

مطالعه خصوصیات ژئوتکنیکی ماسه‌سنگ‌های سازند قم و استفاده از آن‌ها به عنوان منابع قرضه (مطالعه موردی: روستای لتگاه، شمال همدان)

محمدحسین قبادی^۱، مهرداد امیری^{۲*} و محمدرضا رسولی‌فرح^۳

۱، ۲ و ۳- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان

نویسنده مسئول: *a.mehrdad1372@yahoo.com

نوع مقاله: مطالعه موردی

پذیرش: ۹۹/۶/۲۷

دریافت: ۹۹/۱/۲۵

چکیده

رخنمون‌های ماسه‌سنگی سازند قم در بخش زیادی از شمال شهر همدان گسترش دارند. در این پژوهش، به منظور شناخت خصوصیات و رفتار مهندسی این سنگ‌ها، ۱۵ بلوک از ماسه‌سنگ‌های لتگاه در شمال همدان انتخاب شدند. خصوصیات سنگ‌شناسی، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی این دسته از ماسه‌سنگ‌ها تعیین شده است. نمونه‌ها تحت آزمایش‌های سختی و اجهشی اشمیت، دوام وارفنگی، شاخص بارنقطه‌ای، مقاومت فشاری تک‌محوری، مقاومت کشش برزیلی، سرعت موج و درصد سایش سنگدانه (لس‌آنجلس) قرار گرفته‌اند. نتایج این تحقیق نشان داد که تفاوت در خصوصیات سنگ‌شناسی و فیزیکی ماسه‌سنگ‌ها منجر به تغییر در خصوصیات مکانیکی آن‌ها شده است. به منظور بررسی ارتباط بین خصوصیات فیزیکی و مکانیکی ماسه‌سنگ‌ها، آنالیز رگرسیون انجام شده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، سنگ‌های مذکور برای استفاده به‌عنوان سنگ مالون و سنگ ساختمانی مناسب می‌باشند. نتایج نشان داد که بیش‌ترین انطباق بین نتایج آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوری (UCS) با سرعت موج طولی در حالت خشک و اشباع است که میزان ضریب تعیین (r^2) به ترتیب برابر ۰/۹۳ و ۰/۹۱ است.

واژه‌های کلیدی: سازند قم، خصوصیات فیزیکی و مکانیکی، ماسه‌سنگ، منابع قرضه، همدان

پیشگفتار

ماسه‌سنگ یکی از فراوان‌ترین سنگ‌های رسوبی است که حدود ۲۵ درصد از سنگ‌های رسوبی را شامل می‌شود (بوگس، ۲۰۰۹). این سنگ‌ها با سازه‌های عمرانی، فعالیت معدنکاری و عملیات استخراج نفت در سراسر جهان درگیر می‌باشند (یاشار و همکاران، ۲۰۱۰). ماسه‌سنگ‌ها به دلیل تنوع در ترکیب سنگ‌شناسی، بافت، نوع و مقدار سیمان، از خصوصیات فیزیکی و مکانیکی بسیار متغیری برخوردار هستند (اولسی و همکاران، ۱۹۹۴). میزان تخلخل، مقدار و نوع سیمان و نیز ترکیب و بافت ذرات تشکیل‌دهنده مقاومت این سنگ‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند. به طوری که ماسه‌سنگ‌های با سیمان‌شدگی بیش‌تر و تخلخل کمتر مقاومت بالاتری دارند. به همین دلیل آگاهی از خصوصیات مقاومتی و تغییر شکل‌پذیری آن‌ها به احداث سازه‌های عمرانی و پیش‌بینی رفتار مهندسی این سنگ‌ها کمک خواهد نمود. تعیین چنین خصوصیات مکانیکی در ماسه‌سنگ‌ها مستلزم آماده‌سازی نمونه‌های استاندارد و متعدد و نیز استفاده از تجهیزات

آزمایشگاهی گران‌قیمت است. تاکنون پژوهشگران مختلف تلاش کردند تا خصوصیات مقاومتی و تغییر شکل‌پذیری ماسه‌سنگ‌ها را با استفاده از آزمایش‌های ساده و کم‌هزینه تعیین نمایند.

کارگیل و شکور در سال ۲۰۰۴ با استفاده از آنالیزهای رگرسیونی مقاومت فشاری تک‌محوری ۸ نمونه ماسه‌سنگ از نقاط مختلف آمریکا را با استفاده از دانسیته خشک، شاخص بارنقطه‌ای، چکش‌اشمیت و آزمایش لس‌آنجلس تخمین زدند. آن‌ها نشان دادند که مقاومت فشاری تک‌محوری ماسه‌سنگ‌های مورد آزمایش با افزایش دانسیته خشک، شاخص بارنقطه‌ای و عدد سختی اشمیت افزایش یافته اما با افزایش درصد افت وزنی در سایش لس‌آنجلس کاهش می‌یابد. گوک اوغلو و زورلو در سال ۲۰۰۴ با استفاده از مدل‌های فازی و رگرسیونی به مطالعه ارتباط مقاومت فشاری تک‌محوری و مدول یانگ با شاخص پانچ بلوکی، شاخص بارنقطه‌ای و مقاومت کششی گری‌وک‌های آنکارا پرداخته و روابطی را پیشنهاد کردند. هم‌چنین، در سال ۲۰۱۲ خصوصیات بافتی،

جغرافیای ۴۸ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۵ دقیقه شرقی و به عرض ۳۴ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۵۸ دقیقه قرار دارد. از لحاظ اقلیمی شهر همدان، دارای اقلیمی سرد و نیمه‌خشک بوده و دارای چهار فصل کامل است. آب و هوای استان، تحت تأثیر عرض جغرافیایی، ارتفاع، مکان، امتداد کوه‌ها و فاصله از دریاست. به‌طور کلی آب و هوای استان در نتیجه وجود کوه‌های مرتفع، رودخانه‌ها، پستی و بلندی‌های زیاد، به‌شدت متغیر است. زمستان‌های این استان سرد، پر برف و باران و در تابستان‌ها دما معتدل است. توده‌های هوایی که استان را تحت تأثیر قرار می‌دهند: ۱- توده‌های غربی: این توده‌های هوا در ماه‌های مرطوب سال یعنی از آبان تا خرداد، از غرب، جنوب‌غرب و شمال‌غرب وارد کشور شده و موجب کاهش نسبی دما در سطح استان و بارندگی در استان می‌شود. ۲- توده‌های شمالی: این توده هوا در ماه‌های سرد سال از عرض‌های شمالی وارد استان می‌شوند و باعث کاهش دما و بارندگی به‌صورت برف در استان می‌شوند. ۳- توده‌های جنوبی: این توده هوا در ماه‌های گرم سال از عرض‌های جنوبی وارد استان شده و موجب افزایش دما و کاهش یا قطع بارندگی می‌شوند (آقانیاتی، ۱۳۸۳). در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.

زمین‌شناسی منطقه

همدان یکی از استان‌های غربی ایران است که اشکال مورفولوژیک و جایگاه زمین‌شناسی ویژه دارد. از نگاه ژئومورفولوژی تغییرات اشکال فیزیوگرافیک استان از قله بلند الوند (۳۵۸۰ متر) تا نواحی دشت‌گونه و کم ارتفاع دشت رزن متغیر است. از نظر ساختاری، استان همدان در فصل مشترک چند قلمروی ساختاری متفاوت قرار گرفته است که شامل زاگرس مرتفع، زون سنندج-سیرجان و ایران مرکزی است. منطقه مورد مطالعه از نظر تقسیمات ساختاری و چینه‌شناسی در زون سنندج-سیرجان واقع شده است. زون سنندج - سیرجان استان همدان عمدتاً متشکل از سنگ‌های دگرگونی به دو سن پالئوزوئیک تا اوایل مزوزوئیک و مزوزوئیک تا اوایل سنوزوئیک هستند. اگرچه پدیده دگرگونی حاصل تکتونیک برخوردی و مسائل فرورانش دانسته شده ولی به نظر می‌رسد که عامل دگرگون شدن سنگ‌ها بیش‌تر

