

مطالعه خصوصیات ژئوتکنیکی ماسه سنگ‌های سازند آغاچاری در شرق و جنوب شرق اهواز

محمدحسین قبادی

گروه زمین شناسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

مجتبی حیدری

گروه زمین شناسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

بهرروز رفیعی

گروه زمین شناسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

ساجدالدین موسوی

دانشجوی دوره دکتری زمین شناسی مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

نرگس آریافر

کارشناس ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۸/۲۰

amirghobadi@yahoo.com

چکیده

بخش اعظم شرق و جنوب شرق شهر اهواز از رخنمون ماسه سنگ‌های سازند آغاچاری تشکیل شده است. این سنگ‌ها یکی از سنگ‌های مشکل آفرین هستند که در استان خوزستان به عنوان مصالح ساختمانی در ساخت و سازهای شهری استفاده می‌شود. در این پژوهش، به منظور شناخت خصوصیات و رفتار ژئوتکنیکی این سنگ‌ها، از ۵ نقطه در شرق و جنوب شرق اهواز نمونه‌برداری انجام شده است. خصوصیات سنگ شناسی، ویژگی‌های فیزیکی، شاخص و مکانیکی این ماسه سنگ‌ها تعیین شده است. نمونه‌ها تحت آزمایش‌های سختی چکش اشمیت، دوام وارفتگی، شاخص ارزش ضربه، مقاومت بارنقطه‌ای، مقاومت تراکمی تک محوری، کشش برزیلی و سرعت موج طولی قرار گرفته‌اند. نتایج این تحقیق نشان داد که تفاوت در خصوصیات سنگ شناسی، فیزیکی و شاخص ماسه سنگ‌های اهواز به تغییر در خواص مکانیکی آنها منجر شده است. با استفاده از آنالیزهای رگرسیون و نرم افزار SPSS 19، ارتباط بین خصوصیات ژئوتکنیکی ماسه سنگ‌ها تعیین گردید. این روابط بصورت توابع خطی، لگاریتمی و نمایی بوده‌اند. هم‌چنین، آزمون‌های t و F در سطح اطمینان ۹۵ درصد اعتبار روابط تجربی پیشنهادی را تایید نمودند. بنابراین، با هدف کاهش هزینه و وقت می‌توان این روابط پیشنهادی را به منظور تخمین خصوصیات ژئوتکنیکی این سنگ‌ها بکار گرفت.

کلمات کلیدی: سازند آغاچاری، ماسه سنگ، خصوصیات ژئوتکنیکی، اهواز.

مقدمه

می‌باشد. تاکنون پژوهشگران مختلف تلاش کرده‌اند تا خصوصیات مقاومت و تغییر شکل ماسه سنگ‌ها را با استفاده از آزمایش‌های ساده و کم‌هزینه تعیین نمایند. کارگیل و شکور (Cargill and Shakoore, 2004) در سال ۲۰۰۴ با استفاده آنالیزهای رگرسیونی مقاومت تراکمی تک محوری ۸ نمونه ماسه سنگ از نقاط مختلف آمریکا را با استفاده از دانسیته خشک، بارنقطه‌ای، چکش اشمیت و آزمایش سایش لوس آنجلس تخمین زدند. آنها نشان دادند که مقاومت تراکمی تک محوری ماسه سنگ‌های موردآزمایش با افزایش دانسیته خشک، شاخص بارنقطه‌ای و عدد سختی واجهشی اشمیت افزایش یافته اما با افزایش درصد افت در سایش لوس آنجلس کاهش می‌یابد. گوک اوغلو و زورلو (Gokceoglu and Zorlu) در سال ۲۰۰۴ با استفاده از مدل‌های فازی و رگرسیونی به مطالعه ارتباط مقاومت تراکمی تک محوری و مدول یانگ با شاخص پانچ بلوکی، شاخص بارنقطه‌ای و مقاومت کششی گری وک‌های آنکارا پرداخته و معادلاتی را پیشنهاد کرده‌اند. در سال ۲۰۰۶ چانگ و همکاران (Chang et al., 2006) با مرور تحقیقات سایر پژوهشگران یازده رابطه تجربی بین مقاومت تراکمی تک محوری ماسه سنگ‌ها و خصوصیات فیزیکی آنها ارائه نمودند.

ماسه سنگ یکی از فراوان‌ترین سنگ‌های رسوبی است که حدود ۲۵٪ از سنگ‌های رسوبی را شکل داده است (Boggs, 2009). این سنگ‌ها با سازه‌های عمرانی، فعالیت‌های معدن‌کاری و عملیات استخراج نفت در سراسر جهان درگیر می‌باشند (Peng and Zang, 2007 و Yasar et al., 2010). ماسه سنگ‌ها به دلیل تنوع در ترکیب سنگ شناسی از خصوصیات فیزیکی و مکانیکی بسیار متغیری برخوردار هستند (Ulusay et al., 1994). میزان تخلخل، مقدار و نوع سیمان و نیز ترکیب و بافت ذرات تشکیل دهنده مقاومت این سنگ‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهند. به طوری که ماسه سنگ‌های با سیمان شدگی بیشتر و تخلخل کمتر مقاومت بالاتری دارند (Fahy and Guccion, 1979 و Shakoore and Bonelli, 1991 و Bell, 2007 و Hsieh et al., 2008) و قبادی و همکاران، (۱۳۸۷). به همین دلیل آگاهی از خصوصیات مقاومت و تغییر شکل آنها به هنگام احداث سازه‌های عمرانی به پیش بینی رفتار مهندسی این سنگ‌ها کمک خواهد کرد.

تعیین چنین خصوصیات مکانیکی در ماسه سنگ‌ها مستلزم آماده سازی نمونه‌های استاندارد و متعدد و نیز استفاده از تجهیزات آزمایشگاهی گران‌قیمت

سختی و اجهشی نمونه های ماسه سنگی تعیین گردید (جدول ۱). همچنین، مقاطع نازک با هدف مطالعه ویژگی های سنگ شناسی این سنگ ها تهیه شد. سپس در آزمایشگاه از بلوک های سنگی به منظور تهیه مغزه های استوانه ای NX- (قطر ۵۴ میلی متر) مغزه گیری شد. مغزه های تهیه شده در تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی مورد استفاده قرار گرفتند.

خصوصیات سنگ شناسی

ترکیب کانی شناسی و خصوصیات بافتی ماسه سنگ ها با استفاده از مقاطع نازک مطالعه گردید. بررسی مقاطع نازک نشان داد که این ماسه سنگ ها از خرده سنگ های کربناته، کوارتز، چرت، خرده سنگ های شیبستی، اکسید آهن و فلدسپات تشکیل شده اند (شکل ۲ و جدول ۱). ماسه سنگ های مذکور بر اساس طبقه بندی فولک (۱۹۷۴) کالک لیت آرنایت هستند. در تمام نمونه های مورد مطالعه به استثنا نمونه ماسه سنگ SS3، متوسط اندازه ذرات کربناته بین ۰/۲ تا ۰/۵ میلی متر است. در نمونه SS3 متوسط اندازه ذرات کربناته ۱۵۰ میکرون است. کوارتز در این سنگ ها بصورت تک بلوری و چند بلوری قابل مشاهده است. میزان چرت و کوارتز در نمونه SS5 کمتر از سایر ماسه سنگ ها است. در ماسه سنگ SS5 میزان قطعات شیبستی بیشتر از نمونه های دیگر می باشد. نوع سیمان غالب در این سنگ ها کلسیتی بوده که به صورت موضعی ذرات کانی را به هم متصل کرده اند. در نمونه SS5 سیمان ژیبسی نیز قابل تشخیص است. دانه های تشکیل دهنده ماسه سنگ ها نیمه گرد شده بوده و از چورشدگی متوسط تا بد برخوردار می باشند. تماس بین دانه ها از نوع خطی و نقطه ای است.

خواص فیزیکی

اندازه گیری خصوصیات فیزیکی نمونه های ماسه سنگی مطابق استانداردهای انجمن بین المللی مکانیک سنگ (ISRM, 1981) انجام شد. دانسیته خشک (γ_d)، دانسیته مرطوب (γ_m)، دانسیته اشباع (γ_{sat})، درصد جذب آب (Wa)، درصد تخلخل (n) و دانسیته ذرات جامد (Gs) این سنگ ها به روش اندازه گیری ابعاد و با اشباع در آب تعیین گردید (Bown, 1981). این آزمایشات بر روی سه نمونه از هر نوع ماسه سنگ تکرار و میانگین آنها گزارش شده است (جدول ۲). دانسیته خشک این ماسه سنگ ها بین ۱/۸۹ تا ۲/۱۶ گرم بر سانتی متر مکعب متغیر است. کمترین و بیشترین میزان تخلخل بترتیب به نمونه های SS4 (۲۰ درصد) و SS5 (۳۰/۵۶ درصد) تعلق دارد. همچنین، نمونه SS5 با درصد جذب آب ۱۱/۴۰ بیشترین مقدار را در میان نمونه های ماسه سنگی مورد آزمایش داشته است.

