International Congress of Interdisciplinary Studies in Science and Engineering
December 2017 - Iran, Tehran
کنگره بین المللی مطالعات میان رشته ای در علوم پایه و مهندسی
آذرماه ۱۳۹۶ - تهران
Archive of SID

تخمین حجم برجای بلوک‌های سنگ ساختمانی با توجه به مشخصات توده‌سنگ، مطالعه موردی معادن تراورتن محلات

سعید نامجو[۱] ؛ سید حسن خوشرو*[۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد استخراج معدن، دانشگاه صنعتی امیرکبیر saied_2810@yahoo.com
۲- استادیار دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر dr.khoshrou@yahoo.com

چکیده

قبل از اقدام برای باز کردن معدن کواری و استخراج بلوک‌های سنگ، تخمین حجم بلوک‌ها از اهمیت بسزایی برخوردار است. از آنجایی که معادن کواری نیاز به مقدار زیادی سرمایه دارند، بنابراین اگر حجم بلوک‌های قابل استخراج، قبل از انجام هرگونه عملیات معدنکاری پیش بینی شود از سرمایه‌گذاری در بسیاری از معادن غیر اقتصادی جلوگیری می‌شود. به طور کلی حجم بلوک‌های سنگ را می‌توان با استفاده از تحلیل اندازه‌گیری‌های فاصله‌داری درزه‌ها تخمین زد. اندازه‌گیری درزه‌ها را می‌توان با انتخاب چندین خط برداشت در رخنمون‌های سنگی انجام داد. با انتخاب خطوط برداشتی به طول کلی 1362 متر در امتداد 134 سینه‌کار از معادن تراورتن محلات، فاصله‌داری و سایر ویژگی‌های درزه‌ها اندازه‌گیری و ثبت گردید. با تجزیه و تحلیل اطلاعات برداشت شده، متوسط تعداد حجمی برجای درزه(J_{vi}) برابر با ۰/۳۵ درزه در هر مترمکعب، متوسط فاکتور شکل بلوک(β) برابر با ۳۶/۷۳ و متوسط فاصله‌داری درزه‌ها برای معادن مورد مطالعه برابر با ۹/۰۲ متر محاسبه گردید. سپس با استفاده از سه روشِ استفاده از فاصله‌داری درزه‌ها، استفاده از تعداد حجمی درزه و استفاده از چگالی وزنی درزه‌داری، حجم برجای بلوک‌های سنگ تخمین زده شدند. به منظور اعتبارسنجی تخمین‌های صورت گرفته، ابعاد بلوکهایی که در سال‌های اخیر از معادن مورد مطالعه تولید شده‌اند مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند، که طی آن متوسط حجم بلوک‌های تولیدی(V_b) برابر با ۸/۳۲ مترمکعب و تعداد حجمی درزه برای این بلوک‌ها(J_{vb}) برابر با ۱/۵۲ درزه در هر مترمکعب بدست آمد. روابط بین مجموعه پارامترهای محاسبه شده برای هر روش با رسم نمودارهایی مورد بررسی قرار گرفت و با مقایسه نتایج حاصل از سه روش مورد استفاده، در نهایت روش استفاده از تعداد حجمی درزه، به عنوان بهترین روش در تخمین حجم بلوک انتخاب گردید.

کلمات کلیدی: تخمین حجم بلوک، سنگ ساختمانی، تراورتن، فاصله‌داری دسته درزه، محلات

۱-مقدمه

یکی از مهم‌ترین ذخایر معدنی ایران، معادن سنگ‌های تزیینی است که مصارف گوناگونی در زندگی انسان دارند. مهم‌ترین گسترش جغرافیایی سنگ‌های تزیینی ایران، در طول نوار سراسری از شمال باختر تا مرز پاکستان و نوار سنندج-سیرجان است. در استخراج معادن سنگ تزیینی، هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم زیادی دخالت دارند؛ اما برخی از این هزینه‌ها، بسته به ابعاد بلوک‌های استخراجی، متغیر هستند که از آن جمله می‌توان به هزینه‌های حفاری، برش، قواره سازی و ... اشاره کرد.

با تعیین ابعاد مناسب برای بلوک‌های استخراجی می‌توان هزینه‌های مذکور را تا حد قابل‌قبول کاهش داد که رعایت مسائل فنی و ایمنی استخراج نیز از عوامل مهم و مؤثر در آن خواهد بود. به‌طورکلی، از عوامل تأثیرگذار بر ابعاد، می‌توان به عوامل زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی، عوامل فنی مانند توان دستگاه‌های استخراج ازجمله توانمندی دستگاه‌های حفاری، دستگاه‌های برش، جک‌های هیدرولیکی برای جابه‌جایی و عوامل دیگر همچون ابعاد موردنیاز بازار و کارخانه‌ها اشاره کرد. شایان‌ذکر است که منظور از ابعاد بهینه بلوک، ابعادی است که مسائل ایمنی کار در آن رعایت‌شده باشد. دوم اینکه مسائل فنی استخراج را امکان‌پذیر سازد و سوم هزینه‌های استخراج تا حد ممکن کاهش یابد(گشتاسبی، خدادادی، ۱۳۸۸).

ابعاد بلوک‌ها به‌وسیله فاصله‌داری ناپیوستگی‌ها، تعداد دسته‌های ناپیوستگی و تداوم ناپیوستگی‌ها مشخص می‌شوند. تعداد دسته‌ها و امتداد ناپیوستگی‌ها، شکل بلوک‌های حاصل را که می‌توانند تقریبی از اشکال مکعبی، سه‌وجهی، چهاروجهی، صفحه‌ای و... باشند را مشخص می‌کند. با این‌وجود، اشکال هندسی منظم نه‌تنها یک قانون نیستند، بلکه یک استثنا می‌باشند، چراکه درزه‌های موجود در هر دسته، به‌ندرت با یکدیگر کاملاً موازی می‌باشند (Wines, Lilly, 2002).

۲- درزه

درزه در اکثر سنگ‌ها وجود دارد. مهم‌ترین مشخصه درزه‌ها آن است که در این نوع شکستگی‌ها، حرکت نسبی به‌موازات صفحه شکستگی وجود ندارد، درصورتی‌که در این سطح، حرکتی وجود داشته باشد، شکستگی حاصله به نام گسل نامیده می‌شود. بایستی توجه داشت که در بسیاری موارد

www.SID.ir

Archive of SID

ممکن است سنگ‌های موجود در دو طرف سطح شکستگی، در امتداد عمود بر این سطح، حرکت کنند که به آن بازشدگی درزه گفته می‌شود(مدنی، ۱۳۹۱).

