

سازند قرمز بالایی در توالی ستون چینه‌شناسی بر روی سازند قم، و خود در زیر سازند هزار دره واقع شده است. ترکیب سنگ‌شناسی سازند قرمز بالایی شامل توالی‌های قرمز رنگ ضخیم لایه از شیل، سیلت، مارن، گل سنگ، ماسه سنگ، لایه‌های ژپس به همراه نمک بوده که رخنمون‌های متعددی در محدوده بزرگراه تهران - قم رخنمون دارد. مارن‌ها عمدتاً به دو دسته دریایی و قاره‌ای تقسیم می‌شوند، نوع دریایی میزان کربنات کلسیم بیشتر ولی نوع قاره‌ای ترکیب رسی بیشتری در ترکیب خود دارد. ویژگی مارن‌ها و آجرهای تولید شده توسط آنالیزهای XRD، XRF، و پتروگرافی ماسه سنگ‌ها طبق تقسیم‌بندی پتی‌جان مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. مطالعات ژئوشیمیایی بیان‌کننده منشأ گرفتن ماسه سنگ‌های بررسی شده از سنگ‌های آذرین حد واسط تا فلسیک است که در موقعیت‌های تکتونیکی حاشیه فعال قاره‌ای تشکیل شده‌اند. کانی‌های اصلی غیر رسی مارن‌های این منطقه عمدتاً شامل کوارتز، کلسیت و دولومیت است و کانی‌های رسی شامل مونت‌موریلونیت، رس مخلوط لایه موسکویت ایلیت و کلریت می‌باشند. حدود اتر برگ نمونه‌های مارنی نشان می‌دهد که مارن‌های مورد مطالعه از نظر حد پلاستیسیته و شاخص خمیری، مستعد ساخت آجر هستند. عامل موثر در استحکام آجرها حضور اکسید آهن (هماتیت یا مگنتیت) است. جذب آب آجرهای تولیدی بر اساس استاندارد ملی ایران برای آجر توکار دارای اکسید کلسیم مناسب است و به لحاظ مقاومت فشاری مناسب تشخیص داده شد. نهشته‌های مارنی مورد مطالعه به لحاظ کاربرد آن در صنعت آجر سبک در صورت بهره‌گیری از تمهیدات لازم جهت بهبود کیفیت مواد اولیه قابل استفاده است.

واژگان کلیدی: مارن، سازند قرمز بالایی، آجر، XRD، XRF، حدود اتر برگ

## ۱- پیشگفتار

مارن به انواع رسوب مخلوط کربناته - سیلیکاته حاوی کانی‌های رسی و کربناته گفته می‌شود که در محیط‌های مختلف نهشته می‌شود. مارن‌های دریایی به عنوان نهشته‌های عمیق دریایی و پلاژیک عمدتاً حاوی آهک‌اند؛ در حالی که مارن‌های قاره‌ای در محیط‌های رودخانه‌ای و حوضه‌های تبخیری تشکیل می‌شوند و حاوی گچ و نمک است. نسبت درصد ذرات تخریبی و شیمیایی در یک مارن، ملاک عمل در نام‌گذاری به روش پتی‌جان است که ممکن است از ۳۵٪ تا ۶۵٪ متغیر باشد با توجه به این که مجموع درصد رس و آهک نمونه‌ها به ۱۰۰ درصد نمی‌رسد. زیرا در نمونه‌ها به‌خصوص مارن‌های قاره‌ای، بخش شیمیایی منحصر به آهک نیست و املاح گچی و

نمکی علاوه بر آهک نیز حضور دارند (پیروان و شیرانی، ۱۴۰۱). در کشور منابع بسیاری برای استخراج مارن و تولید آجر مارنی وجود دارد، ولی همگی آن‌ها برای تولید آجر مناسب نیست، که علت آن عدم وجود درصد مناسبی از عناصر است. نهشته‌های مارنی موادی شبیه سنگ یا خاک می‌باشد که شامل ۳۵ تا ۶۵ درصد کربنات کلسیم و مقداری رس هستند که از آن‌ها می‌توان در تهیه سیمان، ساخت آجر و نیز برای اهداف کشاورزی استفاده نمود (زمرشیدی و صادقی حبیب‌آباد، ۱۳۹۷؛ خامه‌چیان، ۱۹۹۰؛ نصری و همکاران، ۲۰۱۹) کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده نهشته‌های مارنی عمدتاً از کانی‌های رسی شامل ایلیت، مونت‌موریلونیت، کائولینیت و کلریت می‌باشند. تعاریف رسوب‌شناسی مارن و سنگ مارن

به‌خوبی مشخص نشده است؛ بنابراین در بیشتر گزارش‌های علمی، نقشه‌های زمین‌شناسی تولید شده و مقالات منتشر شده، ناهمگونی مشخصی در نام‌گذاری واحدهای رسوبی و سنگ‌شناسی با نام مارن وجود دارد. آجر مارنی نوعی آجر رسی می‌باشد که جز اصلی سازنده آن ترکیب مارنی دارد و بیشتر ویژگی‌های آجر رسی را نشان می‌دهد. مارن (گل آهک) گونه‌ای خاک کلسیم کربنات است که چندین نوع مواد معدنی و آراگونیت در خود دارد. معمولاً رنگ آن خاکستری متمایل به سبز و کبود مایل به قهوه‌ای است که علت آن دارا بودن ناخالصی‌های ترکیبات آهن‌دار و مواد آلی و سایر عناصر می‌باشد. در اصطلاح علمی مارن به خاک‌هایی اطلاق می‌شود که حاوی (۳۵ تا ۶۵ درصد) رس و (۳۵ تا ۶۵ درصد) کربنات‌اند. رنگ تیره مارن‌ها به علت حضور مواد آلی ایجاد شده است. آجر یکی از قدیمی‌ترین مصالح ساختمانی است. قدمت ساخت آجر در ایران به‌پیش از دوران کوروش هخامنشی می‌رسد. کاخ‌های شوش، تیسفون، طاق کسرا، آتشکده آذر برزین، برج گنبد کاووس، پل‌ها و کاروان‌سراها نشانه‌هایی از وجود این صنعت در دوران قدیم ایران هستند. در دوران ساسانی و سلجوقیان استفاده از آجرهای مرغوب در بناهای گوناگون و نیز در معماری هنرمندانه ایرانیان بسیار رونق یافته است (مر و مرادی، ۲۰۰۵).

آجر یکی از مصالح ارزشمند در بناهای باستانی و سنتی و آثار معماری امروزی بوده است که از آن در پی‌های آجری، دیوارسازی، ستون‌های قطور و ظریف، جرز، پایه، قوس‌ها و پوشش انواع طاق‌ها، دیوارکشی‌ها، طاق نماسازی‌ها، کف‌فرش‌ها، بناهای مختلف از قبیل مساجد، حسینیه‌ها، مدارس، عمارت و کاخ‌ها، پل‌ها، کاروان‌سراها، بازارها، آب‌انبارها و منازل مسکونی و بسیاری دیگر استفاده و به کار گرفته شده است. گفته می‌شود چادرنشینان برای پختن غذا زمین را به اصطلاح اجاق چال می‌کردند؛ در اثر آتش درون اجاق دیواره و کف اجاق که خاکی بود پخته و سـخت می‌شد (زمرشیدی و صادقی حبیب‌آباد، ۱۳۹۷). بررسی تمایلات کنونی در فعالیت‌های ساختمانی نشان می‌دهد که در طراحی و ساخت ساختمان‌هایی که در آینده ایجاد می‌شوند، متخصصان تلاش‌های مهمی برای به حداقل رساندن وزن ساختمان‌ها انجام می‌دهند. حل این مشکل خصوصاً در

شهرها جایی که کمبود فضای خالی برای ساخت‌وساز ساختمان‌های بلند وجود دارد، ضروری است. استفاده از عایق حرارتی برای ساختمان‌های مسکونی و غیره به این مشکل می‌پیوندد. راهکار ممکن برای کاهش وزن ساختمان و بهینه‌سازی عایق حرارتی، کاربرد مصالح سبک‌وزن و عایق حرارت است. آجر به علت ویژگی‌هایش یکی از مواد مهم برای صنعت ساختمان محسوب می‌شود. نقش آجر در ساختمان‌سازی مدرن و پیشرفته امروزی بسیار برجسته است. آجر به‌عنوان رقیب اصلی بلوک‌های بتنی بخش عمده‌ای از حجم ابنیه را به خود اختصاص می‌دهد. تولید آجر معمولاً به دو روش ماشینی و سنتی، انجام می‌گیرد. خاک مناسب، مهم‌ترین عامل کیفی در تولید آجر به شمار می‌آید. ماده خام تولید آجر بیشتر از خاک‌های رسی، شیل و مارن تأمین می‌شود که در سطح زمین از گسترش زیادی برخوردارند. لازم به ذکر است همچنین می‌توان از خاکستر آتشفشان‌ها نیز در تولید آجر کمک گرفت (گومز و کالترن، ۲۰۲۵). کوارتز و کانی‌هایی رسی اجزای اصلی این مواد بوده و با دیگر کانی‌ها و قطعات سنگی همراه هستند. در امتداد بزرگراه تهران قم رخنمون‌های زیادی از سازند قرمز فوقانی دیده می‌شود که حاوی ذخایر قابل‌توجهی از مارن و رس می‌باشد که پتانسیل بالایی برای تولید آجر برخوردار است، ولی به علت عدم بررسی و مطالعات کیفی و سرمایه‌گذاری مناسب در این زمینه، این استعداد به‌صورت بالقوه باقی‌مانده است. مواد اولیه آجر را می‌توان از شیل، مارن و رس‌ها تأمین کرد (سمیز و چلیک، ۲۰۲۰؛ آل اوهابی و همکاران، ۲۰۱۸؛ مفایر و هماران، ۲۰۱۸؛ نصری و همکاران، ۲۰۱۹؛ پورکاسب و همکاران، ۱۳۹۳؛ پورکاسب و همکاران، ۱۳۹۳؛ مر و مرادی، ۲۰۰۵). براساس پارامتر هدایت الکتریکی (EC)، مارن دارای املاح نمکی بالا بودند و در زمره خاک‌های شور و بسیار شور می‌تواند طبقه‌بندی شوند. حضور نمک در سطح، آثار لکه‌های سدیمی و پف‌کردگی خاک سطحی، از دیگر شواهد شوری نهشته‌های مارنی می‌باشد (پیروان و شیرانی، ۱۴۰۱). در این مطالعه لیتولوژی سازند قرمز بالایی که عمدتاً شامل توالی از مارن، ماسه‌سنگ، کنگلومرا و تبخیری‌ها می‌باشد مورد تحقیق قرار گرفته است (آقاباتی، ۱۳۸۳) فرایندهای ژئوشیمی نقش مهمی در تولید خاک دارند و خواص و ویژگی‌های هر نوع خاک،

## ۲- روش مطالعه

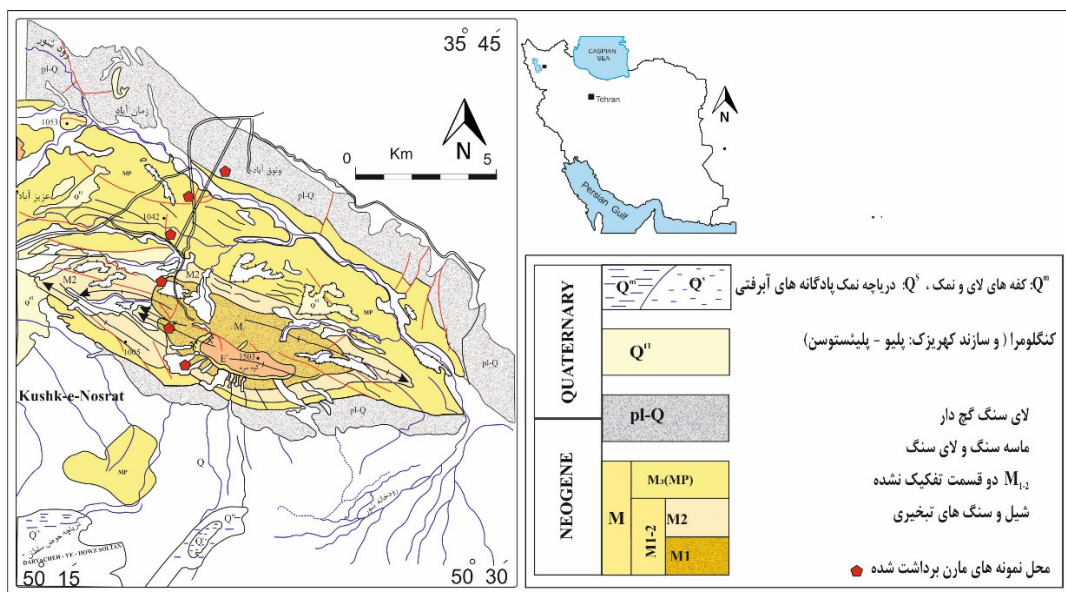
این پژوهش شامل دو بخش مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی می‌باشد. طی برداشت‌های صحرایی، امتداد، شیب و سبزه برای لایه‌های ماسه‌سنگی و مارنی مورد بررسی قرار گرفت و نیز ساخت‌های رسوبی در آن‌ها مطالعه گردید. ستون سنگ‌چینه‌ای مشخص شد. در این مطالعه ۴۵ نمونه برای مطالعات سنگ‌شناسی و آنالیزهای پراش اشعه ایکس (XRD)، فلورسانس پرتو ایکس (XRF) از رخنمون‌های صحرایی نمونه‌برداری شد (دستگاه XRD بکار گرفته در این آزمایشگاه ساخت کارخانه PHILIPS مدل PW3830 و لامپ دستگاه کالت می‌باشد). لازم به ذکر است از نمونه‌های مارن با توجه به تغییرات توالی رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، تغییرات رنگ و بافت، نمونه‌برداری انجام شد. برای بررسی ارتباط کانی‌شناسی مارن‌ها با منشأ ماسه‌سنگی مذکور و تحلیل شرایط حوضه رسوبی، و در نهایت پتانسیل‌یابی منطقه مورد مطالعه برای تولید آجرهای مارنی و رسی، مطالعات سنگ‌شناسی در مقیاس ماکروسکوپی و میکروسکوپی در خصوص ماسه‌سنگ‌ها نیز انجام شد. نتایج آنالیزهای مربوط به پراش اشعه ایکس (XRD)، فلورسانس پرتو ایکس (XRF)، و آزمایش‌های تعیین خصوصیات فنی آجر از جمله تعیین حدود اتربرگ نمونه‌های مارن و آزمایش‌های فیزیکی و مکانیکی برای محاسبه انقباض پخت، انقباض کل، جذب آب، چگالی کل و مقاومت فشاری در آجرهای مارنی تولیدی، به‌منظور گروه‌بندی نمونه‌های آجر با توجه به کاربرد آن‌ها در ابنیه مختلف، مورد استفاده قرار گرفت. روش‌های مطالعه به طور خلاصه شامل ۱- نمونه‌برداری: نمونه‌برداری از مارن‌ها بر اساس تغییرات توالی رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی انجام شد. ۲- مطالعات ماکروسکوپی و میکروسکوپی: برای درک بافت و ترکیب کانی‌شناسی مارن‌ها و ماسه‌سنگ‌ها، مطالعات ماکروسکوپی و میکروسکوپی انجام شد. ۳- آنالیزهای شیمیایی: از روش‌های پراش اشعه ایکس (XRD) و فلورسانس پرتو ایکس (XRF) برای تعیین ترکیب شیمیایی استفاده شد. ۴- آزمایش‌های فیزیکی و مکانیکی: برای ارزیابی خصوصیات فنی آجرهای مارنی، آزمایش‌های فیزیکی و مکانیکی انجام شد که شامل تعیین حدود اتربرگ، انقباض پخت، انقباض کل، جذب آب، چگالی کل و مقاومت فشاری بود.