دوام وارفتگی

داوم وارفتگی معرف میزان مقاومت سنگ در برابر هوازدگی است که از طریق آزمایش دوام وارفتگی با قرار دادن کلوخه های سنگی در آب طی دو سیکل اندازه گیری می شود (Bell, 1993). در این تحقیق، به منظور ارزیابی اثر افزایش تعداد سیکل های تر و خشک شدگی بر روی دوام ماسه سنگ های اهواز و پیش بینی رفتار دراز مدت آنها در طی فرآیند هوازدگی، این آزمون در ۱۵ سیکل انجام شده است (جدول ۳). براساس طبقه بندی دوام برای سیکل دوم، نمونه SS5 در رده کمی مقاوم و سایر نمونه ها در رده مقاوم قرار می گیرند (Gamble, 1971). ماسه سنگ سیصد دستگاه بیشترین مقدار شاخص دوام وارفتگی بعد از ۱۵ سیکل را داشته است.

همچنین، در سال ۲۰۱۲ خصوصیات بافتی، پتروفیزیکی و مکانیکی ماسه سنگ های کوارتزی هیمالیا مورد مطالعه قرار گرفت که با استفاده از آنالیزهای رگرسیونی ارتباط بین این ویژگی ها تعیین گردید (Gupta and Sharma, 2012). از سوی دیگر، محققان بسیاری سعی کرده اند با استفاده از آنالیزهای رگرسیونی خصوصیات پتروگرافی ماسه سنگ ها را با ویژگی ها مکانیکی آنها مرتبط کنند (Bell, 1978 و Shakoore and Dobereiner and De Freitas, 1986 و Bell and Lindsay, 1991 و Ulusay et al., 1994 و Bonelli, 1991 و Tamrakar et al., 2007 و Zorlu et al., 2008). با این وجود، این روابط محدود به چند شاخص برای انواع محدودی از ماسه سنگ ها می باشند. از این رو، استفاده از چنین روابط تجربی به منظور پیش بینی خصوصیات مکانیکی ماسه سنگ های نقاط دیگر از دقت لازم برخوردار نخواهند بود. در چنین شرایطی تعیین روابط تجربی بین خصوصیات ژئوتکنیکی ماسه سنگ های هر منطقه ضرورت دارد.

در این پژوهش سعی شده تا با استفاده از آنالیزهای رگرسیونی ارتباط بین خصوصیات ژئوتکنیکی ماسه سنگ ها تعیین شود. بدین منظور ماسه سنگ های شرق و جنوب شرق اهواز جهت مطالعه انتخاب شدند. زیرا که این ماسه سنگ ها یکی از سنگ های مشکل آفرین در شهر اهواز می باشند (قبادی، ۱۳۸۱). همچنین، تراکم جمعیت و انجام پروژه های جاده سازی، مترو، ساختمان سازی و احداث تاسیسات نفتی در این ناحیه مطالعه خصوصیات ژئوتکنیکی این سنگ ها را اجتناب ناپذیر کرده است.

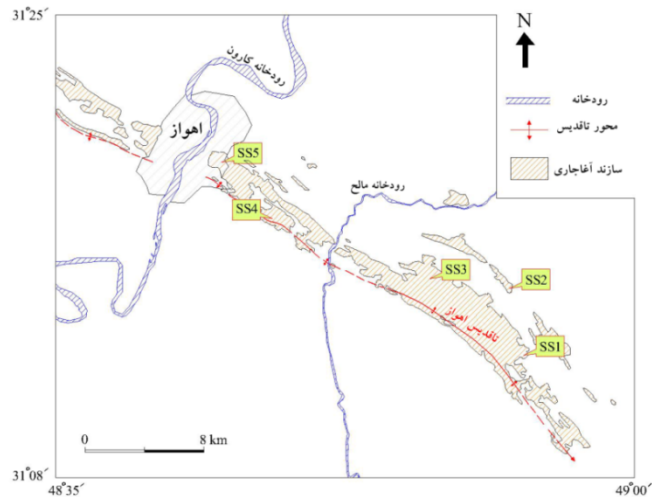
ژئومورفولوژی و زمین شناسی

ناحیه مورد مطالعه در شرق و جنوب شرق شهر اهواز قرار گرفته که دربرگیرنده یال شمال شرقی تاقدیس اهواز می باشد (شکل ۱). این تاقدیس از نوع نامتقارن بوده که عمدتاً از سنگ های متعلق به سازند آغاچاری تشکیل شده است. اشکال ژئومورفولوژی مانند تپه های کواستا، پلکان های حاصل از فرسایش تفریقی، ریزش سنگ، حفرات لانه زنبوری ناشی از فرسایش باد و شواهد کارستی مانند کارن ها و غارها در بیشتر بخش های این ناحیه قابل مشاهده هستند.

در منطقه مورد مطالعه سنگ های متعلق به سازند آغاچاری از گسترش زیادی برخوردار بوده که متشکل از مارن، ماسه سنگ و لای سنگ می باشند. سن این سازند میوسن- پلیوسن است (James and Wynd, 1965). ماسه سنگ ها ریز تا درشت دانه دارای لایه بندی ظریف تا توده ای بوده که به رنگ خاکستری دیده می شوند. این ماسه سنگ ها دارای سیمان شدگی ضعیف و تخلخل زیاد بوده که لایه بندی مورب در آنها دیده می شود. امتداد لایه های ماسه سنگی شمال غرب- جنوب شرق است که شیب آنها بین ۲۰ تا ۴۰ درجه به سمت شمال شرق تغییر می کند. دو دسته درزه طولی و عرضی با راستای شمال غرب- جنوب شرق و شمال شرق- جنوب غرب این سنگ ها را تحت تاثیر قرار داده اند. همچنین، گسل فشارشی اهواز مهمترین گسل ناحیه است که با راستای شمال غرب- جنوب شرق و با طول تقریبی ۱۰۰ کیلومتر موجب رانده شدن سازند آغاچاری بر روی آبرفت- های کواترنر گردیده است (قبادی، ۱۳۷۷).

مطالعات آزمایشگاهی

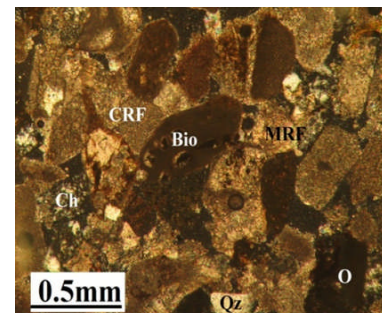
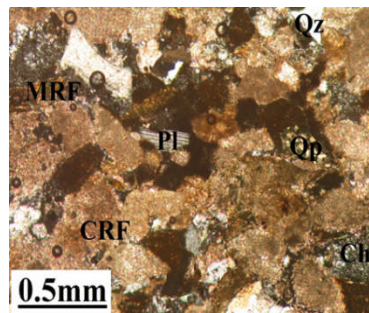
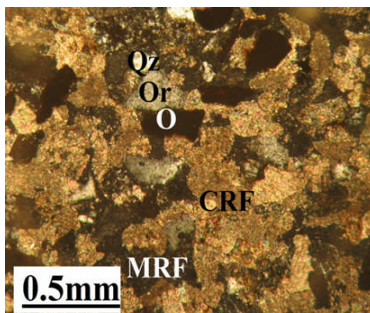
به منظور انجام این پژوهش، بلوک های ماسه سنگی با ابعاد ۴۰×۴۰×۴۰ سانتی متر که فاقد درز و شکاف بوده از ۵ محل در شرق شهر اهواز تهیه گردید- (شکل ۱). براساس استاندارد ISRM (۱۹۸۱) و با بکارگیری چکش اشمیت نوع L



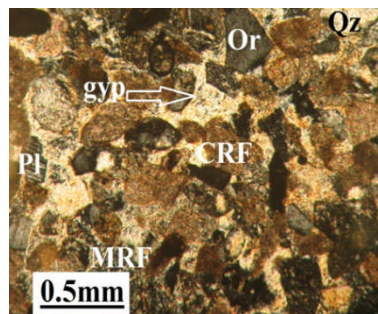
شکل ۱. نقشه زمین شناسی و موقعیت محل های نمونه برداری در شرق و جنوب اهواز (با اقتباس از نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ اهواز، شرکت ملی نفت ایران).

جدول ۱. ترکیب کانی شناسی و سختی چکش اشمیت ماسه سنگ های شرق و جنوب شرق اهواز.