۲-۱- روش برداشت و مطالعه درزه‌ها

برای بررسی کلی، مطالعه انفرادی درزه‌ها نتیجه‌ای را بدست نمی‌دهد بلکه بایستی آنها را به روش آماری، مطالعه کرد. انجام این امر به‌سادگی میسر نیست، زیرا اولاً تعداد درزه‌های موجود در هر ناحیه معمولاً خیلی زیاد و دارای وضعیت‌های مختلف است. ثانیاً تمام آنها را نمی‌توان در نقشه‌های کوچک‌مقیاس معمولی، نشان داد. برای مطالعه درزه‌ها در هر نقطه، مشخصات چندین درزه اندازه‌گیری، سپس تصویر استریوگرافیک قطب آنها که به‌صورت نقطه است، در شبکه استریونت رسم می‌شود. برای مطالعه بهتر درزه‌ها، نمودار نقطه‌ای را به نمودار منحنی‌های تراز تبدیل و به کمک آن وضعیت درزه‌ها را مشخص می‌کنند.

۲-۲- برداشت درزه‌ها به‌وسیله خط برداشت

خطوط برداشت یک سری خطوط فرضی یا عینی هستند که در طول سینه کار یا رخنمون سنگی در نظر گرفته می‌شوند و ویژگی‌ها و موقعیت فضایی درزه‌هایی که با این خط برخورد داشته باشند اندازه‌گیری شده و به‌طور منظم ثبت می‌شوند.

خصوصیات درزه‌ها را می‌توان با استفاده از پیمایش‌های خط برداشت تخمین زد(Priest, Hudson, 1981)، اما برای انجام عملیات برداشت درزه‌ها به‌وسیله خط برداشت، استانداردی که به‌صورت جهانی پذیرفته شده باشد، وجود ندارد. درواقع این امر در اصلاح جزئیات روش، متناسب با شرایط محیطی مطلوب است.

۲-۳- تعداد دسته‌درزه

نرم‌افزار Dips ازجمله برنامه‌های کامپیوتری است که از آن می‌توان برای نمایش کنتوری و انتخاب دسته‌درزه‌ها استفاده نمود. دسته‌درزه‌های انتخاب‌شده برای معادن مختلف، در جدول۱ ارائه شده‌است.

جدول۱: دسته‌درزه‌های انتخاب‌شده برای معادن موردمطالعه.

نام معدن	تعداد دسته‌درزه شناسایی‌شده
فاز۱	۲
فاز۲	۳
فاز۴	۴
فاز۶	۲
گوشه‌آبیار	۳

۳- طول کل خط برداشت هر معدن

برای بدست آوردن طول کل خط برداشت، باید طول همه خطوط برداشت انتخاب‌شده با یکدیگر جمع شوند. بدین ترتیب طول کل پیمایش صورت گرفته برای هر معدن بدست خواهد آمد که این مقادیر در جدول۲ قابل‌مشاهده است.

جدول۲: طول کل خط برداشت انتخاب‌شده در معادن موردمطالعه.

نام معدن	تعداد خط برداشت انتخاب‌شده (تعداد سینه کارها)	طول کل خط برداشت (متر)
فاز۱	۳۲	331
فاز۲	۴۶	409
فاز۴	۲۱	242
فاز۶	۱۲	124
گوشه‌آبیار	۲۳	۲۵۶
جمع کل	۱۳۴	1362

www.SID.ir

۴- فاصله‌داری

به‌منظور تعیین خصوصیات هندسی توده‌سنگ برای اهداف مهندسی، عملیات اندازه‌گیری درزه‌ها معمولاً اندازه‌گیری فاصله‌داری و خط اثر درزه را نیز دربر می‌گیرد(Priest, Hudson, 1981). فاصله‌داری درزه‌ها یک پارامتر بسیار مهم در ارزیابی امکان تولید بلوک‌های با ابعاد بزرگ از یک توده سنگ خاص ا ست. به این نکته نیز باید ا شاره کرد که رخنمون‌هایی موردنیاز ه ستند که امکان ارزیابی کامل الگوی درزه‌داری را فراهم کنند. درزه‌ها و دیگر ناپیوستگی‌ها ممکن است که با مواد دیگری مانند رس‌ها که خواص مهندسی توده سنگ را تحت تأثیر قرار می‌دهند، پرشده باشد(Smith, 1999).

تحلیل فاصله‌داری درزه‌ها برای پاسخ به این پرسش که آیا بلوک‌های با ابعاد اقتصادی را می‌توان بدست آورد یا خیر، قبل از شروع هرگونه عملیات کواری دارای اهمیت خاصی است. درواقع می‌توان گفت که هدف از اندازه‌گیری فاصله‌داری درزه‌ها، تعیین اندازه بلوک‌هایی است که توده‌سنگ را تشکیل می‌دهند(Elci, Hakan, Turek, 2014).

۴-۱- فاصله‌داری دسته‌درزه

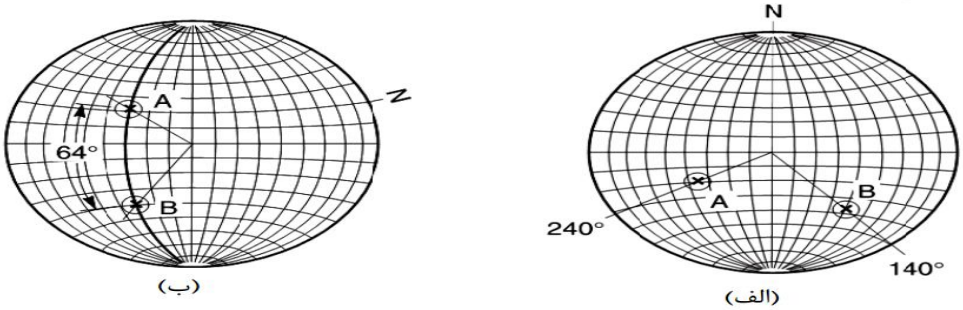
همان فاصله‌داری کلی است که تنها برای درزه‌های مجاور از یک دسته‌درزه محاسبه می‌شود. میانگین همه مقادیر فاصله‌داری د سته‌درزه‌ها، متو سط فا صله‌داری د سته‌درزه ا ست که برای معادن موردمطالعه در جدول۳ آورده شده‌ا ست. در این حالت مقادیر فا صله‌داری برای دسته‌درزه‌ای که تقریباً موازی با خط برداشت قرارگرفته است، به‌اندازه قابل‌توجهی بیش از مقدار واقعی تخمین زده می‌شود.

جدول۳: مقادیر فاصله‌داری محاسبه‌شده برای معادن موردمطالعه.