به ترکیب شیمیایی و خاک آجرپزی، تأثیر مستقیم بر خواص ظاهری، شیمیایی، فیزیکی و مکانیکی آجر تولیدی دارد. با توجه به میزان کربنات کلسیم موجود در ترکیب مارن، می‌تواند ارزش اقتصادی مناسبی برای تهیه آجر از خود بروز دهد؛ بنابراین بررسی‌های ژئوشیمیایی، پایه و اساس تمام بررسی‌ها درباره کیفیت خاک آجرپزی و آجر تولیدی است (پورکاسب و همکاران، ۱۳۹۳؛ پورکاسب و همکاران، ۱۳۹۳). خاک آجرپزی از کانی‌های گوناگون با خاستگاه‌های متفاوت و به نسبت‌های مختلف تشکیل می‌شود. کانی‌های رسی اصلی‌ترین اجزای خاک آجرپزی هستند که از هوازدگی یا دگرسانی سیلیکات‌های آلومینیوم به‌ویژه فلدسپات‌ها به وجود می‌آیند. هر یک از کانی‌ها در مراحل گوناگون فرایند پخت، واکنش‌های متفاوتی از خود نشان می‌دهد. همه پیش‌بینی‌های خواص آجر تولیدی مانند رنگ، تخلخل و استحکام، تعیین ترکیبات مضر در تولید آجر و طراحی شرایط پخت، با بررسی‌های کانی‌شناسی صورت می‌گیرد (آل‌وهابی و همکاران، ۲۰۱۸؛ ال‌فرجی و ال‌خفاجی، ۲۰۲۳؛ لائو، ۲۰۱۷؛ مر و مرادی، ۲۰۰۵). صنعت ساخت و ساز نقش حیاتی در توسعه اجتماعی - اقتصادی هر کشوری ایفا می‌کند. در پروژه‌های ساختمانی، آجرها به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند زیرا دارای خواص مفیدی مانند سهولت جابجایی، دوام بالا و هزینه کم هستند. آن‌ها تقریباً در هر نوع پروژه مهندسی عمران، از جمله تجاری، صنعتی و مسکونی، استفاده می‌شوند. ماده اولیه مورد استفاده برای ساخت آجر، خاک رس است. هر ساله تقریباً ۳۴۰ میلیارد تن خاک رس در سراسر جهان برای ساخت آجر مصرف می‌شود و در پاکستان، حدود ۵۹ میلیارد آجر در ۱۲۰۰ کوره آجرپزی تولید می‌شود (پاوار و گارود، ۲۰۱۴). لازم به ذکر است در خصوص استفاده از پتانسیل معدنی سازند قرمز بالایی در خصوص تهیه و ساخت آجر مطالعه زیادی تا به حال صورت نگرفته است، لذا هدف از این پژوهش بررسی خصوصیات کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی مارن‌های سازند قرمز بالایی در محدوده مسیر بزرگراه تهران - قم برای استفاده در صنعت آجر است که نتایج آنالیزها مارن‌ها را برای تولید آجر مناسب می‌باشد (اونیکورو و همکاران، ۲۰۲۳؛ ال‌فرجی و ال‌خفاجی، ۲۰۲۳؛ نصری و همکاران، ۲۰۱۹).

## ۳- زمین‌شناسی منطقه

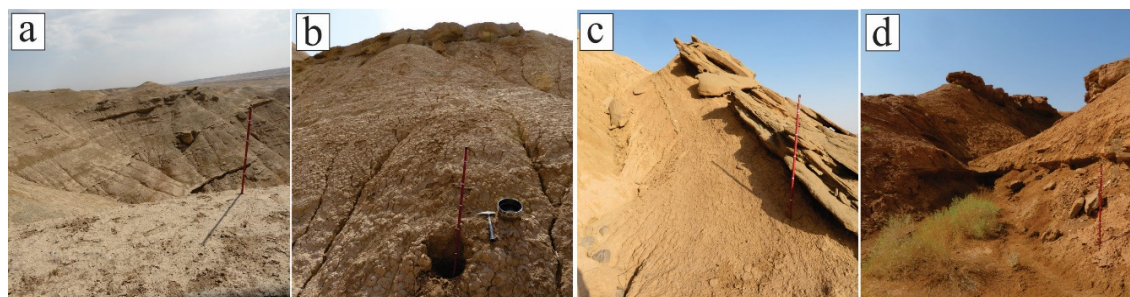
منطقه مورد مطالعه که سازند قرمز بالایی در آن رخنمون دارد در فاصله حدود ۲۷ کیلومتری از مرقد امام خمینی در جنوب غربی شهر تهران با مختصات جغرافیایی  $54^{\circ} 50'$  و  $35^{\circ} 18'$  شرقی و عرض‌های جغرافیایی  $35^{\circ} 06'$  و  $30^{\circ} 35'$  شمالی قرار دارد (شکل ۱). این ناحیه به لحاظ تقسیم‌بندی واحدهای رسوبی - ساختاری ایران، جزئی از زون شمالی ایران مرکزی محسوب می‌شود. سازندهای این منطقه از قدیم به جدید شامل واحدهای آتشفشانی

(ائوسن)، سازند قرمز زیرین (اولیگوسن)، سازند قم (اولیگوسن میانی - میوسن)، سازند قرمز بالایی (میوسن بالایی) و واحدهای آبرفتی به سن کواترنری هستند. سازند قرمز بالایی در منطقه با تنوع مورفولوژی، بافت و ترکیب سنگ‌شناسی متفاوت، شرایط محیط رسوبی زمان تشکیل خود را به خوبی به ارث برده است (شکل ۲) (امینی، ۱۹۹۷؛ لالو، ۲۰۱۷). در شکل (۲ب) محل نمونه‌برداری از فرسایش شیاری در واحد مارنی به خوبی مشاهده می‌شود (حیدری و صبوحی، ۱۳۹۵).



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه و محل‌های نمونه‌برداری با تغییرات (نوگل‌سادات و هوشمندزاده، ۱۹۸۳؛ آفاقی و همکاران، ۱۹۸۶).

Fig. 1. Geological map of the study area and sampling locations (Nogol Sadat and Houshmandzadeh, 1983- Afaghi et al)



شکل ۲. (a) نمای دور از مورفولوژی بدلدن سازند قرمز بالایی (نگاه به سوی شرق)، (b) یکی از محل‌های برداشت نمونه مارن (نگاه به سوی شرق)، (c) تناوب شیب‌دار لایه مارنی در زیر و لایه ماسه‌سنگی در بالا از سازند قرمز بالایی (نگاه به سوی غرب)، و (d) نمای از مورفولوژی بدلدن از سازند قرمز بالایی با لایه‌های تقریباً با شیب افقی (نگاه به سوی غرب).

Fig. 2. (a) Distant view of badland morphology of the Upper Red Formation (view to the east). (b) A marl sampling site (view to the east). (c) Alternating marl and sandstone layers within the Upper Red Formation (view to the west). (d) Badland morphology of the Upper Red Formation with nearly horizontal layers (view to the west).

قرمز بالایی به صورت هم‌شیب، بر روی سازند قم قرار دارد که خود به وسیله رسوبات کواترنری پوشیده می‌شود (پيروان و همکاران، ۱۳۹۷). سیکل‌های رسوبی سازند قرمز بالایی توسط یک محیط رودخانه ماندردی که در انتها به یک محیط پلایایی بزرگ (شبه پلایاهای مرکزی ایران) منتهی می‌شده، نهشته شده است. شیل‌های بخش بالایی سازند قرمز بالایی نتیجه طغیان و لبریز شدن رودخانه و رسوب گل‌ولای در دشت سیلابی آن بوده است (لاسمی، ۱۳۶۹). گسترش زیاد سازند قرمز بالایی به لحاظ جانبی به دلایلی از جمله؛ رسوب‌گذاری توسط بیش از یک رودخانه و یا به علت بریده شدن و ایجاد انشعاب جدید در جهت جانبی آن بوده است که همراه با فرونشینی حوضه رسوبی منجر به رسوب‌گذاری تعداد بی‌شماری از سیکل‌های رسوبی و ضخامت زیادی از توالی رسوبی شده است (حلمی و همکاران، ۱۳۹۲) نمونه‌های مارن مورد مطالعه در این پژوهش از زیر محیط دشت سیلابی مربوط به محیط رودخانه‌ای سازند قرمز بالایی برداشت شده است.

### ۳-۱- سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی

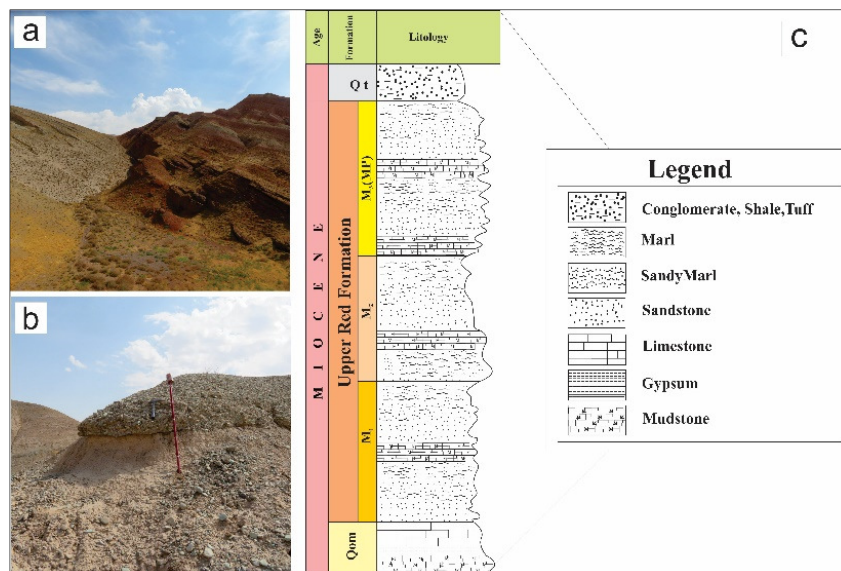
واحدهای سنگی رخنمون یافته در این منطقه شامل سازند قرمز بالایی است که هدف این پژوهش است. بر اساس مطالعات صحرایی و پیمایش‌های صورت گرفته در منطقه، سازند قرمز بالایی در این منطقه شامل تناوبی از رسوبات مارنی با میان‌لایه‌هایی از ماسه‌سنگ‌های خاکستری تا قهوه‌ای با است. می‌توان با استفاده از مطالعات پتروگرافی به تعیین جایگاه تکتونیکی، منشأ ماسه‌سنگ‌ها و آب‌وهوای دیرینه این سازند پرداخت (رضایی و همکاران، ۲۰۱۵؛ میرحسینی و همکاران، ۱۳۹۹). در سنگ‌های آواری ترکیب شیمیایی تابع فرایندهای پیچیده‌ای است؛ بنابراین؛ اگر تأثیر این فرایندها کم و فاصله حمل کوتاه باشد، ترکیب ژئوشیمیایی سنگ‌های آواری منعکس کننده لیتولوژی منشأ آن است. مطالعات ژئوشیمیایی بیان‌کننده منشأ گرفتن ماسه‌سنگ‌های بررسی شده از سنگ‌های آذرین حد واسط تا فلسیک است که در موقعیت‌های تکتونیکی حاشیه فعال قاره‌ای تشکیل شده‌اند. اگر هوازدگی گسترده باشد، ترکیب شیمیایی رسوبات مشتق شده از منشأ اصلی ممکن است به شدت تغییر یافته باشد. با این حال؛ اثرات ژئوشیمیایی متمایز فرایندهای درگیر ممکن است به

سن سازند قرمز بالایی به میوسن میانی تا پایانی می‌رسد و دارای رخنمون‌های خوبی در تپه‌ماهورهای دشت قم می‌باشد. ترکیب سنگ‌شناسی این سازند شامل توالی‌های قرمز رنگ ضخیم از شیل، سیلت، مارن، گل‌سنگ، ماسه‌سنگ، لایه‌های ژئوپس به همراه نمک است. مارن‌های ایران به دودسته مارن‌های خشکی و دریایی قابل تقسیم می‌باشند. در مارن‌های قاره‌ای معمولاً ترکیبات تبخیری نظیر، ژئوپس، انیدریت و هالیت یا یکی از این کانی‌ها قابل مشاهده هم در صحرا و هم در آنالیزهای شیمیایی. محیط تشکیل این مارن‌ها بیشتر دریاچه‌های کم‌عمق و شور و فاقد فسیل‌های دریایی است و بیشتر به رنگ قرمز تا متمایل به قرمز و نخودی رنگ‌اند. سطح خاک دارای آثار شورک‌های نمکی، لکه‌های سدیمی و آثار پف‌کردگی<sup>۱</sup> است. با توجه شوری این نهشته‌ها فاقد پوشش گیاهی گسترده و فرسایش سطحی، شیاری، خندقی و تونلی نشان می‌دهند. سازندهای مارنی در حوضه‌های آبخیز، همواره از نظر تولید رسوب مشکل‌ساز هستند (حیدری و صبوچی، ۱۳۹۵). به‌طور کلی شواهد میدانی نشان می‌دهند که بخش تخریبی رسوبات سازند قرمز بالایی در محیط قاره‌ای از محیط‌های رودخانه‌ای ماندردی و دشت‌سیلابی ته‌نشین شده است. ضخامت این سازند به ۶۰۰۰ متر می‌رسد و ضخامت لایه‌های تبخیری زیرین در آن نسبتاً زیاد است و لایه‌های متعددی نیز وجود دارد که با رس‌های نمک‌دار و مارن‌های سبزرنگ حالت میان‌لایه‌ای دارد. این سازند در ایران مرکزی و شمال غرب ایران گسترش وسیع داشته و رسوبات سازند قم را می‌پوشانند. در منطقه استان زنجان منطقه ماه‌نشان بیشترین رخنمون‌های سازند قرمز فوقانی قابل مشاهده است. در واحدهای مذکور در ناحیه ماه‌نشان کانسارهای مس رسوبی در منطقه در حال اکتشاف می‌باشد (ربانی و همکاران، ۱۴۰۲؛ قاسملو و همکاران، ۱۳۹۹؛ قاسملو و همکاران، ۱۳۹۹). اگر چه مقطع نمونه خاصی برابری سازند قرمز بالایی وجود ندارد، ولی این سازند در دشت قم، هم در سطح زمین و هم در مقاطع حفاری به خوبی مطالعه شده است. این سازند در مقطع تیپ، روی سازند قم قرار گرفته است و خود در زیر سازند هزار دره واقع شده است (شکل ۳). سازند قرمز بالایی در منطقه به طور وسیعی رخنمون دارد که در اطراف کوه مره و در سرتاسر زیر حوضه‌های رودخانه شور دیده می‌شود. سازند

<sup>۱</sup> Puffy Soil

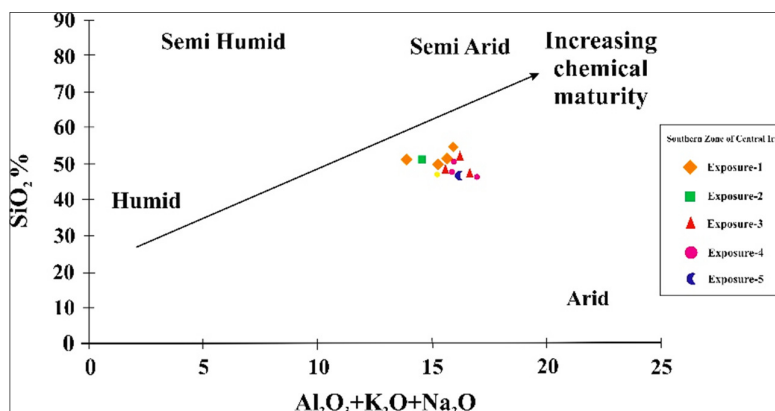
ژئوشیمیایی ساتنر و دوتا (۱۹۸۶) از اکسیدهای اصلی جهت تعیین آب و هوا نیز استفاده می‌شود که بیش‌تر نمونه‌های مارن معادل ماسه‌سنگ‌ها در محل مورد مطالعه، در ناحیه آب‌وهوایی نیمه‌خشک و تا حدودی خشک قرار می‌گیرند که حاکی از آب‌وهوای نیمه‌خشک تا خشک در زمان نهشت این رسوبات است (میرحسینی و همکاران، ۱۳۹۹) (شکل ۴).