نمونه	محل برداشت	سختی چکش اشمیت	اندازه متوسط دانه ها (میکرون)	درصد اجزا تشکیل دهنده							
				خرده سنگ کربناته	کوارتز	چرت	اکسید آهن	فلدسپات	خرده سنگ- شیبستی	سیمان کلسیتی	سیمان ژئپسی
SS1	مشرحات	۲۳/۳۵	۴۲۵	۶۲	۱۰	۴	۸	۴	۳	۱۰	-
SS2	کریت کمپ	۲۱/۰۲	۳۰۰	۵۹	۷	۸	۱۹	۳	۴	-	-
SS3	پادگان شهید درویشی	۲۴/۰۷	۱۵۰	۷۳	۸	۵	۸	۵	۱	-	-
SS4	سبید دستگاه	۲۵/۱۴	۳۵۰	۵۴	۹	۸	۱۱	۴	۴	۱۰	-
SS5	حصیرآباد	۵/۶۷	۱۷۵	۶۰	۵	۳	۱۰	۴	۷	۷	۴

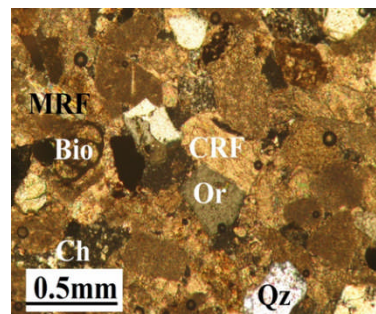


(پ)



(ج)

(ب)



(ت)

الف

شکل ۲. تصاویر مقاطع میکروسکوپی ماسه سنگ های سازند آغاچاری. الف) نمونه SS1، ب) نمونه SS2، پ) نمونه SS3، ت) نمونه SS4، ج) نمونه SS5، Bio بیوکلاست، F دانه دگرگونی و شیل، Ch چرت، Q کوارتز، Q-Pl کوارتز چند بلوری، Or ارتوز، C دانه کربناته، Pl پلازیوکلاز، Z زیرکون، yg سیمان ژئپسی.

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی و سختی چکش اشمیت ماسه سنگ های مورد مطالعه

نمونه	n(%)	Wa(%)	Gs	$\gamma_d(g/cm^3)$	$\gamma_m(g/cm^3)$	$\gamma_{sat}(g/cm^3)$	سختی چکش اشمیت
SS1	۲۲/۵۴	۶/۶۴	۲/۷۲	۲/۱۱	۲/۱۱	۲/۲۵	۲۳/۳۵
SS2	۲۸/۴۲	۱۰/۱۳	۲/۷۱	۱/۹۴	۱/۹۵	۲/۱۴	۲۱/۰۲
SS3	۲۳/۰۲	۷/۶۳	۲/۷۱	۲/۰۹	۲/۰۹	۲/۲۴	۲۴/۰۷
SS4	۲۰/۰۰	۴/۹۵	۲/۷۰	۲/۱۶	۲/۱۷	۲/۲۷	۲۵/۱۴
SS5	۳۰/۵۶	۱۱/۴۰	۲/۷۲	۱/۸۹	۱/۹۰	۲/۱۱	۵/۶۷

جدول ۳. مقادیر شاخص دوام وارفنگی ماسه سنگ های مورد آزمایش در طی ۱۵ سیکل

SS1	SS2	SS3	SS4	SS5	ماسه سنگ ها شاخص های دوام
۹۸/۵۹	۹۹/۱۳	۹۹/۳۲	۹۹/۱۲۳	۸۹/۲۰	Id1
۹۷/۶۴	۹۶/۴۹	۹۸/۳۴	۹۸/۳۸	۷۷/۶۳	Id2
۹۶/۷۶	۹۳/۹۴	۹۷/۴۴	۹۷/۶۱	۶۵/۵۰	Id3
۹۵/۸۵	۹۱/۴۹	۹۶/۵۸	۹۶/۸۷	۵۳/۲۶	Id4
۹۴/۹	۸۹/۱۱	۹۵/۷	۹۶/۱۹	۴۳/۸۱	Id5
۹۳/۹۷	۸۵/۹۲	۹۴/۸۶	۹۴/۹۴	۳۲/۲۶	Id6
۹۲/۸	۸۴/۸۵	۹۳/۴۵	۹۴/۴۲	۲۸/۱۱	Id7
۹۱/۲۶	۸۲/۲۵	۹۲/۲۶	۹۳/۷۳	۲۴/۶۶	Id8
۹۰/۴۴	۷۸/۸۵	۹۱/۴۸	۹۳/۱۷	۲۱/۶۲	Id9
۸۹/۷۵	۷۷/۰۹	۹۰/۸۲	۹۲/۵۰	۱۹/۳۲	Id10
۸۸/۷۳	۷۵/۲۳	۸۹/۷۶	۹۲	۱۷/۱۴	Id11
۷۷/۸۹	۷۳/۵۷	۸۸/۹۲	۹۱/۳۴	۱۵/۴۲	Id12
۸۷/۱۵	۷۱/۹۲	۸۸/۱	۹۰/۷۹	۱۴/۰۲	Id13
۸۶/۴۶	۷۰/۳۲	۸۷/۵۱	۹۰/۱۹	۱۲/۶۵	Id14
۸۵/۷۵	۶۸/۸	۸۶/۷۹	۸۹/۶۷	۱۱/۷۶	Id15

سرعت سیر موج طولی (Vp)

به منظور اندازه‌گیری سرعت سیر موج طولی در ماسه سنگ‌های شرق و جنوب شرق اهواز، از مغزه‌های سنگی با قطر NX و روش با فرکانس بالا استفاده گردید (ASTM, 2000). مقدار سرعت سیر موج در ماسه سنگ‌های مورطالعه در حالت خشک از ۱/۳۱ تا ۲/۸۸ کیلومتر بر ثانیه متغیر می‌باشد (جدول ۴). در حالت اشباع سرعت موج بین ۱/۹۷ تا ۳/۰۷ کیلومتر بر ثانیه تغییر می‌کند. در هر سه حالت خشک، مرطوب و اشباع نمونه‌های SS4 و SS5 به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین سرعت سیر موج را به خود اختصاص داده‌اند.

آزمایش ارزش ضربه (AIV)

میزان استحکام سنگدانه‌های مورد استفاده در پروژه‌های عمرانی توسط این آزمون سنجیده می‌شود. این آزمون توسط موسسه استاندارد بریتانیا (BSI) استاندارد شده است (BS 812, 1990). در این آزمایش سنگدانه‌های با قطر ۱۰ تا ۱۴ میلی‌متر تحت ضربات چکش ۱۳/۵ کیلوگرمی به تعداد ۱۵ ضربه از ارتفاع ۴۵ سانتی‌متری قرار می‌گیرند. شاخص ارزش ضربه بصورت نسبت درصد ذرات عبوری از الک ۲/۳۶ میلی‌متر به وزن اولیه در نظر گرفته می‌شود (جدول ۴). شاخص ارزش ضربه بزرگتر معرف کیفیت پایین سنگدانه‌ها جهت استفاده در سازه‌های عمرانی خواهد بود. بر اساس (جدول ۴) شاخص ارزش ضربه ماسه سنگ‌های شرق اهواز بین ۳۵/۴ تا ۸۵/۳۱ درصد متغیر می‌باشد. این آزمایش نشان می‌دهد که این ماسه سنگ‌ها مصالح مناسبی برای استفاده به‌صورت سنگدانه نمی‌باشند.

خصوصیات مکانیکی

شاخص مقاومت بار نقطه‌ای (Is)، مقاومت تراکمی تک محوری (UCS)، مدول یانگ (E) و مقاومت کششی برزیلی (BTS) ماسه سنگ‌های شرق و جنوب شرق اهواز اندازه‌گیری شدند. آزمایش مقاومت بار نقطه‌ای بر اساس استاندارد ISRM روی نمونه‌های استوانه‌ای به روش محوری در حالت اشباع و خشک انجام شده است. مقاومت کشش برزیلی نمونه‌های ماسه سنگی نیز با استفاده از مغزه‌های با نسبت طول به شعاع بزرگ‌تر از یک و مطابق استاندارد ISRM تعیین شد (جدول ۵). مقدار شاخص بار نقطه‌ای در حالت اشباع بین ۰/۲۳ تا ۱/۲۲ و برای حالت خشک بین ۰/۴۷ تا ۲/۲۵ مگاپاسکال متغیر است. نمونه SS4 بیش‌ترین مقدار شاخص بار نقطه‌ای را در حالت اشباع و خشک داشته است. نمونه‌های ماسه سنگی SS4 و SS5 با مقادیر ۴/۷۸ و ۰/۸۴ (برای حالت خشک) و ۲/۱۹ و ۰/۴ مگاپاسکال (برای حالت اشباع) به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقاومت کششی را به خود اختصاص داده‌اند. هم‌چنین، با هدف تعیین مقاومت تراکمی تک محوری و مدول یانگ از روش استاندارد ISRM و نمونه‌های استوانه‌ای شکل با نسبت طول به قطر ۲/۵ استفاده شده است (Brown, 1981).

نتایج مقاومت تراکمی تک محوری ماسه سنگ‌های اهواز در (جدول ۶) قابل مشاهده است. با توجه به این جدول، مقدار مقاومت تراکمی تک محوری این سنگ‌ها در حالت خشک بین ۹/۶۲ تا ۴۱/۲۲ و در حالت اشباع بین ۳/۹۹ تا ۲۱/۹۸ مگاپاسکال تغییر می‌کند. بر این اساس، ماسه سنگ‌های اهواز در رده با مقاومت خیلی پایین تا پایین قرار می‌گیرند (Deere and Miller, 1966). مدول الاستیسیته این سنگ‌ها در حالت خشک بین ۱/۴۴ تا ۵/۵۱ گیگاپاسکال متغیر بوده به طوری که این سنگ‌ها دارای نسبت مدولی پایین می‌باشند.