شماره	نام معدن	تعداد دسته‌درزه	متوسط فاصله‌داری محاسبه‌شده برای هر دسته‌درزه (متر)
۱	تراورتن فاز۱	۲	S1= 5/32, S2= 10/92
۲	تراورتن فاز۲	۳	S1=7/64, S2= 12/22, S3= 12/56
۳	تراورتن فاز۴	۴	S1= 4/53, S2= 13/21, S3= 8, S4= 8/67
۴	تراورتن فاز۶	۲	S1= 4/55, S2= 8/12
۵	تراورتن گوشه‌آبیار	۳	S1= 15/36, S2= 20/77, S3= 5/85

۵- محاسبه زاویه بین دسته‌درزه‌ها

برای بدست آوردن زاویه بین دسته‌درزه‌ها ابتدا هر دسته‌درزه که یک صفحه دارای شیب و جهت شیب است بر روی شبکه استریونت به‌صورت دستی رسم خواهد شد. سپس مطابق شکل۱ از مرکز هر صفحه مقدار ۹۰ درجه به سمت داخل آن حرکت کرده تا قطب صفحات مشخص شود. با مشخص شدن دونقطه یا بیشتر که هرکدام نماینده یک صفحه هستند، با چرخش صفحه استریونت حول مرکز آن به محضی که دو قطب روی یک دایره از استریونت قرار گرفت توقف کرده و با شمارش تعداد خانه‌های بین دو قطب زاویه بین دو صفحه مشخص خواهد شد(مدنی، ۱۳۸۴).



شکل۱: الف) رسم قطب دو صفحه درزه ب) محاسبه زاویه بین قطب دو صفحه با چرخش صفحه استریونت.

مقادیر زوایای بین دسته‌درزه‌های مختلف در جدول۴ قابل‌مشاهده است.

جدول۴: مقادیر زاویه بین دسته‌درزه‌های شناسایی‌شده در معادن موردمطالعه.

نام معدن	شماره دسته‌درزه	شیب	جهت شیب	امتداد	زاویه بین دسته‌درزه‌ها
فاز۱	۱	۷۷	۱۳۹	۲۲۹	γ*12= 107
	۲	۷۷	۴۲	۱۳۲	

www.SID.ir

Archive of SID

γ12= 145 γ13= 89 γ23= 58	۲۴۵	۱۶۴	۸۵	۱	فاز۲
	۱۱۲	۲۲	۷۵	۲	
	166	76	76	3	
γ12= 118 γ13= 126 γ14= 92 γ23= 114 γ24= 145 γ34= 45	۱۳۷	۲۲۷	۷۱	۱	فاز۴
	247	337	89	2	
	179	89	78	3	
	۲۱۸	۱۲۸	۶۳	۴	
γ12= 88	۲۳۱	۱۴۱	۷۷	۱	فاز۶
	۱۵۳	۶۳	۷۵	۲	
γ12= 94 γ13= 55 γ23= 42	۱۴۰	۲۳۰	۶۷	۱	گوشه‌آبیار
	۲۲۶	۳۱۶	۷۹	۲	
	۱۸۹	۲۷۹	۸۲	۳	
*) زاویه بین دسته‌درزه اول و دوم					

۶-روش‌های اندازه‌گیری حجم بلوک

روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری یا تخمین حجم بلوک ارائه شده‌است که متداول‌ترین روشها عبارت‌اند از (ISRM, 1978):

۶-۱- روش استفاده از فاصله‌داری دسته‌درزه

اصطلاح‌های فاصله‌داری و متوسط فاصله‌داری غالباً در توصیف توده‌سنگ‌ها به کار می‌روند. در مورد مشاهدات سطحی، زمانی که بیش از یک دسته‌درزه اتفاق می‌افتد، فاصله‌داری اغلب به‌صورت متوسط فاصله‌داری این دسته‌درزه‌ها داده می‌شود. در مواقعی که سه دسته‌درزه منظم اتفاق می افتد، حجم بلوک را می‌توان با استفاده از فاصله‌داری درزه‌ها و از طریق رابطه زیر بدست آورد (Palmström, 1995).

$$V_b = \frac{S_1 * S_2 * S_3}{Sin\gamma_{12} * Sin\gamma_{13} * Sin\gamma_{23}} \quad (۱)$$

که در آن γ_{12}, γ_{13}, γ_{23} زوایای بین دسته‌درزه‌ها برحسب درجه و S_1, S_2, S_3 فاصله‌داری بین درزه‌های هر دسته‌درزه برحسب متر است.

به‌طور مشابه در حالتی که چهار دسته‌درزه موجود باشند، حجم بلوک را می‌توان با استفاده از رابطه زیر محاسبه نمود (Palmström, 1995).

$$V_b = \frac{S_1 * S_2 * S_3 * S_4}{Sin\gamma_{12} * Sin\gamma_{13} * Sin\gamma_{14} * Sin\gamma_{23} * Sin\gamma_{24} * Sin\gamma_{34}} \quad (۲)$$

۶-۲- روش استفاده از اندازه‌گیری تعداد حجمی درزه‌ها (Jv)

پالم‌استروم J_v را به‌عنوان ابزاری مفید در توصیف و رده‌بندی میزان درزه‌داری توده سنگ‌ها معرفی کرد که به سادگی از توصیف‌های استاندارد درزه می‌توان آن را بدست آورد. همچنین وی رابطه‌ای را برای تخمین حجم بلوک با استفاده از J_v ارائه کرد (Palmström, 1982).

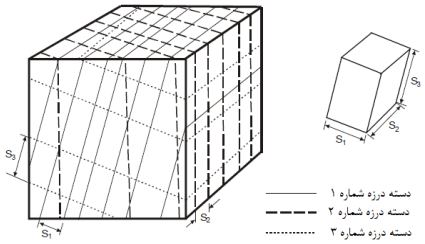
تعداد حجمی درزه‌ها به‌صورت تعداد درزه‌هایی که یک مترمکعب از سنگ را قطع می‌کنند، تعریف می‌شود؛ بنابراین J_v برابر با مجموع فراوانی درزه، برای هر دسته‌درزه است (Palmström, 1996).

۶-۲-۱- محاسبه مقدار Jv با استفاده از فاصله‌داری درزه‌ها

با استفاده از فاصله‌داری دسته‌درزه‌ها در توده سنگ می‌توان تعداد حجمی درزه‌ها را بدست آورد. شکل۲ بلوکی با سه دسته‌درزه را نشان می‌دهد که این دسته‌درزه‌ها به ترتیب دارای فاصله‌داری S1,S2,S3 می‌باشند. فراوانی درزه (تعداد درزه‌ها در واحد طول) برای هر دسته‌درزه به ترتیب عبارت است از 1/S1, 1/S2, 1/S3.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۲: بلوک حاوی سه دسته‌درزه(Goodman, Shi, 1985).