رسوبات منتقل شوند (لاکاسی و همکاران، ۲۰۰۴). با توجه به گسترش سنگ‌های مارنی در ایران و گسترش روزافزون استفاده از آن‌ها در تهیه و تولید آجر و نیز احداث سازه‌های گوناگون که به نحوی با سنگ‌های مارنی در ارتباط است، شناخت ویژگی‌های این سنگ‌ها و سازند اهمیت خاصی پیدا می‌کند (فیض‌نیا، ۱۹۹۵). با استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی عناصر اصلی در نمونه‌های مارن مورد مطالعه به تفسیر بر خاستگاه پرداخته شده است. با توجه به نمودار



شکل ۳. (a) سازند قرمز بالایی به صورت هم‌شیب بر روی سازند قم (منطقه ایوانکی) قرار گرفته (نگاه به سوی شرق)، (b) بخشی از کنگلومرای سازند هزار دره بر روی مارن‌های سازند قرمز بالایی در مجاورت رودخانه شور دیده می‌شود (نگاه به سوی شرق) و (c) گراف شماتیک از ستون چینه‌شناسی توالی‌های رسوبی سازند قرمز بالایی. به ارائه بخش‌بندی اصلی مقاله و توصیف مختصری از هریک پرداخته شده است.

Fig. 3. (a) The Upper Red Formation conformably overlying the Qom Formation in the Ivanaki area (view to the east). (b) A section of the Hezardarre Formation conglomerate overlying the Upper Red Formation marls near the Rudkhaneh-e Shur (view to the east). (c) A schematic stratigraphic column of the sedimentary sequences of the Upper Red Formation.

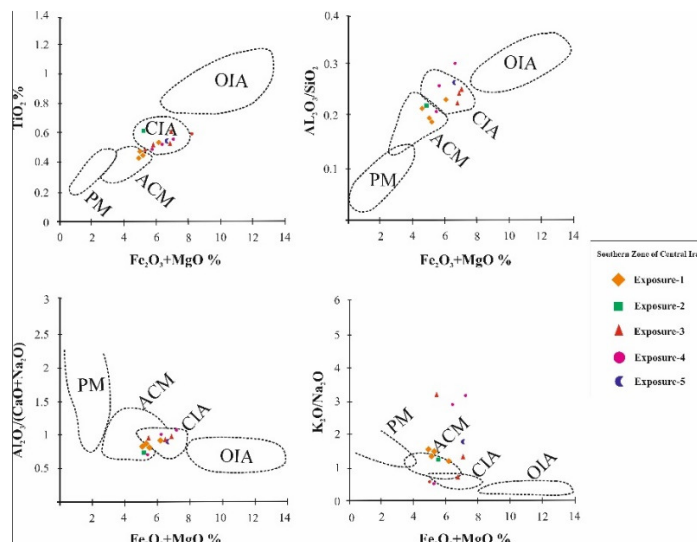


شکل ۴. نمودار ساتنر و دوتا (۱۹۸۶) بر اساس درصد اکسیدهای عناصر اصلی. نمودار بیانگر آب و هوای نیمه‌خشک و تا حدودی خشک حین تشکیل رسوبات سازند قرمز فوقانی می‌باشد.

Fig. 4. Suttner and Dutta (1986) diagram based on percentage of major element oxides. The diagram indicates a semi-arid to somewhat arid climate during the formation of the Upper Red Formation sediments.

مطالعات ژئوشیمی در تفسیر جایگاه‌های زمین‌ساختی، با این حال به عنوان ابزاری قوی در بررسی جایگاه‌های زمین‌ساختی حوضه‌های رسوبی به کار می‌رود (میلودوفسکی و زالاسیوویچ، ۱۹۹۱؛ نسبیت و یانگ، ۱۹۹۱) نمودارهای تفکیکی باتیا (۱۹۸۳) جهت تعیین جایگاه زمین‌ساختی مارن‌های ماسه‌ای سازند قرمز فوقانی (URF) جزایر کمائی قاره‌ای تا حواشی فعال قاره‌ای را برای رسوبات نشان می‌دهد (شکل ۵).

ژئوشیمی سنگ‌های رسوبی منعکس‌کننده ویژگی‌های سنگ‌منشأ، شدت هوازدگی، چرخه رسوبی و دیاژنز می‌باشد (مکلنن و همکاران، ۱۹۹۳) جایگاه‌های زمین‌ساختی مشابه الزامی برای ایجاد سنگ‌هایی با مشخصات ژئوشیمیایی یکسان ایجاد نمی‌کند (بالبورگ، ۱۹۹۸) همچنین امکان انتقال رسوبات از یک حوضه به جایگاه زمین‌ساختی مشخص به حوضه‌ای با جایگاه زمین‌ساختی متفاوت وجود دارد. با وجود مشکلات



شکل ۵. نمودارهای پیشنهادی باتیا (۱۹۸۳) براساس درصد اکسیدهای عناصر اصلی. OIA: جزایر کمائی اقیانوسی، CIA: جزایر کمائی قاره‌ای، ACM: حاشیه فعال قاره‌ای، PM: حاشیه غیرفعال. براساس نمودارهای مذکور، نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده جزایر کمائی قاره‌ای تا حواشی فعال قاره‌ای تشکیل شده‌اند.

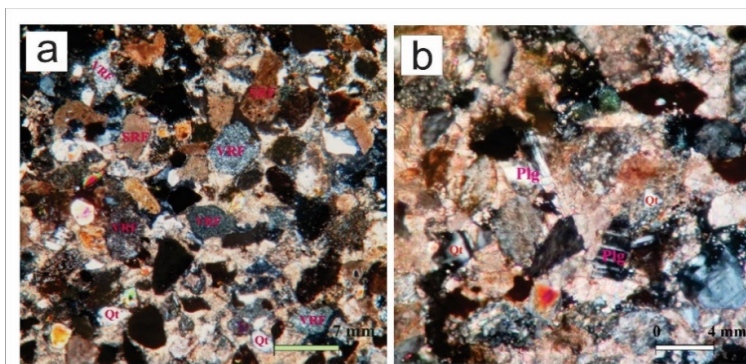
Fig. 5. Proposed diagrams by Bhatia (1983) based on the percentage of major element oxides. OIA: Oceanic Island Arc, CIA: Continental Island Arc, ACM: Active Continental Margin, PM: Passive Margin Based on these diagrams, the studied samples are formed within the range of Continental Island Arc (CIA) to Active Continental Margin (ACM).

رخنمون یافته، همراه شده است. شواهد بافتی ماسه‌سنگ‌ها و زاویه‌دار بودن قطعات ناپایدار نشان می‌دهند که حداقل بخشی از رسوبات حوضه از منشأهای نزدیک تأمین شده‌اند. بر این اساس، قسمتی از رسوبات سازند مورد مطالعه از منشأهای ولکانیکی و پلوتونیکی مشتق شده و احتمالاً در حوضه‌های مرتبط با کمان نهشته شده‌اند. در اثر فروورانش صفحه عربی در زیر لبه جنوبی ایران مرکزی، زون ولکانیکی ارومیه - دختر به عنوان کمان ماگمایی شکل می‌گیرد و حوضه ایران مرکزی با گسترش وسیع سنگ‌های ولکانیکی رسوبی ائوسن، به عنوان حوضه پشت‌کمانی تشکیل می‌شود (امینی، ۲۰۰۱؛ بربریان و کینگ، ۱۹۸۱). در مطالعه ماسه‌سنگ‌ها از تقسیم‌بندی فولک (۱۹۷۴) استفاده شده است. ماسه‌سنگ‌های مذکور

ویژگی اصلی ماسه‌های مشتق شده از کمان ماگمایی، ترکیب فلدسپاتیک لیت‌آرنایت تا لیت‌آرنایت با نسبت بالای P/K (نسبت پلاژیوکلاز به فلدسپات پتاسیم) و Lv/Ls (نسبت قطعه‌سنگ ولکانیکی به قطعه‌سنگ رسوبی است). پایین آمدن نسبت P/K در ماسه‌سنگ‌های این خاستگاه زمین‌ساختی را می‌توان به فرسایش عمیق مجموعه‌های کمانی نسبت داد (اندرسون و همکاران، ۲۰۰۴). به‌طور کلی، نتایج حاصل از مطالعات پتروگرافی و ژئوشیمیایی نشان‌دهنده، وجود سنگ مادر آتشفشانی از نوع فلسیک تا فلسیک - حد واسط در جایگاه حاشیه فعال قاره‌ای و در ارتباط با فرایند آتشفشانی است که با مواد حاصل از فرسایش سنگ مادر با درجه دگرگونی ضعیف که در نتیجه بالا آمدگی پی‌سنگ در زمان رسوب‌گذاری

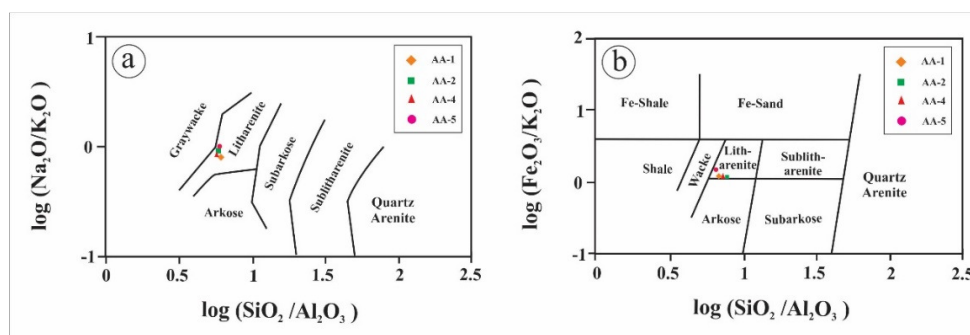
مارن‌های ماسه‌ای سازند قرمز بالایی در نمودارهای پیشنهادی (هرون، ۱۹۸۸؛ پتی‌جان و همکاران، ۱۹۸۷) عمدتاً در محدوده لیتیک آرنایت و گریوکی قرار گرفته‌اند که با نتایج پتروگرافی ماسه‌سنگ‌ها منطبق است. به‌طور کلی؛ نتایج آنالیزهای ژئوشیمیایی مارن‌های ماسه‌ای در نمودارهای مذکور، معادل نتایج آنالیزهای ژئوشیمیایی ماسه‌سنگ‌ها در نمودار است که جایگزین آن شده‌اند (شکل ۷). همچنین با توجه نتایج حاصل از تفسیر داده‌های ژئوشیمیایی، سنگ منشأ فلسیک تا حد واسط با ترکیب مشابه پوسته قاره‌ای، در چرخه اول رسوب‌گذاری با جایگاه زمین‌ساختی حواشی فعال قاره‌ای، دارای توپوگرافی مرتفع و اقلیم گرم و خشک از محیط رودخانه‌ای برای این ماسه‌سنگ‌ها پیشنهاد می‌شود (رضایی و همکاران، ۲۰۱۵؛ میرحسینی و همکاران، ۱۳۹۹).

در رده لیتیک آرنایت‌ها و فلدسپاتیک لیتیک آرنایت‌ها قرار می‌گیرند که به لحاظ کانی‌شناسی و بافتی، نابالغاند. فلدسپات‌های این ماسه‌سنگ‌ها بیش‌تر از نوع پلاژیوکلاز می‌باشد که به دلیل ناپایداری در حال سریسیتی شدن و تبدیل به رس‌های نوظهور از جمله؛ کائولینیت هستند. در پتروفاسیس لیتیک آرنایت، اجزای اصلی شامل کوارتزهای تک‌بلورین و چندبلوری، خرده‌سنگ‌ها و درصد کمی فلدسپات می‌باشد که خرده‌سنگ‌ها اغلب از نوع رسوبی و آذرین می‌باشد که توسط سیمان کلسیتی به هم متصل شده‌اند (شکل ۶a) در پتروفاسیس فلدسپاتیک لیتیک آرنایت از لحاظ ویژگی‌های سنگ‌شناسی تقریباً مشابه با پتروفاسیس لیتیک آرنایت با این حال اختلاف اصلی آن‌ها در مقادیر فلدسپات و خرده‌سنگ‌ها می‌باشد (شکل ۶b). نتایج حاصل از آنالیزهای ژئوشیمیایی عناصر اصلی



شکل ۶. (a) ماسه‌سنگ لیتیک آرنایتی دارای قطعات آتشفشانی و رسوبی، (b) ماسه‌سنگ فلدسپاتیک لیتیک آرنایتی دارای پلاژیوکلاز با ماکل پلی‌سنتتیک و احاطه شده توسط سیمان کلسیتی. Plg: فلدسپات پلاژیوکلاز، SRF: خرده‌سنگ رسوبی، VRF: خرده‌سنگ آذرین بیرونی، Qt: کانی کوارتز.

Fig. 6. (a) Litharenite sandstone with volcanic and sedimentary fragments. (b) Feldspathic litharenite sandstone containing plagioclase with polysynthetic twinning, surrounded by calcite cement. Plg: Plagioclase feldspar, SRF: Sedimentary rock fragments, VRF: Volcanic rock fragments, Qt: Quartz mineral



شکل ۷. (a) نمودار پیشنهادی (هرون، ۱۹۸۸) نمونه‌های مارن مورد مطالعه در محدوده لیت آرنایت و گریوکی قرار می‌گیرند. (b) نمودار دوبعدی (پتی‌جان و همکاران، ۱۹۸۷)، نمونه‌های مارن مورد مطالعه در محدوده لیت آرنایت و وکی قرار می‌گیرند.

Fig. 7. (a) Suggested classification diagram (Herron, 1988) indicating that the studied marls fall within the litharenite and greywacke fields. (b) Two-dimensional diagram (Pettijohn, et al. 1987) showing marl samples in the litharenite and wacke categories.

## ۳-۲- بررسی خصوصیات فنی مارن‌ها

در بررسی حدود اتربرگ از روش دستگاه کاساگرانده برای تعیین حد روانی به ازای ۲۵ ضربه، حد خمیری و از تفاضل حد روانی و حد خمیری برای تعیین شاخص خمیری استفاده شد. به عبارتی دیگر؛ حد خمیری، درصد رطوبت معادل برای تغییر رفتار بین حالت‌های نیمه جامد تا خمیری و حد روانی، درصد رطوبت معادل برای تغییر رفتار بین حالت‌های خمیری تا روانی در نظر گرفته می‌شود؛ بنابراین هر چه فاصله حد روانی و حد خمیری نمونه بیش‌تر باشد که در واقع همان شاخص خمیری است، خاصیت چسبندگی و خمیری نمونه‌ها بیش‌تر خواهد بود. نتایج مربوط به تعیین حد روانی جهت تعیین حدود اتربرگ در جدول ۱، آمده است.

به‌منظور ارتباط بین ارکان مؤثر در تعیین حدود اتربرگ (حد روانی و حد خمیری) با شاخص خمیری، از نمودار (هولتز و کاواکس، ۱۹۸۱؛ اونیکورو و همکاران، ۲۰۲۳) بر مبنای حد روانی و شاخص خمیری (شکل ۸a) و نیز از نمودار کاساگرانده بر مبنای حد خمیری و شاخص خمیری استفاده گردید (شکل ۸b) مارن‌های مورد مطالعه، در بازه مارن‌هایی با خاصیت خمیری متوسط قرار می‌گیرند و مارن‌های مذکور به لحاظ خاصیت خمیری با توجه به موقعیتشان در نمودار کاساگرانده در بازه ساخت آجر قرار گرفته‌اند و از این نظر برای ساخت آجر مناسب هستند. در این مطالعه، آزمایش‌های مربوط به تعیین حد روانی و حد خمیری بر اساس استاندارد (ASTM (D-4318 صورت گرفت (استاندارد ASTM- D4318، ۲۰۰۵).

