



تخمین مقاومت فشاری تک‌محوری سنگ آهک‌های دولومیتی سازندهای مزدوران و آسماری با استفاده از سرعت موج تراکمی و خصوصیات فیزیکی

^۱ سجاد صفری فرخ، ^۲ غلامرضا لشکری‌پور، ^۳ ناصر حافظی مقدس
^۱ دانشجوی دوره کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد
^۲ استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد
^۳ استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد
lashkaripour@um.ac.ir

چکیده:

مقاومت فشاری تک محوری از مهمترین پارامترهای مقاومتی وابسته به رفتار سنگ است. تهیه نمونه برای این آزمایش، نیاز به زمان و هزینه بالایی دارد. به همین دلیل تاکنون محققین زیادی از آزمایش‌های ساده و غیرمستقیم برای پیش‌بینی مقاومت فشاری تک محوری استفاده نموده‌اند. در این مقاله ارتباط بین خصوصیات فیزیکی و سرعت امواج تراکمی با مقاومت فشاری تک محوری خشک و اشباع ۱۴ نمونه سنگ آهک دولومیتی برداشت شده از سازندهای مزدوران و آسماری بررسی شد. آزمایش‌های تعیین خواص فیزیکی شامل دانسیته، جذب آب و تخلخل و تعیین سرعت امواج تراکمی بر روی نمونه‌ها صورت گرفت. درنهایت با استفاده از آنالیز همبستگی خطی و غیرخطی ساده روابطی برای پیش‌بینی مقاومت فشاری تک محوری براساس ویژگی‌های فیزیکی و سرعت امواج تراکمی ارائه گردید. نتایج نشان داد که روابط نمایی و توانی بین خصوصیات فیزیکی و سرعت موج تراکمی با مقاومت فشاری تک محوری، از اطمینان قابل قبولی برخوردارند. همچنین با توجه به رده بندی مقاومت فشاری تک محوری، نمونه‌های مورد مطالعه در حالت خشک در رده ضعیف تا قوی، و در حالت اشباع در رده خیلی ضعیف تا خیلی قوی قرار می‌گیرند.

کلیدواژه‌ها: مقاومت فشاری تک محوری، سنگ آهک دولومیتی، دانسیته، جذب آب، تخلخل، سرعت موج تراکمی، همبستگی خطی و غیرخطی

Abstract:

Estimation uniaxial compressive strength of dolomitic limestone of Mozduran and Asmari formations using p-wave velocity and physical properties.

Uniaxial compressive strength (UCS) is one of the most important resistance parameters related to rock behavior. Sample preparation for this experiment, needs to a lot of money and time. So far, must researchers have used of simple and indirect tests to predict it. In this paper, was investigated the relationship between physical properties and compressive wave velocity with UCS in dry and saturated state of 14 dolomitic limestone samples, pick out of Mozduran and Asmari formations. Performed physical properties tests including density, water absorption and porosity and determination the p-wave velocity on samples. Finally, presented relationships for predicting UCS by using linear and nonlinear regression analysis based on physical properties and p-wave velocity. Results showed that the exponential and power relations between physical properties and p-wave velocity with UCS have acceptable reliability. Also, according to UCS classification, samples are weak to strong in dry state and very weak to very strong in saturation state.

Keywords: Uniaxial compressive strength, Dolomitic limestone, Density, water absorption, Porosity, P-wave velocity, Linear and nonlinear regression.



چهارمین همایش ملی زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی

۱۵ و ۱۶ آذر ماه ۹۷

مقدمه:

مقاومت فشاری تک‌محوری سنگ (UCS) از کاربردی‌ترین پارامترهای مکانیکی سنگ است که در طراحی‌ها (Bieniawski, 1974)، پروژه‌های عمرانی و معدنی (Moomivand, 2011)، تعیین خواص سنگ بکر، طبقه‌بندی توده سنگ، ارزیابی معیارهای شکست و انجام طراحی‌های اولیه استفاده می‌شود (خلیلی و همکاران 1392). تهیه نمونه مورد نیاز برای این آزمایش نیاز به زمان و هزینه بالایی دارد. تاکنون پژوهشگران متعددی از آزمایش‌های ساده و غیرمستقیم برای پیش‌بینی مقاومت فشاری تک‌محوری استفاده نموده‌اند (Hassanvand et al., 2018, Rastegarnia et al., 2018, Lashkaripour et al., 2018, Závacký et al., 2017, Ghafoori et al., 2018). در این پژوهش-ها عمدتاً با استفاده از روش‌های آماری، مدل‌هایی ارائه شده که می‌تواند مقاومت فشاری تک‌محوری سنگ را با همبستگی بالایی تخمین بزند. Torabi-Kaveh et al. (2015)، با مطالعه سنگ آهک آسماری در محل سدهای کارون و خراسان ۳، روابطی برای تخمین مقاومت فشاری تک‌محوری و مدول الاستیک با توجه به خصوصیات ذاتی چون تخلخل، چگالی و سرعت موج فشاری ارائه دادند. در این مقاله ارتباط بین خصوصیات فیزیکی و سرعت امواج تراکمی با مقاومت فشاری تک‌محوری خشک و اشباع سنگ آهک‌های دولومیتی شده، با استفاده از همبستگی خطی، نمایی، لگاریتمی و توانی بررسی شد.

موقعیت جغرافیایی برداشت نمونه‌ها:

در این مطالعه تعداد ۱۴ نمونه سنگ آهک دولومیتی از سازندهای مزدوران و آسماری برداشت شد. محل برداشت نمونه‌ها در شکل ۱ مشخص شده است.

بحث:

ویژگی‌های فیزیکی، سرعت موج تراکمی و مقاومت فشاری تک‌محوری (شکل ۲) نمونه‌ها مطابق با استاندارد انجمن بین‌المللی مکانیک سنگ (ISRM, 2007) تعیین شد (جدول ۱). رده‌بندی مقادیر UCS با استفاده از روش‌های ارائه شده توسط کوآتس (Coates, 1964)، دیر و میلر (Deere and Miller, 1966)، بنیاوسکی (Bieniawski, 1973) و انجمن زمین‌شناسی بریتانیا (BS, 2015) انجام شد (جدول ۲). با توجه به رده‌بندی ارائه شده توسط انجمن زمین‌شناسی بریتانیا برای مقاومت فشاری تک‌محوری، نمونه‌های مورد مطالعه در حالت خشک در رده ضعیف تا قوی، و در حالت اشباع در رده خیلی ضعیف تا خیلی قوی قرار می‌گیرند. همبستگی خطی، نمایی، لگاریتمی و توانی بین مقاومت فشاری تک‌محوری خشک و اشباع با خصوصیات فیزیکی و سرعت موج تراکمی بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که برای پیش‌بینی مقاومت فشاری تک‌محوری خشک، چگالی اشباع و سرعت موج تراکمی با رابطه توانی و نمایی نتایج قابل قبول ارائه می‌دهد (شکل ۳). به علاوه، برای پیش‌بینی مقاومت فشاری تک‌محوری اشباع، چگالی خشک و اشباع همبستگی قابل قبولی را در حالت توانی و نمایی نشان می‌دهند (شکل ۳). نتایج حاصل از همبستگی ساده خطی و غیر خطی در جدول ۳ لیست شده است.

نتیجه‌گیری:

در تحقیق حاضر یک مطالعه تجربی برای پیش‌بینی مقاومت فشاری تک‌محوری سنگ آهک‌های دولومیتی شده سازندهای آسماری و مزدوران صورت گرفت. نتایج نشان داد که:
۱- روابط نمایی و توانی بین خصوصیات فیزیکی و سرعت موج تراکمی با مقاومت فشاری تک‌محوری، از اطمینان قابل قبولی برخوردارند.
۲- با توجه به رده‌بندی ارائه شده توسط انجمن زمین‌شناسی بریتانیا برای مقاومت فشاری تک‌محوری، نمونه‌های مورد مطالعه در حالت خشک در رده ضعیف تا قوی، و در حالت اشباع در رده خیلی ضعیف تا خیلی قوی قرار می‌گیرند. در نتیجه حساسیت مقاومت فشاری تک‌محوری در حالت اشباع بسیار بیشتر از حالت خشک است.