تعداد درزه‌هایی که یک توده سنگ واحد را قطع می‌کنند به‌عنوان تعداد حجمی درزه‌ها تعریف می‌شوند که طبق رابطه زیر محاسبه خواهد شد (Goodman, Shi, 1985):

$$Jv = \frac{1}{S1} + \frac{1}{S2} + \frac{1}{S3} \quad (۳)$$

همچنین می‌توان درزه‌های تصادفی را با فرض یک فاصله‌داری تصادفی (Sr) برای هرکدام از دسته‌درزه‌ها، در نظر گرفت. تجربه نشان می‌دهد که می‌توان مقدار Sr را برابر با ۵ در نظر گرفت؛ بنابراین تعداد حجمی درزه را می‌توان به‌صورت کلی توسط رابطه زیر بیان نمود (Goodman, Shi, 1985).

$$Jv = \frac{1}{S1} + \frac{1}{S2} + \frac{1}{S3} + \frac{Nr}{5} \quad (۴)$$

که در آن Nr تعداد درزه‌های تصادفی است.

رابطه دیگری برای محاسبه J_v ارائه‌شده که در آن مساحت سطح مورد برداشت (A) نیز در رابطه دخالت داده می‌شود (Palmström, 2005). این امر باعث تعدیل این رابطه نسبت به رابطه (۴) می‌شود و نتایج بهتری را می‌توان از آن بدست آورد.

$$J_{..} = (\sum^{n} \frac{1}{\quad}) + \frac{N_r}{\quad} \quad (۵)$$

رابطه۴ تنها تعدادِ درزه‌های تصادفی را در نظر می‌گیرد و مساحت منطقه برداشت را در محاسبات وارد نمی‌کند به همین دلیل طی محاسبات انجام‌شده، استفاده از این رابطه، مقدار J_v را به‌صورت مصنوعی افزایش می‌دهد و این مسئله باعث می‌شود تا حجم بلوک‌هایی که با استفاده از این J_v تخمین زده می‌شوند، بسیار کوچک‌تر از مقدار واقعی باشند. به همین دلیل در این تحقیق تنها از روابط (۳) و (۵) برای محاسبه تعداد حجمی درزه‌ها استفاده می‌شود.

جدول۵: مقادیر تعداد حجمی درزه‌ی محاسبه‌شده برای معادن موردمطالعه.

شماره	نام معدن	پارامترها	مقادیر J_v
۱	تراورتن دره‌بخاری فاز۱	n^1= ۲ N_r^2= ۲۱ A^2=۳۰۶۷/۵ m^2	J_{v1}=0/280
			J_{v2}=0/355
۲	تراورتن دره‌بخاری فاز۲	n= ۳ N_r= ۳۲ A=۲۵۹۸/۷۵ m^2	J_{v1}=0/292
			J_{v2}=0/418
۳	تراورتن دره‌بخاری فاز۴	n= ۴	J_{v1}=0/537

www.SID.ir

		N_r= ۱۳ A=۲۰۵۴ m^2	J_{v2}=0/594
۴	تراورتن دره‌بخاری فاز۶	n= ۲ N_r= ۸ A=۱۳۶۵ m^2	J_{v1}=0/343
			J_{v2}=0/386
۵	تراورتن گوشه‌آبیار	n= ۳ N_r= ۹ A=۱۵۴۴/۵ m^2	J_{v1}=0/284
			J_{v2}=0/330
۱) تعداد دسته‌درزه ۲) تعداد درزه‌های تصادفی ۳) متوسط مساحت سطح برداشت‌شده			

۲-۲-۶- رابطه بین تعداد حجمی درزه (Jv) و حجم بلوک (Vb)

برای سه دسته‌درزه که با زوایای γ1, γ2, γ3 همدیگر را قطع می‌کنند، حجم بلوک به‌صورت زیر بیان می‌شود (Priest, Hudson, 1981):

$$Vb = \beta * Jv^{-3} \frac{1}{Sin\gamma_1 * Sin\gamma_2 * Sin\gamma_3} \quad (۶)$$

که در آن β فاکتور شکل بلوک است که با رابطه زیر می‌توان آن را بدست آورد.

$$\beta = \frac{(\alpha 2 + \alpha 2 * \alpha 3 + \alpha 3)^3}{(\alpha 2 * \alpha 3)^2} \quad (۷)$$

که در آن α2 = S2/S1 و α3 = S3/S1 است. درصورتی‌که اکثر زاویه بین دسته‌درزه‌ها تقریباً ۹۰ درجه باشد، برای اهداف کاربردی می‌توان از رابطه زیر استفاده کرد:

$$Vb = \beta * Jv^{-3} \quad (۸)$$

شکل بلوک اساساً به تفاوت‌های موجود بین فاصله‌داری درزه‌ها وابسته است. بیان عددی این موضوع را می‌توان با فاکتور شکل بلوک (β) نشان داد.

۳-۲-۶- محاسبه فاکتور شکل بلوک

متناسب با شرایط مختلفِ تعداد دسته‌درزه، یک سری روابط برای محاسبه فاکتور شکل بلوک وجود دارند. این روابط به همراه شرایط کاربرد هرکدام از آنها به‌صورت خلاصه در جدول۶ گردآوری شده‌است.

جدول۶: روابط مختلفِ محاسبه فاکتور شکل بلوک به همراه شرایط کاربرد هر یک از آنها (Palmström, 2001).

رابطه فاکتور شکل بلوک	شرایط استفاده
$\beta_1 = 36$	برای کلیه حالات به‌عنوان یک مقدار اولیه
$\beta_2 = 20 + \frac{7a_3}{a_1}$	برای کلیه حالات
$\beta_3 = 20 + 21\left(\frac{S_{max}}{S_{min} * n_j}\right)$	وجود دو دسته‌درزه
$\beta_3 = \frac{(\alpha_2 + \alpha_2 * \alpha_3 + \alpha_3)^3}{(\alpha_2 * \alpha_3)^2}$	وجود سه دسته‌درزه

www.SID.ir

Archive of SID

با توجه به تعداد دسته‌درزهِ هر معدن و با استفاده از روابط ذکرشده در جدول۶، می‌توان فاکتور شکل بلوک را برای حالات مختلف محاسبه نمود که این مقادیر محاسبه‌شده در جدول ۵-۶ آورده شده‌اند. در این جدول طبق پیشنهاد پالمستروم(Palmström, 2001) به‌منظور دست‌یابی به یک تخمین اولیه، در کلیه حالات مقدار β_1 برابر با ۳۶ در نظر گرفته شده‌است. به پارامتر n_j بسته به تعداد دسته‌درزه و درزه‌های تصادفی مقداری در حدود ۳/۵-۱ اختصاص می‌یابد که هرچه تعداد دسته‌درزه بیشتر باشد مقدار بالاتری به آن داده می‌شود.