پترولوژیکی و مکانیکی ماسه‌سنگ‌های کوارتزیتی هیمالیا مورد مطالعه قرار گرفت که با استفاده از آنالیزهای رگرسیون ارتباط بین این ویژگی‌ها تعیین گردید (گوپتا و شارما، ۲۰۱۲). هم‌چنین در سال ۱۳۹۲ قبادی و همکاران به بررسی تأثیر تعداد و زمان چرخه‌های تر و خشک‌شدگی بر روی رفتارپذیری ماسه‌سنگ‌های سازند آغاچاری در جنوب استان خوزستان پرداخته‌اند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که دوام‌پذیری ماسه‌سنگ‌های سازند آغاچاری با خصوصیات فیزیکی و سنگ‌شناسی آن‌ها در ارتباط است. به‌طوریکه نمونه‌هایی که از سیمان‌شدگی بیش‌تر و تخلخل کمتر برخوردار هستند، شاخص دوام وارفنگی بزرگ‌تر دارند. هم‌چنین، با افزایش تعداد سیکل‌های تر و خشک‌شدگی شاخص دوام‌وارفنگی در نمونه‌ها ماسه‌سنگی ضعیف به شدت کاهش می‌یابد. محمدی و همکاران (۱۳۹۵) به خصوصیات ژئوتکنیکی ماسه‌سنگ‌های سازند آغاچاری در شرق و شمال‌شرق استان خوزستان پرداختند. طبق این تحقیق پارامترهای فیزیکی به‌طور قابل‌توجهی ویژگی‌های مهندسی ماسه‌سنگ‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند. در پژوهش عبدی و قاسمی (۱۳۹۸) به پیش‌بینی مقاومت فشاری تک‌محوری و مدول الاستیک ماسه‌سنگ‌ها با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و آنالیز رگرسیون چندمتغیره پرداختند. هم‌چنین در جدیدترین پژوهش عبدی در سال ۱۳۹۹ به کاربرد آنالیز رگرسیون چندمتغیره برای پیش‌بینی مقاومت فشاری تک‌محوری و مدول الاستیسیته ماسه‌سنگ‌ها با استفاده از خصوصیات پتروگرافی پرداخته است. با این وجود، این روابط محدود به چند شاخص برای انواع محدودی از ماسه‌سنگ‌ها می‌باشند. در جدول ۱، چندین رابطه برای ماسه‌سنگ‌های مناطق دیگر ارائه شده است. از این‌رو، استفاده از چنین روابط تجربی به‌منظور پیش‌بینی خصوصیات مکانیکی ماسه‌سنگ‌های نقاط دیگر از دقت لازم برخوردار نخواهد بود. در چنین شرایطی تعیین روابط تجربی بین خصوصیات ژئوتکنیکی ماسه‌سنگ‌های هر منطقه ضرورت دارد.

موقعیت جغرافیایی و اقلیم منطقه

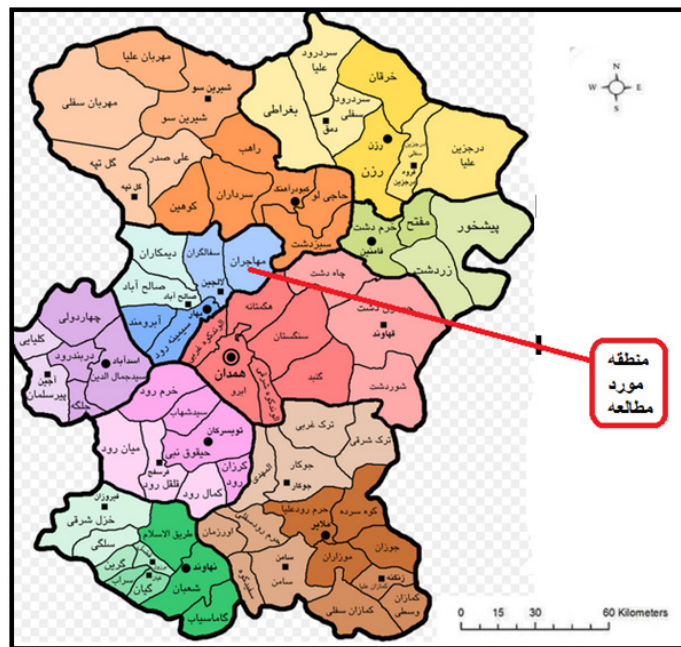
منطقه مورد مطالعه در ۱۴ کیلومتری شمال شهر همدان، بخش لالجین، دهستان مهاجران، روستای لتگاه به طول

جدید به قدیم شامل: الف) رسوبات آبرفتی عهد حاضر (ب) سنگ‌آهک قهوه‌ای تا کرم‌رنگ به سن الیگومیوسن (ج) ماسه‌سنگ متوسط دانه کرم‌رنگ به سن الیگومیوسن (د) ماسه‌سنگ متوسط دانه، ماسه‌سنگ دولومیتی و کنگلومرا و میکرو کنگلومرای قهوه‌ای رنگ به سن کرتاسه می‌باشد (آقائباتی، ۱۳۸۳). در شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه آورده شده است.

توده‌های نفوذی گرم‌اند که ضمن جایگیری به درون سنگ‌های رسوبی و ایجاد دگرشکلی، برای دگرگونی ناحیه‌ای و مجاورتی حرارت لازم را تأمین کرده است (آقائباتی، ۱۳۸۳). برای مثال می‌توان به توده‌ها نفوذی بازیک ژوراسیک و پلوتون‌های اسیدی کرتاسه (گرانیت الوند) اشاره کرد که در سنگ‌های ژوراسیک و کرتاسه پیرامون شهرستان همدان تزریق شده است. منطقه مورد مطالعه به لحاظ واحدهای لیتولوژی به ترتیب سن از

جدول ۱. تعدادی از مطالعات اخیر برای تخمین مقاومت فشاری و مقاومت کششی

رابطه	ضریب همبستگی	مرجع	جنس سنگ
$UCS = 20.71 IS_{50} + 29.6$	-	(دیر و میلر، ۱۹۶۶)	ماسه‌سنگ
$UCS = 16 IS_{50}$	-	(رپید و همکاران، ۱۹۸۰)	رسوبی
$UCS = 23 IS_{50} + 13$	-	(کارگیل و شکور، ۱۹۹۰)	ماسه‌سنگ
$UCS = 28 IS_{50}$	0.72	(ساباتاکیس و همکاران، ۲۰۰۹)	ماسه‌سنگ
$UCS = 13.276Vp + 19.66\gamma d + 4.297Ab + 4.35ID2 - 3.654n - 431.65$	0.72	(عبدی و قاسمی، ۱۳۹۸)	ماسه‌سنگ



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

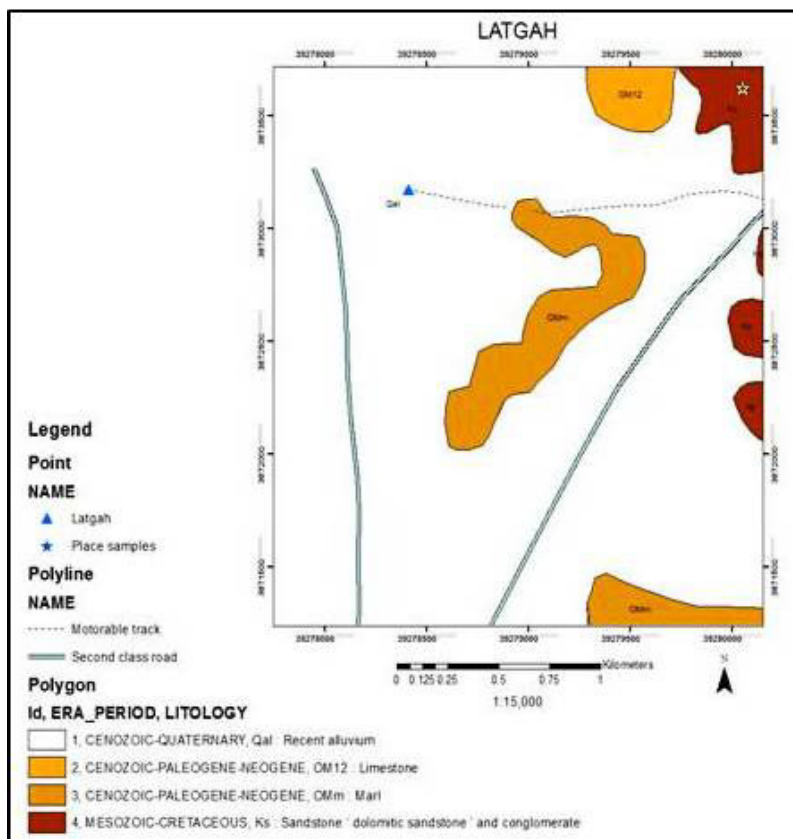
قطر ۵۴ میلی‌متر تهیه و آزمایش‌های فیزیکی و مکانیکی مطابق با دستورالعمل (ASTM, 2001) و (ISRM, 2007) در راستای این پژوهش، پس از نمونه‌برداری از منطقه مورد مطالعه و تهیه مغزه، ویژگی‌های سنگ‌شناسی نمونه‌ها با استفاده از تهیه

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی ماسه‌سنگ‌های منطقه لنگاه، تعداد ۱۵ بلوک مناسب انتخاب و به آزمایشگاه انتقال داده شده‌اند. بر این اساس از نمونه‌های سنگی جمع‌آوری شده، مغزه استوانه‌ای به

ماسه‌سنگ‌ها به‌عنوان سنگ ساختمانی یا استفاده به‌عنوان منابع قرضه مورد بررسی قرار گرفته است.

برش‌نازک و مطالعه با میکروسکوپ پلاریزان تعیین شده است. همچنین، خصوصیات فیزیکی و مکانیکی ماسه‌سنگ‌ها تعیین گردید و مناسب بودن این



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه (اقتباس از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ همدان)

تشکیل‌دهنده ماسه‌سنگ‌ها نیمه‌گرد شده بوده و از جورشدگی متوسط تا بد برخوردار هستند. تماس بین دانه‌ها از نوع خطی و نقطه‌ای است.