جدول ۱. حدود اتربرگ نمونه‌های مارن از سازند قرمز بالایی

Table. 1. Etterberg ranges of marl samples from the Upper Red Formation

| Sample | حد روانی<br>(LL %) | حد خمیری<br>(L %) | شاخص خمیری<br>(PI %) |
|--------|--------------------|-------------------|----------------------|
| AA-1   | 44.35              | 24                | 20.35                |
| AA-2   | 48.8               | 29.8              | 19                   |
| AA-4   | 46.3               | 26.6              | 19.7                 |
| AA-5   | 41.5               | 27.5              | 14                   |
| AA-6   | 41.3               | 22.08             | 19.22                |
| AA-7   | 29.6               | 19.7              | 9.9                  |
| AA-8   | 31.8               | 21.82             | 9.98                 |
| AA-9   | 44.9               | 23.6              | 21.3                 |
| AA-12  | 39.04              | 23.5              | 15.54                |
| AA-13  | -----              | -----             | -----                |
| AA-14  | 47.94              | 25.3              | 22.64                |
| AA-15  | 42.6               | 20.9              | 21.7                 |
| AA-16  | 38.94              | 23.3              | 15.64                |
| AA-18  | 48                 | 24.5              | 23.5                 |

## ۳-۳- ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی مارن‌ها

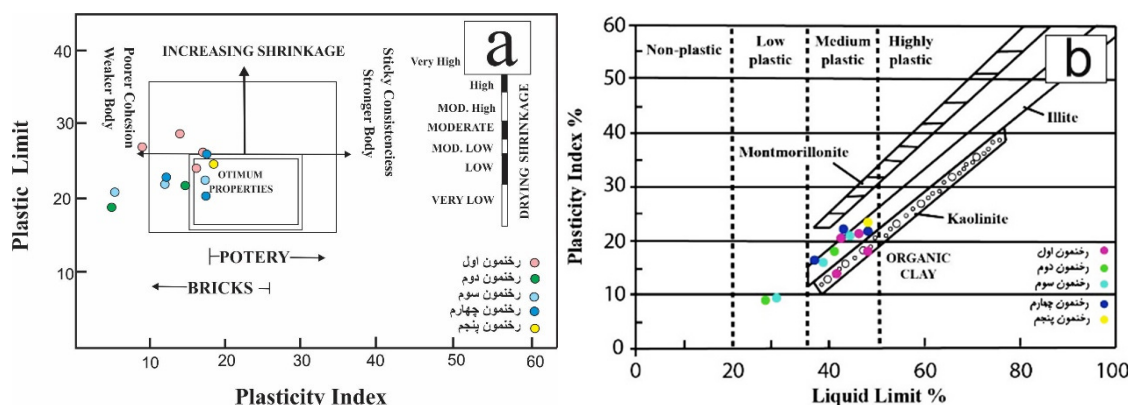
جهت تعیین کانی‌شناسی و ترکیب شیمیایی مارن‌های منطقه تعداد ۱۲ نمونه با توجه به تغییرات رنگ و بافت نمونه‌برداری شد. نمونه‌ها در آزمایشگاه بعد از پودر کردن و گذراندن از الک با مش ۳۰، برای آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD) و آنالیز فلورسانس پرتو ایکس (XRF) به آزمایشگاه کانسانان بینالود ارسال شد. ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی مارن برداشت شده متشکل از کانی‌های اصلی بیشتر شامل؛ کوارتز، کلسیت، مونتموریلونیت و آلپیت و کانی‌های فرعی بیش‌تر شامل؛ ارتوکلاز، ژپس، موسکویت-آلپیت و کلریت می‌باشند. به‌طور کلی در مورد کانی‌شناسی

منطقه می‌توان گفت که ترکیب کانی‌شناسی مارن‌های مورد بررسی تفاوت قابل‌توجهی با هم ندارند، ولی مقدار کانی‌ها متغیرند (جدول ۲) (اونیکورو و همکاران، ۲۰۲۳؛ آدئولا و همکاران، ۲۰۱۷). بررسی‌های آنالیز XRD بر روی نمونه‌های مارن برداشت شده مقادیر کانی‌های رسی شناسایی شده از قبیل مونت موریلونیت (۲۱-۱۲٪)، لایه‌های مختلط مسکویت-آلپیت (۸-۷٪)، کلریت (۸-۷٪) را نمایان می‌سازد. کانی‌های غیر رسی شامل؛ کوارتز (۱۹-۱۸٪)، کلسیت (۱۹-۱۷٪)، آلپیت (۱۹-۱۰٪)، ارتوکلاز (۱۰-۹٪)، کلینوپتیلولیت (۵-۱٪) و ژپس (۲-۱٪) هستند (جدول ۳).

جدول ۲. ترکیب کلی کانی‌شناسی مارن‌های مورد مطالعه

Table 2. The boulk mineralogical composition of the studied marls

| شماره نمونه | کانی‌های اصلی                         | کانی‌های فرعی                            | کانی‌های جزئی          |
|-------------|---------------------------------------|------------------------------------------|------------------------|
| AA-1        | کوارتز، کلسیت، مونت‌موریلونیت، آلبیت  | ارتوکلاز، موسکویت - ایلیت، کلریت، هالیت  | ژپس - کلینوپتیلولیت    |
| AA-2        | کوارتز، کلسیت، مونت‌موریلونیت، آلبیت  | ارتوکلاز، موسکویت - ایلیت، کلریت، هالیت  | ژپس - کلینوپتیلولیت    |
| AA-4        | کوارتز، کلسیت، مونت‌موریلونیت، آلبیت  | ارتوکلاز، موسکویت - ایلیت، کلریت، هالیت  | کلینوپتیلولیت          |
| AA-5        | کوارتز، کلسیت، مونت‌موریلونیت، آلبیت  | ارتوکلاز، موسکویت - ایلیت، کلریت، هالیت  | کلینوپتیلولیت - همتایت |
| AA-7        | کوارتز، کلسیت، آلبیت، کلریت           | موسکویت - ایلیت، ارتوکلاز                | -----                  |
| AA-8        | کوارتز، کلسیت، آلبیت، کلریت           | موسکویت - ایلیت، ارتوکلاز، ژپس، هالیت    | همتایت                 |
| AA-9        | کوارتز، کلسیت، آلبیت، کلریت           | موسکویت - ایلیت، ارتوکلاز، ژپس، هالیت    | همتایت                 |
| AA-12       | کوارتز، کلسیت، آلبیت، کلریت           | موسکویت - ایلیت، ارتوکلاز، ژپس           | -----                  |
| AA-14       | کوارتز، کلسیت، آلبیت، کلریت           | موسکویت - ایلیت، ارتوکلاز، هالیت         | -----                  |
| AA-15       | کوارتز، کلسیت، آلبیت، هالیت           | کلریت، موسکویت - ایلیت، ژپس، ارتوکلاز    | -----                  |
| AA-16       | کوارتز، کلسیت، آلبیت، هالیت           | کلریت، موسکویت - ایلیت، همتایت، ارتوکلاز | -----                  |
| AA-18       | کوارتز، کلسیت، آلبیت، موسکویت - ایلیت | کلریت، ارتوکلاز، ژپس                     | -----                  |



شکل ۸. (a) نمودار حد روانی و شاخص خمیری هولتز و کاواکس (۱۹۸۱)، (b) موقعیت نمونه‌های مارنی برداشت شده از سازند قرمز بالایی در نمودار کاساگرانده آقارضایی (۲۰۲۱).

Fig. 8. a) Liquid limit and plasticity index according to Holtz and Kovacs (1981), b) Location of sampled marls from the Upper Red Formation on Casagrande's plasticity chart (Agharezaei, 2021)

هر یک از کانی‌ها در مراحل گوناگون فرایند آجرسازی، واکنش متفاوتی از خود نشان می‌دهند و واضح است که بسیاری از آن‌ها واکنش‌های متقابل پیچیده‌ای با یکدیگر خواهند داشت. ساخت آجر به‌منظور بررسی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی آن در دو مرحله صورت گرفت؛ مرحله اول، تهیه برخی از آجرها با استفاده از نمونه‌های عبوری از الک شماره ۴۰ (۴۲۵ میکرون) در قالب‌هایی به‌اندازه ۷×۵×۴ سانتی‌متر و مرحله دوم، تهیه آجرها از نمونه‌های همگن شده مارن در قالب‌هایی به‌اندازه ۶×۶×۶ سانتی‌متر انجام شد. به‌طور کلی بررسی مقاومت فشاری موجب دو مرحله‌ای شدن ساخت آجر گردید. با خروج نمونه‌ها از قالب و قرار دادن آن‌ها به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۱۱۰ درجه

سانتی‌گراد در آن، اندازه‌گیری وزن و ابعاد آن‌ها جهت محاسبه درصد انقباض خشک صورت گرفت. بعد از انجام اندازه‌گیری‌های مربوط، نمونه‌ها به مدت ۲ ساعت در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد در کوره مدل (Exciton 1250) آزمایشگاه ژئوشیمی پردیس علوم دانشگاه تهران تحت پخت قرار گرفت. ابعاد و وزن آن‌ها جهت محاسبه درصد انقباض پخت و وزن آن‌ها بعد از ۴۸ ساعت غوطه‌وری در آب، جهت محاسبه درصد جذب آب و چگالی کل نیز محاسبه شد. برای اندازه‌گیری چگالی کل، مفروضاتی در نظر گرفته شده است که به شرح زیر است: با این فرض که وزن یک آجر معمولی ۲۰۰۰ گرم و چگالی آجر فشاری با ملات ماسه سیمان ۱/۸۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب است،

فوق و حجم مذکور معیاری است برای محاسبه چگالی کل در باقی نمونه‌ها که تمام نمونه‌ها نسبت به آن سنجیده شوند.

می‌توان تناسبی بین وزن و حجم آجرها بعد از پخت با وزن و حجم یک آجر معمولی برقرار کرد و چگالی به‌دست‌آمده از حجم محاسبه شده در نمونه آجر پخته شده، معادل چگالی یک آجر معمولی با مفروضات در نظر گرفته شده

جدول ۳. نتایج آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD) به صورت کمی مارن‌های مورد مطالعه

Table 3. Results of quantitative X-ray diffraction (XRD) analysis of the studied marls

| نمونه | کوارتز | کلسیت | مونت-موریلونیت | آلبیت | کلریت | هالیت | مسکویت-ایلیت | ارتوکلاز | ژیپس | هماتیت | کلینو پتیلولیت | آنالسیم |
|-------|--------|-------|----------------|-------|-------|-------|--------------|----------|------|--------|----------------|---------|
| ٪     | ٪      | ٪     | ٪              | ٪     | ٪     | ٪     | ٪            | ٪        | ٪    | ٪      | ٪              | ٪       |
| AA-1  | ۱۹     | ۱۷    | ۲۱             | ۱۰    | ۸     | ۱     | ۸            | ۹        | ۱    | ---    | ۴              | ---     |
| AA-2  | ۱۸     | ۱۸    | ۱۷             | ۱۰    | ۷     | ۴     | ۸            | ۹        | ۲    | ---    | ۵              | ---     |
| AA-4  | ۱۸     | ۱۹    | ۱۲             | ۱۱    | ۸     | ۹     | ۸            | ۱۰       | ---  | ---    | ۳              | ---     |
| AA-5  | ۱۹     | ۱۸    | ۱۹             | ۱۴    | ۷     | ۲     | ۷            | ۹        | ---  | ۱      | ۲              | ---     |
| AA-7  | ۳۲     | ۲۴    | ---            | ۱۷    | ۹     | ---   | ۱۰           | ۵        | ---  | ---    | ---            | ---     |
| AA-8  | ۲۸     | ۳۰    | ---            | ۱۷    | ۱۰    | ۱     | ۱۶           | ۴        | ۱    | ۱      | ---            | ---     |
| AA-9  | ۲۲     | ۱۹    | ---            | ۱۷    | ۱۰    | ۷     | ۱۴           | ۵        | ۳    | ۱      | ---            | ---     |
| AA-12 | ۲۶     | ۲۶    | ---            | ۱۳    | ۱۱    | ---   | ۱۵           | ۳        | ۴    | ---    | ---            | ---     |
| AA-14 | ۲۴     | ۱۸    | ---            | ۱۰    | ۱۶    | ۸     | ۲۰           | ۲        | ---  | ---    | ---            | ---     |
| AA-15 | ۲۴     | ۱۶    | ---            | ۱۱    | ۱۳    | ۱۲    | ۱۵           | ۲        | ۵    | ---    | ---            | ---     |
| AA-16 | ۲۵     | ۲۰    | ---            | ۱۲    | ۱۶    | ۳     | ۱۸           | ۳        | ---  | ۱      | ---            | ---     |
| AA-18 | ۲۲     | ۲۴    | ---            | ۱۶    | ۱۴    | ---   | ۱۷           | ۴        | ۱    | ---    | ---            | ---     |

نشان می‌دهد که کانی اسمکتیت می‌تواند باعث تورم و انقباض شدید در مارن‌ها شود (بوما، ۱۹۹۸). نتایج نشان می‌دهد که کانی‌های ایلیت - مونتموریلونیت و کائولینیت مهم‌ترین و متداول‌ترین کانی‌های رسی در پیکره بیشتر سازندهای مارنی هستند (امامی و پیروان، ۲۰۲۱). با بررسی نتایج آنالیزهای XRD نمونه‌های مارن مورد مطالعه، مقادیر کانی‌های رسی شناسایی شده از قبیل؛ مونتموریلونیت (۲۱-۱۲٪)، رس مخلوط لایه موسکویت - ایلیت (۲۰-۷٪) و کلریت (۱۶-۷٪) را نمایان می‌سازد (جدول ۳). کانی‌های غیر رسی موجود شامل؛ کوارتز (۳۲-۱۸٪)، کلسیت (۲۴-۱۷٪)، آلبیت (۱۹-۱۰٪)، ارتوکلاز (۹-۱٪)، هالیت (۱۲-۱٪)، کلینوپتیلولیت (۵-۱٪)، هماتیت (۵-۱٪) و ژیپس (۴-۱٪) هستند. منشأ کانی‌های رسی و عناصر را می‌توان عمدتاً به فرایندهای هوازدگی نسبت داد (امینی، ۱۹۹۷؛ امینی، ۲۰۰۱). نتیجه کلی آنالیزهای XRD در جدول ۳ و نمودارهای مربوط به ۴ نمونه از ۱۲ نمونه در شکل (۱۰) نمایش داده شده است.

### ۳-۴- آنالیز ژئوشیمیایی فلئورسانس پراش پرتو ایکس (XRF)

بر اساس نتایج آنالیزهای فلئورسانس پراش پرتو ایکس بر مبنای اکسیدهای،  $\text{SiO}_2$ ،  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ،  $\text{CaO}$ ،  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ،  $\text{K}_2\text{O}$  و  $\text{MgO}$  به ترتیب فراوان‌ترین اجزای تشکیل‌دهنده نمونه‌های مارن را نشان می‌دهند (جدول ۴) (رایک، ۲۰۲۳؛ نصری و همکاران، ۲۰۱۹؛ العوجار و الجوادی، ۲۰۲۴؛ مفایر و هماران، ۲۰۱۸). مقادیر این اکسیدها با ترکیب کانی‌شناسی به‌دست‌آمده سازگاری نشان می‌دهد. به‌عنوان مثال؛ مقادیر  $\text{Al}_2\text{O}_3$  و  $\text{K}_2\text{O}$  را می‌توان به وجود کانی‌هایی از جمله ارتوکلاز، موسکویت و ایلیت در مارن‌ها ارتباط داد. وجود مقادیری از  $\text{CaO}$  و  $\text{MgO}$  حضور کربنات را نشان می‌دهد (شکل ۹).

