



بررسی رابطه لوژان با سیستم های طبقه بندی توده سنگ

سعیده زنده دل^{۱*}، محمد غفوری^۲، غلام رضا لشکری پور^۲

۱- *دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران
(Zendedel_s@yahoo.com)

۲- اعضای هیات علمی گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران
(lashkaripour@um.ac.ir) و (Ghafoori@um.ac.ir)

چکیده :

یکی از روش های شناسایی نفوذپذیری توده سنگ انجام آزمایش لوژان می باشد. در این مقاله مدلی جهت تخمین لوژان بر اساس RMR89 و Q در ساختگاه سد خرسان ۲ ارائه شد. سنگ بستر و تکیه گاه ها در محل سد خرسان ۲ از جنس سنگ آهک مربوط به سازند آسماری و گچساران می باشد. بدین منظور با استفاده از داده های حاصل از گزارش های زمین شناسی مهندسی، روابط و جداول مربوط پارامتر های Q، RMR89 و لوژان در مقاطع پنج متری گمانه ها محاسبه شد. سپس با استفاده از نرم افزار spss21 مدلی ارائه گردید. براساس نتایج به دست آمده، اعداد لوژان همبستگی بالایی با Q، RMR89 نشان می دهد. بررسی فرضیات مدل مانند آنالیز واریانس، هم خطی (مقدار ویژه، شاخص وضعیت، تولرانس و VIF) و استقلال خطاها نشان داد که مدل دارای دقت بالایی جهت تخمین لوژان می باشد.

کلید واژه ها: سیستم های طبقه بندی Q و RMR89، لوژان، تحلیل چندگانه، سد خرسان ۲

Abstract:

Assessment of relationship between Lugeon with rock mass classification system

Water pressure test is the most common test for determining permeability of the rock mass. In this paper a model presented for predicting of the Lugeon based on rock mass classification systems such as Q and RMR in Khersan 2 dam site. The bed rock and abutments of this dam consists of the limestone of the Asmari and Gachsaran formations. To do so, using the geotechnical reports and related equations and tables, parameters of Q system, RMR89 and Lugeon were determined for 5 m borehole segments. Then, using SPSS software (version 21) the Lugeon was estimated based on the mentioned parameters. According to the results of Lugeon has a good correlation with Q and RMR89 System. The examination of necessary assumptions of the model such as ANOVA, multicollinearity (eigenvalues, condition index, tolerance and VIF) and independence of errors show the high accuracy in the obtained model.

Keywords: Q and RMR89 classification systems, Lugeon, Multi regression analysis, Khersan 2 dam

مقدمه :



در پی سدها فرار و اتلاف آب بیشتر از درز و شکاف سنگ ها در اثر فشارهای هیدرولیکی آب پشت سد رخ می دهد. بنابراین موضوع نفوذپذیری از جمله موضوعات مهمی است که باید در طراحی و ساخت سدها مورد توجه قرار گیرد. برای تعیین میزان آبگذری از توده سنگ، تعیین تریق پذیری سنگ، میزان فرسایش پذیری توده سنگ و خاک آزمایش های لوزان به عنوان متداولترین آزمایشهای صحرایی مورد استفاده قرار می گیرند. مشکلات اجرایی و هزینه بر بودن این آزمایش باعث شده است که مطالعات گسترده ای توسط محققین مختلف انجام شود (Bedrosian et al., 2012; Hously, 1976; Sadeghiyeh et al., 2013; Gurocak and Alemdag, 2011; Azimian and Sharghi et al., 2010; Ajalloeian, 2015).