چهارمین همایش ملی زمین شناسی و اکتشافات معدنی

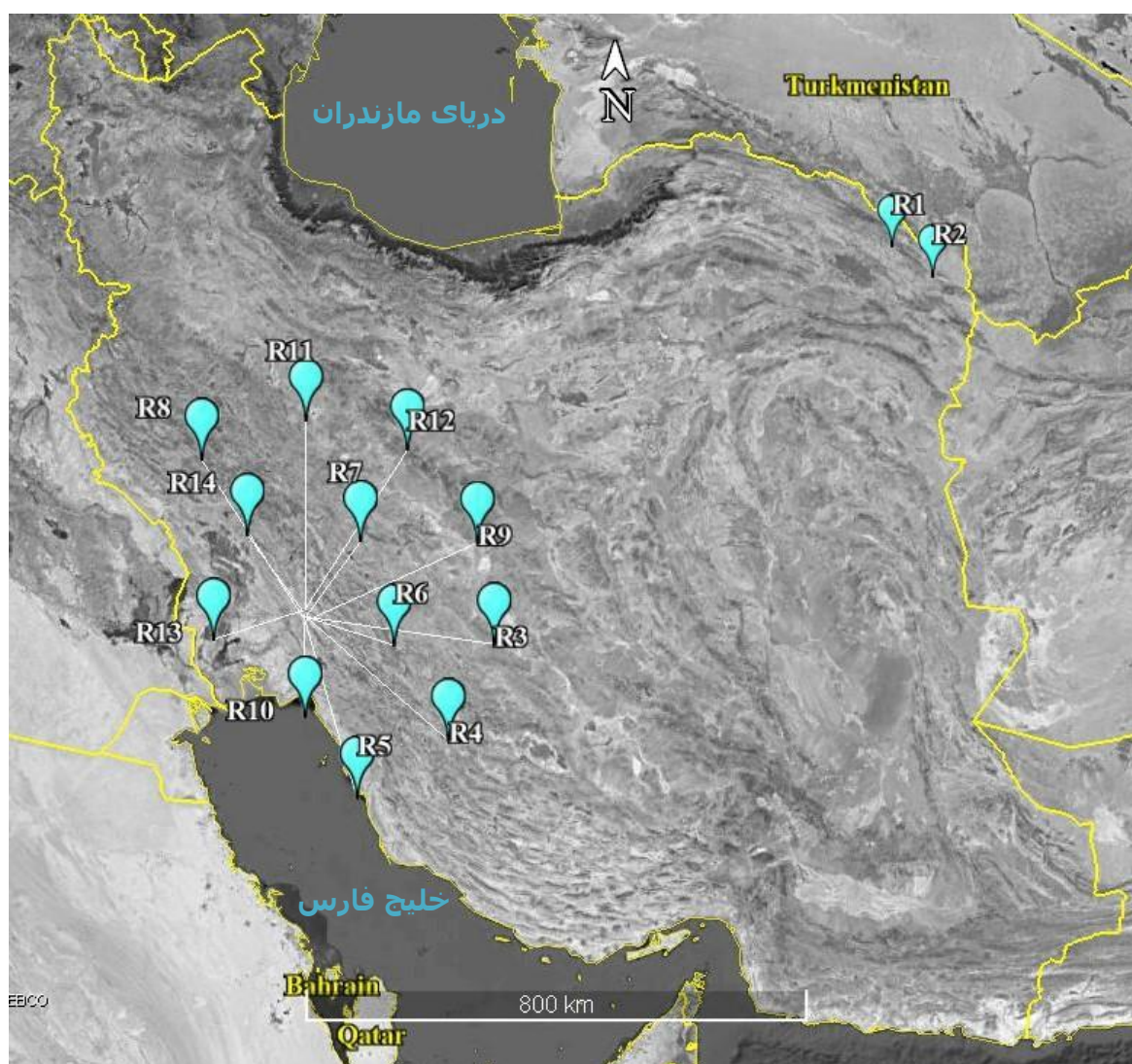
۱۵ و ۱۶ آذر ماه ۹۷

۳- مقاومت فشاری تک محوری در حالت اشباع روابط با همبستگی بهتری با خصوصیات فیزیکی، و در حالت خشک روابط با همبستگی بالاتری با سرعت موج تراکمی نشان می‌دهند.