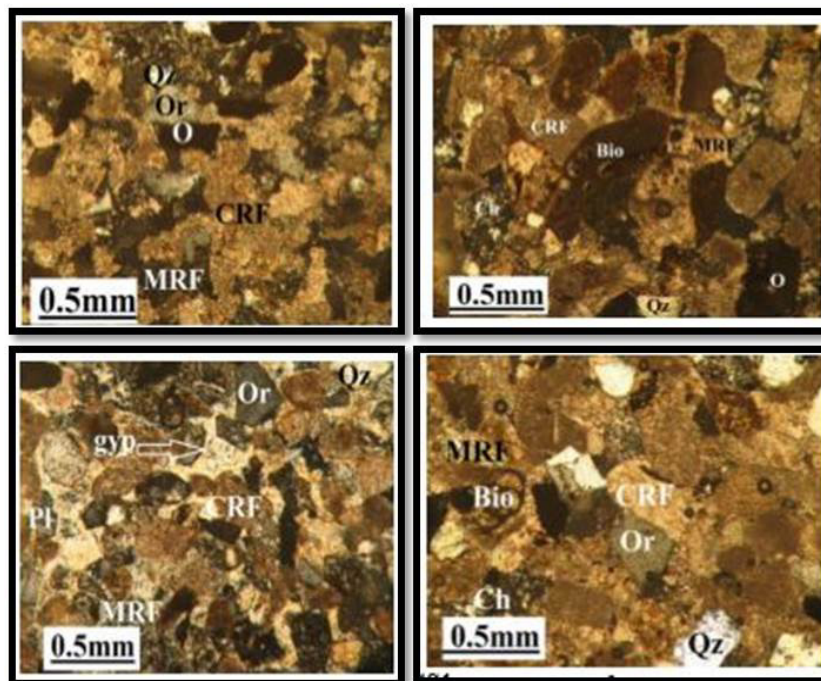
بحث

خصوصیات فیزیکی

اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی نمونه‌های ماسه‌سنگ لنگه مطابق استانداردهای انجمن بین‌المللی مکانیک سنگ (ISRM, 2007) انجام شده است. این ویژگی‌ها شامل وزن واحد حجم (γ)، درصد جذب آب، درصد تخلخل (n) و وزن مخصوص قسمت جامد (G_s) است. در جدول ۲ توصیف خصوصیات فیزیکی و در جدول ۳ نتایج خصوصیات فیزیکی آورده شده است.

سنگ‌شناسی

ترکیب کانی‌شناسی و خصوصیات بافتی ماسه‌سنگ‌ها با استفاده از برش‌نازک مطالعه گردید. بررسی برش‌های نازک نشان داد که این ماسه‌سنگ‌ها از خرده‌سنگ‌های کربناته، کوارتز، چرت، خرده‌سنگ‌های شیبستی، اکسید آهن و فلدسپات تشکیل شده‌اند. ماسه‌سنگ‌های مذکور بر اساس طبقه‌بندی فولک (۱۹۷۴) کالکلیت‌آرنایت هستند. در تمام نمونه‌های مورد مطالعه متوسط اندازه ذرات کربناته بین ۰/۲ تا ۰/۵ میلی‌متر است. کوارتز در این سنگ‌ها به صورت تک‌بلوری و چندبلوری قابل مشاهده است. نوع سیمان غالب در این سنگ‌ها کلسیتی بوده که به‌صورت موضعی ذرات کانی را به هم متصل کرده‌اند ولی سیمان ژپسی هم دیده شد. دانه‌های



شکل ۳. تصاویر میکروسکوپی: ماسه‌سنگ‌های سازند قم (لتگاه همدان) *Bio*: بایوکلاست، *F*: دانه دگرگونی و شیل، *Ch*: چرت، *Q*: کوارتز، *Q-Pl*: کوارتز چند بلوری، *Or*: ارتوز، *C*: دانه کربناته، *Pl*: پلاژیوکلاز، *Z*: زیرکون، *gy*: سیمان ژپسی، *O*: اکسید آهن.

جدول ۲. طبقه‌بندی سنگ براساس درصد تخلخل، نسبت پوکی و وزن واحد حجم (آنون، ۱۹۷۹)

گروه	وزن واحد حجم (gr/cm^3)	نسبت پوکی	تخلخل (%)	توصیف
۱	$> 2/75$	$> 0/43$	> 30	خیلی بالا
۲	$2/55 - 2/75$	$0/18 - 0/43$	۱۵-۳۰	بالا
۳	$2/20 - 2/55$	$0/05 - 0/18$	۵-۱۵	متوسط
۴	$1/80 - 2/20$	$0/01 - 0/05$	۱-۵	پایین
۵	$< 1/8$	$< 0/01$	< 1	خیلی پایین

بالای این مصالح (ماسه‌سنگ لتگاه) نشان‌دهنده استحکام بالای ذرات و تخلخل نسبتاً پایین آن‌ها است که بر اساس طبقه‌بندی آنون (جدول ۲) نیز تأیید می‌گردد. بیش‌ترین مقدار دانسیته خشک این سنگ‌ها ۲/۵۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب و کمترین مقدار آن ۲/۴۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب است. از نظر تخلخل نیز این سنگ‌ها از ۵/۱۷ درصد تا ۵/۶۲ درصد را نشان می‌دهند. درصد جذب آب نیز به‌عنوان فاکتوری مهم در تعیین کیفیت سنگ‌های ساختمانی و منابع قرضه از محدوده ۰/۳۲ درصد تا ۰/۳۶ درصد تغییر می‌کند. در جدول ۴ حدود قابل پذیرش برای سنگدانه‌های مورد مصرف به‌عنوان منابع قرضه آورده شده است.

وزن مخصوص پایین اغلب نمایانگر مصالح متخلخل، ضعیف و جاذب رطوبت است. هم‌چنین مصالح دارای درصد جذب آب بالا، به‌طور مداوم در فصول مختلف سال تر و خشک شده و انبساط و انقباض پی‌درپی آن‌ها در اثر این فرآیند باعث متلاشی شدن آن‌ها می‌شود. افزایش وزن مخصوص معمولاً افزایش کیفیت سنگ را به همراه دارد. اما نمی‌توان از آن به‌عنوان شاخصی برای رد یا قبول کیفیت سنگ استفاده کرد و باید آزمون‌های مکانیک سنگی را نیز مدنظر قرار داد. در بحث منابع قرضه و تهیه شن و ماسه از این منابع (ماسه‌سنگ‌های لتگاه دارای درصد بالایی سیلیس بوده و برای تهیه شن و ماسه مناسب نیستند)، شن مصرفی نباید وزن مخصوص کمتر از ۱/۶ داشته باشد (جدول ۴). لذا وزن مخصوص نسبتاً

جدول ۳. نتایج آزمون تعیین خصوصیات فیزیکی نمونه‌های ماسه‌سنگ منطقه مورد مطالعه

نمونه	(n%)	درصد جذب آب	$\gamma_d(\text{gr/cm}^3)$	$\gamma_t(\text{gr/cm}^3)$	$\gamma_{sat}(\text{gr/cm}^3)$	(Gs)
۱	۵/۲۱	۰/۳۳	۲/۴۹	۲/۵۰	۲/۵۲	۲/۶۲
۲	۵/۲۰	۰/۳۴	۲/۵۱	۲/۵۳	۲/۵۴	۲/۶۳
۳	۵/۶۲	۰/۳۳	۲/۴۹	۲/۵۰	۲/۵۱	۲/۶۵
۴	۵/۲۵	۰/۳۵	۲/۵۱	۲/۵۳	۲/۵۵	۲/۶۶
۵	۵/۱۹	۰/۳۶	۲/۵۰	۲/۵۱	۲/۵۳	۲/۶۲
۶	۵/۱۷	۰/۳۵	۲/۴۷	۲/۴۹	۲/۵۰	۲/۶۴
۷	۵/۲۱	۰/۳۴	۲/۴۹	۲/۵۰	۲/۵۲	۲/۶۰
۸	۵/۲۰	۰/۳۳	۲/۴۷	۲/۴۹	۲/۵۱	۲/۶۳
۹	۵/۲۲	۰/۳۲	۲/۴۹	۲/۵۰	۲/۵۱	۲/۶۰
۱۰	۵/۱۹	۰/۳۴	۲/۵۰	۲/۵۱	۲/۵۱	۲/۶۱
۱۱	۵/۱۹	۰/۳۶	۲/۵۰	۲/۵۱	۲/۵۳	۲/۶۲
۱۲	۵/۲۰	۰/۳۴	۲/۵۱	۲/۵۳	۲/۵۴	۲/۶۳
۱۳	۵/۱۷	۰/۳۵	۲/۴۷	۲/۴۹	۲/۵۰	۲/۶۴
۱۴	۵/۲۲	۰/۳۲	۲/۴۹	۲/۵۰	۲/۵۱	۲/۶۰
۱۵	۵/۱۹	۰/۳۴	۲/۵۰	۲/۵۱	۲/۵۱	۲/۶۱
حداکثر	۵/۶۲	-/۳۶	۲/۵۱	۲/۵۳	۲/۵۵	۲/۶۶
حداقل	۵/۱۷	۰/۳۲	۲/۴۷	۲/۴۹	۲/۵۰	۲/۶۰
میانگین	۵/۲۱	۰/۳۴	۲/۴۹	۲/۵۰	۲/۵۲	۲/۶۲