جدول۷: مقادیر فاکتور شکل بلوک محاسبه‌شده در معادن موردمطالعه.

شماره	نام معدن	نوع β	مقدار β بدست آمده
۱	تراورتن دره‌بخاری فاز۱	β_1	۳۶
		β_2	34/38
		β_3	37/25
۲	تراورتن دره‌بخاری فاز۲	β_1	۳۶
		β_2	31/5
		β_3	29/29
۳	تراورتن دره‌بخاری فاز۴	β_1	۳۶
		β_2	40/43
		β_3	------*
۴	تراورتن دره‌بخاری فاز۶	β_1	۳۶
		β_2	32/48
		β_3	34/98
۵	تراورتن گوشه آبیار	β_1	۳۶
		β_2	44/86
		β_3	42/85
*) برای محاسبه β در این حالت رابطه‌ای ذکر نشده‌است.			

۳-۶- روش استفاده از چگالی وزنی درزه‌داری (WJd)

یکی از روش‌های پرکاربرد و شناخته‌شده برای تخمین اندازه بلوک، روش تعداد حجمی درزه‌ها (Jv) است. روش دیگر، استفاده از چگالی وزنی درزه‌داری (WJd) است که توسط پالمستروم (Palmström, 1995) پیشنهاد شد. پالمستروم بیان کرده که چنانچه اندازه‌گیری‌های دقیقی انجام گیرد، مقدار WJd باید شبیه به J_v بدست آید. هرچند که در عمل همیشه این شرایط بدست نمی‌آید (Sonmez, Nefeslioglu, Gokceoglu, 2004). روش چگالی وزنی درزه‌داری برای دست‌یابی به اطلاعات بهتر، از گمانه‌ها و مشاهدات سطحی اتخاذ شده‌است (Palmström, 2001).

در اصل، روش چگالی وزنی درزه‌داری بر مبنای اندازه‌گیری زاویه بین هر درزه و سطح مورد مشاهده یا گمانه است. برای WJd دو حالتِ اندازه‌گیری یک‌بعدی و دوبعدی در نظر گرفته می‌شود. برای اندازه‌گیری‌های یک‌بعدی در گمانه یا خط برداشت رابطه زیر ارائه شده‌است:

$$WJd = \frac{1}{L}\sum\frac{1}{Sin\,\delta_i} = \frac{1}{L}\sum f_i \qquad (۹)$$

و برای اندازه‌گیری‌های دوبعدی در سطح رخنمون سنگ رابطه زیر ارائه شده‌است:

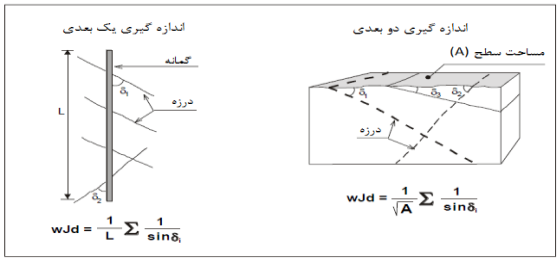
$$WJd = \frac{1}{\sqrt{A}}\sum\frac{1}{Sin\,\delta_i} = \frac{1}{\sqrt{A}}\sum f_i \qquad (۱۰)$$

در این روابط δ زاویه انقطاع[1](زاویه بین صفحه مشاهده یا گمانه و درزه منحصربه‌فرد) برحسب درجه، A مساحت سطح مورد مشاهده برحسب مترمربع، L طول بخش اندازه‌گیری شده در طول مغزه (خط برداشت) برحسب متر و f_i فاکتور رده‌بندی است. این پارامترها در شکل۳ نشان داده‌شده‌اند.

[1] Intersection angle

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۳: نمایش زاویه انقطاع و نحوه محاسبه WJd (Palmström, 2001).

برای ساده‌سازی محاسبات، زوایا به فواصلی تقسیم شده‌اند و برای هر فاصله، رتبه‌بندی از f_i ارائه شده‌است. جدول۸ مقادیر این دسته‌بندی را نشان می‌دهد.

جدول۸: فاصله‌بندی زاویه δ و دسته‌بندی فاکتور f_i (Palmström, 2001).

زاویه انقطاع(δ)	مقدار فاکتور f_i
δ >۶۰	۱
δ=۶۰-۳۱	۱/۵
δ=۳۰-۱۶	۳/۵
δ<۱۶	۶

روش چگالی وزنی درزه‌داری، روشی نسبتاً ساده و سریع است. این روش تنها نیازمند کمی فعالیت بیشتر در حین اجرای عملیات برداشت درزه‌هاست. مقدار چگالی وزنی درزه‌داری تقریباً شبیه به تعداد حجمی درزه است ($WJd \approx J_v$)؛ بنابراین پس از محاسبه چگالی وزنی درزه‌داری می توان آنرا به‌جای J_v در معادلات مربوط به محاسبه حجم بلوک با استفاده از J_v (روابط (۶) و (۸))، قرار داده و حجم بلوک را بدست آورد (Palmström, 2001).

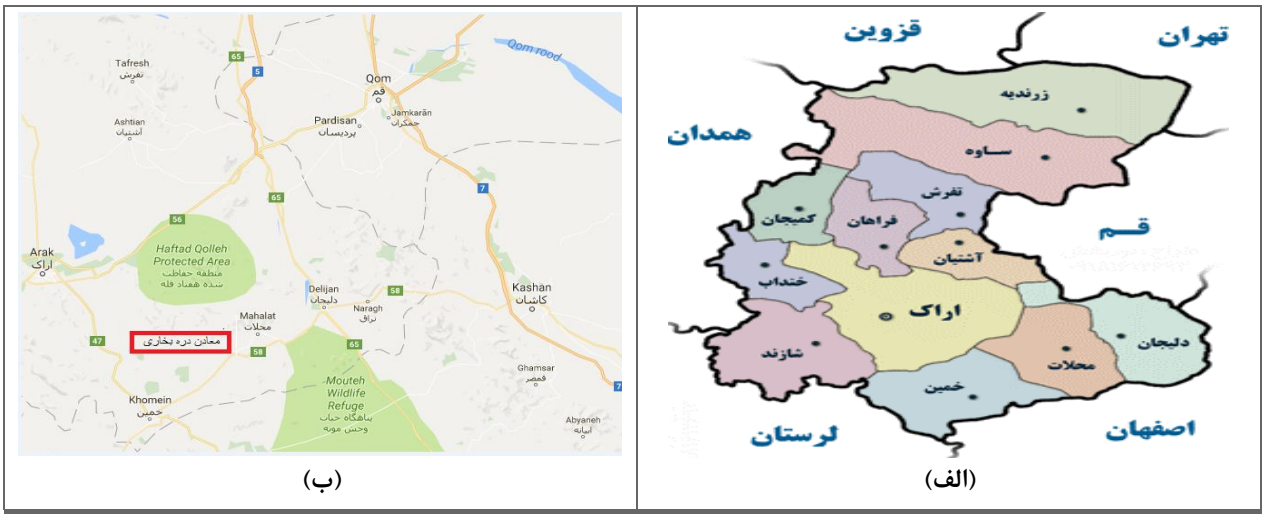
جدول۹: چگالی وزنی درزه‌داری محاسبه‌شده برای معادن موردمطالعه.

