

بررسی ارتباط بین مقاومت تراکمی تک محوری و شاخص مقاومت بار نقطه‌ای ماسه سنگ‌های سازند آغاچاری

محمدحسین قبادی^۱، مجتبی حیدری^۱، بهروز رفیعی^۱، ساجدالدین موسوی^{۲*}

۱- اعضای هیات علمی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۲- دانشجوی دکتری زمین شناسی مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

sajed_ms@yahoo.com

چکیده

در این تحقیق تعیین ارتباط بین مقاومت تراکمی تک محوری و شاخص بار نقطه‌ای ماسه سنگ‌های آغاچاری مورد توجه قرار گرفته است. بدین منظور، تعداد ۱۸ بلوک ماسه‌سنگی از سرتاسر استان خوزستان جمع‌آوری شده است. از بلوک‌های سنگی در آزمایشگاه مغزه‌گیری شده است. با تهیه مقاطع نازک و ویژگی‌های سنگ شناسی آنها مطالعه گردید. هم‌چنین، خصوصیات فیزیکی، مقاومت بار نقطه-ای و مقاومت تراکمی تک محوری آنها تعیین شد. نتایج این تحقیق نشان داد که ماسه سنگ‌های آغاچاری از نوع کالک لیتارنایت و ولک آرنایت می‌باشند. هم‌چنین، این ماسه سنگ‌ها از مقاومت بسیار پایین تا بالا برخوردار می‌باشند. با استفاده از آنالیزهای رگرسیون و نرم افزار SPSS 21، ارتباط بین تراکمی تک محوری و شاخص بار نقطه‌ای این ماسه سنگ‌ها تعیین گردید. این روابط به صورت توابع توانی و نمایی بوده‌اند. هم‌چنین، آزمون‌های T و F در سطح اطمینان ۹۵ درصد اعتبار روابط تجربی پیشنهادی را تایید نمودند. بنابراین، استفاده از این روابط جهت تعیین مقاومت تراکمی تک محوری ماسه سنگ‌های آغاچاری، می‌تواند به کاهش هزینه‌های اجرای پروژه‌های مهندسی در این سازند کمک نماید.

کلمات کلیدی: مقاومت تراکمی تک محوری، مقاومت بار نقطه‌ای، ماسه سنگ، سازند آغاچاری.

۱- مقدمه

مقاومت تراکمی تک محوری سنگ بکر (UCS)، اصلی‌ترین و متداول‌ترین پارامتر مکانیکی مورد استفاده در پروژه‌های مختلف مهندسی می‌باشد. نتایج این آزمایش در طراحی پروژه‌های تونلسازی، ترانشه‌زنی جاده‌ها، انفجار سنگ، طبقه بندی توده سنگ و نیز ارزیابی معیارهای شکست سنگ بکر و توده‌های سنگ کاربرد فراوان دارد (Tsiambaos, G. and Sabatakakis, N., 2004; Kahraman, S., et al., 2012). با این حال، اندازه‌گیری این پارامتر مستلزم صرف هزینه و زمان زیاد و نیز آماده‌سازی نمونه‌های با ابعاد و استاندارد خاص می‌باشد. به همین دلیل، آزمایش‌های غیرمستقیم نظیر آزمون بار نقطه‌ای به منظور تخمین UCS مورد توجه قرار گرفته‌اند. هم‌چنین، این آزمایش به دلیل نبود مشکلات آماده‌سازی نمونه و نیز نیاز به اعمال بار کمتر به آسانی در آزمایشگاه و در محل احداث سازه‌ها قابل انجام می‌باشد.

شاخص مقاومت بار نقطه‌ای را می‌توان به عنوان اندازه غیرمستقیمی از مقاومت تراکمی تک محوری سنگ در نظر گرفت.

اولین انطباق بین شاخص بار نقطه‌ای و مقاومت تراکمی تک محوری به صورت رابطه خطی ارائه گردید (D'Andrea, D.V., et al., 1964). هم‌چنین، رابطه دیگری در سال ۱۹۷۲ مقدار UCS سنگ را ۲۴ برابر شاخص بار نقطه‌ای در نظر گرفته است (Broch, E., 1972). اما نتایج بدست آمده از این رابطه نشان داد که، ضریب تبدیل شاخص بار نقطه‌ای به مقاومت تراکمی تک محوری، حدود ۲۰ درصد خطا دارد (Pell, P.J.N., 1975). از سوی دیگر، گزارش کمیته استانداردسازی آزمایشات صحرائی و آزمایشگاهی ISRM، مقاومت تراکمی تک محوری سنگ‌ها را ۲۰ تا ۲۵ برابر شاخص بار نقطه‌ای پیشنهاد نموده است (ISRM, 1975).