جدول ۴. حدود قابل پذیرش برای سنگدانه‌های مورد مصرف در بتن استاندارد ملی ایران (استاندارد ملی بتن ۶۴۴۰، ۱۳۹۴)

حدود استاندارد (بتن آماده)	شرح آزمایش
۵۰	درصد سایش سنگدانه (لس آنجلس)
۳۰	درصد دانه‌های پولکی (حداکثر)
۳۵ - ۴۵	درصد دانه‌های سوزنی (حداکثر)
۱۰	مقاومت در مقابل سایش سولفات (سنگدانه ریز)
۱۲	مقاومت در مقابل سایش سولفات (سنگدانه درشت)
۱/۶ - ۳/۲	دانسیته خشک (بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب)
۲	درصد جذب آب سنگدانه درشت
۵۲	حداقل مقاومت فشاری (مگا پاسگال)
۳	درصد جذب آب سنگدانه ریز

دوام وارفنگی

دوام وارفنگی ($Id(\%)$) معرف میزان مقاومت سنگ در برابر هوازدگی است که از طریق آزمایش دوام وارفنگی با قرار دادن کلوخه‌های سنگی در آب طی دو چرخه اندازه‌گیری می‌شود (فهیمی‌فر و سروش، ۱۳۸۰). گمبل (۱۹۷۱)، سنگ‌ها را براساس شاخص دوام دو مرحله‌ای و فرانکلین و چاندر (۱۹۷۲)، سنگ‌ها را براساس شاخص دوام اولین مرحله طبقه‌بندی کرده‌اند. در این تحقیق،

به‌منظور ارزیابی اثر افزایش تعداد چرخه‌های تر و خشک‌شدگی بر روی دوام ماسه‌سنگ‌های لنگاه و پیش‌بینی رفتار دراز مدت آن‌ها در طی فرآیند هوازدگی، مشابه سنگ‌های با مقاومت بالا که محققان دیگر (قبادی و رسولی ۱۳۹۱؛ قبادی و همکاران، ۱۳۹۲) انجام داده‌اند. این آزمون نیز در ۱۵ چرخه انجام شده است. نتایج آزمایش دوام وارفنگی برای ماسه‌سنگ‌های لنگاه در جدول ۵ آمده است

جدول ۵. نتایج آزمایش دوام وارفتگی در ۱۵ چرخه بر روی ماسه‌سنگ‌های مورد آزمایش

تعداد چرخه	نمونه	Id(%)
۱	ماسه‌سنگ	۹۹/۰۹
۲	ماسه‌سنگ	۹۸/۶۵
۳	ماسه‌سنگ	۹۷/۴۴
۴	ماسه‌سنگ	۹۶/۰۵
۵	ماسه‌سنگ	۹۵/۷۰
۶	ماسه‌سنگ	۹۴/۸۶
۷	ماسه‌سنگ	۹۳/۴۵
۸	ماسه‌سنگ	۹۲/۲۶
۹	ماسه‌سنگ	۹۱/۵۰
۱۰	ماسه‌سنگ	۹۰/۸۲
۱۱	ماسه‌سنگ	۸۹/۷۶
۱۲	ماسه‌سنگ	۸۸/۹۶
۱۳	ماسه‌سنگ	۸۸/۱۰
۱۴	ماسه‌سنگ	۸۷/۵۰
۱۵	ماسه‌سنگ	۸۷/۵۰
حداکثر	ماسه‌سنگ	۹۹/۰۹
حداقل	ماسه‌سنگ	۸۷/۵۰
میانگین	ماسه‌سنگ	۹۲/۷۷

آزمایش لس آنجلس

این آزمایش برای تعیین مقاومت مصالح سنگی در مقابل سایش همراه با ضربه به کار می‌رود. در این روش مقدار افت وزنی بر اثر ضربه و سایش در دستگاه لس آنجلس پس از تعداد مشخصی دوران به دست می‌آید (فهیمی فر و سروش، ۱۳۸۰). انجام این آزمایش بر روی مصالح سنگی مورد استفاده به عنوان منابع قرضه ضروری می‌باشد (جدول ۷). درصد سایش بزرگ‌تر معرف کیفیت پایین سنگدانه‌ها جهت استفاده در سازه‌های عمرانی خواهد بود.

(۱۳۸۰). به علاوه زون‌های هوازدگی و دگرسانی، صفحات لایه‌بندی و خصوصیات درزه‌ها (زبری، پرشدگی توسط آب، مواد پرکننده، شیب و امتداد) تأثیر مهمی بر روی سرعت لرزه‌ای دارد. برای محاسبه مقدار V_s از رابطه (۱) استفاده شده است (فهیمی فر و سروش، ۱۳۸۰). در جدول ۶ توصیف سرعت موج و جدول ۷ نتایج آزمایش سرعت موج در حالت خشک و در حالت اشباع آورده شده است.

$$V_S = 0.4V_p + 0.69I \quad (1)$$

خصوصیات مکانیکی

خصوصیات مکانیکی سنگ‌ها نیز مطابق استاندارد (2007) (I_{SS0}) تعیین شده است. شاخص بارنقطه‌ای (I_{SS0}) ، مقاومت فشاری تک‌محوری (UCS) ، مدول الاستیسیته $(Elastic modulus)$ و مقاومت کششی برزلی (BTS) ماسه‌سنگ‌های لنگه اندازه‌گیری شدند. آزمایش شاخص بارنقطه‌ای و مقاومت فشاری تک‌محوری روی نمونه‌های استوانه‌ای در حالت خشک و اشباع انجام شده است بر اساس رده‌بندی ارائه‌شده توسط دیر و میلر (۱۹۶۶) بر طبق جدول ۸ می‌توانیم سنگ‌ها را بر اساس مقاومت فشاری تک‌محوری در پنج گروه و بر اساس نسبت مدولی به سه گروه طبقه‌بندی می‌نمایند.

سرعت سیر موج

به‌منظور اندازه‌گیری سرعت موج P در ماسه‌سنگ‌ها از دستگاه سرعت صوت و مغزه‌های سنگی با قطر NX استفاده می‌شود (فهیمی فر و سروش، ۱۳۸۰). آزمایش سرعت موج یکی از آزمایش‌های غیرمخرب و آسانی است، که هم در محل و هم در آزمایشگاه می‌تواند انجام شود و به‌صورت روزافزون برای تعیین خصوصیات دینامیکی سنگ مورد استفاده قرار می‌گیرد. عوامل زیادی چون نوع سنگ، بافت، دانسیته، تخلخل، درصد رطوبت، فشار محصور کننده و دما بر سرعت انتشار امواج صوتی و ثابت مدول الاستیسیته دینامیکی موثرند (فهیمی فر و سروش،

جدول ۶. طبقه‌بندی سنگ (بکر یا توده سنگ) بر اساس سرعت موج (آنون ۱۹۷۹)

توصیف	سرعت صوت (Km/S)
خیلی پایین	< ۲/۵
پایین	۲/۵-۳/۵
متوسط	۳/۵-۴
بالا	۴-۵
خیلی بالا	>۵

جدول ۷. نتایج آزمایش سرعت موج و درصد سایش ماسه‌سنگ‌های لتگاه در حالت خشک و اشباع

شماره نمونه	$V_{s sat}(Km/S)$	$V_{P sat}(Km/S)$	$V_{s dry}(Km/S)$	$V_{P dry}(Km/S)$	درصد سایش سنگدانه (لس آنجلس)
۱	۳/۰۸۵	۴/۶۲۰	۳/۰۲۱	۴/۵۴۶	۲۰/۴۸
۲	۳/۰۹۰	۴/۶۲۸	۳/۰۳۷	۴/۵۴۷	۳۰/۲۸
۳	۳/۰۸۰	۴/۶۴۵	۳/۰۲۶	۴/۵۴۵	۳۱/۸۵
۴	۳/۰۹۲	۴/۶۴۰	۳/۰۳۰	۴/۵۴۰	۲۸/۷۱
۵	۳/۰۹۷	۴/۶۲۸	۳/۰۲۹	۴/۵۴۸	۳۰/۵۸
۶	۳/۱۰۰	۴/۶۲۰	۳/۰۳۵	۴/۵۴۴	۲۵/۲۵
۷	۳/۰۸۵	۴/۶۲۵	۳/۰۲۰	۴/۵۴۵	۳۲/۲۲
۸	۳/۱۰۴	۴/۶۵۰	۳/۰۲۵	۴/۵۴۰	۲۳/۸۱
۹	۳/۰۹۸	۴/۶۵۰	۳/۰۲۹	۴/۵۴۸	۳۰/۵۸
۱۰	۳/۰۹۵	۴/۶۴۵	۳/۰۳۰	۴/۵۴۶	۲۰/۴۸
۱۱	۳/۰۹۸	۴/۶۵۰	۳/۰۲۹	۴/۵۴۸	۳۱/۸۵
۱۲	۳/۰۹۸	۴/۶۵۰	۳/۰۲۵	۴/۵۴۰	۲۴/۲۵
۱۳	۳/۰۹۰	۴/۶۲۸	۳/۰۳۷	۴/۵۴۷	۳۱/۸۵
۱۴	۳/۰۸۰	۴/۶۴۵	۳/۰۲۶	۴/۵۴۵	۲۸/۷۱
۱۵	۳/۰۸۵	۴/۶۲۵	۳/۰۲۰	۴/۵۴۵	۳۳/۳۵
حداکثر	۳/۱۰۴	۴/۶۵۰	۳/۰۳۷	۴/۵۴۸	۳۸/۷۱
حداقل	۳/۰۸۰	۴/۶۲۵	۳/۰۲۰	۴/۵۴۰	۲۰/۴۸
میانگین	۳/۰۹۲	۴/۶۲۸	۳/۰۲۹	۴/۵۴۵	۲۹/۵۹