تشکر و قدردانی:

مقاله حاضر، استخراج شده از پایان نامه با کد تصویب نامه طرح پژوهشی درون دانشگاهی دانشگاه فردوسی مشهد با شماره ۴۵۰۶۲ می‌باشد.

جداول و اشکال:



شکل (۱): نقشه موقعیت برداشت نمونه‌های مورد مطالعه.



شکل (۲): اشباع کردن نمونه‌ها در شرایط خلا (A)، تعیین سرعت موج تراکمی و تعیین مقاومت فشاری تک محوری (C).

جدول (۱): خصوصیات فیزیکی، سرعت امواج تراکمی و مقاومت فشاری تک محوری.

شماره نمونه	تخلخل %	چگالی خشک (gr/cm ³)	چگالی اشباع (gr/cm ³)	جذب آب %	سرعت موج تراکمی (Km/s)	UCS Dry (Mpa)	UCS Sat (Mpa)
R1	2.7	2.7	2.7	1.02	7.743	46.579	64.033
R2	8.6	2.5	2.6	3.42	6.356	75.347	104.078
R3	11.9	2.4	2.6	4.89	5.410	20.230	10.359
R4	13.2	2.1	2.2	6.27	4.980	6.320	4.552
R5	8.8	2.5	2.6	3.54	6.071	22.794	33.377
R6	6.8	2.6	2.7	2.62	6.836	72.026	43.940
R7	9.2	2.5	2.6	3.67	6.247	32.121	26.095
R8	10.2	2.5	2.6	4.09	5.615	28.590	23.966
R9	18.0	1.9	2.1	9.53	4.254	9.570	-
R10	5.7	2.6	2.7	2.16	7.143	48.122	46.601
R11	9.1	2.5	2.6	3.64	6.614	48.727	34.452
R12	9.5	2.4	2.6	3.87	6.354	34.850	14.417
R13	15.5	2.3	2.4	6.73	5.417	23.730	8.518
R14	5.8	2.6	2.7	2.20	7.202	-	39.871



چهارمین همایش ملی زمین شناسی و اکتشافات معدنی

۱۵ و ۱۶ آذر ماه ۹۷

جدول (۲): رده بندی مقاومت فشاری تک محوری نمونه ها.

شماره نمونه	UCS (MPa)	Coates, 1964	Deere and Miller, 1966	Bieniawski, 1973	BS, 2015
R1	Dry 46.579	Strong	Low strength	Low strength	Medium strong
R2	75.347	Strong	Medium strength	Medium strength	Strong
R3	20.2302	Weak	Very low strength	Very low strength	Weak
R4	6.32038	Weak	Very low strength	Very low strength	Weak
R5	22.7935	Weak	Very low strength	Very low strength	Weak
R6	72.0259	Strong	Medium strength	Medium strength	Strong
R7	32.1208	Weak	Low strength	Low strength	Medium strong
R8	28.5898	Weak	Low strength	Low strength	Medium strong
R9	9.570	Weak	Very low strength	Very low strength	Weak
R10	48.1216	Strong	Low strength	Low strength	Medium strong
R11	48.7266	Strong	Low strength	Low strength	Medium strong
R12	34.8497	Strong	Low strength	Low strength	Medium strong
R13	23.7296	Weak	Very low strength	Very low strength	Weak
R1	Sat 64.033	Strong	Medium strength	Medium strength	Strong
R2	104.078	Strong	Medium strength	High strength	Very strong
R3	10.3594	Weak	Very low strength	Very low strength	Weak
R4	4.55218	Weak	Very low strength	Very low strength	Very weak
R5	33.377	Weak	Low strength	Low strength	Medium strong
R6	43.9396	Strong	Low strength	Low strength	Medium strong
R7	26.0952	Weak	Very low strength	Low strength	Medium strong
R8	23.9656	Weak	Very low strength	Very low strength	Weak
R10	46.6011	Strong	Low strength	Low strength	Medium strong
R11	34.4518	Weak	Low strength	Low strength	Medium strong
R12	14.4174	Weak	Very low strength	Very low strength	Weak
R13	8.51839	Weak	Very low strength	Very low strength	Weak
R14	39.871	Strong	Low strength	Low strength	Medium strong

جدول (۳): نتایج همبستگی ساده.