نام معدن	مقدار WJd(درزه در مترمکعب)
تراورتن فاز۱	0/21
تراورتن فاز۲	۰/۱۸
تراورتن فاز۴	۰/۱۲
تراورتن فاز۶	۰/۲۹
تراورتن گوشه‌آبیار	۰/۱۷

۷- منطقه موردمطالعه

مَحَلّات در جنوب باختری تهران و در فاصله ۲۶۲ کیلومتری آن قرار داشته و یکی از شهرستان‌های استان مرکزی محسوب می‌شود که در جنوب شرقی آن واقع گردیده‌است. شهر محلات از طرف شمال به قم و آشتیان، از طرف جنوب به اصفهان و گلپایگان، از طرف غرب به خمین و اراک و از طرف شرق به دلیجان محدود می‌باشد. ناحیه مورد بررسی در مختصات جغرافیایی ۰۰ ,° ۵۰ تا َ ۳۰ , ° ۵۰ طول خاوری و ۰۰ , °۳۳ تا ۰۰ ,° ۳۴ عرض شمالی قرار گرفته است. براساس تقسیمات اقلیمی ایران آب و هوای ناحیه معتدل تا خشک بوده و حداکثر درجه حرارت در تابستان‌ها ۳۷ درجه سانتیگراد و حداقل درجه حرارت در زمستانها به ۸ درجه زیرصفر می رسد. میزان بارندگی نیز ۳۰۰ میلی متر در سال است. شکل۴ موقعیت جغرافیایی محلات در نقشه استان مرکزی و جایگاه معادن مورد مطالعه را در نقشه راههای این استان نشان می‌دهد.

www.SID.ir



(الف) (ب)

شکل۴: موقعیت جغرافیایی الف) شهرستان محلات در نقشه استان مرکزی ب) معادن موردمطالعه در نقشه راه‌های استان.

۸- تخمین حجم بلوک در معادن موردمطالعه

در این بخش به دلیل حجم بالای محاسبه حجم بلوک در هر روش تنها مقادیر محاسبه شده حجم بلوک برای یکی از معادن موردمطالعه ارائه خواهد شد.

الف) روش استفاده از فاصله‌داری دسته‌درزه

همان‌طور که در رابطه (۱) قابل‌مشاهده است، در این روش تنها از دو پارامتر فاصله‌داری درزه‌ها و زاویه بین دسته‌درزه‌ها استفاده می‌شود. البته در مواردی که یک یا دو دسته‌درزه وجود دارند، به زاویه بین دسته‌درزه‌ها نیز نیازی نبوده و تنها با استفاده از مقادیر فاصله‌داری دسته‌درزه‌ها، می‌توان تخمینی از حجم بلوک‌های موجود را بدست آورد.

جدول۱۰: تخمین حجم بلوک در معدن تراورتن دره‌بخاری فاز۱ به روش استفاده از فاصله‌داری دسته‌درزه.

نام معدن	تعداد دسته‌درزه	زاویه بین دسته‌درزه‌ها	مقادیر حجم بلوک تخمین زده شده (مترمکعب)
تراورتن دره‌بخاری فاز۱	۲	γ_{12}= ۱۰۷	1544/08

ب) روش استفاده از تعداد حجمی درزه (Jv)

پس از محاسبه J_v، با استفاده از رابطه‌ی موجود بین J_v و حجم بلوک (رابطه۶)، می‌توان تخمینی از حجم بلوک‌های ایجادشده توسط دسته‌درزه‌های موجود در معدن بدست آورد. حجم تخمین زده شده برای بلوک‌ها باید نسبت به شکل و نوع بلوک‌ها تصحیح شوند که این کار با بکار بردن فاکتور شکل بلوک (β)، تعداد دسته‌درزه‌ها و همچنین زاویه بین دسته‌درزه‌ها انجام می‌شود.

جدول۱۱: تخمین حجم بلوک در معدن تراورتن دره‌بخاری فاز۱ به روش استفاده از تعدادحجمی درزه.

نام معدن	تعداد دسته‌درزه	زاویه بین دسته‌درزه‌ها	نوع β	نوع Jv	حجم تخمینی بلوک (مترمکعب)
تراورتن دره‌بخاری فاز۱	۲	γ_{12}= ۱۰۷	β1=36	Jv1=0/28	1722/42
				Jv2=0/35	838/49
			β2=34/38	Jv1=0/28	1644/82
				Jv2=0/35	800/71
			β3=37/25	Jv1=0/28	1782/4
				Jv2=0/35	867/69

ج) روش استفاده از چگالی وزنی درزه‌داری (WJd)

طبق رابطه (۹) در این روش تنها دو پارامتر دارای اهمیت هستند. یکی زاویه بین درزه و خط برداشت(δ) که درواقع زاویه‌ای است که درزه تحت آن، خط برداشت را قطع می‌کند و دیگری طول کل خطی(L) که عملیات برداشت در آن انجام شده‌است. چگالی وزنی درزه‌داری (WJd) مشابه J_v است، بنابراین پس از محاسبه WJd می‌توان آن را در روابط مربوط به J_v قرار داده و حجم بلوک‌های حاصل را تخمین زد. برای این کار می‌توان از

www.SID.ir

رابطه‌ای که بین تعداد حجمی درزه و حجم بلوک وجود دارد (رابطه (۶)) استفاده نمود. همچنین در این رابطه مقدار فاکتور شکل بلوک نیز علاوه بر مقدار پیشنهادی رایج (β=۳۶) به سایر روش‌ها نیز در نظر گرفته می‌شود.

جدول۱۲: تخمین حجم بلوک در معدن تراورتن دره‌بخاری فاز۱ به روش استفاده از چگالی وزنی درزه‌داری.