آزمایش لوزان با آیین کردن بالا و پایین مقطعی از گمانه و اعمال تزریق آب، تحت فشارهای پله‌ای انجام می گیرد. این آزمایش معمولاً در پنج پله و گاهی در پله‌های بیشتر و یا کمتر فشار انجام می‌شود. فشارهای آزمایش به صورت پله ای تا فشار بیشینه افزایش و سپس تا فشار اولیه کاهش می‌یابد. در این پژوهش رابطه لوزان با سیستم رده بندی RMR، Q، RMR بررسی شده است. و در نهایت مدلی جهت تخمین لوزان بر اساس سیستم طبقه بندی Q و RMR ارائه شده است. بدین منظور مقادیر RMR، Q و لوزان در مقاطع پنج متری گمانه ها با استفاده از روابط و جداول مربوطه محاسبه می شود. سپس رابطه لوزان با سیستم رده بندی RMR، Q بررسی شده است.

موقعیت و زمین شناسی ساختگاه سد خرسان ۲:

سد بتنی دو قوسی خرسان ۲ به ارتفاع ۲۴۰ متر از پی و حجم مخزن ۲۱۴۲ میلیون متر مکعب با هدف تولید بهینه انرژی در مرحله طراحی می‌باشد. ساختگاه سد خرسان ۲ بر روی رودخانه خرسان در ناحیه جنوب باختری ایران در ارتفاعات زاگرس مرتفع واقع گردیده است.

واحدهای سنگی ساختگاه خرسان ۲ شامل سازند آهک آسماری و بخش های سنگی سازندهای آماجاری و گچساران می باشد. سنگ بستر و تکیه گاه ها در محل احداث سد از جنس سنگ آهک مربوط به سازند آسماری و گچساران می باشد (شکل ۱). سازند آسماری به لحاظ خصوصیات سنگ چینه شناسی آن به سه واحد بالایی، میانی و پایینی قابل تفکیک است.

بخش بالایی آسماری از آهک های ضخیم تا متوسط لایه، با لایه بندی منظم و درصد کمی از آهک های نازک لایه تا آهک های مارنی تشکیل یافته است. رنگ هوازده این سنگها قهوه ای روشن و رنگ مقاطع تازه و غیر هوازده از نخودی روشن تا خاکستری می باشد. ضخامت این بخش از آسماری ۲۳۰ متر است. بخش میانی از آسماری شامل تناوبی از آهکهای خاکستری م تمایل به سبز تا کرم رنگ (در آهک های کریستالین)، متوسط تا نازک لایه، آهک مارنی و مارن بوده و ضخامت آن حدود ۱۰۰ متر می باشد. رخنمون آسماری زیرین در پائین دست مجموعه سازه های طرح دیده می شود. آسماری زیرین ۱۲۰ متر داشته و از آهک ضخیم لایه تا توده ای به رنگ نخودی روشن تشکیل یافته است.

سازند گچساران شامل تناوبی از مارن های قرمز تا خاکستری و رسوبات تبخیری (بیشتر انیدریت) همراه با لایه های نازک آهک ماسه ای می باشد. شکل ۱ در ۵ ساختگاه سد خرسان ۲ در محل احداث سد را نشان می‌دهد.

بحث:

طبقه بندی ژئومکانیکی (RMR)

رده بندی ژئومکانیکی توده سنگ (RMR)، توسط بنیادسکی برای اولین بار در سال ۱۹۷۶ ارائه و در سال ۱۹۸۹ این رده بندی اصلاح گردید. در رده بندی RMR برای رده بندی توده سنگ از ۶ پارامتر شامل مقاومت تراکم تک محوره سنگ، شاخص کیفیت سنگ (RQD)، فاصله ناپیوستگی ها، شرایط ناپیوستگی ها (شامل بازشدگی، امتداد یافتگی، زبری سطوح و طبیعت پر کننده درزه ها)، وضعیت آب زیرزمینی (بر اساس میزان نفوذ آب به حفاری ها و نسبت فشار آب موجود در درزه ها به تنش اصلی) و جهت یافتگی ناپیوستگی ها استفاده می‌شود (Bieniawski, 1989). اگر در محاسبه مقدار RMR از امتیاز آب زیر زمینی صرف نظر شود (شرایط خشک) و همچنین جهت یابی درزه ها در نظر گرفته نشود مقدار RMR محاسبه شده، RMR89 نامیده می شود.