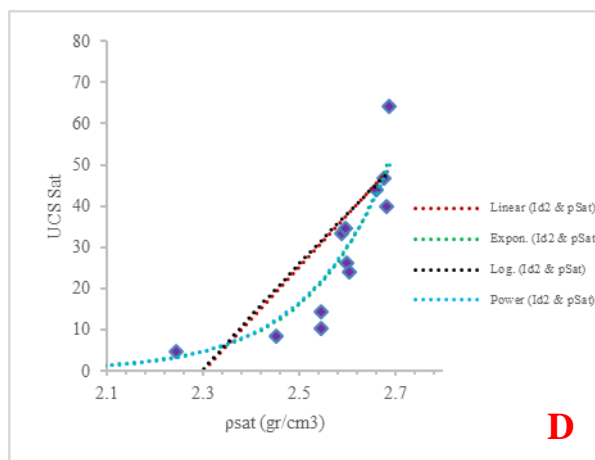
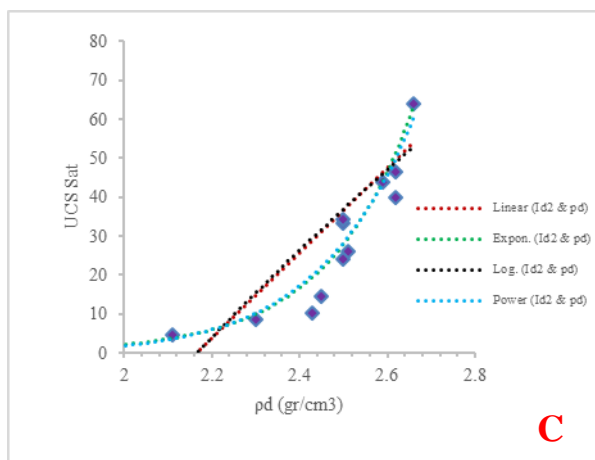
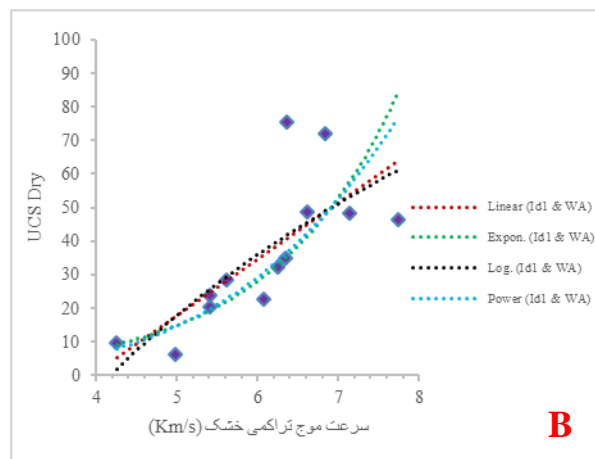
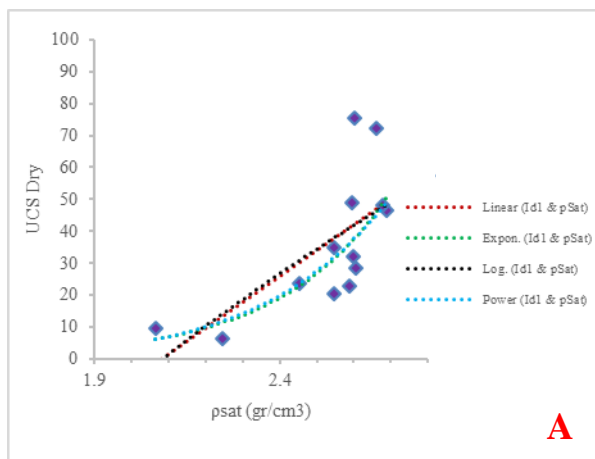
R2	معادله	نوع همبستگی	متغیر ناوابسته	متغیر وابسته
0.71	$y = 0.031e^{2.8233x}$	نمایی	چگالی خشک (gr/cm ³)	UCS Dry
0.69	$y = 0.112x^{6.3081}$	توانی		
0.71	$y = 0.0056e^{3.3899x}$	نمایی	چگالی اشباع (gr/cm ³)	
0.7	$y = 0.0185x^{7.9668}$	توانی		
0.67	$y = 0.6247e^{0.6338x}$	نمایی	سرعت موج تراکمی (Km/s)	
0.7	$y = 0.0332x^{3.7844}$	توانی		
0.74	$y = 8E-05e^{5.1237x}$	نمایی	چگالی خشک (gr/cm ³)	UCS Sat