Ulusay, R., et al., 1985). در مقابل، برای ماسه سنگ‌های کوزلو ترکیه رابطه‌ای خطی با ضریب تبدیل ۱۹ پیشنهاد شده است (Ulusay, R., et al., 1994). در نهایت، در سال ۲۰۰۴ با استفاده از ۱۸۸ نمونه سنگ رسوبی، روابط خطی و توانی برای تخمین مقاومت تراکمی تک محوری از شاخص بارنقطه‌ای ارایه گردید (Sabatakakis, N., et al., 2008). از این رو، مطالعات مختلف نشان می‌دهند که ضریب تبدیل یکسانی برای سنگ‌های مختلف وجود ندارد و تحقیقات در این زمینه هنوز ادامه دارد (Kohno, M. and Maeda, H., 2012). هم‌چنین، روابط پیشنهادی موجود را نمی‌توان برای سنگ‌های دیگر مناطق به کار گرفت. تحت چنین شرایطی تعیین ضریب تبدیل برای سنگ‌های مختلف موجود در هر منطقه اجتناب ناپذیر است. بنابراین، در این تحقیق تعیین این ضرایب تبدیل با استفاده از آنالیزهای رگرسیونی برای ماسه سنگ‌های آجاجاری مد نظر قرار گرفته است.

۲- مواد و روشها

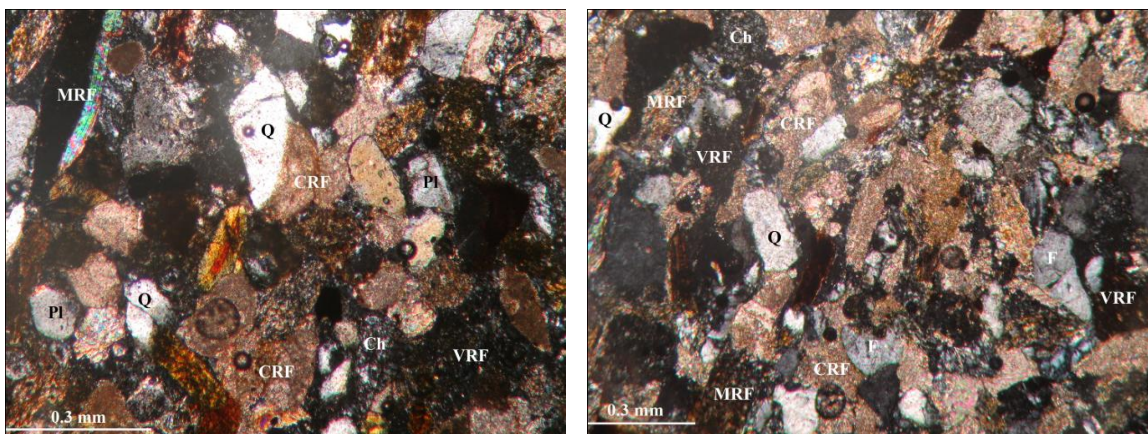
در این تحقیق ۱۸ بلوک سنگی از رخنمون‌های سازند آجاجاری از سراسر استان خوزستان جمع آوری شده است. پس از مغزه‌گیری از این بلوک‌ها، مقطع نازک از هر بلوک به منظور مطالعه ویژگی‌های سنگ‌شناسی آنها تهیه گردید. هم‌چنین، خصوصیات فیزیکی، مقاومت تراکمی تک محوری و بارنقطه‌ای آنها نیز اندازه‌گیری شد. با استفاده از آنالیزهای رگرسیونی، روابط بین شاخص بارنقطه‌ای و مقاومت تراکمی تک محوری در سطح اطمینان ۹۵ درصد تعیین گردید. هم‌چنین، با استفاده از آزمون‌های T و F اعتبار روابط بدست آمده مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند.

۲-۳- ویژگی‌های سنگ‌شناسی

مقاطع نازک تهیه شده از هر نمونه ماسه سنگ، به منظور آگاهی از خصوصیات سنگ‌شناسی آنها در زیر میکروسکوپ پلاریزان مورد بررسی قرار گرفته‌اند. این سنگ‌ها عمدتاً از خرده سنگ‌های کربناته (۷۶%-۲۸)، خرده سنگ‌های آتشفشانی (۳۳%-۰)، خرده سنگ‌های دگرگونی (۱۷%-۰)، کوارتز (۱۸%-۲)، چرت (۱۰%-۰)، کانی‌های تیره (۱۰%-۱) و فلدسپات (۹%-۰) تشکیل شده‌اند (شکل ۱). اجزا فرعی نظیر میکا، خرده سنگ‌های گلی و ژیس در برخی از نمونه‌ها نیز قابل مشاهده است. تمام ماسه سنگ‌های یادشده به استثنا ماسه سنگ سه راه تپه اهواز (ولک آنریت)، از نوع کالک لیتارنایت می‌باشند (Folk, R.L., 1974). نمونه‌های برداشت شده از بخش‌های جنوبی استان عمدتاً دانه تکیه‌گاهی و فاقد سیمان می‌باشند. سایر نمونه‌ها به استثنا نمونه رگ سفید (ژپیس)، سیمان از نوع کلسیتی می‌باشند. هم‌چنین، اندازه متوسط ذرات تشکیل دهنده این ماسه سنگ‌ها از ۰/۱۸ تا ۰/۸۶ میلی‌متر متغیر است. دانه‌های تشکیل دهنده این ماسه سنگ‌ها نیمه گرد شده تا زویه‌دار بوده و از جورشدگی متوسط تا بد برخوردار می‌باشند.