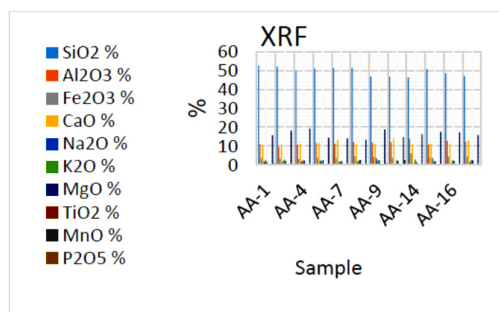
### ۳-۵- آنالیز ژئوشیمیایی پراش اشعه ایکس (XRD)

نوع کانی‌های رسی در مارن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. وجود رس‌های انبساط‌پذیر همچون مونتموریلونیت، حساسیت مارن‌ها را به فرسایش افزایش می‌دهد. تحقیقات

#### ۴- کانی‌شناسی آجرهای تولیدی

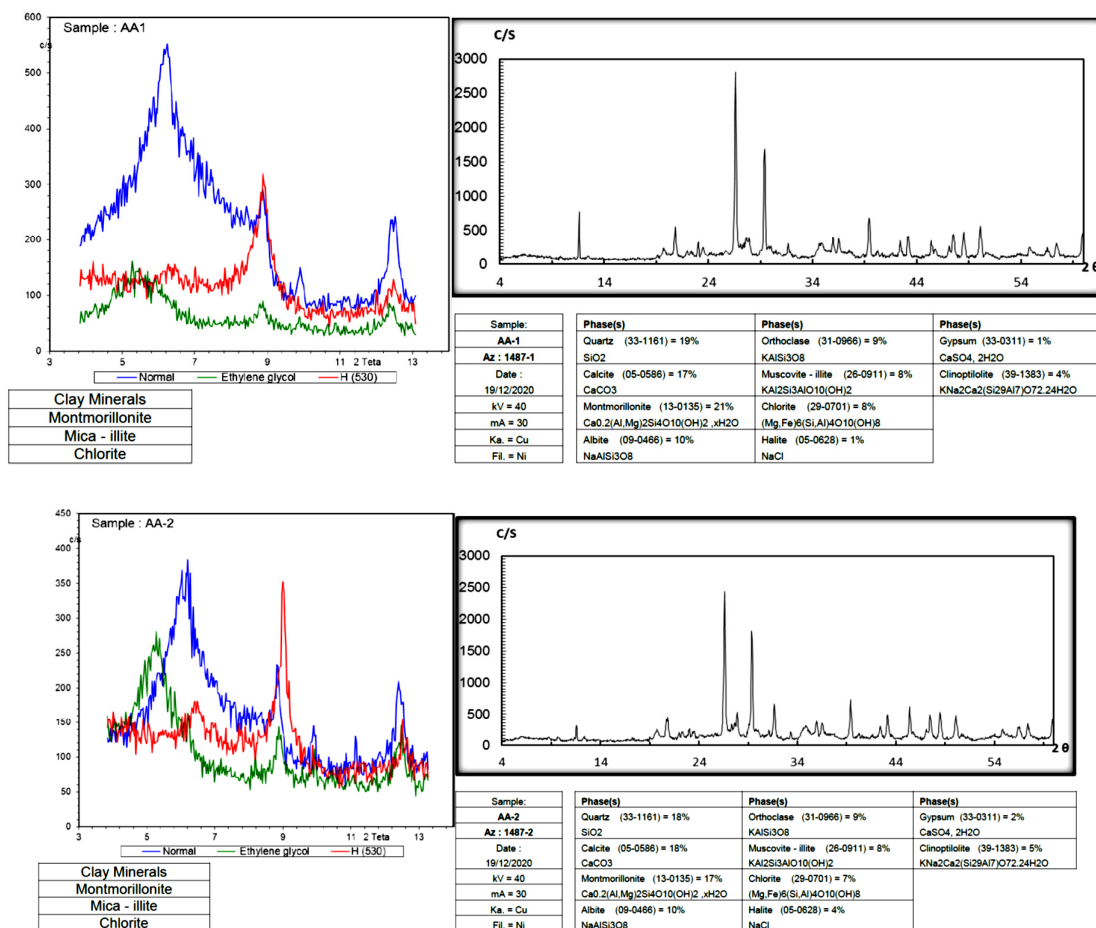
آجرها از خاک رس، شیل یا مواد خاکی طبیعی مشابه ساخته می‌شوند و در دمای بالا تحت عملیات حرارتی قرار می‌گیرند (آتش دادن). عملیات حرارتی باید پیوند سوختنی کافی بین اجزای ذرات تشکیل دهد تا استحکام و دوام مورد نیاز این مشخصات را فراهم کند (استاندارد، ۲۰۱۲؛ استاندارد، ۲۰۰۳). در طول پخت در ماهیت

کانی‌های فیلسیلیکاته و کانی‌های همراه مانند کوارتز، فلدسپات، کلسیت، دولومیت و هماتیت یک سری تبدیلات کانی‌شناسی و شیمیایی رخ می‌دهد که ویژگی نهایی محصولات سرامیکی رقم می‌زند (ریل، ۱۹۷۷؛ جردن و همکاران، ۱۹۹۹؛ کریم‌پور، ۱۳۹۱) به طور مثال به علت مقدار بالای کربنات کلسیم رنگ آجرهای تولید شده روشن و یا زرد متمایل به قهوه‌ای جلوه می‌کند.



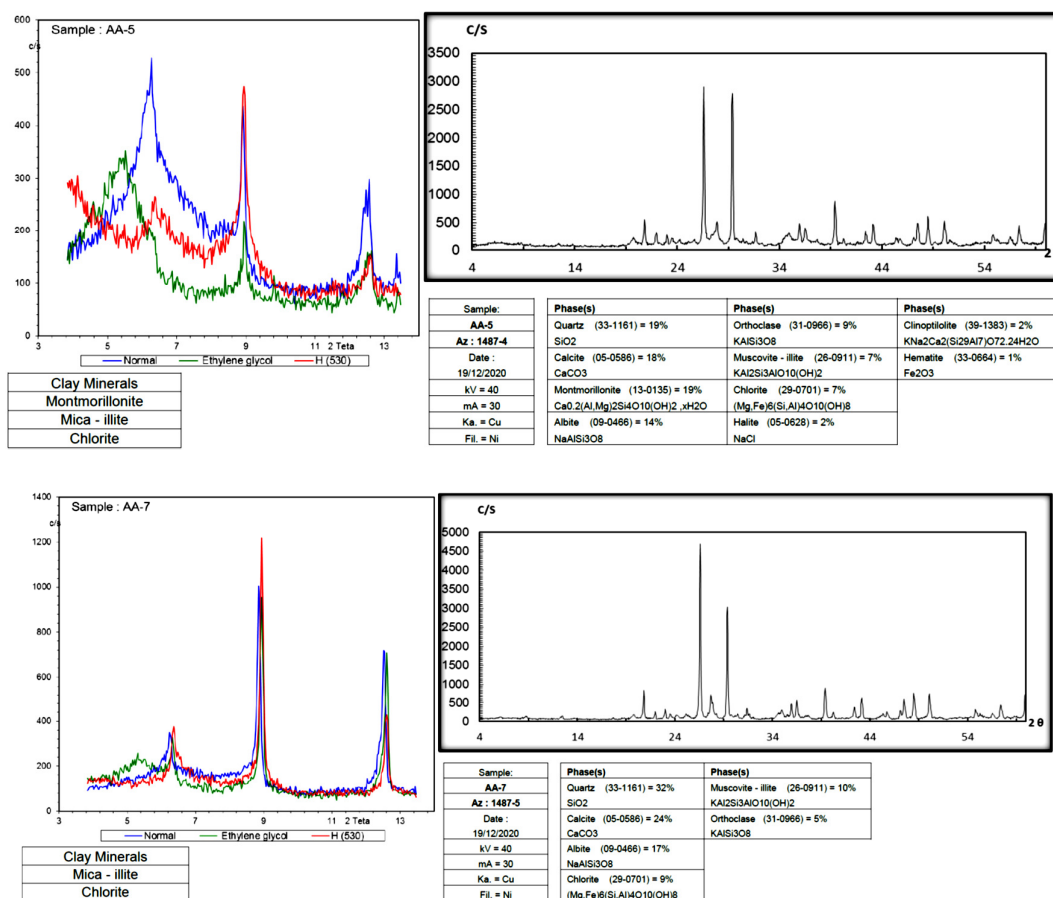
شکل ۹. نتایج آنالیز فلورسانس پراش پرتو ایکس (XRF) نمونه‌های مارن مورد مطالعه.

Fig. 9. The results of X-ray Fluorescence (XRF) analyses of marl samples



شکل ۱۰. نتایج آنالیز نیمه کمی پراش اشعه ایکس (XRD) نمونه از مارن‌های سازند قرمز بالایی.

Fig. 10. Results of quantitative X-ray diffraction (XRD) analysis of the studied marls



ادامه شکل ۱۰. نتایج آنالیز نیمه کمی پراش اشعه ایکس (XRD) ۴ نمونه از مارن‌های سازند قرمز بالایی.

Fig. 10. Results of quantitative X-ray diffraction (XRD) analysis of the studied marls

شد. کریستوبالیت و مولایت در دماهای بیش از ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد از رس‌های حاوی ایلیت، کائولینیت و کلریت تشکیل شدند. در رس‌های حاوی ورمیکولیت و مقادیر زیاد کلریت، هماتیت در دماهای بیش از ۹۵۰ درجه سانتی‌گراد تشکیل شد. پخت رس‌های آهکی در دماهای بیش از ۹۵۰ درجه سانتی‌گراد منجر به تولید سیلیکات‌های کلسیم (دیوپسید، ژلنیت و ولاستونیت)، اسپینل، کریستوبالیت، هماتیت و فلدسپات‌ها شده است (ال اوهابی و همکاران، ۲۰۱۵). زمانی که دما به ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد  $\text{CaCO}_3$  به  $\text{CaO}$  تجزیه می‌شود، ایلیت تخریب شده و فاز نوع اسپینل ظاهر می‌شود. لازم به ذکر است  $\text{CaO}$  با کوارتز واکنش داده و ولاستونیت و ژلنیت ( $\text{Gehlenite Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$ ) نیمه‌پایدار ظاهر می‌شود. همراه با دما مقدار ژلنیت کاهش می‌یابد و پیروکسن در ۹۵۰ درجه سانتی‌گراد ظاهر می‌شود. با افزایش دما تا ۱۱۵۰ ژلنیت نیمه‌پایدار با کوارتز برای به‌دست‌آوردن پلاژیوکلاز

به‌طور کلی در ساختن آجرهای معمولی، رس با اکسید آهن ترجیح داده می‌شود. به این دلیل که اکسید آهن به عنوان یک کمک‌ذوب عمل کرده و شیشه‌ای شدن در درجه‌حرارت پایین‌تری انجام می‌شود و رنگ آجر نیز از زرد تا قرمز تغییر می‌کند (پورکاسب و همکاران، ۱۳۹۳). اصولاً تمام رس‌های محتوی آهن با خاصیت پلاستیکی زیاد، قابلیت کشش زیاد و خاصیت ترک‌خوردگی کم می‌توانند برای محصولات ساختمانی مورد استفاده قرار گیرند (علیپور، ۱۳۶۵). کانی‌های رسی مارن‌ها و سایر ترکیبات آن‌ها به دلیل رابطه بسیار پیچیده در طی تغییرات آن‌ها در طی حرارت دیدن دچار تغییرات فازی شده و کانی‌های متنوعی (۵۵۰-۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد تحت شرایط اکسیداسیون) تشکیل می‌شوند. اگر ترکیبات کانی‌شناسی خاک‌های رس غیر آهکی و خاک‌های رس آهکی باشد تنوع کانی‌های شکل گرفته متفاوت خواهد بود. برای مواد اولیه غیر آهکی، اسپینل در دمای ۹۵۰ درجه سانتی‌گراد تولید

واکنش می‌دهد. کوارتز عموماً از ۸۰۰ تا ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به تری‌دیمیت تجزیه می‌شود و در ۱۱۰۰ در بیشترین حالت کاهش قرار دارد. فازهای تجزیه شده و در

جدول ۴. نتایج آنالیز فلوئورسانس پراش پرتو ایکس (XRF) نمونه‌های مارن مورد مطالعه و نیز نتایج آنالیزهای چهار نمونه کانی‌شناسی پراش اشعه ایکس (XRD).

Table 4. The results of X-ray diffraction (XRF) analysis of the studied marl samples and also the results of X-ray diffraction (XRD) mineralogical analyzes of four samples.

| Sample                                                | SiO <sub>2</sub><br>% | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub><br>% | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub><br>% | CaO<br>% | Na <sub>2</sub> O<br>%            | K <sub>2</sub> O<br>% | MgO<br>% | TiO <sub>2</sub><br>% | MnO<br>% | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>% | L.O.I<br>% | SO <sub>3</sub><br>% |
|-------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------|-----------------------------------|-----------------------|----------|-----------------------|----------|------------------------------------|------------|----------------------|
| AA-1                                                  | 52.65                 | 11.02                               | 3.45                                | 10.22    | 1.71                              | 2.73                  | 1.67     | 0.462                 | 0.121    | 0.152                              | 15.66      | 0.85                 |
| AA-2                                                  | 52.07                 | 9.57                                | 3.44                                | 10.25    | 1.86                              | 2.86                  | 2.08     | 0.425                 | 0.112    | 0.145                              | 18.1       | 0.69                 |
| AA-4                                                  | 49.62                 | 10.83                               | 3.16                                | 11.3     | 1.89                              | 2.55                  | 2.33     | 0.419                 | 0.103    | 0.163                              | 19.24      | 0.09                 |
| AA-5                                                  | 51.06                 | 11.59                               | 3.79                                | 11.67    | 2.08                              | 2.55                  | 2.53     | 0.517                 | 0.133    | 0.176                              | 14.48      | 0.09                 |
| AA-7                                                  | 51.37                 | 11.27                               | 3.72                                | 13.41    | 1.56                              | 1.98                  | 1.85     | 0.62                  | 0.099    | 0.183                              | 14.05      | 0.22                 |
| AA-8                                                  | 51.25                 | 12.32                               | 4.47                                | 10.79    | 1.89                              | 2.44                  | 2.64     | 0.593                 | 0.077    | 0.154                              | 13.42      | 0.41                 |
| AA-9                                                  | 46.94                 | 11.71                               | 4.32                                | 11.05    | 3.46                              | 2.39                  | 2.51     | 0.539                 | 0.096    | 0.128                              | 18.78      | 0.94                 |
| AA-12                                                 | 46.79                 | 11.99                               | 3.56                                | 14.31    | 0.74                              | 2.38                  | 2.23     | 0.487                 | 0.06     | 0.141                              | 14.6       | 2.69                 |
| AA-14                                                 | 46.35                 | 13.92                               | 5.99                                | 10.94    | 0.87                              | 2.8                   | 1.6      | 0.473                 | 0.082    | 0.12                               | 16.31      | 0.42                 |
| AA-15                                                 | 50.85                 | 10.76                               | 3.96                                | 11.23    | 3.66                              | 1.96                  | 1.82     | 0.428                 | 0.058    | 0.127                              | 17.62      | 0.4                  |
| AA-16                                                 | 48.56                 | 12.75                               | 4.39                                | 11.44    | 0.86                              | 2.55                  | 2.12     | 0.512                 | 0.09     | 0.144                              | 17.18      | 0.16                 |
| AA-18                                                 | 47                    | 12.3                                | 4.38                                | 13.14    | 1.42                              | 2.52                  | 2.45     | 0.529                 | 0.096    | 0.152                              | 15.85      | 0.35                 |
| AA-20                                                 | 58.49                 | 16.82                               | 6.09                                | 9.1      | 1.41                              | 2.65                  | 2.37     | 0.646                 | 0.101    | 0.154                              | 0.43       | 0.04                 |
| AA-24                                                 | 62.74                 | 12.45                               | 4.02                                | 11.59    | 0.69                              | 3.74                  | 3.36     | 0.672                 | 0.082    | 0.212                              | 1.06       | 0.2                  |
| آجر پخته شده (XRD) دو نمونه کانی‌شناسی پراش اشعه ایکس |                       |                                     |                                     |          |                                   |                       |          |                       |          |                                    |            |                      |
| Sample                                                | کانی‌های جزئی         |                                     | کانی‌های فرعی                       |          | کانی‌های اصلی                     |                       |          |                       |          |                                    |            |                      |
| AA-5                                                  | -----                 |                                     | میکروکلین                           |          | آنورتیت - اوژیت - کوارتز          |                       |          |                       |          |                                    |            |                      |
| AA-16                                                 | -----                 |                                     | میکروکلین                           |          | آنورتیت - اوژیت - کوارتز          |                       |          |                       |          |                                    |            |                      |
| AA-20                                                 | -----                 |                                     | میکروکلین - هماتیت                  |          | آنورتیت - کوارتز - اوژیت - هماتیت |                       |          |                       |          |                                    |            |                      |
| AA-24                                                 | -----                 |                                     | میکروکلین                           |          | آنورتیت - اوژیت - کوارتز          |                       |          |                       |          |                                    |            |                      |

#### ۴-۲- نتایج آنالیزهای پراش اشعه ایکس (XRF)

##### آجرهای تولید شده

برای تعیین نوع تغییرات کانی‌شناسی و فازهای جدید ایجاد شده در نمونه‌ها در طی پخت آجر از نتایج آنالیزهای پراش پرتو ایکس (XRF) استفاده می‌شود که اطلاعاتی در خصوص درصد عناصر و اکسیدهای آن‌ها ارائه می‌دهد. نتایج آنالیزهای فلوئورسانس پراش پرتو ایکس بر اساس چهار نمونه آجر تولیدی آورده شده است. درصد انقباض خشک (Sd (%))، درصد انقباض پخت (SF (%))، درصد انقباض کل (St (%))، درصد جذب آب (Water abs)، با توجه به روابط جدول (۵) محاسبه شد که نتایج آن در جدول شماره (۶) آمده است. از عوامل مؤثر در رنگ آجرها می‌توان به حضور اکسید آهن به صورت دانه‌های ریز و پراکنده از جمله هماتیت اشاره کرد.