آنالیز رگرسیون

به منظور تخمین روابط بین خصوصیات ژئوتکنیکی ماسه سنگ‌های شرق اهواز از آنالیزهای رگرسیونی ساده استفاده شده است. در این روش رابطه بین دو متغیر تصادفی و دارای توزیع نرمال تعیین می‌گردد. در این آنالیز رگرسیونی توابع خطی، توانی، لگاریتمی، نمایی و درجه دوم مورد استفاده قرار گرفت. با استفاده از نرم افزار SPSS 19 ارزش مقادیر R (ضریب همبستگی) و اعتبار معادلات 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. براساس این دو آزمون، در صورتی روابط و مقادیر ضریب همبستگی 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 ۲/۳۵۳ می‌باشد. هم‌چنین، مقدار F جدول با در نظر گرفتن سطح اطمینان ۹۵ درصد و درجه‌های آزادی V_۱ و V_۲ برابر با ۱۰/۱۳ است.

بحث

خصوصیات ژئوتکنیکی ماسه سنگ‌ها عمدتاً تحت تاثیر ویژگی‌های سنگ شناسی آنها می‌باشد (Bell, 1978, 1999 و Ulusay et al., 1994 و Gupta et al., 2007 و Tamrakar et al., 2008 و Zorlu et al., 2012). اما در نمونه‌های ماسه سنگ شرق و جنوب شرق اهواز تنها مقدار کوارتز نقش بسزایی در مقاومت تراکمی تک محوری، مدول الاستیسیته، مقاومت کششی و سرعت موج طولی ایفا می‌نماید. به طوری که با افزایش مقدار کوارتز در نمونه‌های ماسه سنگی، مقاومت تراکمی تک محوری و مدول الاستیسیته با پیروی از تابع لگاریتمی (با ضرایب همبستگی ۰/۹۳۳ و ۰/۹۴۶) افزایش می‌یابند (شکل ۳). این موضوع در تضاد با مطالعات انجام شده توسط (Bell (1978 و Ulusay et al. (1994 می‌باشد که بر روی ماسه سنگ‌های آمبرلند شمالی در انگلیس و کوزلو ترکیه انجام داده‌اند. زیرا که این محققان ارتباط معناداری بین درصد کوارتز با مقاومت تراکمی تک محوری و مدول الاستیسیته این سنگ‌ها پیدا نکردند. این رابطه برای مقاومت کششی و سرعت موج طولی بصورت نمایی با ضرایب همبستگی ۰/۹۰۷ و ۰/۹۴۳ افزایش می‌یابد (شکل ۳). نتایج آنالیزهای رگرسیونی بر روی نمونه‌های ماسه سنگی موید آن است که بین دانسیته و درصد تخلخل با مقاومت تراکمی تک محوری، مدول الاستیسیته، مقاومت کششی و سرعت موج طولی ارتباط مشخصی وجود دارد.

با افزایش دانسیته ماسه سنگ‌ها، مقاومت تراکمی و کششی و نیز مدول الاستیسیته و سرعت موج طولی به ترتیب با پیروی از رابطه لگاریتمی (R=۰/۹۶)، خطی (R=۰/۹۶۱)، لگاریتمی (R=۰/۹۵۶) و خطی (R=۰/۹۶۱) افزایش می‌یابند (شکل ۴). هم‌چنین، افزایش درصد تخلخل و جذب آب به کاهش مقاومت تراکمی تک محوری (بصورت خطی با ضریب همبستگی ۰/۹۶۳ و ۰/۹۴۴)، مدول الاستیسیته (بترتیب لگاریتمی (R=۰/۹۱۸) و خطی (R=۰/۹۵)) و مقاومت کششی (بصورت لگاریتمی با ضریب همبستگی ۰/۹۴۴ و ۰/۹۶۹) این ماسه سنگ‌ها منجر شده است (شکل ۴). این موضوع به دلیل آن است که سنگ‌های دارای درصد تخلخل بالاتر و دانسیته کمتر از تراکم دانه کمتری برخوردار بوده که تماس و اصطکاک بین ذرات کمتری دارند. این وضعیت کاهش مقاومت سنگ را در پی خواهد داشت. از سوی دیگر، با افزایش درصد تخلخل سرعت موج طولی به شدت با پیروی از تابع خطی (R=۰/۹۶۷) کاهش می‌یابد (شکل ۴د).

جدول ۴. مقادیر سرعت سیر موج طولی و شاخص ارزش ضربه ماسه سنگ های مورد مطالعه

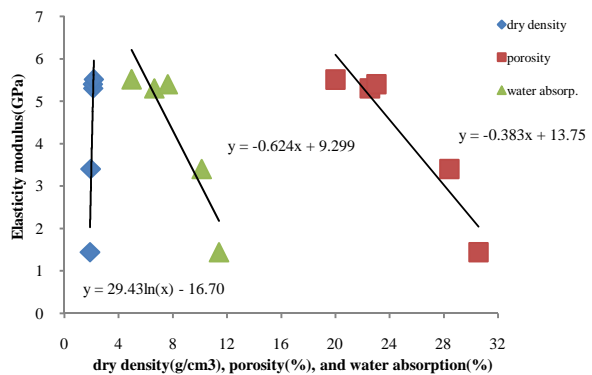
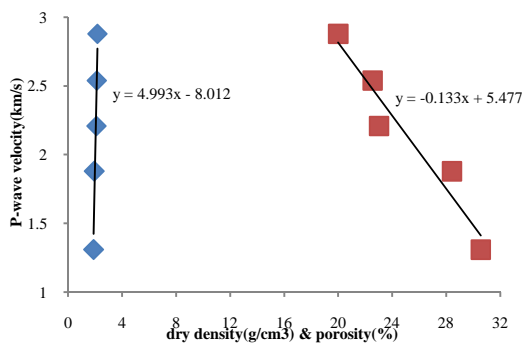
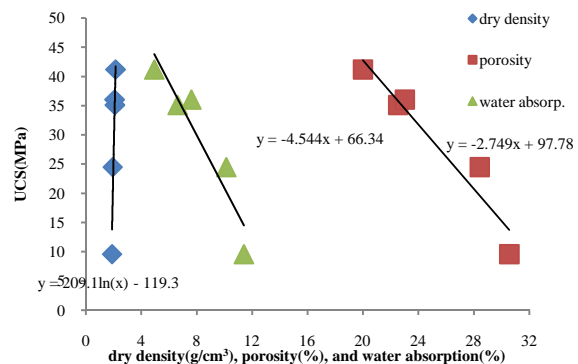
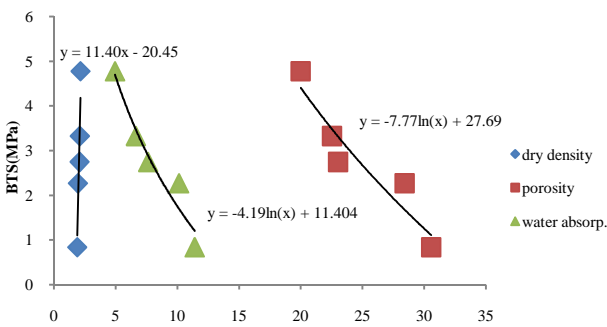
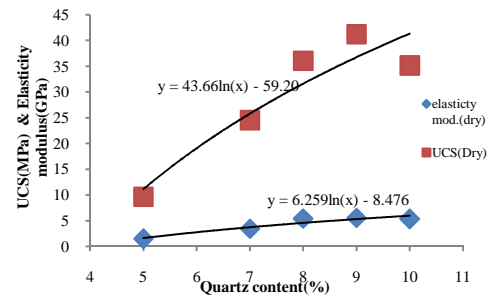
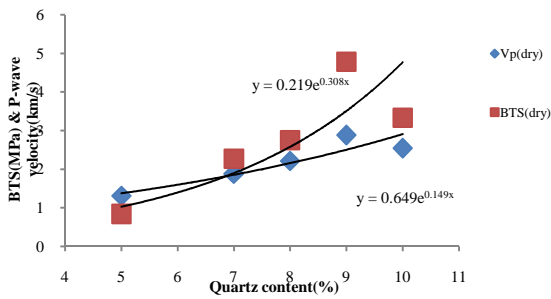
نمونه ها	سرعت عبوری موج فشاری (V_p) بر حسب (km/s)			شاخص ارزش ضربه (%)
	خشک	مرطوب	اشباع	
SS1	۲/۵۴	۲/۶۵	۲/۸۳	۴۸/۴۲
SS2	۱/۸۸	۲	۲/۱۵	۵۶/۹۵
SS3	۲/۲۱	۲/۲۶	۲/۳۵	۴۲/۰۵
SS4	۲/۸۸	۲/۹۹	۳/۰۷	۳۵/۴
SS5	۱/۳۱	۱/۴۶	۱/۹۷	۸۵/۳۱

جدول ۵. نتایج آزمون های مقاومت کششی برزیلی و مقاومت بارنقطه ای ماسه سنگ های شرق و جنوب شرق اهواز در رطوبت های مختلف