سیستم رده بندی Q:

در این پژوهش امتیاز هر کدام از پارامترهای سیستم طبقه بندی Q (شامل RQD، jn، jr، ja، jw و SRF) برای هر پنج متر از هر گمانه‌ای با استفاده از روابط، جداول و نمودارها تعیین شد (Barton, 2002).



RQD توده سنگ نیز با استفاده از مغزه‌های حاصل از حفاری و رابطه ۱ مطابق تعریف ارائه شده توسط دیر (Deere, 1989):

$$RQD = \frac{100 * \text{مجموع طول قطعات بزرگتر یا مساوی 10cm}}{\text{طول ران حفاری}}$$

رابطه (۱)

سپس مقدار عددی Q با استفاده از رابطه (۲) برای فواصل پنج متری هر یک از گمانه‌ها محاسبه گردید.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \quad \text{رابطه (۲)}$$

آزمایش لوژان

آزمایش توسط موريس لوژان در سال ۱۹۳۳ اجرا شد. این آزمایش با آبنند کردن بالا و پایین مقطعی از گمانه و اعمال فشار آب به مقطع آبنند شده تحت فشارهای پله‌ای انجام می‌گیرد (شکل ۲). قبل از شروع آزمایش مقطع مورد نظر تمیز شسته می‌شود تا خرده‌های حاصل از حفاری از گمانه خارج شوند. سپس به مدت پنج تا ده دقیقه مقطع مورد نظر بدون اعمال فشار اشباع می‌شود.

مقدار لوژان در هر پله از فشار را می‌توان با استفاده از رابطه (۳) بدست آورد (Houlsby, 1990).

$$Lu = \frac{10 Q}{P_e L} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این رابطه Q میزان جریان برحسب لیتر در دقیقه، L طول مقطع آزمایش و P_e فشار موثر در مقطع آزمایش برحسب بار است. در این پژوهش مقادیر لوژان، سیستم رده بندی Q و RMR در ۱۹ گمانه اکتشافی در ساختگاه سد خرسان ۲ محاسبه شده گردید.

تخمین نفوذپذیری با استفاده از سیستم های طبقه بندی توده سنگ:

در این پژوهش رابطه لوژان با RMR89 و Q توده سنگ در ۱۹ گمانه اکتشافی در ساختگاه سد خرسان ۲ بررسی شده است. داده‌ها در مقاطع پنج متری با استفاده از گزارشهای زمین‌شناسی ساختگاه تعیین شده اند. در نهایت تعداد ۸۷ داده شامل لوژان، Q و RMR89 مورد آنالیز آماری قرار گرفت. مشخصات آماری این متغیرها در جدول ۱ ارائه شده است.

با توجه به نتایج آنالیز آماری تک متغیره رابطه لوژان با RMR89 و Q که به بطور جداگانه بررسی شد، با استفاده از تحلیل چند گانه، مدلی جهت تعیین مقدار لوژان بر اساس Q و RMR89 ارائه شد (رابطه ۴).

$$Lu = -2.07 RMR_{89} - 1.805Q + 177.84 \quad \text{رابطه (۴)}$$

در جدول ۲ مقادیر ضریب تعیین بالاست. یکی از مفروضات رگرسیون، مستقل بودن خطاها از یکدیگر است (خطاها همان تفاوت بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش بینی شده توسط معادله رگرسیون هستند). در صورتی که خطاها با یکدیگر همبستگی داشته باشند، امکان استفاده از رگرسیون وجود ندارد. به منظور بررسی استقلال خطاها از یکدیگر از آزمونی به نام آزمون دوربین واتسون استفاده می‌شود. مقدار این آماره باید بین ۱.۵ تا ۲ باشد. در اینجا مقدار Dubin-watson نشان می‌دهد که استقلال خطاها از یکدیگر وجود دارد و امکان استفاده از مدل وجود دارد. مقدار سطح معنی داری (Sig.<0.05) حاصل از آنالیز واریانس (ANOVA) نشان می‌دهد که مدل برازش شده مناسب می‌باشد (جدول ۲).