جدول ۸. رده‌بندی سنگ بکر بر اساس مقاومت فشاری تک‌محوری و نسبت مدولی (دیر و میلر، ۱۹۶۶)

نسبت مدولی		مقاومت فشاری تک‌محوری					
نسبت مدولی	وضعیت نسبت مدولی	رده	$\sigma_c(MPa)$	$\sigma_c(psi)$	$\sigma_c(Km/s^2)$	شرح مقاومت	رده
>۵۰۰	بالا	H	>۲۲۱	>۳۲۰۰	>۲۲۵۰	خیلی بالا	A
			۲۲۱-۱۱۰	۳۲۰۰-۱۶۰۰	۲۲۵۰-۱۱۲۵	بالا	B
۵۰۰-۲۰۰	متوسط	M	۱۱۰-۵۵	۱۶۰۰-۸۰۰	۱۱۲۵-۵۶۲	متوسط	C
			۵۵-۲۸	۸۰۰-۴۰۰	۵۶۲-۲۸۱	پایین	D
<۲۰۰	پایین	L	<۲۸	<۴۰۰	<۲۸۱	خیلی پایین	E

این منظور از چکش‌اشمیت استفاده می‌شود. آزمون سختی‌اشمیت یک آزمون ارزان، سریع، غیرتخریبی و قابل اجرا در صحرا و آزمایشگاه است (فهیمی‌فر و سروش،

تعیین سختی واجهشی اشمیت (SHV) یکی از مفاهیم رایجی سختی واجهشی اشمیت (SHV) یکی از مفاهیم رایجی است که برای توصیف مقاومت سنگ به کار می‌رود. برای

جدول ۹ نتایج آزمایش خصوصیات مکانیکی در حالت خشک و در جدول ۱۰ خصوصیات مکانیکی در حالت اشباع آورده شده است.

در این پژوهش از چکش اشمیت نوع N استفاده شده است. در تمام موارد سختی واجهشی نمونه‌ها در حالت قائم نسبت به سطح سنگ اندازه‌گیری شد. در

جدول ۹. نتایج آزمایش خصوصیات مکانیکی ورده‌بندی مهندسی سنگ بکر در حالت خشک

رده سنگ	E_r	Elastic modulus (MPa)	BTS(MPa)	UCS(MPa)	I_{SS0} (MPa)	SHV	نمونه
DM	۶۲۵/۹۲	۱۳۸۵۲	۷/۲۰	۵۲/۰۹	۲/۷۰	۳۹	۱
DM	۲۷۷/۷۷	۱۴۰۰۵	۷/۲۹	۵۰/۴۲	۲/۵۵	۳۷	۲
DM	۳۳۳/۲۶	۱۶۸۴۶	۷/۲۵	۵۰/۰۵	۲/۱۰	۳۹	۳
DM	۲۷۷/۷۶	۱۵۳۳۸	۵/۸۷	۵۰/۲۲	۱/۸۸	۴۰	۴
DM	۲۷۱/۹۳	۱۳۹۶۴	۷/۱۸	۵۱/۳۵	۲/۳۲	۳۵	۵
DM	۲۰۲/۲۱	۱۰۹۶۸	۵/۶۰	۵۴/۲۴	۱/۹۵	۳۹	۶
DM	۲۴۰/۰۳	۱۲۷۸۹	۵/۴۵	۵۳/۲۸	۱/۹۴	۳۶	۷
CL	۱۵۱/۵۰	۸۵۶۷	۵/۶۰	۵۶/۵۵	۲/۵۹	۳۸	۸
DM	۲۰۳/۶۸	۱۱۰۰۳	۵/۷۳	۵۴/۰۲	۲/۰۳	۳۶	۹
CL	۱۸۰/۱۶	۹۹۴۵	۵/۹۲	۵۵/۲۰	۱/۸۲	۳۴	۱۰
DM	۲۶۵/۹۲	۱۳۸۵۲	۷/۲۰	۵۲/۰۹	۲/۷۰	۳۹	۱۱
DM	۲۷۷/۷۷	۱۴۰۰۵	۷/۲۹	۵۰/۴۲	۲/۵۵	۳۷	۱۲
DM	۲۴۰/۰۳	۱۲۷۸۹	۵/۴۵	۵۳/۲۸	۱/۹۴	۳۶	۱۳
CL	۱۵۱/۵۰	۸۵۶۷	۵/۶۰	۵۶/۵۵	۲/۵۹	۳۸	۱۴
DM	۲۰۳/۶۸	۱۱۰۰۳	۵/۷۳	۵۴/۰۲	۲/۰۳	۳۶	۱۵
-	۶۲۵/۹۲	۱۶۸۴۶	۷/۲۹	۵۶/۵۵	۲/۷۰	۴۰	حداکثر
-	۱۵۱/۵۰	۸۵۶۷	۵/۴۵	۵۰/۰۵	۱/۸۲	۳۴	حداقل
DM	۲۴۴/۴۸	۱۲۷۲۷/۷	۶/۶۳۸	۵۲/۰۶	۲/۴۳	۳۷	میانگین

جدول ۱۰. نتایج آزمایش خصوصیات مکانیکی ورده‌بندی مهندسی سنگ بکر در حالت اشباع

رده سنگ	E_r	Elastic modulus (MPa)	BTS(MPa)	UCS(MPa)	I_{SS0} (MPa)	نمونه
DL	۱۷۸/۵۵	۷۰۱۹	۳/۱۹	۳۹/۳۱	۱/۸۵	۱
DM	۲۰۱/۴	۶۹۰۰	۴/۰۴	۳۴/۲۴	۱/۳۶	۲
DM	۲۴۹/۵	۹۲۰۵	۳/۲۸	۳۶/۸۲	۱/۹۷	۳
DM	۲۴۸/۸۶	۹۵۵۴	۴/۱۷	۳۸/۳۹	۱/۳۴	۴
DM	۲۳۰/۳۵	۸۷۱۹	۲/۷۴	۳۷/۸۵	۱/۳۸	۵
DM	۲۴۵/۲۳	۹۰۰۵	۴/۱۰	۳۶/۷۲	۱/۴۵	۶
DM	۲۰۳/۳۰	۷۲۰۵	۳/۲۸	۳۵/۴۴	۱/۴۰	۷
DM	۲۴۵/۹۴	۹۴۵۴	۴/۲۵	۳۸/۴۴	۱/۵۱	۸
DM	۲۳۸/۹۲	۸۹۰۰	۲/۹۴	۳۷/۲۵	۱/۱۸	۹
DL	۱۸۵/۷۷	۶۲۲۹	۳/۰۱	۳۳/۵۳	۱/۷۷	۱۰
DM	۲۴۵/۲۳	۹۰۰۵	۴/۱۰	۳۶/۷۲	۱/۴۵	۱۱
DM	۲۰۳/۳۰	۷۲۰۵	۳/۲۸	۳۵/۴۴	۱/۴۰	۱۲
DM	۲۴۵/۹۴	۹۴۵۴	۴/۲۵	۳۸/۴۴	۱/۵۱	۱۳
DM	۲۳۸/۹۲	۸۹۰۰	۲/۹۴	۳۷/۲۵	۱/۱۸	۱۴
DM	۲۳۸/۹۲	۸۹۰۰	۲/۹۴	۳۷/۲۵	۱/۱۸	۱۵
-	۲۴۸/۸۶	۹۴۵۴	۴/۲۵	۳۹/۳۱	۱/۹۷	حداکثر
-	۱۷۸/۵۵	۶۲۲۹	۲/۹۴	۳۳/۵۳	۱/۱۸	حداقل
DM	۲۲۳/۴۰	۸۲۱۹	۳/۴۸	۳۶/۷۹	۱/۵۹	میانگین

آنالیز رگرسیون

به منظور به دست آوردن روابط بین خصوصیات مهندسی ماسه‌سنگ لتگاه از آنالیز رگرسیون ساده استفاده شده است. در این روش روابط بین دو متغیر تصادفی و دارای توزیع نرمال تعیین می‌گردد. در این آنالیز رگرسیون توابع خطی مورد استفاده قرار گرفت. همچنین اعتبار روابط بدست آمده به ترتیب توسط آزمون‌های t و F مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش روابط تخمین زده شده در سطح اطمینان ۹۵ درصد آزمون شده‌اند (جدول ۱۱). براساس این دو آزمون، در صورتی روابط و مقادیر ضریب تعیین معتبر خواهد بود که مقادیر t و F بدست آمده بزرگ‌تر از مقدار t و F جدول باشند. با توجه به سطح اطمینان ۹۵ درصد مقدار t جدول برابر با ۲/۱۴۴ می‌باشد. همچنین مقدار F جدول با در نظر گرفتن سطح اطمینان ۹۵ درصد و درجه آزادی برابر با ۱۴/۱۵ می‌باشد.