۲-۲- خصوصیات فیزیکی

خصوصیات فیزیکی از مهم‌ترین ویژگی‌های سنگ‌ها است که مقاومت و تغییر شکل‌پذیری آنها را تحت کنترل دارند. به این منظور ویژگی‌های فیزیکی ۱۸ نمونه ماسه سنگ مورد مطالعه براساس استاندارد ISRM تعیین شده است (Brown, E.T., 1981). جدول- (۱) خواص فیزیکی ماسه سنگ مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱ - نمونه‌هایی از مقاطع نازک ماسه سنگ‌های آگاجاری. (الف) Az و (ب) نمونه TP. در این شکل‌ها CRF: خرده سنگ کربناته، VRF: خرده سنگ آتشفشانی، MRF: خرده سنگ دگرگونی، Q: کوارتز، Ch: چرت، F: ارتوز و PI: پلاژیوکلاز می باشد.

جدول ۱ - خصوصیات فیزیکی ماسه سنگ‌های سازند آگاجاری در استان خوزستان.

نام نمونه	نشانه	درصد تخلخل	درصد جذب آب	دانسیته ذرات جامد	دانسیته خشک (g/cm^3)	دانسیته اشباع (g/cm^3)
رگ سفید	RG	۱۸/۳۵	۶/۵	۲/۷۲	۲/۲۲	۲/۴
پازنان	PZ	۵/۷۴	۰/۸۶	۲/۴۸	۲/۳۳	۲/۳۹
آگاجاری	AJ	۱۴/۰۵	۵/۷۷	۲/۴۶	۲/۱۱	۲/۲۶
کریک کمپ	CR	۲۳/۶۶	۱۱/۶۵	۲/۳۸	۱/۸۲	۲/۰۶
تپه	TP	۲۳/۱۷	۱۲/۴۸	۲/۴۲	۱/۸۶	۲/۰۹
حمیدیه	HA	۲۴/۸۹	۱۳/۷۳	۲/۴۱	۱/۸۱	۲/۰۶
سوسنگرد	SG	۲۴/۲۲	۱۳/۴۸	۲/۳۷	۱/۸	۲/۰۴
ام‌الدیس	OD	۲۵/۲۷	۱۴/۵۸	۲/۳۲	۱/۷۳	۱/۹۸
ماماتین	MA	۱۰/۴۳	۲/۶	۲/۵۹	۲/۳۲	۲/۴۳
رودزرد	RD	۵/۳۹	۰/۷۹	۲/۵۳	۲/۳۹	۲/۴۴
نفت سفید	NF	۵/۸۹	۰/۷۵	۲/۶۴	۲/۴۸	۲/۵۴
کراب	KR	۱۷/۶۷	۹/۰۱	۲/۳۸	۱/۹۶	۲/۱۴
تک تکاب	TT	۱۷/۵۹	۷/۵۳	۲/۴۲	۱/۹۹	۲/۱۷
باغملک	BMK	۴/۲۹	۰/۶۷	۲/۵۴	۲/۴۳	۲/۴۷
گدارلندر	GDL	۴/۵۶	۰/۴۹	۲/۶۳	۲/۵۱	۲/۵۶
لالی	LA	۴/۴۷	۰/۴۹	۲/۶	۲/۴۸	۲/۵۳
گتوند	GU	۴/۲۵	۰/۹۱	۲/۶۲	۲/۵۱	۲/۵۵
بالارود	BL	۵/۳۷	۲/۱۷	۲/۶۱	۲/۴۷	۲/۵۲

۲-۳- مقاومت تراکمی تک محوری و بارنقطه‌ای

مقاومت تراکمی تک محوری مطابق استاندارد ISRM بر روی مغزه‌های سنگی با نسبت طول به قطر ۲/۵ انجام شده است (جدول ۲). نرخ تنش اعمال شده در این آزمایش ۰/۵ MPa/s بوده است (Brown, E.T., 1981). هم‌چنین، شاخص بار نقطه‌ای (I_s) با پیروی

از استاندارد ISRM و به صورت محوری تعیین شد (Brown, E.T., 1981). این دو آزمایش در دو حالت خشک و اشباع انجام شده است (جدول ۲).