از عوامل دیگر در تأثیرپذیری رنگ آجرها می‌توان به حضور کلسیت اشاره کرد که حضور بیش از ۷ درصد CaO موجب

ایجاد رنگ زرد یا زرد متمایل به قهوه‌ای در هنگام پخت می‌گردد. مقادیر بیش‌تر کربنات می‌تواند رنگ آجرها را بعد از پخت به سفید یا قرمز تغییر دهد (شکل ۱۱) (کریم‌پور، ۱۳۹۱؛ خاکسار و رضایی، ۲۰۱۲). صنعت ساخت و ساز نقش حیاتی در توسعه اجتماعی-اقتصادی هر کشوری ایفا می‌کند. در پروژه‌های ساختمانی، آجرها به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند زیرا دارای خواص مفیدی مانند سهولت جابجایی، دوام بالا و هزینه کم هستند. آن‌ها تقریباً در هر نوع پروژه مهندسی عمران، از جمله تجاری، صنعتی و مسکونی، استفاده می‌شوند. ماده اولیه مورد استفاده برای ساخت آجر، خاک رس است. هر ساله تقریباً ۳۴۰ میلیارد تن خاک رس در سراسر جهان برای ساخت آجر مصرف می‌شود و در پاکستان، حدود ۵۹ میلیارد آجر در ۱۲۰۰ کوره آجرپزی تولید می‌شود (فرناندز، ۲۰۱۴). رس مناسب برای تولید آجر معمولاً شامل ۲۰ تا ۳۰ درصد آلومینا، ۵۰ تا ۶۰ درصد سیلیس، ۱ تا ۵ درصد آهک و ۵ تا ۶ درصد

شناخته نشده‌اند. احتمالاً ناشی از ورود مقداری از آهن به درون کربنات‌های کمپلکسی مانند؛ انکریت به فرمول  $\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Mn}) (\text{CO}_3)_2$  است که رنگ تند هماتیت را ندارد (یاسین و همکاران، ۲۰۲۲؛ پورکاسب و همکاران، ۱۳۹۳؛ پورکاسب و همکاران، ۱۳۹۳). ترک‌های کوچکی ممکن است در طی مرحله خشک‌شدن ایجاد شوند و این امر منجر به شکسته‌شدن آجر در طی مرحله پخت می‌شود. همان‌طور که خشک‌شدن انقباض را افزایش می‌دهد منجر به افزایش فشار نیز می‌شود و بدنه آجر بیش‌تر مستعد شکاف برداشتن می‌گردد. افزایش دمای پخت با افزایش انقباض ارتباط مستقیم دارد و افزایش در مورد مذکور به تدریج صورت می‌گیرد.

اکسید آهن، همراه با کربنات‌ها و اکسیدهای مختلف دیگر در مقادیر جزئی است (ریاض و همکاران، ۲۰۲۰). آجرها معمولاً از انواع مختلف خاک رس و سایر مواد تشکیل دهنده مانند شن و ماسه تشکیل می‌شوند. خاک رس مناسب برای تولید آجر معمولاً شامل ۲۰ تا ۳۰ درصد آلومینا، ۵۰ تا ۶۰ درصد سیلیس، ۱ تا ۵ درصد آهک و ۵ تا ۶ درصد اکسید آهن به همراه کربنات‌ها و اکسیدهای مختلف دیگر در مقادیر جزئی است. ترکیب کانی‌شناسی خاک رس برای کیفیت محصول نهایی مهم است. کربنات‌ها هنگام تولید آجر در دمای ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد منجر به تشکیل منافذ می‌شوند (کالترون و همکاران، ۲۰۰۴). فرایندهایی که منجر به آن می‌شود هنوز به‌درستی

جدول ۵. روابط مورد استفاده در آزمایش‌های فیزیکی و مکانیکی

Table 5 . The relationships between the physical and mechanical relationships in brick tests

|                 |                                                                                           |                                         |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| درصد انقباض خشک | $L_p$ : طول خمیری (طول اولیه)                                                             | $Sd = \frac{L_p - L_d}{L_p} \times 100$ |
| درصد انقباض پخت | $L_d$ : طول بعد از خشک‌شدن در آون                                                         | $SF = \frac{L_d - L_f}{L_d} \times 100$ |
| درصد انقباض کل  | $L_f$ : طول بعد از پخت                                                                    | $St = \frac{L_p - L_f}{L_p} \times 100$ |
| درصد جذب آب     | $W_1$ : وزن نمونه‌ها در حالت خشک<br>(به مدت ۴۸ ساعت): $W_2$ وزن نمونه‌ها در حالت غوطه‌وری | $Water\ abs = \frac{W_2 - W_1}{W_1}$    |

جدول ۶. نتایج آنالیزهای فلئوئورسانس پراش پرتو ایکس بر اساس درصد اکسیدهای اصلی (قسمت بالا) و نتایج آنالیزهای فلئوئورسانس پراش

پرتو ایکس بر اساس عناصر شیمیایی آجرهای تولیدی

Table 6. The results of X-ray diffraction fluorescence analyzes based on the percentage of main oxides (upper part) and the results of X-ray diffraction fluorescence analyzes based on the chemical elements of manufactured bricks

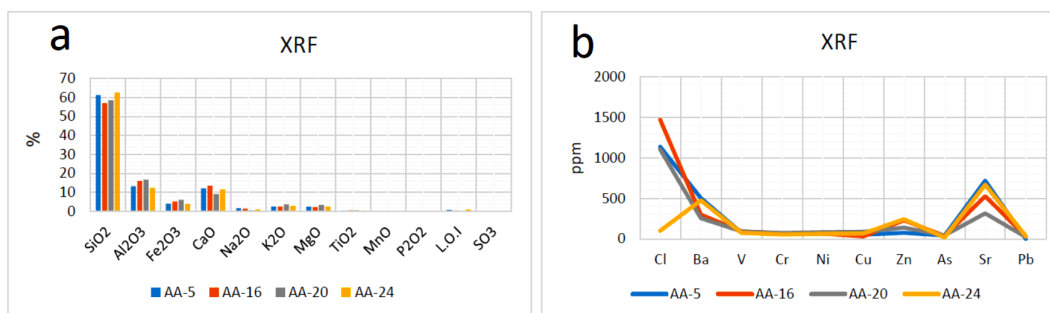
| Sample | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | MgO  | TiO <sub>2</sub> | MnO   | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | L.O.I | SO <sub>3</sub> |
|--------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|-------------------|------------------|------|------------------|-------|-------------------------------|-------|-----------------|
|        | %                | %                              | %                              | %     | %                 | %                | %    | %                | %     | %                             | %     | %               |
| AA-5   | 61.3             | 13.29                          | 4.21                           | 12.2  | 1.72              | 2.64             | 2.52 | 0.577            | 0.126 | 0.192                         | 0.91  | 0.16            |
| AA-16  | 57.01            | 16.01                          | 5.33                           | 13.57 | 1.41              | 2.65             | 2.37 | 0.646            | 0.101 | 0.154                         | 0.56  | 0.09            |
| AA-20  | 58.49            | 16.82                          | 6.09                           | 9.1   | 0.69              | 3.74             | 3.36 | 0.672            | 0.082 | 0.212                         | 0.43  | 0.04            |
| AA-24  | 62.74            | 12.45                          | 4.02                           | 11.59 | 1.07              | 2.92             | 2.63 | 0.544            | 0.127 | 0.215                         | 1.06  | 0.2             |
| Sample | Cl               | Ba                             | V                              | Cr    | Ni                | Cu               | Zn   | As               | Sr    | Pb                            | Cl    | Ba              |
|        | ppm              | ppm                            | Ppm                            | Ppm   | ppm               | ppm              | ppm  | ppm              | Ppm   | Ppm                           | Ppm   | Ppm             |
| AA-5   | 1136             | 504                            | 79                             | 60    | 75                | 52               | 75   | 42               | 717   | 1                             | 1136  | 504             |
| AA-16  | 1467             | 300                            | 94                             | 67    | 66                | 33               | 231  | 36               | 528   | 31                            | 1467  | 300             |
| AA-20  | 1103             | 255                            | 95                             | 74    | 84                | 88               | 141  | 46               | 315   | 23                            | 1103  | 255             |
| AA-24  | 101              | 476                            | 75                             | 56    | 63                | 68               | 243  | 20               | 669   | 34                            | 101   | 476             |

پخت و افزایش مقاومت فشاری نیز می‌گردند. جذب آب یک پارامتر تأثیرگذار در استحکام و دوام آجرها است و از این نظر در بررسی تخلخل مورد استفاده قرار می‌گیرد. جذب بالای آب در نمونه‌های مورد نظر را می‌توان به حضور برخی از کانی‌های رسی باقابلیت تورم بالا از جمله مونت‌موریلونیت نسبت داد. مقدار جذب و تخلخل با دمای

با تشکیل فاز مایع، انقباض بیش‌تری رخ می‌دهد. در دمای بالای ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد، شیشه‌ای شدن نمونه‌های پخته شده به وقوع می‌پیوندد. همه نمونه‌های آجر بعد از فرایند پخت منبسط شدند که علت را می‌توان به حضور درصد‌های مناسبی از اکسیدهای کلسیم و منیزیم نسبت داد. حضور عوامل فوق منجر به کاهش جمع‌شدگی بعد از

ساخت آجرهای توکار هستند. بین مقاومت فشاری با دمای پخت ارتباط مستقیم برقرار است. شکل ۱۳، نمودار مقاومت فشاری نمونه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. نمونه‌های AA-6 و AA-15 بعد از مرحله پخت، در فضای آزمایشگاه ترک برداشتند و متلاشی شدند. علت متلاشی شدن را می‌توان به دلیل کرنات کلسیم زیاد در اثر جذب رطوبت و ترک برداشتن را به علت داشتن ماسه کوارتزی زیاد نسبت به باقی نمونه‌ها دانست که همین امر باعث کاهش چسبندگی و ترک برداشتن شده است.

پخت ارتباط معکوس دارند علت آن را می‌توان به تشکیل فاز شیشه‌ای مربوط دانست. واکنش‌های تجزیه کرنات نیز تخلخل ایجاد می‌کند که میزان جذب آب نمونه‌هایی با میزان کرنات بیشتر، معمولاً بیش‌تر از باقی است (پورکاسب و همکاران، ۱۳۹۳؛ پورکاسب و همکاران، ۱۳۹۳؛ یاسین و همکاران، ۲۰۲۲). با توجه به استاندارد ملی شماره ۷ ساخت آجر (موسسه استاندارد، ۱۳۸۷) به لحاظ جذب آب نمونه‌های AA-2 و AA-12 مناسب برای ساخت انواع آجرهای نما و مهندسی هستند و جذب آب در سایر نمونه‌ها برخلاف نمونه‌های قبل، مناسب برای



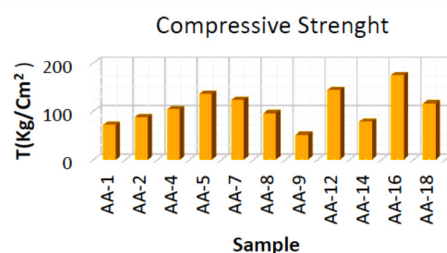
شکل ۱۱. (a) نتایج آنالیزهای فلئورسانس پراش پرتو ایکس بر اساس درصد اکسیدهای اصلی آجرهای تولیدی، (b) نتایج آنالیزهای فلئورسانس پراش پرتو ایکس بر اساس عناصر شیمیایی آجرهای تولیدی.

Fig. 11. a) X-ray fluorescence (XRF) analysis of produced bricks based on major oxide content. b) X-ray fluorescence (XRF) analysis of produced bricks based on chemical elements.



شکل ۱۲. تنوع رنگی ناشی از حضور اکسیدهای آهن و کلسیم در آجرهای تولید شده در دمای ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد

Fig. 12. Color variations in produced bricks due to the presence of iron and calcium oxides at 1100°C

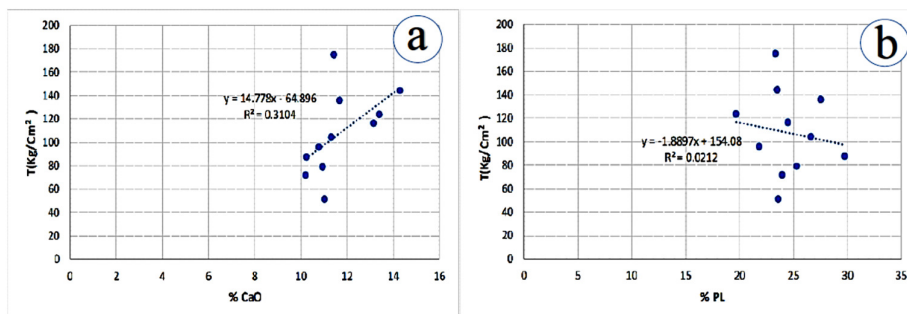


شکل ۱۳. نمودار مقاومت فشاری آجرهای مارنی تولیدی

Fig. 13. Compressive strength chart of marl-based bricks

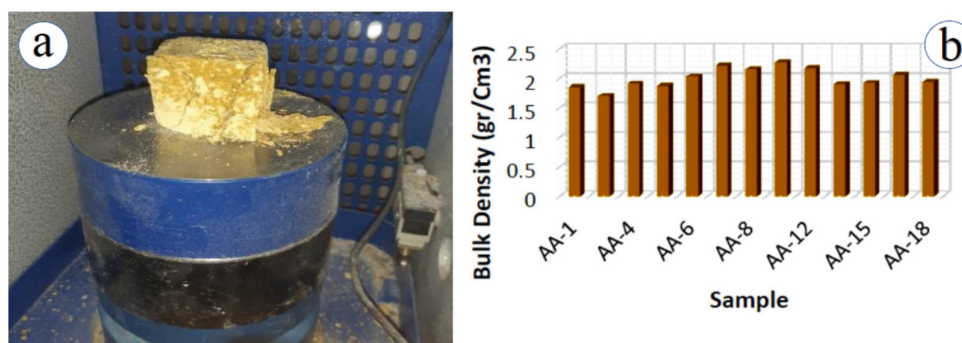
متعدد در هدف مذکور است (شکل ۱۴b). در شکل (۱۵a) آجرهای شکسته شده بعد از بارگذاری نیرو و اعمال بار بر نمونه آجر پخته شده در دستگاه مقاومت فشاری تک‌محوره (Azmoon Test, Type: R0110) را نشان می‌دهد. نمونه AA-1 به لحاظ چگالی کل و درصد جذب آب معادل یک آجر معمولی و نیز معیاری برای اندازه‌گیری در سایر نمونه‌ها قرار گرفته است (شکل ۱۵b).