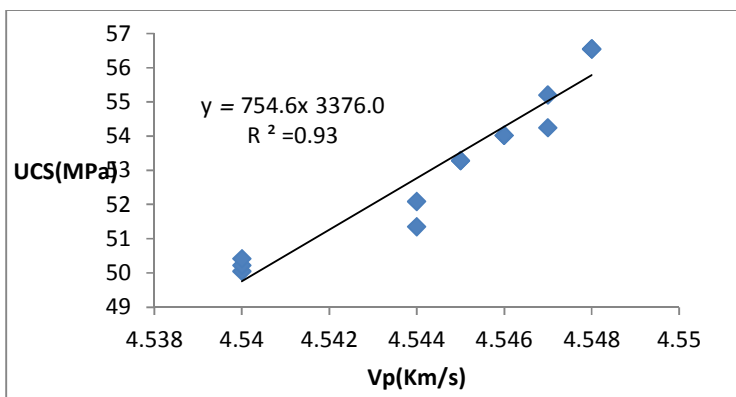
ارتباط خصوصیات فیزیکی و مکانیکی

خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی ماسه‌سنگ‌ها با ویژگی‌های فیزیکی آن‌ها ارتباط مشخصی دارد. با توجه به مقادیر به‌دست‌آمده از خصوصیات فیزیکی و مکانیکی، ارتباط این پارامترها با هم بررسی شد. این موضوع در شکل‌های ۴ تا ۱۳ برای سنگ‌های منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که با افزایش رطوبت در نمونه‌های ماسه‌سنگ

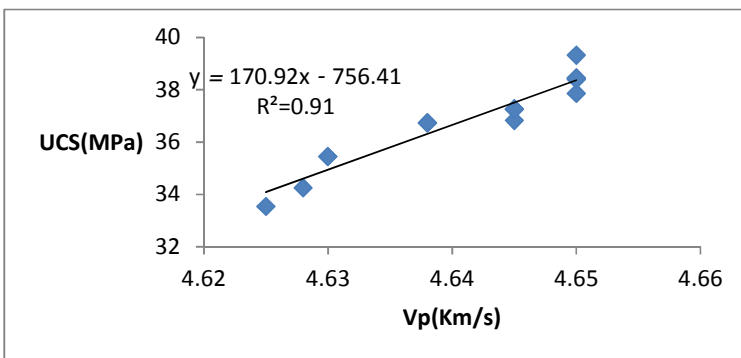
لتگاه مقاومت فشاری تک‌محوری، مدول الاستیسیته، شاخص بارنقطه‌ای و مقاومت کششی برزلی کاهش می‌یابد. زیرا با افزایش درصد جذب آب فشار آب منفذی افزایش می‌یابد که ناپایداری سطوح ضعف موجود در سنگ را به همراه خواهد داشت. در مقابل افزایش درصد جذب آب افزایش سرعت موج طولی را موجب شده است. به دلیل آن است که سرعت موج طولی از میان آب بیش‌تر از هوا می‌باشد. بنابراین زمانی که حفرات توسط آب اشغال می‌شوند، افزایش سرعت موج طولی را به همراه خواهد داشت. سرعت امواج صوتی در سنگ با خصوصیات سنگ‌شناسی و ویژگی‌های الاستیک سنگ بکر در ارتباط است (گودمن، ۱۹۸۹). براساس نتایج به‌دست‌آمده، ماسه‌سنگ‌های لتگاه از نظر UCS در حالت خشک در محدوده ۲۲ تا ۵۰٪ ۵۵/۵۶ مگاپاسکال قرار داشته و مقاومت متوسط را نشان می‌دهند و در حالت اشباع در محدوده ۲۴/۳۴ تا ۳۱/۳۹ مگاپاسکال بوده و مقاومت پایین را نشان می‌دهد. مقدار SHV نیز دارای میانگین ۳۷ است. دوام‌پذیری نیز در چرخه اول، دوم و پانزدهم نشان‌دهنده سنگ‌های با مقاومت خوب می‌باشد. بیش‌ترین انطباق بین نتایج آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوری (UCS) با سرعت موج طولی در حالت خشک و اشباع است که میزان ضریب تعیین (R^2) به ترتیب برابر ۰/۹۳ و ۰/۹۱ است.

جدول ۱۱. روابط تجربی پیشنهادی در این پژوهش

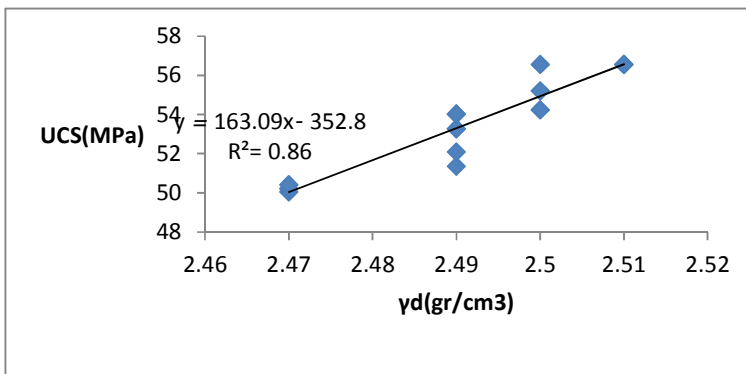
شماره	حالت	نوع سنگ	روابط پیشنهادی	ضریب تعیین (R^2)	t محاسبه شده	F محاسبه شده
۱	خشک	ماسه‌سنگ	$UCS = 754.6Vp - 3376.0$	0.93	2.25	20.11
۲	اشباع	ماسه‌سنگ	$UCS = 170.92Vp - 756.41$	0.91	2.24	38.18
۳	خشک	ماسه‌سنگ	$UCS = 163.09 \gamma_d - 352.8$	0.86	3.05	38.11
۴	خشک	ماسه‌سنگ	$UCS = 1.1505 SHV + 10.52$	0.87	2.43	24.46
۵	خشک	ماسه‌سنگ	$UCS = 6.8521 Is_{50} + 38.214$	0.86	2.15	69.01
۶	اشباع	ماسه‌سنگ	$9894 Is_{50} + 28.116.UCS = 5$	0.76	4.04	50.7
۷	خشک	ماسه‌سنگ	$BTS = 0.4376 SHV - 9.9037$	0.86	5.44	45.64
۸	خشک	ماسه‌سنگ	$BTS = 53.567 \gamma_d - 127.27$	0.71	2.19	25.76
۹	خشک	ماسه‌سنگ	$UCS = 2.5287BTS + 37.384$	0.78	3.05	36.89
۱۰	اشباع	ماسه‌سنگ	$UCS = 2.4734 BTS + 28.214$	0.76	6.42	24.58



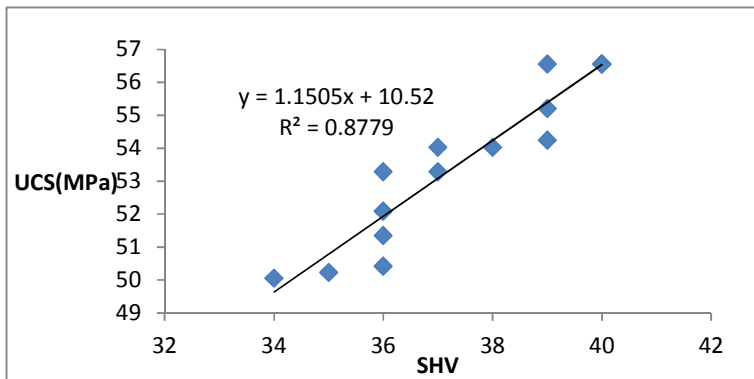
شکل ۴. رابطه بین مقاومت فشاری تک‌محوری با سرعت موج طولی در حالت خشک



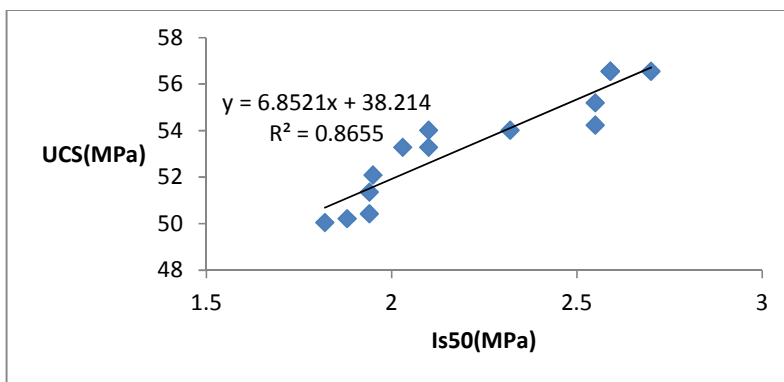
شکل ۵. رابطه بین مقاومت فشاری تک‌محوری با سرعت موج طولی در حالت اشباع