جدول ۲- مقادیر مقاومت تراکمی تک محوری و بارنقطه‌ای ماسه سنگ‌های مورد مطالعه.

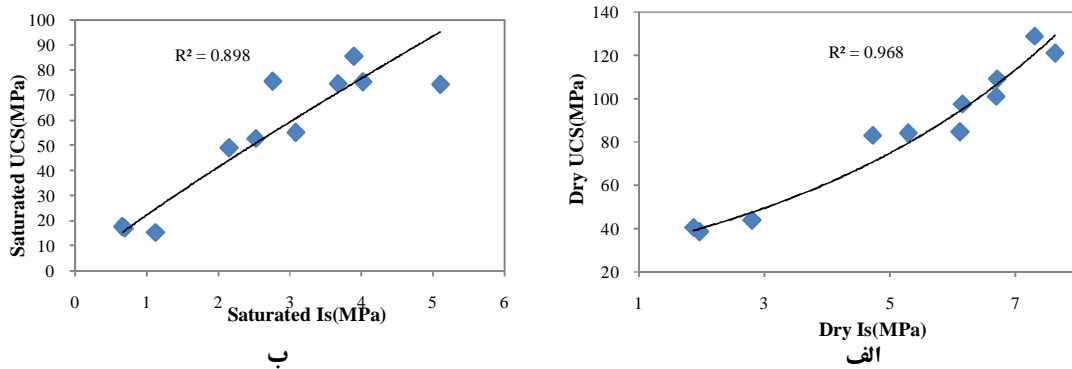
نام نمونه	نشانه	شاخص بار نقطه‌ای (MPa)		مقاومت تراکمی تک محوری (MPa)	
		خشک	اشباع	خشک	اشباع
رگ سفید	RG	۳/۸۵	۱/۲	۳/۴۸	۱۷/۸۳
پازنان	PZ	۸/۶۴	۳/۳۸	۸۳/۰۱	۴۹/۰۴
آغاچاری	AJ	۲/۴۵	۰/۹۵	۴۰/۴۸	۱۷/۱۴
کریک کمپ	CR	۰/۷۲	۰/۱۲	۱۰/۳۸	۴/۰۷
تپه	TP	۰/۶۱	۰/۰۴	۸/۵۳	۴/۰۱
حمیدیه	HA	۰/۴۹	۰/۰۳	۶/۷۵	۲/۶۲
سوسنگرد	SG	۰/۲۲	۰/۰۲	۶/۴۹	۱/۶۸
ام الدبیس	OD	۰/۱۹	۰/۰۱	۵/۸۱	۱/۱۸
ماماتین	MA	۴/۵۶	۰/۹	۴۳/۷۱	۱۵/۴۱
رودزرد	RD	۱۰/۱۳	۵/۸۱	۸۴/۵۸	۵۵/۱۵
نفت سفید	NF	۹/۶۲	۴/۲	۱۲۱/۱۶	۷۴/۶۲
کراب	KR	۲/۴	۰/۹۸	۲۳/۴۷	۸
تک تکاب	TT	۲	۰/۵۲	۲۴/۷	۹/۶۷
باغملک	BMK	۱۰/۴۹	۵/۹۷	۱۰۹/۱	۷۴/۳۲
گدارلندر	GDL	۸/۵۹	۳/۴	۸۴/۰۲	۵۲/۷۳
لالی	LA	۱۳/۲۳	۶/۳۹	۹۷/۴۹	۷۵/۲۷
گونند	GU	۹/۸۲	۵/۰۷	۱۲۸/۸۹	۸۵/۴۳
بالارود	BL	۸/۰۷	۳/۶۹	۱۰۱/۰۵	۷۵/۵۱

۳- نتایج و بحث

خصوصیات فیزیکی ماسه سنگ‌های مورد مطالعه نظیر دانسیته خشک و اشباع، دانسیته ذرات جامد، درصد تخلخل و جذب آب تعیین گردید (جدول ۱). بر این اساس، دانسیته خشک و اشباع به ترتیب بین ۱/۷۳ تا ۲/۵۱ و ۱/۹۸ تا ۲/۵۶ گرم بر سانتی متر مکعب متغیر است. نمونه ام الدبیس بیشترین درصد تخلخل و جذب آب را بخود اختصاص داده است. در حالیکه، کمترین درصد تخلخل و جذب آب به ترتیب به نمونه‌های گتوند (۴/۲۵ درصد) و لالی و گتوند (۰/۴۹ درصد) تعلق داشته است. جدول (۲) نتایج آزمون‌های بار نقطه‌ای انجام شده بر روی ماسه سنگ‌های آغاچاری را نشان می‌دهد. مطابق این جدول، شاخص بار نقطه‌ای در حالت خشک و اشباع به ترتیب بین ۰/۱۹ تا ۱۳/۲۳ و ۰/۰۱ تا ۶/۳۹ مگاپاسکال متغیر است. این ماسه سنگ‌ها بر اساس شاخص بار نقطه‌ای در حالت خشک در رده با مقاومت خیلی پایین تا خیلی بالا قرار می‌گیرد (Beiniawski, Z.T., 1975).