نمونه ها		SS1	SS2	SS3	SS4	SS5
میانگین مقاومت کششی برزیلی (MPa)	خشک	۳/۳۳	۲/۲۷	۲/۷۵	۴/۷۸	۰/۸۴
	مرطوب	۱/۷۱	۱/۶۲	۱/۳۷	۲/۸۴	۰/۶۱
	اشباع	۱/۳۱	۱/۱۸	۱/۱۱	۲/۱۹	۰/۴
میانگین شاخص مقاومت بارنقطه ای - (MPa)	خشک	۱/۸۰	۱/۲۴	۱/۹۳	۲/۲۵	۰/۴۷
	اشباع	۰/۶۸	۰/۶۲	۰/۹۴	۱/۲۲	۰/۲۳
طبقه بندی مقاومت براساس شاخص بار نقطه ای (در حالت خشک)	Deere, 1968	D	E	D	D	E
	Bieniawski, 1975	D	D	D	C	E

جدول ۶. نتایج مقاومت تراکمی تک محوری ماسه سنگ های شرق و جنوب شرق اهواز و رده بندی آنها براساس طبقه بندی دیر و میلر (۱۹۶۶)

نمونه ها	حالت آزمایش	مقاومت تراکم تک محوری (MPa)	توصیف مقاومت	مدول الاستیسیته (GPa)	نسبت مدولی	توصیف نسبت مدولی
SS1	خشک	۳۵/۱۴	D	۵/۳	۱۵۱	L
	مرطوب	۲۴/۰۶	E	۴/۰۷	۱۷۰	L
	اشباع	۱۶/۹۰	E	۲/۹۵	۱۷۵	L
SS2	خشک	۲۴/۵۱	E	۳/۴	۱۷۵	L
	مرطوب	۱۶/۲۲	E	۲/۹	۱۷۹	L
	اشباع	۱۰/۰۱	E	۱/۹۴	۱۹۴	L
SS3	خشک	۳۶/۰۵	D	۵/۴	۱۵۰	L
	مرطوب	۲۶/۱۸	E	۴/۱۷	۱۵۹	L
	اشباع	۱۸/۶۱	E	۳/۴۸	۱۸۷	L
SS4	خشک	۴۱/۲۲	D	۵/۵۱	۱۳۴	L
	مرطوب	۲۶/۳	E	۴/۵۴	۱۷۳	L
	اشباع	۲۱/۹۸	E	۳/۸۴	۱۷۵	L
SS5	خشک	۹/۶۲	E	۱/۴۴	۱۵۰	L
	مرطوب	۷/۳۲	E	۱/۲	۱۶۴	L
	خشک	۳/۹۹	E	۰/۶۹	۱۷۳	L



شکل ۴. رابطه بین دانسیته خشک، درصد تخلخل و جذب آب با خصوصیات مکانیکی و شاخص ماسه سنگ‌های مورد آزمایش. الف) مقاومت تراکمی تک محوری ب) مقاومت کششی ج) مدول الاستیسیته د) سرعت موج طولی

این موضوع می تواند ناشی از تخلخل زیاد نمونه حصارآباد باشد. بدین معنا که با افزایش تخلخل، آب بیشتری می تواند به درون سنگ نفوذ کند که فرآیند انحلال خرده سنگ‌های کربناته و سیمان موجود در این ماسه سنگ را سرعت می بخشد. حاصل این فرآیند کاهش دانسیته ماسه سنگ‌ها می باشد که، به افت دوام سنگ منجر می شود (Ghobadi and Mousavi, 2012). در سال ۲۰۰۴ طغرل (Tugrul) نشان داد که مقاومت تراکمی تک محوری سنگ‌ها با افزایش شاخص دوام وارفنگی آنها به صورت خطی افزایش می یابد. اگرچه نتایج حاصل از این تحقیق نیز بر وجود چنین رابطه‌ای صحت گذاشت، اما این ارتباط بین شاخص‌های دوام وارفنگی در سیکل دوم و پانزدهم با مقاومت تراکمی تک محوری بصورت معادله نمایی می باشد. از طرف دیگر، نتایج آنالیزهای رگرسیونی نشان دهنده آن است که بین شاخص‌های دوام در سیکل‌های دوم و پانزدهم با مقاومت کششی و مدول الاستیسیته رابطه نمایی (ضریب همبستگی بین ۰/۹۲۹ تا ۰/۹۹۴) برقرار است. در چنین شرایطی با افزایش شاخص‌های دوام وارفنگی مقاومت کششی و مدول الاستیسیته افزایش می‌یابند (شکل ۱۰).

در تمام این معادله‌ها، نتایج شاخص دوام در سیکل پانزدهم هم‌خوانی بیشتری با خصوصیات مکانیکی ماسه سنگ‌ها دارد. زیرا که ضریب رگرسیون آن بیشتر از شاخص دوام در سیکل دوم می باشد. (جدول ۷) معادلات پیشنهادی در این پژوهش و اعتبار آنها را نشان نموده می‌دهد.

نتیجه گیری

تحقیقات بسیاری به منظور ارتباط دادن خصوصیات ژئومکانیکی ماسه سنگ‌ها با ویژگی‌های شاخص، فیزیکی و سنگ شناسی آنها انجام شده است. روابط تجربی مختلفی از این تحقیقات برپایه آنالیزهای رگرسیونی حاصل شده است. هم‌چنین، ضرایب رگرسیون متفاوتی با توجه به نوع سنگ و آزمون‌های آزمایشگاهی ارائه گردید. در این پژوهش، ماسه سنگ‌های شرق و جنوب شرق اهواز به دلیل گستردگی زیاد و فقدان اطلاعات مستند از خصوصیات مهندسی آنها مدنظر قرار گرفته‌اند. بدین منظور، از این ماسه سنگ‌ها در ۵ محل نمونه‌برداری صورت گرفت. نتایج مطالعات سنگ شناسی مبین آن است که این ماسه سنگ‌ها از نوع کالک لیت آرنایت هستند. دانسیته خشک و درصد تخلخل این سنگ‌ها به ترتیب از ۱/۸۹ تا ۲/۱۶ گرم بر سانتی‌مترمکعب و از ۲۰ تا ۳۰/۵۶ درصد متغیر است. بیشترین مقاومت تراکمی تک محوری و کشش برزیلی به نمونه SS5 تعلق داشته است. عدد سختی واجهشی اشمیت نمونه‌های سنگی بین ۵/۶۷ تا ۲۵/۱۴ می باشد. به‌طور کلی، ماسه سنگ‌های سازند آغاچاری در شرق و جنوب شرق اهواز جز سنگ‌های ضعیف محسوب می شوند. زیرا که مقاومت آنها کمتر از ۲۵ مگاپاسگال- است. این سنگ‌ها مطابق رده بندی دیر و میلر مقاومت در رده D و E قرار می گیرند. مطابق نتایج حاصل از آزمایش ارزش ضربه، این ماسه سنگ‌ها برای مصارف ساختمانی و راه سازی مناسب نیستند. این ماسه سنگ‌ها براساس طبقه بندی گمبل (۱۹۷۱) برای دوام در سیکل دوم، کمی مقاوم تا مقاوم می باشند. اما با افزایش تعداد سیکل‌های تر و خشک شدگی شاخص دوام وارفنگی بشدت کاهش می یابد. براساس آنالیزهای رگرسیونی انجام شده، بین خصوصیات سنگ شناسی، فیزیکی، شاخص و مکانیکی ماسه سنگ‌های شرق و جنوب شرق اهواز ارتباط نزدیکی برقرار است. ارتباط بین درصد کوارتز در نمونه‌های ماسه سنگی با مقاومت تراکمی تک محوری و مدول الاستیسیته بصورت لگاریتمی می‌باشد. اما این رابطه برای مقاومت کششی و سرعت موج طولی نمایی است. به طوری که با افزایش مقدار کوارتز پارامترهای یادشده افزایش می یابند.

براساس بررسی‌های انجام شده توسط وسارهلی (Vasarhelyi) در سال ۲۰۰۳ مقاومت تراکمی تک محوری ماسه سنگ‌های اشباع ۷۶ درصد کمتر از حالت خشک آنها می باشد. در مقابل، در سال ۲۰۰۵ ونگ و همکاران (Weng et al.) نشان دادند که مقاومت ماسه سنگ‌های اشباع در تایوان ۱۵ تا ۸۰ درصد نمونه خشک است. نتایج حاصل از این تحقیق نیز نشان داد که با افزایش رطوبت در نمونه‌های ماسه سنگ اهواز مقاومت تراکمی تک محوری، مدول الاستیسیته، شاخص بارنقطه ای و مقاومت کششی کاهش می یابد (شکل ۵ الف و ب). زیرا با افزایش درصد رطوبت فشار آب منفذی افزایش می یابد که ناپایداری سطوح ضعف موجود در سنگ را به همراه خواهد داشت. افت مقاومت تراکمی و کششی این ماسه سنگ‌ها در حالت اشباع به ترتیب بین ۴۶/۶۸ (نمونه SS4) تا ۵۸/۴۸ (نمونه SS5) و ۳۲/۹۰ (نمونه SS4) تا ۶۰/۶۶ درصد (نمونه SS1) متغیر است.