مقدار قدر مطلق Beta و آزمون t- test در جدول Coefficients نشان می‌دهد که تخمین لوژان با استفاده از RMR89 بهتر از Q می‌باشد (جدول ۳).

از مفروضات در نظر گرفته شده در رگرسیون آن است که خطاها دارای توزیع نرمال با میانگین صفر می‌باشند. بدیهی است در صورت عدم برقراری این پیش فرض، نمی‌توان از رگرسیون استفاده کرد. بدین منظور باید مقادیر استاندارد خطاها محاسبه شود و نمودار توزیع داده‌ها و نمودار نرمال آنها رسم شود. با توجه به هیستوگرام مربوطه خطاها تقریباً دارای توزیع نرمال می‌باشند. مقدار میانگین ارائه شده در سمت راست این نمودار بسیار کوچک (نزدیک به صفر) و انحراف معیار نزدیک به یک است (شکل ۳).



در جدول Coefficient ضریب تولرانس (tolerance) و ضریب VIF (عامل تورم واریانس) آمده است. تولرانس نسبتی از واریانس یک متغیر مستقل است که توسط سایر متغیرها مستقل تبیین نشده است. هرچه تولرانس بیشتر باشد میزان هم خطی کمتر و مدل ارائه شده بهتر می باشد. عامل تورم واریانس نیز معکوس تولرانس بوده و هر چقدر افزایش یابد باعث می شود واریانس ضرایب رگرسیون افزایش یافته و رگرسیون را برای پیش بینی نامناسب می سازد. اینجا با توجه به این دو مقدار مدل مناسب است. VIF کمتر از ۱۰ مشکل ندارد. چون VIF کمتر از ۱۰ می باشد.

در جدول Collinearity Diagnostics مقدار ویژه (Eigenvalue) و شاخص وضعیت (Condition Index) را می توان مشاهده کرد. مقادیر ویژه نزدیک به صفر نشان می دهد همبستگی داخلی پیش بینی ها زیاد است و تغییرات کوچک در مقادیر داده ها به تغییرات بزرگ در برآورد ضرایب معادله رگرسیون منجر می شود. شاخص های وضعیت با مقدار بیشتر از ۱۵ نشان دهنده احتمال هم خطی بین متغیرهای مستقل می باشد و مقدار بیشتر از ۳۰ بیانگر مشکل جدی در استفاده از رگرسیون در وضعیت موجود آن است. در این مدل مقدار شاخص وضعیت قابل قبول می باشند چون که همگی کمتر از ۳۰ می باشند. اما مقدار ویژه یکی از مقادیر نزدیک به صفر می باشد (جدول ۴).

نتیجه گیری:

فرار آب از پی و تکیه گاه های یک سد موجب هدر رفتن آب ذخیره شده و ناپایداری سازه سد می شود. شناخت نفوذپذیری، ویژگی ناپیوستگی ها و مقاومت توده سنگ از جمله عوامل موثر در شناسایی یک ساختگاه می باشد. در این مقاله مدلی با استفاده از spss 21 جهت تخمین لوزان براساس سیستم رده بندی Q و RMR89 در ساختگاه سد خرسان ۲ ارائه شد.

نتایج مدل نشان داد همبستگی معنی داری بین لوزان و این پارامترها وجود دارد به طوری که امکان تخمین لوزان بر اساس پارامترهای فوق امکان پذیر است. همچنین رابطه لوزان با RMR89 قوی تر از رابطه لوزان با سیستم رده بندی Q است. مدل ارائه شده نشان داد که ارتباط منطقی بین لوزان و این سیستم های طبقه بندی وجود دارد به طوری که با افزایش این سیستم های طبقه بندی میزان لوزان کاهش می یابد. بررسی تمام فرضیات مدل نشان داد که دقت مدل بالا می باشد.