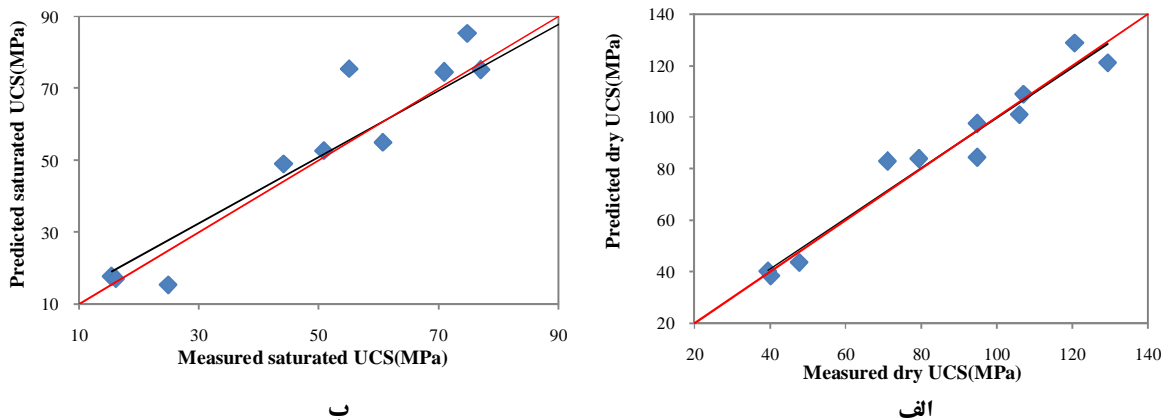
همچنین، نتایج حاصل از آزمایش‌های تراکم تک محوری نشان داد که مقاومت این ماسه سنگ‌ها در حالت خشک از ۵/۸۱ تا ۱۲۸/۸۹ مگاپاسکال در تغییر است. بیشترین و کمترین مقدار مقاومت تراکمی در حالت اشباع به ترتیب به نمونه‌های ام-الدبیس و گتوند تعلق داشته است (جدول ۲). این ماسه سنگ‌ها در حالت خشک مقاومت خیلی پایین (سنگ ضعیف) تا بالا و در حالت اشباع خیلی پایین تا متوسط دارند (ISRM, 1979).

به منظور تعیین ارتباط بین مقاومت تراکمی تک محوری و شاخص بار نقطه‌ای برای ماسه سنگ‌های ضعیف، ماسه سنگ‌های مورد مطالعه براساس مقاومت تراکمی به دو گروه ضعیف و مقاوم (غیرضعیف) تقسیم شده‌اند. براساس آنالیزهای رگرسیونی بین شاخص بار نقطه‌ای و مقاومت تراکمی تک محوری ماسه سنگ‌های مقاوم در حالت خشک و اشباع به ترتیب رابطه‌ی نمایی و توانی با ضرایب تعیین (R^2) برابر با ۰/۸۹۸ و ۰/۹۶۸ برقرار است (شکل ۲).



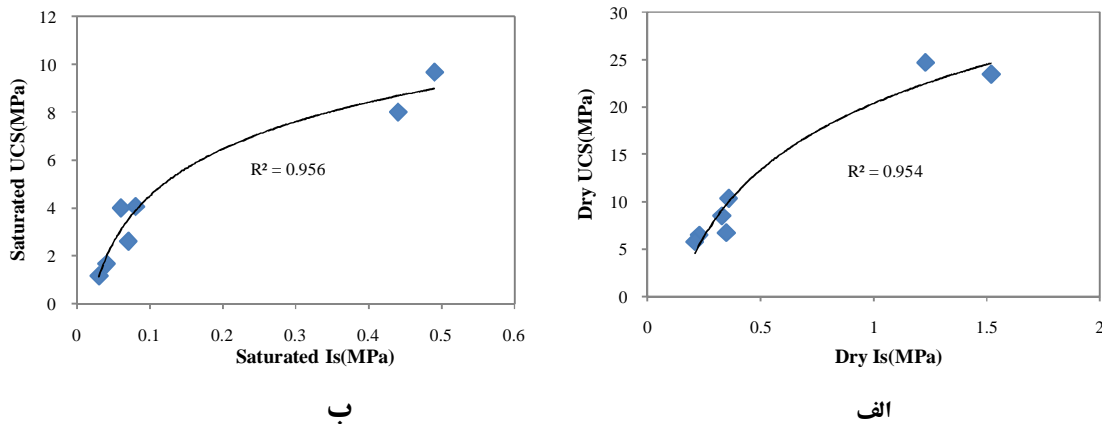
شکل ۲- رابطه بین UCS و Is ماسه سنگ‌های مقاوم. الف) حالت خشک و ب) حالت اشباع.