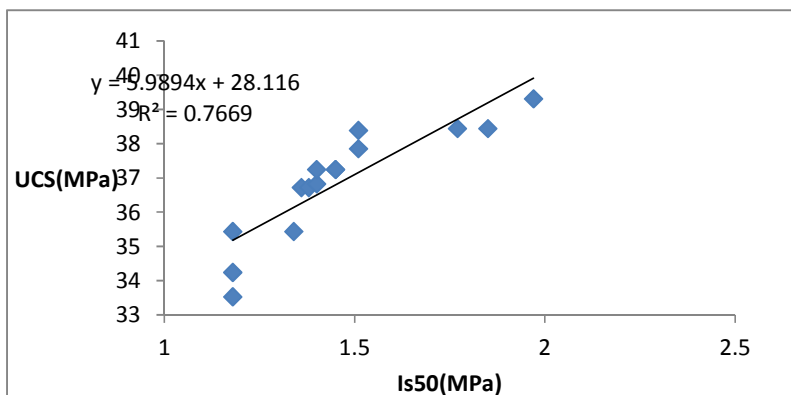
شکل ۶. رابطه بین مقاومت فشاری تک‌محوری با وزن واحد حجم خشک در حالت خشک



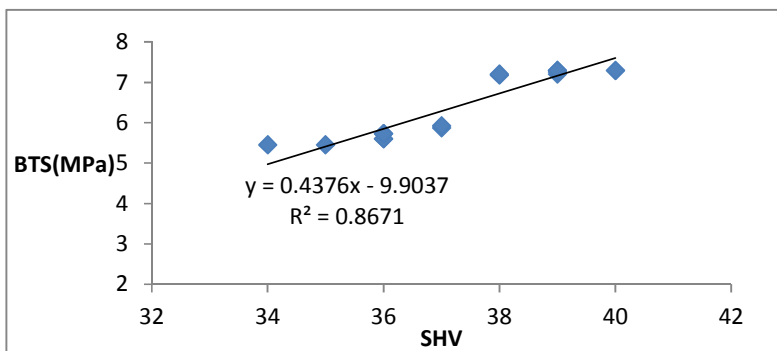
شکل ۷. رابطه بین مقاومت فشاری تک‌محوری با سختی‌اشمیت در حالت خشک



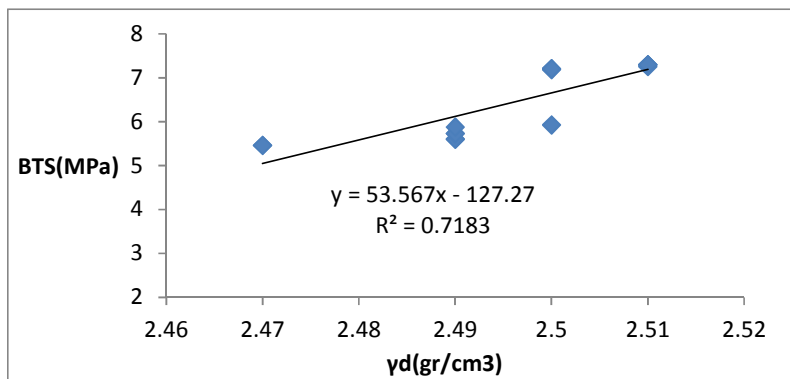
شکل ۸. رابطه بین مقاومت فشاری تک‌محوری با شاخص بارنقطه‌ای در حالت خشک



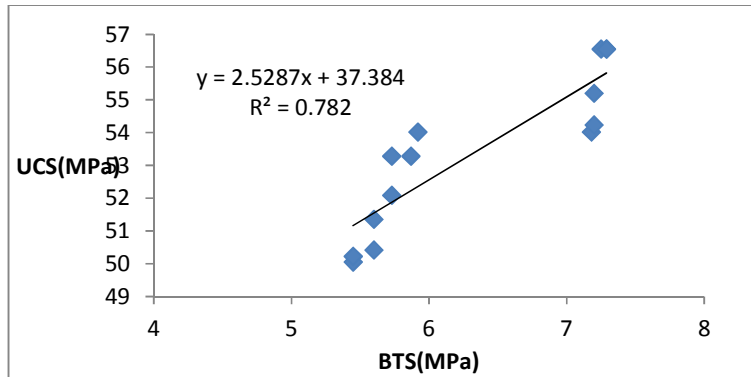
شکل ۹. رابطه بین مقاومت فشاری تک‌محوری با شاخص بارنقطه‌ای در حالت اشباع



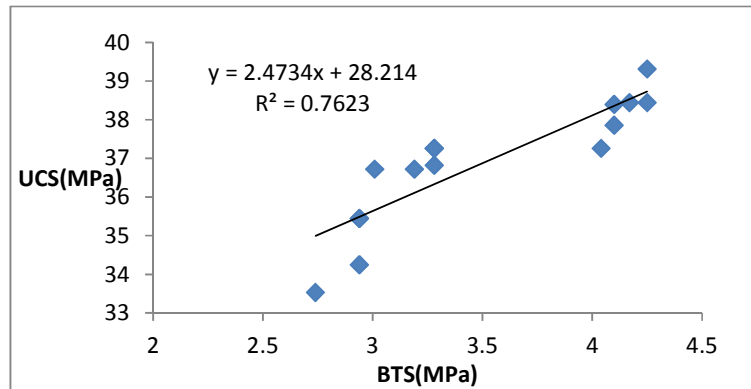
شکل ۱۰. رابطه بین مقاومت کششی برزیلی با سختی‌اشمیت در حالت خشک



شکل ۱۱. رابطه بین مقاومت کششی برزیلی با وزن واحد حجم خشک



شکل ۱۲. رابطه بین مقاومت کششی برزیلی با مقاومت فشاری تک‌محوری در حالت خشک



شکل ۱۳. رابطه بین مقاومت کششی برزیلی با مقاومت فشاری تک‌محوری در حالت اشباع

نتیجه‌گیری

ماسه‌سنگ‌های لنگه متوسط و به تبع مقدار شاخص جذب آب نیز کم می‌باشد. هم‌چنین مقدار وزن مخصوص قسمت جامد و وزن واحد حجم بالا می‌باشد. براساس رده‌بندی گمیل (۱۹۷۱)، تمامی ماسه‌سنگ‌ها در رده دوام وارفنگی خیلی مقاوم قرار دارد. براساس رده‌بندی فرانکلین و چاندر (۱۹۷۲)، ماسه‌سنگ‌های لنگه در رده شدیداً مقاوم قرار می‌گیرد. طبق رده‌بندی آنون (۱۹۷۹) از نظر سرعت عبور موج P از درون سنگ، این ماسه‌سنگ‌ها در رده بالا قرار دارد. با توجه به این‌که سختی سنگ به نوع کانی‌ها، چسبندگی مرزی کانی‌ها و مقاومت سنگ بستگی دارد. میزان تخلخل موجود در سنگ متوسط بوده و میزان جذب آب کم می‌باشد که می‌توان آن را مربوط به تخلخل ناپیوسته سنگ دانست. هم‌چنین خصوصیات فیزیکی این سنگ‌ها بر روی ویژگی‌های مکانیکی آن‌ها تأثیرگذارند. با افزایش دانسیته، مقاومت فشاری تک‌محوری، مقاومت کششی، مدول الاستیسیته و سرعت موج افزایش می‌یابد. بعلاوه، افزایش درصد تخلخل و جذب آب به کاهش مقاومت فشاری

ماسه‌سنگ‌های لنگه براساس طبقه‌بندی فولک (۱۹۷۴) در رده کالکلیت‌آرنایت قرار می‌گیرند. در تمام نمونه‌های مورد مطالعه متوسط اندازه ذرات کربناته بین ۰/۲ تا ۰/۵ میلی‌متر و دانه‌های تشکیل‌دهنده ماسه‌سنگ‌ها نیمه‌گرد می‌باشد. کوارتز در این سنگ‌ها به‌صورت تک‌بلوری و چندبلوری بوده و سیمان غالب از نوع کلسیت می‌باشد. سیمان به‌صورت موضعی ذرات کانی را به هم متصل کرده ولی سیمان ژپسی هم قابل مشاهده می‌باشد. خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی ماسه‌سنگ‌ها مورد مطالعه به‌شدت از کانی‌شناسی، بافت، نوع، مقدار سیمان، درصد تخلخل و میزان دانسیته آن‌ها تأثیرپذیر می‌باشد، بطوریکه ماسه‌سنگ‌های لنگه با دارا بودن مقدار کوارتز و فلدسپات دارای بالاترین مقاومت می‌باشند. از سوی دیگر ماسه‌سنگ‌های دارای سیمان ژپسی دارای کمترین مقاومت هستند که نمونه بارز آن ماسه‌سنگ لنگه می‌باشد. براساس آزمون تعیین خصوصیات فیزیکی، طبق طبقه‌بندی آنون (۱۹۷۹) درصد تخلخل در

عبدی، ی.، قاسمی‌دهنوی، آ (۱۳۹۸) پیش‌بینی مقاومت فشاری تک‌محوری و مدول الاستیک ماسه‌سنگ‌ها با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و آنالیز رگرسیون چندمتغیره. مجله یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، دوره ۱۳، شماره ۲۶، ص ۴۵-۵۴.

عبدی، ی (۱۳۹۹) کاربرد آنالیز رگرسیون چندمتغیره برای پیش‌بینی مقاومت فشاری تک‌محوری و مدول الاستیسیته ماسه‌سنگ‌ها با استفاده از خصوصیات پتروگرافی. مجله یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، دوره ۱۴، شماره ۲۷، ص ۱۴۷-۱۵۷.