نام معدن	مقدار WJd (درزه در مترمکعب)	نوع β		حجم تخمینی بلوک (مترمکعب)
تراورتن دره‌بخاری فاز۱	۰/۲۱	β_1	۳۶	۳۸۸۷/۲۷
		β_2	34/38	۳۷۱۲/۳۴
		β_3	37/25	۴۰۲۲/۲۴

۹- تحلیل ابعاد بلوک‌های تولید شده از معادن موردمطالعه

ازآنجایی‌که در معادن موردمطالعه تنها وزن بلوک جهت فروش به ثبت می‌رسید و اطلاعاتی از قبیل طول، عرض و ارتفاع بلوک‌های تولیدی در دسترس نبود از اطلاعاتی که با اندازه‌گیری ابعاد تعداد محدودی از بلوک‌های تولیدشده در معادن موردمطالعه و مشورت با کارشناسان آن معادن در اختیار قرار گرفت به‌منظور اعتبارسنجیِ محاسبات و تخمین‌هایی که با تحلیل اطلاعات صحرایی انجام گرفته‌اند، مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفتند. حجم بلوک‌ها با استفاده از طول و عرض و ارتفاع بلوک‌های تولیدی قابل‌محاسبه هستند. همچنین با فرض اینکه هر سطح بلوک بیانگر یک صفحه ناپیوستگی باشد، تعداد حجمی درزه برای بلوک را می‌توان با استفاده از رابطه (۱۱) محاسبه نمود.

$$J_{vb} = \frac{1}{X} + \frac{1}{Y} + \frac{1}{Z} \qquad (۱۱)$$

در این رابطه J_{vb} تعداد حجمی درزه در بلوک‌های تولیدی برحسب درزه بر مترمکعب، X طول بلوک، Y عرض بلوک و Z ارتفاع بلوک برحسب متر است. با تحلیل ابعاد بلوک‌های تولیدی، درنهایت مقادیر متوسط ابعاد بلوک‌ها و متوسط حجم بلوک‌های تولیدی محاسبه شدند. این مقادیر در جدول۱۳ نشان داده شده‌است.

جدول۱۳: مقادیر متوسط تعداد حجمی درزه، حجم بلوک و فاکتور شکل بلوک‌های تولیدی از معادن موردمطالعه.

نام معدن	متوسط تعداد حجمی درزه (Jvb)	متوسط حجم بلوک (Vb) (مترمکعب)	متوسط فاکتور شکل بلوک
تراورتن دره‌بخاری فاز۱	1/503±0/203	8/410± 1/887	28/554
تراورتن دره‌بخاری فاز۲	1/629±0/140	6/699±2/434	28/958
تراورتن دره‌بخاری فاز۴	1/429±0/150	9/909±1/230	28/915
تراورتن دره‌بخاری فاز۶	1/556±0/106	7/833±3/522	29/509
تراورتن گوشه‌آبیار	1/484±0/120	8/761± 1/952	28/632
میانگین	1/520±0/144	8/322±2/205	28/914

۱۰- انتخاب مناسب‌ترین روش برای تخمین حجم بلوک در معادن موردمطالعه

در هر روش تخمین حجم بلوک بهترین حالت، حالتی است که بیشترین ضریب همبستگی بین حجم بلوک تخمین زده شده و حجم بلوک تولیدی از معادن مورد مطالعه را ایجاد کند. پس از تعیین بهترین حالت برای هرکدام از سه روش به کار گرفته شده، حال باید یکی از این سه روش، به‌عنوان مناسب‌ترین روش در تخمین حجم برجای بلوک‌های سنگ، برای این معادن انتخاب شود. بدین منظور کافی است تا بهترین حالت‌های بدست آمده از سه روش مورداستفاده با همدیگر مقایسه شده و روشی که مقادیر ضرایب همبستگی آن بیشتر است، به‌عنوان مطلوب‌ترین روش انتخاب شود. جدول۱۴ این فرآیند را نشان می‌دهد.

جدول۱۴: انتخاب مناسب‌ترین روش برای تخمین حجم برجای بلوک در معادن موردمطالعه.

نمودارهای رسم شده	J_{vb}-J_{vi}	V_b-J_{vi}	V_b-BQD	V_b-V_i	BQD-J_{vi}
بهترین حالت انتخاب‌شده از روش استفاده از فاصله‌داری درزه‌ها	0/6	0/69	0/77	0/76	0/8

www.SID.ir

بهترین حالت انتخاب‌شده از روش استفاده از تعداد حجمی درزه‌ها	**۰/۶۱**	**۰/۷**	**۰/۷۹**	**۰/97**	**۰/۸۱**
بهترین حالت انتخاب‌شده از روش استفاده از چگالی وزنی درزه‌داری	۰/۴۹	0/51	۰/۷۶	۰/۷۸	۰/۷۴

مطابق جدول۱۴، روشِ استفاده از تعداد حجمی درزه، دارای بیشترین مقادیر ضرایب همبستگی است؛ بنابراین این روش، به‌عنوان مناسب‌ترین روش برای تخمین حجم برجای بلوکِ سنگ در معادن موردمطالعه انتخاب می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود، حجم بلوک‌های تخمین زده شده با این روش (نسبت به سایر روش‌ها)، بیشترین تطابق و همبستگی (R=۰/97) را با بلوک‌های تولیدشده از این معادن دارند.

پس از انتخاب مناسب‌ترین روش و بهترین حالت برای تعیین پارامترهای موردنیاز در تخمین حجم بلوک، می‌توان اطلاعات کلی درزه‌های این پنج معدن را به‌طور خلاصه به‌صورت جدول۱۵ عنوان کرد.

جدول۱۵: اطلاعات کلی درزه‌های معادن تراورتن شهرستان محلات.

نام معدن	شماره معدن	شماره دسته‌درزه	شیب (درجه)	جهت شیب (درجه)	فاصله‌داری (متر)	تعداد حجمی درزه (درزه بر مترمکعب)	فاکتور شکل بلوک(β)
تراورتن دره‌بخاری فاز۱	۱	۱ ۲	77 77	139 42	4/73 9/45	0/28	۳۴/۳۸
تراورتن دره‌بخاری فاز۲	۲	۱ ۲ ۳	85 75 76	164 22 76	7/28 11/57 11/12	0/29	۳۱/۵
تراورتن دره‌بخاری فاز۴	۳	۱ ۲ ۳ 4	71 89 78 63	227 337 89 128	3/45 12/87 7/3 8/25	0/54	۴۰/۴۳
تراورتن دره‌بخاری فاز۶	۴	1 2	77 75	141 63	3/12 7/68	0/34	۳۲/۴۸
تراورتن گوشه آبیار	۵	1 2 3	67 79 82	230 316 279	14/88 20/09 4/36	0/28	۴۴/۸۶
میانگین کلی					9/02	0/35	۳۶/۷۳