لیست جداول و اشکال:

جدول ۱- مشخصات اماری متغیرهای بررسی شده

statistics Parameters	N	Minimu m	Maximum	Mean	Std. Deviation	Variance
RMR89	87	40	76	61.32	8.427	71.011
Q	87	1.00	24.00	10.1046	6.27624	39.391
Lu	87	1.00	100.00	32.7471	35.94350	1291.935

جدول ۲- ضریب همبستگی، آماره Durbin-Watson و نتایج آنالیز واریانس

Model Summary					نتایج ANOVA		
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson	F	sig.
1	0. 77	0.587	0.58	23.38	1.89	59.63	0
Predictors: (Constant), Q, RMR89- Dependent Variable: Lu							

جدول ۳- ضرایب beta، Tolerance، VIF مربوط به مدل

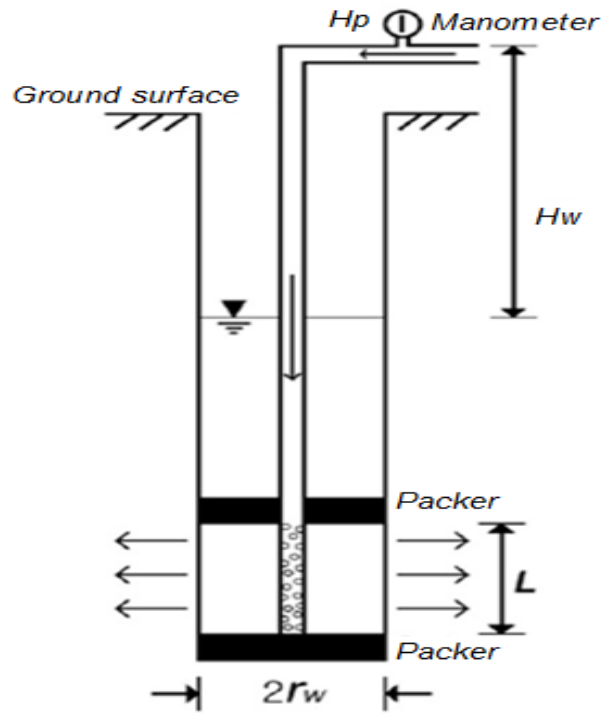
Model		Coefficients					Collinearity Statistics	
		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t-test	Sig.	Tolerance	VIF
		B	Std. Error	Beta				
1	Constant	177.848	26.964		6.596	0.000		
	RMR89	-2.069	0.529	-0.485	-3.908	0.000	0.32	3.131
	Q	-1.805	0.711	-0.315	-2.539	0.013	0.32	3.131