آزمون‌های آماری T و F نیز اعتبار این روابط را مورد تایید قرار داده‌اند (مقادیر T و F به ترتیب بین ۱۰/۲۶۱ تا ۱۰/۴۷ و ۱۰۵/۲۹۷ تا ۱۰۹/۶۲۵ است). هم‌چنین، ترسیم نمودار مقادیر مقاومت تراکمی اندازه‌گیری شده در مقابل مقادیر پیش بینی شده نشان داد که روابط پیش‌گویی از خطای اندک برخوردار می‌باشند (شکل ۳).



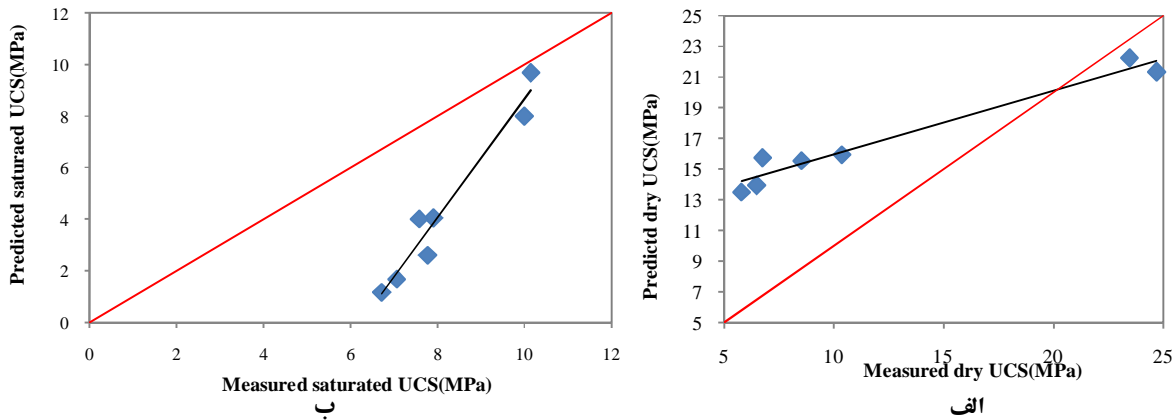
شکل ۳- نمودار مقادیر UCS اندازه‌گیری شده در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده برای ماسه سنگ‌های مقاوم. الف) حالت خشک و ب) حالت اشباع.

از سوی دیگر، آنالیزهای آماری موید وجود رابطه لگاریتمی بین شاخص بار نقطه‌ای و مقاومت تراکمی تک محوری ماسه سنگ‌های ضعیف می‌باشد (شکل ۴). در این شرایط ضریب تعیین برای حالت خشک ۰/۹۵۴ و حالت اشباع ۰/۹۵۶ می‌باشد.



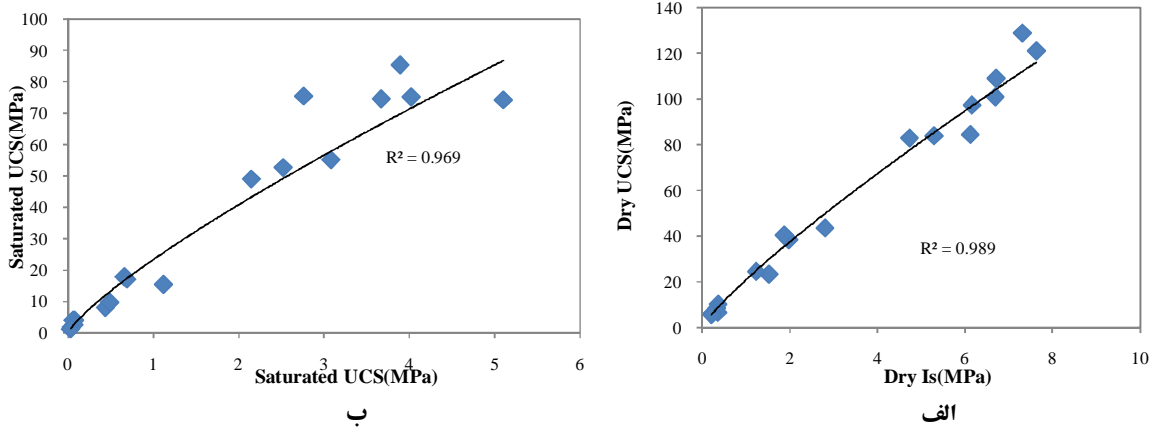
شکل ۴- رابطه UCS و Is برای ماسه سنگ‌های ضعیف سازند آغاچاری. (الف) حالت خشک و (ب) حالت اشباع.