چهارمین همایش ملی زمین شناسی و اکتشافات معدنی

۱۵ و ۱۶ آذر ماه ۹۷

0.74	$y = 0.0004x^{12.17}$	توانی	چگالی اشباع (gr/cm ³)
0.71	$y = 3E-06e^{6.1759x}$	نمایی	
0.7	$y = 2E-05x^{15.157}$	توانی	جذب آب %
0.71	$y = 100.5e^{-0.002x}$	نمایی	
0.66	$y = 0.0011x^{5.4681}$	توانی	سرعت موج تراکمی (Km/s)



شکل (۳): رابطه بین مقاومت فشاری تک محوری خشک با چگالی اشباع (A) و سرعت موج تراکمی (B)، رابطه بین مقاومت فشاری تک محوری اشباع با چگالی خشک (C) و اشباع (D).

منابع فارسی:

خلیلی، م، لشکری پور، غ. ر، غفوری، م، خانه باد، م، و دهقان، پ. ۱۳۹۲. "تخمین مقاومت تراکمی تک محوری آهک های ماری سازند آبدراز با استفاده از خصوصیات فیزیکی". نشریه زمین شناسی مهندسی ایران، ۶، ۹۷-۸۹.

References:

BIENIAWSKI, Z. T. 1973. "Engineering classification of jointed rock masses". *Civil Engineer in South Africa*, 15.



- BIENIAWSKI, Z. T. 1974. "Estimating the strength of rock materials". *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 74, 312-3.۲۰
- BS 2015. "Code of practice for site investigations". *British Standards Institution, London (5930, 1999+A2, 2010)*. British standard.
- COATES, D. "Classification of rocks for rock mechanics". *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 1964. Elsevier, 421-429.
- DEERE, D. & MILLER, R. 1966. "Engineering classification and index properties of intact rock: Technical Report" No. AFNL-TR-65-116, Air Force Weapons Laboratory, Albuquerque, NM, np.
- GHAFOORI, M., RASTEGARNIA, A & LASHKARIPOUR, G. R. 2018. "Estimation of static parameters based on dynamical and physical properties in limestone rocks". *Journal of African Earth Sciences*, 137, 22-31.
- HASSANVAND, M., MORADI, S., FATTAHI, M., ZARGAR, G. & KAMARI, M. 2018. "Estimation of rock uniaxial compressive strength for an Iranian carbonate oil reservoir: Modeling vs. artificial neural network application". *Petroleum Research*.
- ISRM 2007. "The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974-2000". *Suggested methods prepared by the commission on testing methods.*, Ankara, International Soc. for Rock Mechanics, Commission on Testing Methods.
- LASHKARIPOUR, G. R., RASTEGARNIA, A. & GHAFOORI, M. 2018. "Assessment of brittleness and empirical correlations between physical and mechanical parameters of the Asmari limestone in Khersan 2 dam site, in southwest of Iran". *Journal of African Earth Sciences*, 138, 124-132.
- MOOMIVAND, H. 2011. "Development of a new method for estimating the indirect uniaxial compressive strength of rock using Schmidt hammer". *BHM Berg-und Hüttenmännische Monatshefte*, 156, 142-146.
- RASTEGARNIA, A., TESHNIZI, E. S., HOSSEINI, S., SHAMSI, H. & ETEMADIFAR, M. 2018. "Estimation of punch strength index and static properties of sedimentary rocks using neural networks in south west of Iran". *Measurement*.
- TORABI-KAVEH, M., NASERI, F., SANEIE, S. & SARSHARI, B. 2015. "Application of artificial neural networks and multivariate statistics to predict UCS and E using physical properties of Asmari limestones". *Arabian journal of Geosciences*, 8, 2889-2897.
- ZÁVACKÝ, M., ŠTEFAŇÁK, J., HORÁK, V. & MIČA, L. 2017. "Statistical Estimate of Uniaxial Compressive Strength of Rock Based on Shore Hardness". *Procedia engineering*, 191, 248-255.