ارتباط نزدیکی بین مقاومت فشاری و درصد اکسید کلسیم در آجرهای مارنی تولیدی مشاهده نمی‌شود. دلیل این امر را می‌توان به تأثیرپذیری مقاومت فشاری از عوامل مختلف، از جمله؛ کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده، کانی‌های فرعی و دانه‌بندی خاک دانست (شکل ۱۴a). مارنی تولیدی نسبت به حد خمیری. بین افزایش حد خمیری و میزان کانی‌های رسی ارتباط نزدیکی مشاهده نمی‌شود و پراکندگی نمونه‌ها و شکل‌گیری نمودار خوشه‌ای، حاکی از نقش داشتن عوامل



شکل ۱۴. a) تغییرات مقاومت فشاری آجرهای مارنی تولیدی نسبت به درصد وزنی اکسید کلسیم، b) تغییرات مقاومت فشاری آجرهای شکسته شده بعد از بارگذاری نیرو و اعمال بار بر نمونه آجر پخته شده در دستگاه مقاومت فشاری تک‌محوره.

Fig. 14. a) Changes in compressive strength of marl bricks based on calcium oxide weight percentage. b) Changes in compressive strength of broken bricks after load application in a uniaxial compression test.



شکل ۱۵. a) نمونه آجر مارنی شکسته شده بعد از اعمال بار در آزمون مقاومت فشاری تک‌محوری، b) نمودار چگالی کل نمونه‌های آجر مارنی تولید شده در آزمایشگاه

Fig. 15. a) Broken marl brick sample after a uniaxial compression test, b) Density chart of all produced marl bricks in laboratory

تولید آجرهای رسی از نمونه‌های مذکور وجود خواهد داشت (جدول ۷). از طرف دیگر، ترکیب شیمیایی چهار نمونه مواد اولیه تولید آجر در انگلستان در جدول ۹، نشان داده شده است (خاکسار و رضایی، ۲۰۱۲). با توجه به نتایج آنالیزها و مقایسه آن با جدول ۹، نمونه‌های مارن مورد مطالعه به‌عنوان مواد اولیه آجر در محدوده رس آکسفورد قرار می‌گیرند و می‌توان گفت؛ نمونه‌های مورد مطالعه تا حدودی معادل رس آکسفورد انگلستان هستند (جدول ۹).

## ۵- استانداردهای شیمیایی آجر رسی

برای ویژگی‌های متنوع آجرهای رسی، استانداردهای بسیاری وجود دارد؛ در ایران استاندارد ترکیب شیمیایی این فرآورده نیز تدوین شده است (جدول ۸). باتوجهبه این جدول، میزان ۷ عامل شیمیایی از اهمیت ویژه‌ای در کاربری مواد اولیه جهت ساخت آجر رسی برخوردار است (منینگ، ۱۹۹۵؛ کریم‌پور، ۱۳۹۱). باتوجهبه نتایج آنالیزهای ژئوشیمیایی، نمونه‌های مارن مورد مطالعه در بازه این استانداردها قرار گرفته و از این نظر امکان ساخت و

جدول ۷. نتایج آزمایش‌های فیزیکی و مکانیکی نمونه‌های آجرهای تهیه شده در آزمایش

Table 7. The results of physical and mechanical testing of the bricks samples prepared in the experiment

| Sample | چگالی کل<br>(gr/cm <sup>3</sup> ) | جذب آب<br>(wt %) | مقاومت فشاری<br>(kg /cm <sup>2</sup> ) | انقباض خشک<br>(%) | انقباض پخت<br>(%) | انقباض کل<br>(%) |
|--------|-----------------------------------|------------------|----------------------------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| AA-1   | 1.85                              | 19.72            | 72                                     | 8.3               | 9                 | 16.67            |
| AA-2   | 1.70                              | 14.80            | 88                                     | 8.3               | 9                 | 16.67            |
| AA-4   | 1.91                              | 20.60            | 104                                    | 8.3               | 9                 | 16.67            |
| AA-5   | 1.87                              | 16.74            | 136                                    | 8.3               | 9                 | 16.67            |
| AA-6   | 2.03                              | 20.04            | -----                                  | 8.3               | 1.81              | 10               |
| AA-7   | 2.21                              | 16.37            | 123.5                                  | 8.3               | 1.81              | 10               |
| AA-8   | 2.15                              | 18.93            | 96.02                                  | 8.3               | 1.81              | 10               |
| AA-9   | 2.27                              | 21.44            | 51.44                                  | 8.3               | 1.81              | 10               |
| AA-12  | 2.17                              | 14.60            | 144.03                                 | 8.3               | 9                 | 16.67            |
| AA-13  | -----                             | -----            | -----                                  | -----             | -----             | -----            |
| AA-14  | 1.9                               | 27.30            | 78.90                                  | 8.3               | 9                 | 16.67            |
| AA-15  | 1.92                              | 26.5             | -----                                  | 8.3               | 1.81              | 10               |
| AA-16  | 2.06                              | 21.05            | 174.9                                  | 8.3               | 3.63              | 39.5             |
| AA-18  | 1.94                              | 26.21            | 116.6                                  | 8.3               | 9                 | 16.67            |

جدول ۸. استانداردهای ترکیب آجر رسی (موسسه استاندارد، ۱۳۸۷)

Table 8. the standards composition of clay bricks, Institute of Standards and Industrial Research (2008)

| Cl  | SO <sub>3</sub> | MgO | CaO | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | L.O.I | ترکیب شیمیایی     |
|-----|-----------------|-----|-----|--------------------------------|--------------------------------|------------------|-------|-------------------|
| ۰/۱ | ۰/۵             | ۴   | ۱۷  | ۳-۱۲                           | ۹-۲۱                           | ۴۰-۶۰            | ۱۶    | حداکثر ترکیب مجاز |

جدول ۹. ترکیب چند نوع مواد اولیه آجر در بریتانیا (منینگ، ۱۹۹۵).

Table 9. Compositions of selected brick clay raw materials in Great Britain (Maning, 1995)

| درصد |                 |                  |                   |      |       |                  |                                |                                |                  |       | -----       |
|------|-----------------|------------------|-------------------|------|-------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|-------|-------------|
| FeO  | SO <sub>3</sub> | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | MgO  | CaO   | TiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | L.O.I | مواد اولیه  |
| ۰/۸۶ | ۰/۳۷            | ۲/۷۳             | ۰/۶۲              | ۲/۴۱ | ۰/۳   | ۰/۲۰             | ۶/۹۵                           | ۲۰/۵۰                          | ۵۳/۶۹            | ۱۱/۱۴ | شیل         |
| -    | -               | ۲/۱۳             | ۰/۱۱              | ۰/۷۴ | ۰/۳   | ۱/۱۶             | ۳/۱۹                           | ۲۵/۵۰                          | ۵۶/۳۰            | ۹/۷۶  | رس آتش‌خوار |
| -    | -               | ۱/۷۹             | ۰/۱۰              | ۰/۸۶ | ۲     | ۱/۲۷             | ۹/۰۲                           | ۲۳/۱۰                          | ۵۱/۳۹            | ۹/۰۹  | مارن        |
| -    | -               | ۲/۶۲             | ۰/۸۶              | ۲/۲۱ | ۱۰/۱۰ | ۰/۸۴             | ۲/۸۱                           | ۱۵/۲۱                          | ۴۵/۸۲            | ۱۵    | رس آکسفورد  |

## ۶- نتیجه‌گیری

کلریت و کانی‌های غیر رسی موجود شامل کوارتز، کلسیت، آلبریت، ارتوکلاز، کلینوپتیلولیت، هماتیت و ژپس هستند. نتایج آنالیزها پتروگرافی منشأ کانی‌های رسی و عناصر را می‌توان عمدتاً به فرایندهای هوازدگی نسبت داد. رنگ آجرهای تولید شده به دلیل مقدار بالای CaO روشن و یا زرد (کلسیت و دولومیت) بوده است. در نمونه‌های مارنی که کربنات‌های بیشتری در ترکیب خود داشته‌اند، آجرهای تولید شده منافذ بیشتری در طی پختن در دمای ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد از خود نشان می‌دهند. باتوجه‌به اینکه در این پژوهش از نتایج حاصل از آنالیزهای ژئوشیمیایی عناصر اصلی به‌عنوان ماسه‌ای جهت تعیین خاستگاه سازند مورد مطالعه بهره گرفته شده است. نتایج آزمایش‌های انجام شده به لحاظ کیفیت مارن‌های مورد مطالعه به‌عنوان مواد خام اولیه در تولید آجر با وجود محیط‌های رسوبی یکسان، تفاوت‌های چشمگیری در نتایج

سازند قرمز بالایی توالی رسوبی از واحدهای تخریبی ماسه‌سنگ، شیل، مارن و تیخیری دارای گسترش زیادی در زون ایران مرکزی است. مطالعه و ارزیابی بخش‌های مارنی این سازند به‌عنوان مواد خام اولیه تولید آجر در این پژوهش پیگیری شد. باتوجه‌به نتایج میدانی و مطالعه پتروگرافی محیط رسوبی سازند قرمز بالایی رودخانه‌ای با دشت‌های سیلابی و تغییرات و جابه‌جایی‌های عرضی بوده است. ویژگی مارن‌های سازند قرمز بالایی در صحرا و آزمایشگاه توسط آنالیزهای XRD، XRF، پتروگرافی ماسه‌سنگ‌ها و آجرهای تولید شده مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. کانی‌های اصلی مارن‌های این منطقه عمدتاً شامل کوارتز، کلسیت و دولومیت است. به طور متوسط مقادیر کانی‌های رسی شناسایی شده از قبیل؛ مونت‌موریلونیت، رس مخلوط لایه موسکویت - ایلیت،

- chemostratigraphy of a Palaeozoic submarine fan-complex: Tanqua Karoo Basin, South Africa. *Marine and Petroleum Geology*, 21(5): 555-577.
- ASTM Standard D4318 (2005) Standard Test Methods for Liquid Limit Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils, ASTM International.
- ASTM, C (2003) C67-03 Standard test methods for sampling and testing brick and structural clay tile. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA.
- ASTM, C (2012) C62-04 Standard specification for building brick (solid masonry units made from clay or shale). West Conshohocken, PA, 19428-2959.
- Bahlburg, H (1998) The geochemistry and provenance of Ordovician turbidites in the Argentine Puna. *Geological Society, London, Special Publications*, 142(1): 127-142.
- Berberian, M., King, G. C. P (1981) Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian journal of earth sciences*, 18(2): 210-265.
- Bhatia, M. R (1983) Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. *The Journal of geology*, 91(6): 611-627.
- Bouma, A (1998) Investigation of relationships between measured field indicators and erosion processes on badland surface at Petrer, Spain. *Journal of Soil Science Society of America*, 25: 105-109.
- Cultrone, G., Sebastián, E., Elert, K., De la Torre, M. J., Cazalla, O., Rodríguez-Navarro, C (2004) Influence of mineralogy and firing temperature on the porosity of bricks. *Journal of the European Ceramic society*, 24(3): 547-564.
- El Ouahabi, M., Daoudi, L., Fagel, N (2018) Technological behaviour of Cretaceous and Pliocene clays of northern Morocco used in fired brick manufacturing. *Journal of Materials and Environmental Science*, 9(4).
- El Ouahabi, M., Daoudi, L., Hatert, F., Fagel, N (2015) Modified mineral phases during clay ceramic firing. *Clays and Clay Minerals*, 63(5): 404-413.
- Elert, K., Monasterio-Guillot, L., Cultrone, G (2024) Effect of iron and organic matter on mineralogy and texture of replacement bricks for heritage conservation: The case of the Alhambra Formation soil (Granada, Spain)". *Journal of the European Ceramic Society*, 44(6): 4294-4306.
- Emami, S. N., Peyrowan, H (2021) Effective physico-chemical indices on marls sediment yield in Zagros structural zone, case study: Chaharmahal and Bakhtiari Province. *Watershed Engineering and Management*, 13(2): 310-327.
- آن‌ها حاصل شد به این صورت که؛ مارن‌های مذکور در تولید آجر ارزیابی می‌شود. یافته‌های پژوهش حاکی از مناسب بودن بخش‌هایی از زون، در تولید آجرهای رسی علاوه بر تولید آجرهای مارنی است. اکسید آهن (هماتیت یا مگنتیت) مسئول رنگ و استحکام آجرها است. به‌طور کلی؛ امکان استفاده از مارن‌های مذکور جهت تولید آجر، به شکل طبیعی به‌عنوان ماده اولیه و باکیفیت مطلوب، اقتصادی، بدون انجام فراوری‌های لازم و در حد انبوه وجود خواهد داشت.
- ### ۷- تشکر و قدردانی
- نویسندگان از پردیس علوم دانشگاه تهران در فراهم نمودن وسیله نقلیه جهت انجام نمونه‌برداری‌های این پژوهش کمال تشکر و قدردانی دارند.
- ### References
- Adeola, A. J., Olaleye, M. A (2018) Mineralogical and geochemical appraisal of clay deposits in Papalanto and Its Environs, Southwestern, Nigeria. *Earth Science Research*, 7(1): 1-12.
- Afaghi, A., Afshar, A., Jalilian, M., Fandochi, M., Kamali, G., Manouchehri, M (1986) Geological Map 1:250:000 of Tehran. Geological and Mineral Exploration Organization of Iran.
- Aghanabati, S. A (2004) Geology of Iran. Geological Survey of Iran, Tehran 586p. (In Persian).
- Agharezaei, A (2021) Finding potential and evaluation of mineralogical and geochemical properties of Upper Red Formation (URF) marls for brick production in parts of the southern and northern margins of Central Iran zone (In Persian).
- Al-Fraji, Y. I., Al-Khafage, S., J (2023) The Suitability of Fatha Clay Deposits for Clay Bricks Industry in Zurbatiya Area, Eastern Iraq. *Iraqi Journal of Science*, 2325-2341.
- Alipour, P (1986) Geology of Industrial Rocks and Minerals, Jihad Daneshgahi Publications, 365 p.
- Al-Ojar, E., Al-Jawadi, A (2024) Usefulness Study of Mineralogical Treatment Enhancing the Quality of Claystone Used in The Nineveh Governorate for The Brick Industry. *Iraqi National Journal of Earth Science*, 24(1): 259-0.
- Amini, A (1997) Provenance and Depositional Environment of the Upper Red Formation, Central Zone Iran, Ph.D. thesis, Manchester University, 320 p.
- Amini, A (2001) Red colouring of the Upper Red Formation in central part of its basin, central zone, Iran.
- Andersson, P. O. D., Worden, R. H., Hodgson, D. M., Flint, S (2004) Provenance evolution and