مقادیر T و F محاسبه شده برای حالت خشک ($T=10/261$ و $F=10.5/294$) و اشباع ($T=10/47$ و $F=10.9/625$) بر اعتبار این روابط تایید می‌نمایند. اما محاسبه مقادیر مقاومت تراکمی از این روابط و نیز ترسیم نمودار مقادیر اندازه‌گیری شده در برابر مقادیر پیش بینی شده، نشان داد که خطای این روابط در پیش‌گویی مقاومت تراکمی بسیار زیاد است (شکل ۵).



شکل ۵- نمودار مقادیر UCS اندازه‌گیری شده در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده برای ماسه سنگ‌های ضعیف سازند آغاچاری. (الف) حالت خشک و (ب) حالت اشباع.

با این وجود هنگامی که تمام نمونه‌های ماسه سنگی در آنالیزهای آماری در نظر گرفته شدند، روابط توانی با ضرایب تعیین بزرگتر بدست آمده است (شکل ۶). در این حالت ضرایب تعیین در حالت خشک و اشباع به ترتیب 0.989 و 0.969 می‌باشند.

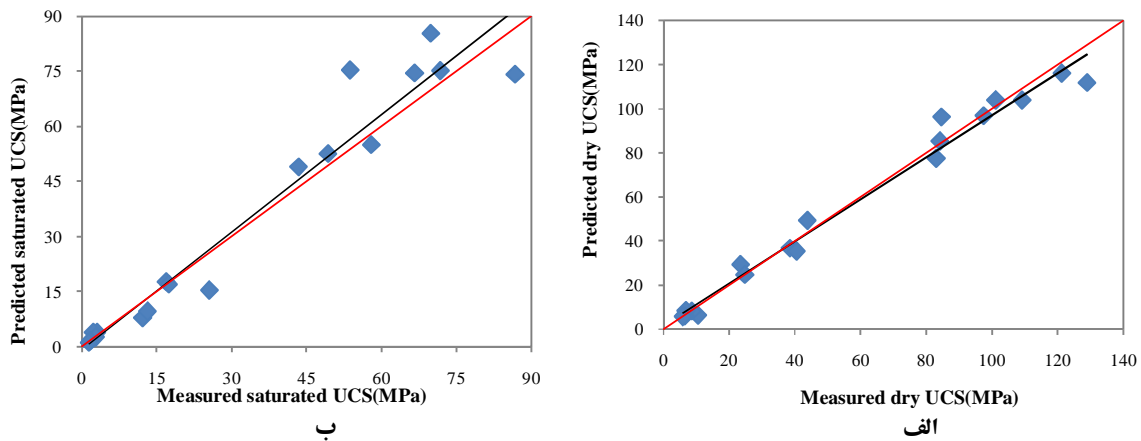


شکل ۶ - رابطه UCS و Is برای کل ماسه سنگ‌های سازند آغاچاری. (الف) حالت خشک و (ب) حالت اشباع.

هم‌چنین، مقادیر F و T برای این معادلات افزایش یافت که نشان دهنده افزایش اعتبار روابط یادشده می‌باشد (جدول ۳). به منظور تعیین میزان دقت نتایج پیش بینی شده، نمودار مقادیر مقاومت تراکمی اندازه گیری شده در مقابل مقادیر پیش بینی شده نیز ترسیم گردید (شکل ۷). با استفاده از این نمودار می‌توان مشاهده نمود که نتایج بدست آمده پراکندگی زیادی نداشته و از دقت مناسب برخوردار می‌باشند. بنابراین، با بکارگیری این روابط می‌توان مقاومت تراکمی تک محوری ماسه سنگ‌های آغاچاری را با سرعت و هزینه کم تعیین نمود.

جدول ۳- معادلات پیشنهادی برای تعیین مقاومت تراکمی تک محوری از شاخص بار نقطه‌ای ماسه سنگ‌های مورد مطالعه.

مقدار P	مقدار F	نسبت T	R ²	رابطه	شرایط آزمایش
۰/۰۰	۱۴۶۶/۹۲۴	۳۸/۳	۰/۹۸۹	$UCS=20.879Is^{0.845}$	خشک
۰/۰۰	۱۰۵/۲۹۹	۲۲/۳۹۱	۰/۹۶۹	$UCS=23.454Is^{0.803}$	اشباع



شکل ۷- نمودار مقادیر UCS اندازه‌گیری شده در مقابل مقادیر پیش بینی شده برای کل ماسه سنگ‌های سازند آغاچاری. (الف) حالت خشک و (ب) حالت اشباع.