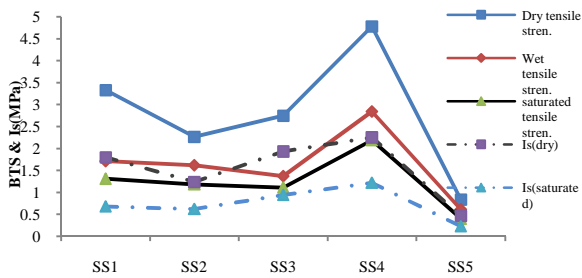
این کاهش برای مدول الاستیسیته و شاخص بارنقطه ای به ترتیب بین ۲۹/۶۳ (نمونه SS4) تا ۵۲/۰۸ (نمونه SS5) و ۴۵/۷۸ (نمونه SS4) تا ۶۲/۲۲ درصد (SS1) تغییر می کند. در مقابل، افزایش درصد رطوبت ماسه سنگ‌ها افزایش سرعت موج طولی را موجب شده است. به طوری که به حداکثر مقدار خود در حالت اشباع می‌رسد (شکل ۵ ج). این موضوع به دلیل آن است که سرعت امواج طولی از میان آب بیشتر از هوا می‌باشد. بنابراین، زمانیکه حفرات توسط آب اشغال می‌شوند، افزایش سرعت موج طولی را به همراه دارند. سرعت امواج صوتی در سنگ با خصوصیات سنگ شناسی و ویژگی‌های الاستیک سنگ بکر در ارتباط است (Goodman, 1989). به همین دلیل مقادیر سرعت امواج در سنگ‌ها و خصوصیات مکانیکی آنها قابل انطباق می‌باشند. نتایج این پژوهش نشان داد که بین سرعت موج طولی با مقاومت تراکمی تک محوری، مدول الاستیسیته و مقاومت کششی ماسه سنگ‌های شرق اهواز ارتباط نزدیکی برقرار است. این رابطه برای مقاومت تراکمی تک محوری، مدول الاستیسیته و مقاومت کششی به ترتیب لگاریتمی (R=۰/۹۷۹)، نمایی (R=۰/۹۰۹) و خطی (R=۰/۹۸۴) می‌باشد (شکل ۶).

مقایسه نتایج عدد سختی واجهشی چکش اشمیت ماسه سنگ‌ها با مقاومت تراکمی تک محوری، مدول الاستیسیته، مقاومت کششی و سرعت موج طولی ارتباط بین این خصوصیات مهندسی را آشکار نمود. به طوری که رابطه سختی واجهشی اشمیت با این پارامترها بصورت معادله نمایی با ضریب همبستگی بین ۰/۹۲۴ تا ۰/۹۹۷ می‌باشد (شکل ۷). هم‌چنین، رابطه شاخص ارزش ضربه با مقاومت تراکمی تک محوری به شکل خطی (R=۰/۹۸۹) بوده اما با مقاومت کششی، مدول الاستیسیته و سرعت موج طولی نمایی (R=۰/۹۵۵ تا ۰/۹۷۷) است (شکل ۸). با توجه به (شکل ۸) ماسه سنگ‌هایی که بیشترین مقدار شاخص ارزش ضربه را دارا می باشند، کمترین مقادیر این پارامترها به آنها تعلق دارد. هم‌چنین، نتایج آنالیزهای آماری بر روی نمونه‌های ماسه سنگی موردآزمایش حاکی از آن است که نتایج شاخص بارنقطه‌ای با مقادیر مقاومت تراکمی تک محوری، مدول الاستیسیته و مقاومت کششی برزیلی قابل انطباق می باشند. با افزایش شاخص بارنقطه‌ای، مقاومت تراکمی تک محوری و مدول الاستیسیته با پیروی از رابطه خطی (به ترتیب ضریب همبستگی ۰/۹۹۸ و ۰/۹۸۱) افزایش می یابد. ضریب زاویه (فاکتور تبدیل) این معادلات به ترتیب به مقدار ۱۷/۹۳ و ۲/۴۹ می باشد. اما مقاومت کششی بصورت نمایی با ضریب همبستگی ۰/۹۶۷ افزایش می یابد (شکل ۹). اگرچه ماسه سنگ‌های موردآزمایش بعد از دو سیکل دوام وارفنگی مقاوم تا کمی مقاوم ارزیابی شدند، اما با افزایش تعداد سیکل‌های تر و خشک شدگی شاخص دوام خصوصاً در نمونه حصارآباد (۱۱/۷۶ درصد) به شدت کاهش می یابد.

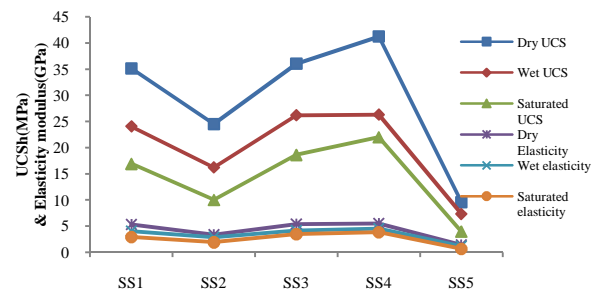
از سوی دیگر، ارتباط بین مقاومت تک محوری و مقاومت کششی برزیلی ماسه سنگ‌های شرق و جنوب شرق اهواز به صورت لگاریتمی ($R=0/974$) می باشد. همچنین، مقایسه شاخص‌های دوام وارفتگی در سیکل دوم و پانزدهم با مقاومت تراکمی تک محوری، مدول الاستیسیته و مقاومت کششی موید آن است که بین این پارامترها رابطه نمایی برقرار است. بدین معنا که با افزایش شاخص دوام پارامترهای یادشده افزایش می یابند. بنابراین، در مواردی که با فقدان مقادیر پارامترهای مقاومتی سنگ به منظور تحلیل رفتار مکانیکی آنها مواجه بوده می توان از این روابط تجربی در فازهای اولیه طراحی پروژه‌ها در این ناحیه استفاده نمود. همچنین، باید اذعان نمود که اعتبار این معادلات پیشنهادی تنها محدود به ماسه سنگ‌های آجاجاری در شهر اهواز و ماسه سنگ‌های با ترکیب سنگ شناسی مشابه می باشد.

همچنین، با افزایش دانسیته این ماسه سنگ‌ها مقاومت تراکمی و کششی و نیز مدول الاستیسیته و سرعت موج طولی به ترتیب با پیروی از رابطه لگاریتمی، خطی، لگاریتمی و خطی افزایش می یابند. افزایش درصد تخلخل و جذب آب نیز به کاهش مقاومت تراکمی تک محوری، مدول الاستیسیته و مقاومت کششی منجر می شود. این روابط به ترتیب به صورت توابع خطی، لگاریتمی و لگاریتمی می باشند.

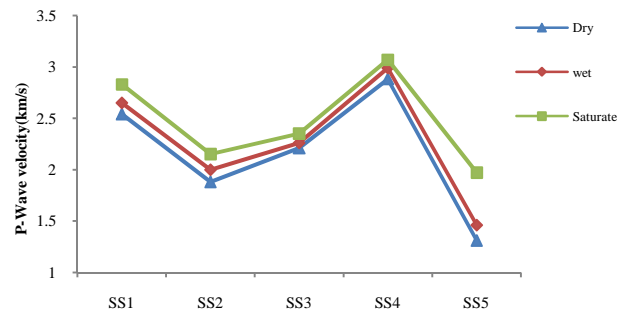
نتایج این تحقیق نشان داد که رابطه بین عدد سختی اشمیت با مقاومت تراکمی تک محوری، مدول الاستیسیته، مقاومت کششی و سرعت موج به صورت معادله نمایی با ضریب همبستگی بین ۰/۹۲۴ تا ۰/۹۹۷ می باشد. نتایج آنالیزهای رگرسیونی مشخص نمود که نتایج شاخص بارنقطه‌ای به صورت خطی با مقادیر مقاومت تراکمی تک محوری و مدول الاستیسیته قابل انطباق می باشند. اما مقاومت کششی به صورت نمایی با ضریب همبستگی ۰/۹۶۷ افزایش می یابد.