- Feiznia, S (1995) Resistance of rocks to erosion in different climate of Iran. *Iranian Journal of Natural Resources*, 47: 95-116. (in Persian).
- Fernandes, F. M (2019) Clay bricks. In *Long-Term Performance and Durability of Masonry Structures* (pp. 3-19). Woodhead Publishing.
- Folk, R. L (1974) *Petrology of sedimentary rocks*, Hemphill, Austin, Texas, 159 p.
- Ghasemlou, A., Kouhestani, H., Mokhtari, M. A. A., Zohdi, A (2020) Hamzelou Cu deposit: Redbed type sediment-hosted copper mineralization in the Upper Red Formation, NW Zanjan. *Advanced Applied Geology*, 9(4): 480-497. (In Persian).
- Ghasemlou, A., Zohdi, A., Kouhestani, H., Mokhtari, M. A (2020) Lithostratigraphy, petrography and trace elements geochemistry of the middle part sandstone of the Upper Red Formation in the Hamzelou region (NW Zanjan). *Applied Sedimentology*, 8(15): 65-78. 10.22084/PSJ.2020.19230.1206. (In Persian).
- Gómez, M. L., Cultrone, G (2025) Study of the mineralogical and textural properties of bricks with volcanic ash temper. *Applied Clay Science*, 266, 107690.
- Heidari, F., Saboohi, R (2019). Classification and identification of marl erodibility indicators in Esfahan Province. *Watershed Engineering and Management*, 11 (2): 440-451. (In Persian).
- Helmi, F., Jafari, A.A., Mohammadi, A., Mohammadkhani, H., Narimani, H., Vakil, F., Mokhteh, T., Farahani, B., Sabouri, J (2013) Report on the 1:25000 Geological Map of Qom, Geological and Mineral Exploration Organization of the Country.
- Herron, M. M (1988) Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. *Journal of Sedimentary Petrology*, 58: 820-829.
- Holtz, R. D., Kovacs, W. D (1981) Kansas Geotechnical Survey, Current Research in Earth Science. *Bulletin*. 244.
- Institute of Standards and Industrial Research. (2008) *Clay Brick Properties and Test Methods*. Standard No. 22 5717.
- Jordan M. M., Boix A., Sanfeliu T., de laFuente C (1999) Firing transformations of cretaceous Clays used in the manufacturing of ceramic tiles. *Applied Clay*, 14: 225- 234.
- Karimpour, M. H (1391) *Industrial Minerals and Rocks*, Ferdowsi University of Mashad Publication No.250, 397p.
- Khaksar, M., Rezaee, P (2012) Geochemical study of Marni deposits of Aghajari Formation in the west of Bandar Abbas (Soro section) for the production of clay bricks - Fourth Conference of the Iranian Economic Geological Society.
- Khamechian, M (1990) Evaluation of physical and mechanical properties marls stones-clay. MSc, Thesis, Tarbiat Modarres University, Tehran, 126 pages. (in Persian).
- Lacassie, J. P., Roser, B., Del Solar, J. R., Hervé, F (2004) Discovering geochemical patterns using self-organizing neural networks: a new perspective for sedimentary provenance analysis. *Sedimentary Geology*, 165(1-2): 175-191.
- Lasmi, Y (1980) Sedimentary environment of the Upper Red Formation in eastern Tehran. *Earth Sciences Conference, Geological and Mineral Geological and Mineral Exploration Organization of Iran*. (In Persian).
- Love, S (2017) Field methods for the analysis of mud brick architecture. *Journal of field archaeology*, 42(4): 351-363.
- Maning, D. A. C (1995) *Introduction to Industrial mineral*. Chapman & Hall London., Chap. 8, p. 159-184.
- McLennan, S. M., Hemming, S., McDaniel, D. K., Hanson, G. N (1993) Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics.
- Mefire, A. N., Fouateu, R. Y., Njoya, A., Mache, J. R., Pilate, P., Hatert, F., Fagel, N (2018) Mineralogy and geochemical features of Fouban clay deposits (west Cameroon): genesis and potential applications. *Clay Minerals*, 53(3): 431-445.
- Milodowski, A. E., Zalasiewicz, J. A (1991) Redistribution of rare earth elements during diagenesis of turbidite/hemipelagite mudrock sequences of Llandovery age from central Wales. *Geological Society, London, Special Publications*, 57(1): 101-124.
- Mir Hosseini, S. A., Nabatian, G., Zohdi, A., Salsani, A (2020) Lithostratigraphy, petrography, and geochemistry of sandstone in the middle part of the Upper Red Formation, Ghezeljeh area, NW Zanjan. *Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches*, 36(4): 87-108. (In Persian).
- Moure, F., Moradi, S (2005) Geochemical and Mineralogical composition of clay brick and baked brick of Kavar and Marvdasht plains, Fars province. *Proceedings of the 9th Conference of the Geological Society of Iran, Tarbiat Moallem University, Tehran*, 465-469. (In Persian).
- Nasri, H., Azdimousa, A., El Hammouti, K., El Haddar, A., El Ouahabi, M (2019) Characterization of Neogene marls from the Kert Basin (northeast Morocco): suitability for the ceramics industry. *Clay Minerals*, 54(4): 379-392.
- Nesbitt, H. W., Young, G. M (1982) Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *nature*, 299 (5885): 715-717.
- Nogol Sadat, A., Houshmandzadeh, A (1983) 1:250:000 Geological Map of Saveh. Geological and Mineral Exploration Organization of Iran.

- Onyekuru, S. O., Iwuoha, P. O., Iwuagwu, C. J., Nwozor, K. K., Opara, K. D (2018) Mineralogical and geochemical properties of clay deposits in parts of Southeastern Nigeria. *International Journal of Physical Sciences*, 13(14): 217-229.
- Pawar, A. S., Garud, D. B (2014) Engineering properties of clay bricks with use of fly ash. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3(9): 75-80.
- Pettijohn, F. J., Potter, P. E., Siever, R (1987) *Sand and sandstone*, Springer Science & Business Media.
- Peyrowan, H. R., Shirani, K (2022) Revision in nomenclature and classification of the Neogene marl deposits: A case study from south and southeast of Tehran. *Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches*, 38(3): 91-112. doi.org/10.22108/jssr.2022.135225.1240. (In Persian).
- Peyrowan, H., Karimi Khaledi, M., Shoaee, Z., Sarikhani, R (2018) Study of various methods performance for dispersivity rate detection of Miocene and Pliocene marl sediments in various erosion types of south of Hasanabad and Varamin areas. *Watershed Engineering and Management*, 10(4): 686-700. doi: 10.22092/ijwmse.2018.117913. (In Persian).
- Pourkaseb, H., Veisheh, S., Niknam, S. H., Zarosvandi, A. R (2014) Investigation of chemical and mineralogical composition of Mishan Formation Marls in the north of Ahvaz to use of Brick raw material. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, 22 (2):297-308. (In Persian).
- Pourkaseb, H., Veisheh, S., Niknam, S. H., Zarosvandi, A. R (2014) Investigating the technical and engineering characteristics of the marls of the Mishan Formation in the north of Ahvaz for the production of light bricks, *Iranian Journal of Mining Engineering*, 9 (22): 37-51. (In Persian).
- Rabbani, J., Mirzaie, A. M., Zohdi, A (2023) Depositional system and paleogeography of Miocene strata in the Northeast of Mahneshan (Zanjan). 11(21): 228-242. (In Persian).
- Real, C (1977) *Análisis por difracción de rayos X de fases de alta temperatura resultantes de Materials primas de interés industrial*. Tesis. Fac.de Ciencias, Universidad de Sevilla.
- Rezaei, K., Forooghi, S., Asadi, A (2015) Petrography and Geochemistry of Sandstone of Upper Red Formation in Hasan-Abad area-SW Tehran. *Applied Sedimentology*, 3(6): 43-56. (In Persian).
- Riaz, M. H., Khitab, A., Ahmad, S., Anwar, W., Arshad, M. T (2020) Use of ceramic waste powder for manufacturing durable and eco-friendly bricks. *Asian Journal of Civil Engineering*, 21: 243-252.
- Rijk, R (2023) *Fingerprinting Of Ceramic Products: Mineralogical, Geochemical And Petrographic Study Of Fired Ceramic Products And Their Unfired Raw Material*.
- Semiz, B., Çelik, S., B (2020) Mineralogical and geochemical characteristics of Belevi clay deposits at Denizli, SW Turkey. *industrial raw material potential*. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(8): 313.
- Suttner, L. J., Dutta, P. K (1986) Alluvial sandstone composition and paleoclimate; I, Framework mineralogy. *Journal of Sedimentary Research*, 56(3): 329-345.
- Yaseen, Z., Aqrabi, A., Ahmed, I (2022) An Industrial Evaluation and Chemical and Physical Properties of the Clay from the Taq Taq Area in Northern Iraq for some Ceramic Applications. *Iraqi National Journal of Earth Science*, 22(2): 47-66.
- Zomorshidi, H., Sadeghi, H. A (2018) *Brick and art of brickwork since ancient times to now*. (In Persian).

## Petrology and mineralogy of the Upper Red Formation, Tehran-Qom Highway area for brick manufacturing

M. Ranjbaran<sup>1\*</sup> and F. Sotohian<sup>2</sup>

1- Assoc. Prof., School of Geology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran

2- Assoc. Prof., Dept., of Environmental Science, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Guilan, Iran

\* m.ranjbaran@ut.ac.ir

Received: 2025.4.3 Accepted: 2025.7.23

### Abstract

The Upper Red Formation, in the stratigraphic column, overlies the Qom Formation and is itself overlain by the Hezar Dareh Formation. Its lithological composition consists of thick-bedded red sequences of shale, siltstone, marl, mudstone, sandstone, and layers of gypsum accompanied by salt, with numerous outcrops distributed along the Tehran-Qom highway corridor. Marls are predominantly classified into two categories: marine and continental; the marine type contains a higher proportion of calcium carbonate, whereas the continental type exhibits a greater clay mineral content. The characteristics of the marls and bricks produced were examined through XRF and XRD analyses, as well as sandstone petrography, following Pettijohn's classification scheme. Geochemical investigations indicate that the studied sandstones originated from intermediate to felsic igneous rocks formed within active continental margin tectonic settings. The principal non-clay minerals identified in the marls of this region mainly include quartz, calcite, and dolomite, while the clay minerals comprise montmorillonite, mixed-layer illite-muscovite clays, and chlorite. Atterberg limit tests on marl samples demonstrate that the studied marls possess plasticity limits and plasticity indices conducive to brick manufacturing. The iron oxide (hematite or magnetite) is responsible for the color and strength of the bricks. The water absorption of the manufactured bricks meets Iran's national standards for internal-use bricks, with suitable calcium oxide content and compressive strength. Overall, the marls from the studied area have potential for lightweight brick production, provided that appropriate measures are taken to improve the quality of raw materials.

**Keywords:** Marl, Upper Red Formation, Brick, XRD, XRF, Atterberg Limits

### Introduction

Marl deposits are materials similar to stone or soil, containing 35 to 65% calcium carbonate and some clay, which can be used in the production of cement, brick manufacturing, and agricultural purposes. The primary minerals forming marl deposits are clay minerals, including illite, montmorillonite, kaolinite, and chlorite. The dark color of marls is due to the presence of organic matter. Bricks are one of the oldest building materials. The history of brick production in Iran dates back to before the Achaemenid era, with examples such as the palaces of Susa, Ctesiphon, Taq-e Kiswa, the Azarbarzin Fire Temple, the Gonbad-e Kavus Tower, bridges, and caravanserais. During the Sassanian and Seljuk periods, the use of high-quality bricks in various structures and in Iranian architectural art flourished. Bricks have been a valuable

material in ancient and traditional buildings as well as modern architectural works, used in brick foundations, wall construction, thick and slender columns, pilasters, bases, arches, and covering various vaults, walls, and floors. They have been utilized in diverse structures such as mosques, husseiniyehs, schools, buildings, palaces, bridges, caravanserais, bazaars, water reservoirs, and residential houses.

Nomads used to dig what they called "ojagh chal" for cooking, which hardened the earth walls and floor due to the fire inside. Current trends in construction activities show that specialists are making significant efforts to minimize building weights, especially in cities where there is a shortage of space for high-rise construction. Using thermal insulation for residential and other buildings adds to this challenge. A possible solution for reducing building weight and optimizing thermal

insulation is the use of lightweight and insulating materials. Bricks, due to their properties, are important materials for the construction industry.

The role of bricks in modern and advanced construction is very prominent. Bricks are a major competitor to concrete blocks, occupying a significant portion of building volumes. Brick production is typically done using either machine-based or traditional methods. Suitable soil is the most critical quality factor in brick production, often sourced from clay, shale, and marl, which are widely available. Quartz and clay minerals are the main components of these materials, accompanied by other minerals and rock fragments. Along the Tehran-Qom highway, numerous outcrops of the Upper Red Formation are visible, containing significant deposits of marl and clay that have high potential for brick production. However, due to lack of qualitative studies and adequate investment, this potential remains untapped. This study investigates the lithology of the Upper Red Formation, which primarily consists of a sequence of marl, sandstone, conglomerate, and evaporites. Geochemical processes play a crucial role in soil production, and the chemical composition of each soil type directly affects the physical, chemical, and mechanical properties of the produced bricks. Given the calcium carbonate content in marl, it can exhibit significant economic value for brick production; thus, geochemical studies form the basis of all investigations regarding the quality of brick-making soil and produced bricks. Brick-making soil is composed of various minerals with different origins and proportions. Clay minerals are the primary components of brick-making soil, formed from the weathering or alteration of aluminum silicates, particularly feldspars. Each mineral exhibits different reactions during the firing process. All predictions of the properties of the produced bricks, such as color, porosity, and strength, and the identification of harmful components in brick production and the design of firing conditions, are made through mineralogical studies. It is worth noting that there have been limited studies on utilizing the mineral potential of the Upper Red Formation for brick production. Therefore, the objective of this research is to investigate the mineralogical and geochemical characteristics of marls in the Upper Red Formation along the

Tehran-Qom highway for use in the brick industry, with the analysis results indicating that these marls are suitable for brick production.

### Materials & Methods

In this study, marl samples were collected based on variations in sedimentological and lithological sequences, as well as changes in color and texture. The aim was to investigate the mineralogical relationship between the marls and the associated sandstone source, analyze the depositional basin conditions, and assess the potential of the studied region for producing marl- and clay-based bricks. Petrographic studies of sandstones were conducted at both macroscopic and microscopic scales. The analyses included X-ray diffraction (XRD), X-ray fluorescence (XRF), and technical tests on brick properties. These tests evaluated Atterberg limits, firing shrinkage, total shrinkage, water absorption, bulk density, and compressive strength of marl-based bricks. The results were used to classify brick samples based on their suitability for various construction applications. The methodology can be summarized as follows: Sampling: Marl samples were collected according to sedimentological and lithological sequence variations. Macroscopic and Microscopic Studies: Petrographic analyses were performed to understand the texture and mineralogical composition of marls and sandstones.

### Discussion and Results

Generally, in common brick production, clay with iron oxide is favored because iron oxide functions as melting addition agent so vitrification occurs in lower temperature and the color of brick varies between yellow to red. Principally all clays containing iron with high plasticity, high tension and low shrinkage property can be used for production of building materials. Petrographic studies were done in microscopic and macroscopic scales to find out the mineralogical relationship with the provenance of sandstones and analyzing sedimentary basin conditions and finally finding the potentially suitable area for producing marly and clayey bricks. petrographic study of sandstones and modal analysis were carried out to determine the provenance. In point counting those parts of feldspars which undergone replacement with

sericite or calcite were counted as feldspar grains. The cements, which are diagenetic products, were omitted. The results of XRD and XRF besides the tests determining technical characteristics of the bricks such as determining Atterberg limits of the marl samples and physical and mechanical tests for calculating shrinkage upon baking, total shrinkage, water absorption, total density and pressure strength of produced marly bricks were used to categorize according to their application in the buildings. Chemical Analyses: XRD and XRF techniques were employed to determine the chemical composition of the samples. Physical and Mechanical Testing: Tests were conducted to evaluate the technical properties of marl-based bricks, including: Atterberg limits, Firing shrinkage, Total shrinkage, Water absorption, Bulk density and compressive strength.

### Conclusions

The Upper Red Formation, a widespread sedimentary sequence in the Central Iranian Zone, consists of evaporites, sandstones, shales, and marls. This study focuses on evaluating the marl units of the Upper Red Formation as raw materials for brick production. Field observations and petrographic analyses indicate that the depositional environment of the Upper Red Formation was fluvial with floodplains, characterized by lateral changes and shifts. The marls from this formation were analyzed using XRF, XRD, and petrography of sandstones and produced bricks. The primary minerals in these marls include quartz, calcite, and dolomite, with average amounts of clay minerals such as montmorillonite, mixed-layer muscovite-illite, chlorite, and non-clay minerals like quartz, calcite, albite, orthoclase, clinoptilolite, hematite, and gypsum. Petrographic analysis suggests that the origin of the clay minerals can be attributed to weathering processes.

The color of the produced bricks is light or yellow due to the high content of CaO (calcite and dolomite). Geochemical analyses of major elements were used to determine the provenance of the studied formation. Despite similar depositional environments, significant variations were observed in the results, indicating that the marls are suitable for brick production. Overall, the marls can be used as high-quality raw materials for producing marl-based bricks without extensive processing,

making them economically viable for large-scale production. Additionally, the findings suggest that parts of this zone are suitable for producing clay bricks, further expanding the potential uses of the marls in the brick industry. Despite high weight loss due to heating, mineralogical and geochemical characteristics of marls and physical and mechanical properties of bricks show that using URF marls in the study area can be used as the raw material for producing high quality and economical marly and clayey bricks.