جدول ۴- مقدار ویژه و شاخص وضعیت مدل

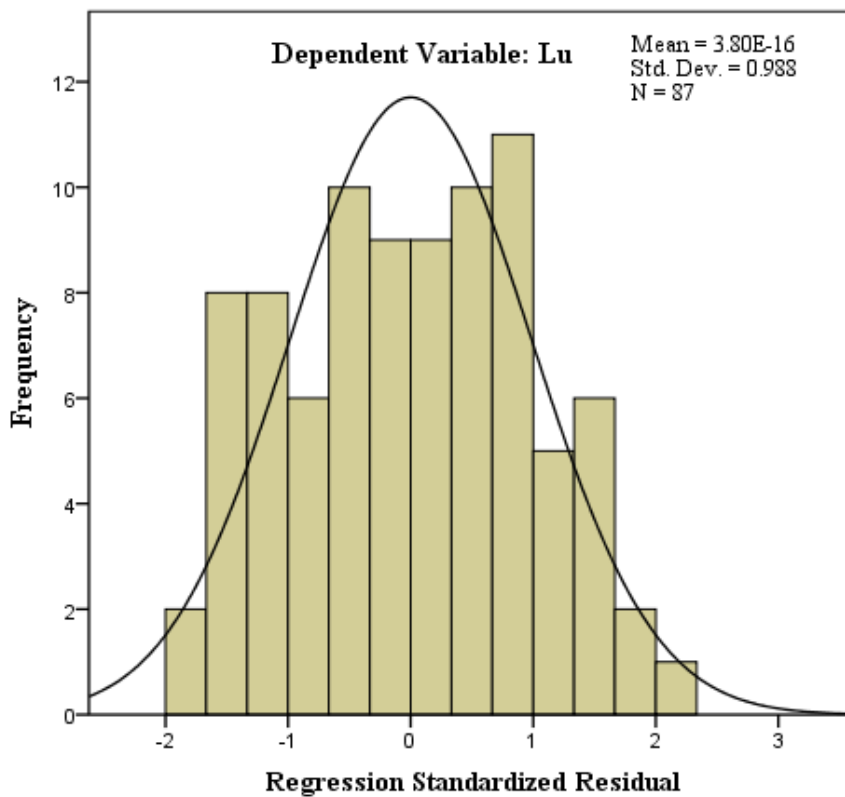
Mode	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions		
				(Constant)	RMR89	Q
1	1	2.830	1.000	0.00	0.00	0.01
1	2	0.166	4.123	0.01	0.00	0.35
	3	0.003	28.726	0.98	1.00	0.64



شکل ۱- دره ساختگاه سد خرسان ۲



شکل ۲- شماتیک آزمایش لوزان (Houlsby, 1990)



شکل ۲- هستوگرام توزیع نرمال خطاها

تشکر و قدردانی:



بدینوسیله از شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس تشکر و قدردانی می شود.

منابع فارسی :

۱- مهتاب قدس، ۱۳۸۹، مطالعات توجیهی سد و نیروگاه آبی سد خرسان ۲

References:

- Azimian, A., & Ajalloeian, R. (2015). Permeability and groutability appraisal of the Nargesi dam site in Iran based on the secondary permeability index, joint hydraulic aperture and Lugeon tests. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 74(3), 845-859.
- Barton N (2002) Some new Q-value correlations to assist in site characterization and tunnel design; *Int. Journal of Rock Mech. & Min. Sci*, 39: 185–216
- Bieniawski, Z.T., (1989), "Engineering rock mass classifications"; New York: Wiley.
- Gurocak Z, Alemdag S (2011) Assessment of permeability and injection depth at the Atasu dam site (Turkey) based on experimental and numerical analyses. *Bull Eng Geol Environ* 64:400–409
- Houlsby AC (1990) Construction and design of cement grouting: a guide to grouting in rock foundations (Vol. 67). John Wiley & Sons, Hoboken
- Houlsby, A.C., (1976) "Routine interpretation of the Lugeon water-test"; *Quarterly journal of Engineering Geology and Hydrogeology*; Vol. 9, issue.4; pp.303-313.
- Paul A. Bedrosian, Bethany L. Burton, Michael H. Powers , Burke J. Minsley , Jeffrey D. Phillips, Lewis E. Hunter., (2012), " Geophysical investigations of geology and structure at the Martis Creek Dam, Truckee"; California. *Journal of Applied Geophysics*. Vol. 77, pp, 7–20.
- Sadeghiyeh, S. M., Hashemi, M., & Ajalloeian, R. (2013). Comparison of Permeability and Groutability of Ostur Dam Site Rock Mass for Grout Curtain Design. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 46(2), 341-357.
- Sharghi, Y., Siahkoochi, H., Alinia, F., Moarefvand, P.,)2010(, "Estimation of Lugeon Number at the Abutments of Bakhtyari Dam Site Using Seismic Tomography"; *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(2): 274-285.