(ب)

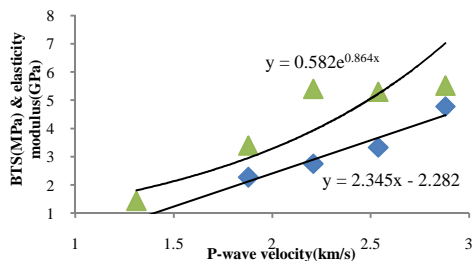


(الف)

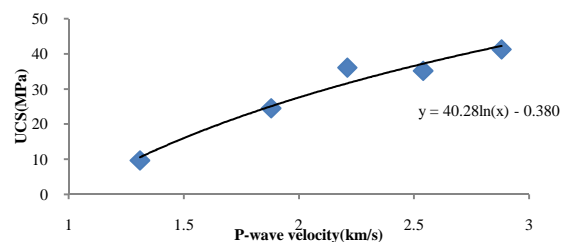


(ج)

شکل ۵. نمایش اثر رطوبت بر روی خواص مهندسی ماسه سنگ‌های مورد مطالعه. الف) مقاومت تراکمی و مدول الاستیسیته (ب) مقاومت کششی و بار نقطه‌ای (ج) سرعت موج طولی

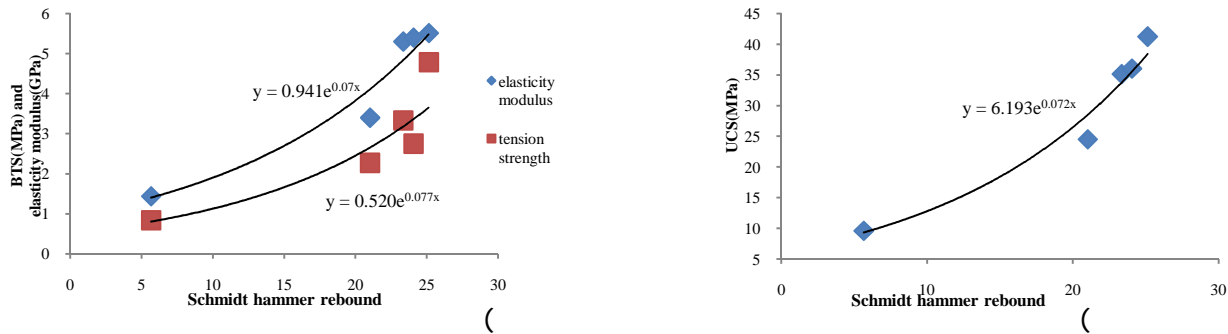


ب

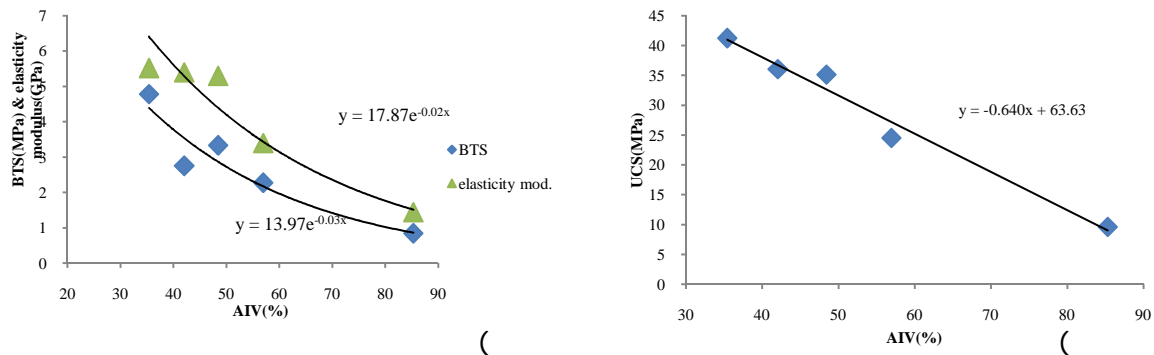


الف

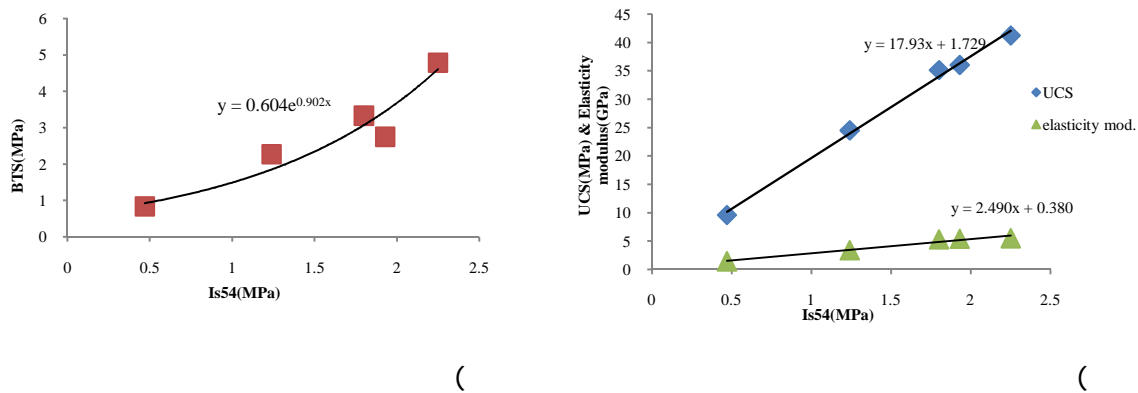
شکل ۶. رابطه سرعت موج طولی با خصوصیات مکانیکی. الف) مقاومت تراکمی (ب) مدول الاستیسیته و مقاومت کششی



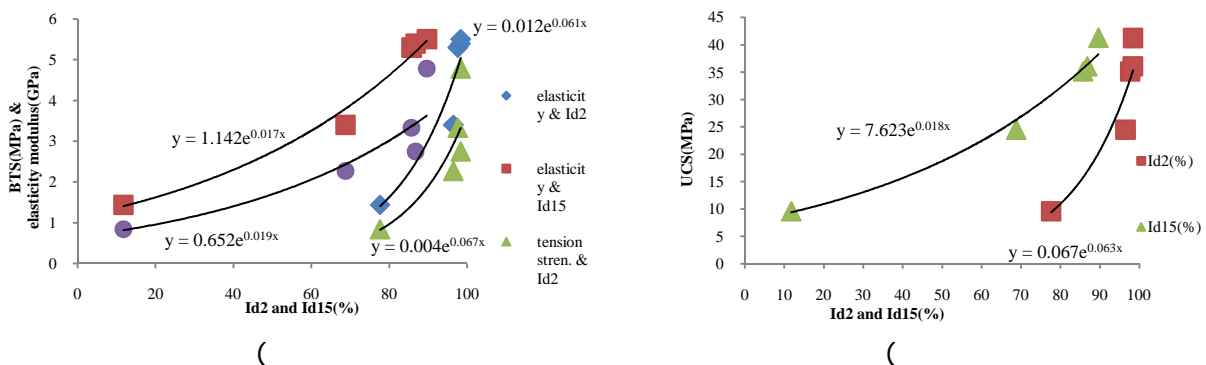
شکل ۷. نمودار سختی چکش اشمیت در مقابل خصوصیات مکانیکی ماسه سنگ‌های مورد مطالعه. الف) مقاومت تراکمی ب) مقاومت کششی و مدول الاستیسیته



شکل ۸. ارتباط شاخص ارزش ضربه با خصوصیات مکانیکی ماسه سنگ‌های مورد آزمایش. الف) مقاومت تراکمی ب) مقاومت کششی و مدول الاستیسیته



شکل ۹. نمودار رابطه شاخص بار نقطه‌ای با خصوصیات مکانیکی ماسه سنگ‌های اهواز. الف) مقاومت تراکمی و مدول الاستیسیته ب) مقاومت کششی



شکل ۱۰. ارتباط شاخص‌های دوام با خصوصیات مکانیکی ماسه سنگ‌های اهواز. الف) مقاومت تراکمی ب) مقاومت کششی و مدول الاستیسیته