فهمی‌فر، ا.، و سروش، ح (۱۳۸۰) آزمایش‌های مکانیک سنگ، مبانی نظری و استانداردها، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ اول.

قبادی، م. ح.، حیدری، م.، رفیعی، ب.، موسوی، س (۱۳۹۲) بررسی تأثیر و زمان چرخه‌ها بر روی رفتار دوام‌پذیری ماسه‌سنگ‌های سازندهای سازند آغاچاری در جنوب استان خوزستان، هشتمین همایش انجمن زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست ایران، دانشگاه فردوسی مشهد.

قبادی، م. ح.، رسولی‌فرح، م (۱۳۹۱) مطالعه خصوصیات زمین‌شناختی مهندسی گرانیت‌های برجرود، مجله انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران، جلد پنجم، ص ۱-۱۶.

محمدی، د.، موسوی، س.، محمدی، ن (۱۳۹۵) بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی ماسه‌سنگ‌های سازند آغاچاری در شمال و شمال‌شرق استان خوزستان، نهمین همایش ملی زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست ایران، دانشگاه خوارزمی تهران.

ASTM (2001) Standard method for determination of the point load strength index of rock, ASTM Standards on Disc 04.08.; Designation D5731.

ASTM (2001) Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Intact Rock Core Specimens, D3967.

ASTM (2001) Annual Book of ASTM Standard – Natual Building Stone: Soil and Rock, part 19. ASTM Publication office, Philadelphia.

Anon (1979) Callssification of rocks and soils for engineering geological mapping, part: Rack and soil materials. Report of the Commission of Engineering Geological Mapping, Bulletin International Association of Engineering Geology, 19: 364-371

Bell, F. G (2000) Engineering properties of soils and rocks, Blackwell Science, 482p.

Boggs, S (2009) Petrology of sedimentary rocks, Cambridge University press London, England.

Bryson, L. S., Gomez-Gutierrez, I. C. and Hopkins, T. C (2012) Development of a new durability

تک‌محوری، مدول الاستیسیته و مقاومت کششی ماسه‌سنگ‌ها منجر می‌شود. این موضوع به دلیل آن است که ماسه‌سنگ‌های دارای درصد تخلخل بالاتر و دانسیته کمتر از انباشتگی کمتری برخوردارند. یعنی تماس و اصطکاک بین ذرات کمتری دارند. ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه از نظر سختی برگشتی اشمیت عدد ۳۷ را نشان می‌دهند. این سنگ‌ها با میانگین مقاومت فشاری تک‌محوری (در حالت خشک) برابر با ۵۲/۰۶ مگاپاسکال و نسبت مدولی ۲۴۴/۴۸ در رده *DM* قرار دارند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که ماسه‌سنگ‌های لنگاه، مصالحی مقاوم، سخت، دوام‌دار و جایگزین مناسب مصالح رودخانه می‌باشند. این نمونه‌ها با دارا بودن مقاومت فشاری تک‌محوری بالاتر از ۴۰ مگاپاسکال و جذب آب کمتر از یک درصد می‌توانند منابع مناسبی برای تولید سنگ ساختمانی، سنگ مالون و منابع قرضه (*Borrow material*) باشند. هم‌چنین به خاطر وجود درصد زیادی سیلیس در نمونه‌ها برای استفاده به عنوان شن و ماسه مناسب نمی‌باشد. هم‌چنین در صورت جایگزینی به‌عنوان مصالح رودخانه‌ای و به علت نزدیکی به شهر همدان، بهار و روستاهای تابعه و نیز کیفیت و مقاومت مناسب خود می‌توانند مشکلات زیست‌محیطی ناشی از برداشت مصالح رودخانه‌ای را حل نمایند و از این حیث مشکلات روزافزون افت سطح آب زیرزمینی دشت همدان و بهار ناشی از برداشت نهشته‌های رودخانه سیمینه‌رود را به حداقل برسانند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان کمال تشکر را از گروه زمین‌شناسی دانشگاه بوعلی‌سینا به دلیل فراهم نمودن امکانات لازم برای تهیه مغزه‌های سنگی و برش‌های نازک میکروسکوپی را دارند.

منابع

آقاباتی، ع (۱۳۸۳) زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

استاندارد ملی بتن ۶۴۴۰ (۱۳۹۴) سازمان ملی استاندارد ایران، تجدیدنظر اول، *ICS:91.100.10*.

سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور، نقشه زمین‌شناسی چهارگوش همدان، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، تهران.

- rock types from, Turkey. *Engineering Geology*, 75(3-4): 215-227.
- Ulusay, R., Tureli, K., Ider, M. H (1994) Prediction of engineering properties of a selected litharenite sandstone from its petrographic characteristics using correlation and multivariable statistical techniques. *Engineering Geology*, 37: 135-157
- Yasar, E., Ranjith, P. G., Perera, M. S. A (2010) Physico-mechanical behaviour of southeastern Melbourne sedimentary rocks, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 47: 481-487.
- Zorlu, K., Gokceoglu, C., Ocakoglu, F, Nefeslioglu, H. A., Acikalin, S (2008) Prediction of uniaxial compressive strength of sandstones using petrography-based models, *Engineering Geology*, 96: 141-158.
- index for compacted shale, *Engineering Geology*, 139(140): 66-75.
- Cargill, J. S., Shakoor, A (2004) Evaluation of empirical methods for measuring the uniaxial compressive strength of rock, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science and Geomechanics Abstract*, 27(6): 495-503.
- Cargil, J., S., Shakoor, A (1990) Evaluation of empirical method for measuring the uniaxial compressive strength, *International Journal of Rock Mechanics and Mining sciences*, 27: 495-503.
- Deere, D. U (1968) Geological Considerations, In *Rock Mechanics in Engineering*.
- Deere, D. U. and Miller, R. P (1966) Engineering classification and index properties for intact rock, Technical report AFWLTR- 65116, A. F. Weapons Laboratory, Kirtland AFB, NM.
- Folk, R. L (1974) Petrology of sedimentary rocks, Hemphill Publishing Company Texas, USA.
- Franklin, J. A. Chandra, A (1972) The Slake durability test. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci*, 9: 325-341.
- Gamble, J. C (1971) Durability plasticity classification of shale and other argillaceous rocks. P.h.D. Thesis University of Illinots.
- Gokceoglu, C., Zorlu, K (2004) A fuzzy model to predict the uniaxial compressive strength and the modulus of elasticity of a problematic rock, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 17: 61-72.
- Gupta, V., Sharma, R (2012) Relationship between textural, petrophysical and mechanical properties of quartzites: A case study from northwestern Himalaya, *Engineering Geology*, 135(136): 1-9.
- Goodman, R. E (1989) Introduction to rock mechanics, John Wiley & Sons, New York, USA.
- Heidari, M., Mohseni. H., Jalali, Hosein (2018) Prediction of Uniaxial Compressive Strength of Some Sedimentary Rocks by Regression Models, *Geotechnical and Geological Engineering*, 36: 401-412.
- ISRM (2007) The Complete ISRM, Suggested Methods for Rock characterization testing and monitoring, International Society of rock mechanics.
- Read, J. R. L., Thornten, P. N., & Regan, W. N (1980) A rational approach to the point load test, Proc. Third Australia-New Zealand Conference on Geomechanics.
- Sabatakakis, N., Koukis, G., Tsiambaos, G., Papanakil, S(2009) Consolidation on strength of intact sedimentary rocks, *Engineering Geology*, 72: 261-273.
- Tugrul, A (2004) The effect of weathering on pore geometry and compressive strength of selected

The study of geotechnical properties of Qom formation sandstones and their using as borrow material (case study: Latgah village, northern Hamedan)

M. H. Ghobadi¹, M. Amiri^{2*} and M. R. Rasuli Farah³

1, 2, 3- Dept., of Geology, Faculty of sciences, Bu-Ali Sina University, Hamedan

**a.mehrdad1372@yahoo.com*

Recieved: 2020/4/13 Accepted: 2020/9/17

Abstract

Sandstone outcrops of the Qom formation extend to a large part of northern Hamedan. This rocks are used as construction materials in Hamedan city. In this research, in order to identify the characteristics and engineering behavior of the sandstones, 15 rock blocks from Latgah (northern Hamedan) were selected. Lithological characteristics, physical and mechanical properties of these sandstones are determined. The samples were tested under the Schmidt hammer hardness test, durability, point load strength index, uniaxial compressive strength, Brazilian tensile strength and longitudinal wave velocity. The results of this study showed that the differences in the lithological and physical properties of sandstones have led to change in their mechanical properties. The relationship between physical and mechanical properties of sandstone has determined by regression analysis. Based on the obtained results, the mentioned rocks are suitable for use as Malone stone and building stone. The highest correlation between the uniaxial compressive strength (UCS) test with longitudinal wave velocity in dry and saturated state, were obtained that the determination coefficient (R^2) are 0.93 and 0.91, respectively.

Keywords: *Qom formation, Physical and Mechanical properties, Sandstone, Borrow material, Hamedan.*