۴- نتیجه گیری

محققان بسیاری تلاش نموده‌اند تا مقاومت تراکمی تک محوری سنگ‌ها را با استفاده از آزمون‌های ساده‌تر و ارزان‌تر تعیین نمایند. ارایه روابط تجربی بین مقاومت تک محوری و شاخص بار نقطه‌ای با بکارگیری آنالیزهای رگرسیون، یکی از متداول‌ترین این روش‌ها می‌باشد. در این تحقیق، شناخت ارتباط بین مقاومت تراکمی تک محوری و شاخص بار نقطه‌ای ماسه سنگ‌های آغاچاری در استان خوزستان مدنظر قرار گرفته است. بررسی مقاطع نازک این سنگ‌ها مبین آن است که ماسه سنگ‌های سازند آغاچاری در استان خوزستان از نوع کالک‌لیتارنایت و ولک آرنایت می‌باشند. هم‌چنین، براساس مقاومت تراکمی تک محوری این سنگ‌ها دارای مقاومت خیلی پایین (سنگ ضعیف) تا بالا می‌باشند. نتایج آنالیزهای رگرسیونی در سطح اطمینان ۹۵٪ نشان داد که بین مقاومت تراکمی تک محوری و شاخص بار نقطه‌ای ماسه سنگ‌های مقاوم این سازند، در حالت خشک و اشباع به ترتیب رابطه نمایی و توانی برقرار است. درحالی‌که این رابطه برای ماسه سنگ‌های ضعیف این سازند به صورت لگاریتمی می‌باشد. با این وجود، نتایج بدست آمده از این روابط برای ماسه سنگ‌های ضعیف چندان رضایت‌بخش نبوده است. هم‌چنین، هنگامی که تمام نمونه‌های ماسه‌سنگی مورد مطالعه در آنالیزهای رگرسیونی در نظر گرفته می‌شوند، این روابط از تابع توانی با ضرایب تعیین ۰/۹۸۹ (حالت خشک) و ۰/۹۶۹ (حالت اشباع) پیروی می‌کنند. نتایج آزمون‌های T و F دقت و صحت اعتبار این روابط توانی را نیز مورد تایید قرار داده‌اند. هم‌چنین، نتایج حاصل از پیش بینی این روابط به مقادیر اندازه‌گیری شده بسیار نزدیک بوده است. از این رو، استفاده از این روابط به منظور تخمین مقاومت تراکمی تک‌محوری ماسه سنگ‌های آغاچاری در مراحل اولیه انجام مطالعات زمین شناسی مهندسی پروژه‌های عمرانی می‌تواند مفید و کم هزینه باشد.

منابع

- Beiniawski, Z.T. (2002). "The point load test in geotechnical practice", Engineering Geology, Vol. 9, pp. 1-11.
- Broch, E. and Franklin, J.A. (1972). "Point-load strength test", International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, Vol. 9(6), pp. 669-697.
- Brown, E.T. (1981). "Rock characterization testing & monitoring ISRM suggested methods", Pergaman Press.
- D' Andrea, D.V., Fisher, R.L. and Fogelson, D.E. (1964). "Prediction of compression strength from other rock properties", Colorado School of Mining Quarterly, Vol. 59(4B), pp. 623-640.
- Folk, R.L. (1974). " Petrology of Sedimentary Rocks," Hemphill Publ. Comp., Austin.
- ISRM (1979). "ISRM suggested methods. Suggested method for determining uniaxial compressive strength and deformability of rock materials", International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, Vol. 16, pp. 135-140.
- ISRM (1985). "ISRM suggested methods. Suggested method for determining point-load strength", International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, Vol. 22, pp. 53-60.
- Kahraman, S., Fener, M. and Kozman, E. (2012). "Predicting the compressive and tensile strength of rocks from indentation hardness index", The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Vol. 112, pp. 331-339.
- Kohnoa, M. and Maeda, H. (2012). "Relationship between point load strength index and uniaxial compressive strength of hydrothermally altered soft rocks", International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, Vol. 50, pp. 147-157.
- Pells, P.J.N. (1975). "The use of point load test in predicting the compressive strength of rock material", Australian Geomechanics Journal, Vol. 5(N1), pp.54-56.
- Sabatakakis, N., Koukis, G., Tsiambaos, G. and Papanakli, S. (2008). "Index properties and strength variation controlled by microstructure for sedimentary rock", Engineering Geology, Vol.97, pp. 80 - 90.
- Tsiambaos, G. and Sabatakakis, N. (2004). "Considerations on strength of intact sedimentary rocks", Engineering Geology, Vol. 72, pp. 261-273.
- Ulusay, R., Tureli, K. and Ider, M.H. (1994). "Prediction of engineering properties of a selected litharenite sandstone from its petrographic characteristics using correlation and multivariate statistical techniques", Engineering Geology, Vol. 37, pp.135-157.