جدول ۷. معادلات پیشنهادی (در حالت خشک) و اعتبار آنها در سطح اطمینان ۹۵ درصد

شماره	معادله خط برازش شده	R	t محاسبه شده	F محاسبه شده
۱	$UCS = 43/667 \ln(Qz) - 59/204$	۰/۹۳۳	۴/۴۸۵	۲۰/۱۱۷
۲	$UCS = 209/12 \ln(\gamma_d) - 119/31$	۰/۹۶	۵/۹۳۱	۳۸/۱۸۲
۳	$UCS = -2/7494 n + 97/788$	۰/۹۶۳	۶/۱۶۵	۳۸/۰۱۱
۴	$UCS = -4/5447 I_v + 66/345$	۰/۹۴۴	۴/۹۴۶	۲۴/۴۶۲
۵	$UCS = 40/289 \ln(Vp) - 0/3806$	۰/۹۷۹	۸/۳۰۷	۶۹/۰۱۰
۶	$UCS = 6/1939 e^{-0/726 SHR}$	۰/۹۸۹	۱۱/۶۸۴	۱۳۶/۵۰۷
۷	$UCS = -0/6402 AIV + 63/608$	۰/۹۸۹	۱۱/۴۱۸	۱۳۰/۳۷۲
۸	$UCS = 17/93 I_{s(54)} + 1/7294$	۰/۹۹۸	۲۶/۴۶۷	۷۰۰/۵۱۳
۹	$UCS = 0/0672 e^{-0/637 Id2}$	۰/۹۶۹	۶/۷۵۶	۴۵/۶۴۶
۱۰	$UCS = 7/6236 e^{-0/18 Id15}$	۰/۹۹۶	۱۹/۳۹۷	۳۷۶/۲۴۴
۱۱	$E = 6/259 \ln(Qz) - 8/4768$	۰/۹۴۶	۵/۰۷۶	۲۵/۷۶۱
۱۲	$E = 29/432 \ln(\gamma_d) - 16/706$	۰/۹۵۶	۵/۶۶	۳۲/۰۳۱
۱۳	$E = -0/3831 n + 13/753$	۰/۹۵	۵/۲۴۷	۲۷/۵۳۲
۱۴	$E = -0/6245 I_v + 9/2993$	۰/۹۱۸	۴/۰۰۶	۱۶۰/۴۸
۱۵	$E = 1/0456 e^{-0/644 Vp}$	۰/۹۰۹	۳/۷۸	۱۴/۲۸۵
۱۶	$E = 0/9414 e^{-0/7 SHR}$	۰/۹۸۲	۸/۸۹۱	۷۹/۰۴۶
۱۷	$E = 17/87 e^{-0/39 AIV}$	۰/۹۷۷	۷/۹۱۱	۶۲/۵۸۵
۱۸	$E = 2/4901 I_{s(54)} + 0/3802$	۰/۹۸۱	۸/۷۳۳	۷۶/۲۶۵
۱۹	$E = 0/012 e^{-0/614 Id2}$	۰/۹۶۲	۶/۰۷۴	۳۶/۸۹۱
۲۰	$E = 1/1424 e^{-0/175 Id15}$	۰/۹۹۴	۱۵/۷۶۶	۲۴۸/۵۶۴
۲۱	$BTS = -0/2192 e^{-0/608 Qz}$	۰/۹۰۷	۳/۷۴	۱۳/۹۸۶
۲۲	$BTS = 11/406 \gamma_d - 20/452$	۰/۹۲۱	۴/۰۹۴	۱۶/۷۶۲
۲۳	$BTS = -7/773 \ln(n) - 27/69$	۰/۹۴۴	۴/۹۵۸	۲۴/۵۸۳
۲۴	$BTS = -4/19 \ln(I_v) - 11/404$	۰/۹۶۹	۶/۸۳۱	۴۶/۶۶۲
۲۵	$BTS = 0/483 Vp + 1/01$	۰/۹۸۴	۹/۶۶	۹۳/۳۱۳
۲۶	$BTS = 0/5203 e^{-0/775 SHR}$	۰/۹۵۸	۵/۷۷	۳۳/۳۲
۲۷	$BTS = 13/975 e^{-0/33 AIV}$	۰/۹۷۲	۷/۱۴۳	۵۱/۰۲۵
۲۸	$BTS = 0/6047 e^{-0/24 I_{s(54)}}$	۰/۹۶۷	۶/۵۸۸	۴۳/۴۰۸
۲۹	$BTS = 0/0544 e^{-0/673 Id2}$	۰/۹۲۹	۴/۳۲۷	۱۸/۸۰۶
۳۰	$BTS = 0/6526 e^{-0/191 Id15}$	۰/۹۶۱	۶/۰۰۳	۳۶/۰۴
۳۱	$Vp = 0/6493 e^{-0/1498 Qz}$	۰/۹۴۳	۴/۹۲۶	۲۴/۲۶۲
۳۲	$Vp = 4/923 \gamma_d - 8/0125$	۰/۹۶۱	۶/۰۰۲	۳۶/۰۲۱
۳۳	$Vp = -0/1238 n + 5/4777$	۰/۹۶۷	۶/۶۲۶	۴۳/۹۰۱
۳۴	$Vp = 1/0422 e^{-0/35 SHR}$	۰/۹۲۴	۴/۱۹۱	۱۷/۵۶۷
۳۵	$Vp = 4/6761 e^{-0/15 AIV}$	۰/۹۵۵	۵/۵۶۴	۳۰/۹۶

منابع

- قبادی، م.ح.، ۱۳۷۷، خطرات زیست محیطی در شرق اهواز، اولین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، تهران، ص ۸۰۳-۸۱۴.
- قبادی، م.ح.، ۱۳۸۱، رابطه لیتولوژی و دوام در ناپایداری شیب‌های سنگی (مطالعه موردی)، مجله علوم دانشگاه شهید چمران اهواز، شماره ۸، ص ۱-۱۶.
- قبادی، م.ح.، موسوی، س.، خدابخش، س.، ۱۳۸۷، نقش هوازدگی دراز مدت در شناخت ویژگیهای زمین شناسی مهندسی ماسه سنگهای سازند آغاچاری در محل سد خیرآباد- (شهرستان بهبهان)، مجله علوم دانشگاه بوعلی سینا همدان، جلد ۵، ص ۶۹-۸۰.
- ASTM D2845, 2000, Standard test method for laboratory determination of pulse velocities and ultrasonic elastic constants of rock, Annual book of ASTM Standards, Vol: 14.02. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA.
- Bieniawski, Z.T., 1975, The point load test in geotechnical practice, Engineering Geology, Vol: 9, p1-11.
- Bell, F.G., 1978, The physical and mechanical properties of the Fell Sandstones, Northumberland, England, Engineering Geology, Vol: 12, p: 11-29.
- Bell, F.G., 1993, Durability of carbonate rock as building stone with comments on its preservation, Environmental Geology, Vol: 21, p: 187-200.
- Bell, F.G., Lindsay, P., 1999, The petrographic and geomechanical properties of some sandstones from the Newspaper Member of the Natal Group near Durban, South Africa, Engineering Geology, Vol:53, p: 57-81.
- Boggs, S., 2009, Petrology of sedimentary rocks, Cambridge university press, London, England.
- BS 812, 1990, Methods for determination of aggregate impact value(AIV), British Standard Institute, London, England.
- Brown, E.T., 1981. Rock characterization testing & monitoring ISRM suggested methods. Pergaman Press.
- 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 & Geomechanics Abstract, Vol: 27, No: 6, p: 495-503.
- Chang, C., Zoback, M.D., Khaksar, A., 2006, Empirical relations between rock strength and physical properties in sedimentary rocks, Journal of Petroleum Science and Engineering, Vol: 51, p: 223-237.
- Deere, D.U. and Miller, R.P., 1966, Engineering classification and index properties for intact rock, Technical report AFWLTR- 65-116, A.F. Weapons Laboratory, Kirtland AFB, NM.
- Deere, D.U., 1968, Geological consideration, In: Rock mechanics in engineering practice (edited by K.G. Stagg and D.C. Zienkiewicz), Wiley, London, England.
- Dobereiner, L., De Freitas, M.H., 1986, Geotechnical properties of weak sandstone. Geotechnique, Vol: 36, p: 79-94.
- 17-Folk, R.L., 1974, Petrology of sedimentary rocks, Hemphill Publishing Company, Texas, USA.
- Fahy, M.P. and Guccione, M.J., 1979. Estimating strength of sandstone using petrographic thin-section, Bulletin association of engineering geology and environment, Vol.,16, p: 467-485.
- Gamble, J.C., 1971, Durability-plasticity classification of shales and other argillaceous rocks, Ph.D. thesis, University of Illinois, USA.
- Ghobadi, M.H. and Mousavi, S. 2012. The effect of pH and salty solutions on durability of sandstones of the Aghajari Formation in Khouzestan province, southwest of Iran. Arabian Journal of Geosciences. DOI: 10.1007/s12517-012-0741-0.
- 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, Vol: 17, p: 61-72.
- Goodman, R.E., 1989, Introduction to rock mechanics, John Wiley & Sons, New York, USA.
- Gupta, V., Sharma, R., 2012, Relationship between textural, petrophysical and mechanical properties of quartzites: A case study from northwestern Himalaya, Engineering Geology, Vol: 135-136, p: 1-9.
- Hsieh, Y.M., Li, H.H., Huang, T.H., Jeng, F.S., 2008, Interpretations on how the macroscopic mechanical behavior of sandstone affected by microscopic properties—revealed by bonded-particle model, Engineering Geology, Vol: 99, p: 1-10.
- James, G.A., Wynd, J.G., 1965, Stratigraphic nomenclature of Iranian Oil Consortium Agreement Area, Bulletin of American Association of Petroleum Geology, Vol: 49, No: 12, p: 2182-2245.
- Macleod, J.H., 1969, Geological compilation map of Ahwaz(1:100000), Iranian oil operating companies
- Peng, S., Zhang, J., 2007, Engineering geology for underground rocks, Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- Shakoor, A., Bonelli, R.E., 1991, Relationship between petrophysical characteristics, engineering index properties and mechanical properties of selected sandstones. Bulletin of the Association of Engineering Geologists, Vol: 28, p: 55-71.
- Tamrakar, N.K., Yokota, S., Shrestha, S.D., 2007, Relationships among mechanical, physical and petrographic properties of Siwalik sandstones, Central Nepal Sub-Himalayas, Engineering Geology, Vol: 90, p: 105-123.
- Tugrul, A., 2004, The effect of weathering on pore geometry and compressive strength of selected rock types from, Turkey. Engineering Geology, Vol: 75, No: 3-4, p: 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, Vol: 37, p: 135-157.
- Vasarhelyi, B., 2003, Some observations regarding the strength and deformability of sandstones in dry and saturated condition, Bulletin of Engineering Geology and Environment, Vol:62, p: 245-249.

- Weng, M. C., Jeng, F. S., Huang, T. H., and Lin, M. L., 2005, Characterizing the deformation behaviour of Tertiary sandstones. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, Vol: 42, p: 388-401.
- 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*, Vol: 47, p: 481-487.
- Yates, P.G.J., 1992, The material strength of sandstones of the Sherwood Sandstone Group of North Staffordshire with reference to microfabric. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, Vol: 25, p: 107-113.
- 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*, Vol: 96, p: 141-158.