۱۱- نتیجه‌گیری

هدف از انجام این تحقیق، تخمین حجم برجای بلوک‌های سنگ ساختمانی با استفاده از مشخصات توده سنگ بالأخص درزه‌ها در معادن تراورتن شهرستان محلات قرار داده شد. با برداشت اطلاعات درزه‌ها از معادن موردمطالعه و تحلیل و بررسی صورت گرفته بر روی مقادیر فاصله‌داری درزه‌ها و ابعاد بلوک‌های تولیدی از معادن موردمطالعه می‌توان نتایج زیر را عنوان کرد:

- عملیات برداشت درزه‌ها در چهار فاز از مجموعه معادن دره‌بخاری و همچنین معدن گوشه‌آبیار انجام و طی این عملیات مشخصات درزه‌ها در طول ۱۳۶۲ متر با استفاده از تکنیک خط برداشت و طی ۱۳۴ سینه کار تعیین و ثبت شد.
- برای برداشت مشخصات درزه‌ها از کمپاس استفاده و اطلاعات بدست آمده وارد نرم‌افزار Dips شد که در این نرم‌افزار با رسم نمودار گل‌سرخی و نمایش کنتوری قطب درزه‌ها و همچنین مشورت با کارشناسان خبره در معادن تراورتن دره‌بخاری فاز۱، فاز۲، فاز۴، فاز۶ و معدن گوشه آبیار به ترتیب ۲، ۳، ۴، ۲ و ۳ دسته‌درزه تشخیص داده‌شد.
- فاکتور شکل بلوک که توسط پالمستروم برای بدست آوردن یک تخمین اولیه از حجم بلوک‌های سنگی برابر با مقدار ۳۶ پیشنهاد شده‌بود، برای بلوک‌هایی که با شکل منظم در معادن تراورتن محلات تولید می‌شوند برابر با ۲۸/۹ تعیین شد.

www.SID.ir

Archive of SID

- برای تخمین حجم بلوک از میان پنج روش موجود به دلیل برخی محدودیت‌ها، تنها سه روش: فاصله‌داری دسته‌درزه، تعداد حجمی درزه و چگالی وزنی درزه‌داری مورداستفاده قرارگرفت.
- پس از تخمین حجم بلوک به روش‌های ارائه‌شده با مبنا قرار دادن ضریب همبستگی نتایج نشان داد که روش تعداد حجمی درزه نسبت به دو روش فاصله‌داری دسته‌درزه و چگالی وزنی درزه‌داری نتایج بهتری در تخمین حجم بلوک می‌دهد. حجم بلوک‌های تخمین زده‌شده با این روش بیشترین تطابق (R=۰/۹۷) را با بلوک‌های تولیدی دارند.
- پس از انتخاب مناسب‌ترین روش و بهترین حالت برای تعیین پارامترهای موردنیاز در تخمین حجم بلوک، پارامترهای متوسط فاصله‌داری کل درزه‌ها، تعداد حجمی درزه برجا (J_{Vi}) و متوسط فاکتور شکل بلوک در معادن موردمطالعه به ترتیب برابر با ۹/۰۲ متر، ۰/35 درزه در مترمکعب و ۳۶/۷۳ محاسبه شد.
-

۱۲- مراجع

[۱] گشتاسبی، کامران؛ خدادادی، داود؛ **"تعیین ابعاد بهینه بلوک در استخراج معادن سنگ تزئینی به روش سیم‌برش الماسه"**، مجله علوم زمین، شماره ۵۷، صفحه ۱۲۰-۱۲۵.

[۲] مدنی، حسن؛ **مبانی اکتشاف مواد معدنی**، *جلد* دوم، جهاد دانشگاهی(دانشگاه صنعتی امیرکبیر)، تهران، ۱۳۹۱.

[۳] مدنی، حسن؛ **زمین شناسی ساختمانی و تکتونیک**، انتشارات جهاد دانشگاهی، ۱۳۸۴.

[4] Elci, Hakan, and Necdet Turk; “Block Volume Estimation from the Discontinuity Spacing Measurements of Mesozoic Limestone Quarries, Karaburun Peninsula, Turkey”, **The Scientific World Journal**, 2014.

[۴] Goodman, R. E., Shi, G; **Block Theory and its Application to Rock Engineering**, Prentice-Hall, New Jersey, 1985.

[6] International Society for Rock Mechanics (ISRM), Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests; “Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses”, **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences** 15, no. 6, p. p. 319-368, 1978.

[7] Palmstrom, Arild; “Measurements of and Correlations Between Block Size and Rock Quality Designation (RQD)”, **Tunnelling and Underground Space Technology** 20, no. 4, p.p. 362-377, 2005.

[8] Palmström, Arild, VM In Sharma, and K. R. Saxena; **In Situ Characterization of Rocks**, BALKEMA PUBLISHERS, p.p 49-97, 2001.

[9] Palmstrom, Arild; “Characterizing Rock Masses by the RMi for use in Practical Rock Engineering: Part 1: The Development of the Rock Mass Index (RMI)”, **Tunnelling and Underground Space Technology** 11, no. 2, p. p. 175-188, 1996.

[10] Palmstrom, A.; “RMi- a System for Characterizing Rock Mass Strength for use in Rock Engineering”, **Journal of Rock Mechanics & Tunnelling Technology**, Vol. 1, no. 2, 1995.

[11] Palmstrom, A.; “The Volumetric Joint Count—a Useful and Simple Measure of the Degree of Rock Mass Jointing”, **In IAEG Congress**, New Delhi (Vol. 221), 1982.

[12] Priest, S. D., and J. A. Hudson; “Estimation of Discontinuity Spacing and Trace Length Using Scanline Surveys”, **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts**, Vol. 18. No. 3. Pergamon, 1981.

[13] Sonmez, H., H. A. Nefeslioglu, and C. Gokceoglu; “Determination of wJd on Rock Exposures Including Wide Spaced Joints”, **Rock Mechanics and Rock Engineering** 37, no. 5, p. p. 403-413, 2004.

[14] Smith, Mick R., ed; “**Stone: Building Stone, Rock Fill and Armourstone in Construction**”, Geological Society of London, 1999.

[15] Wines, D. R., and P. A. Lilly; “Measurement and Analysis of Rock Mass Discontinuity Spacing and Frequency in Part of the Fimiston Open Pit Operation in Kalgoorlie, Western Australia: a Case Study”, **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences** 39, no. 5, p. p. 589-602, 2002.

www.SID.ir

International Congress of Interdisciplinary Studies in Science and Engineering
December 2017 - Iran, Tehran
کنگره بین المللی
مطالعات میان رشته ای در علوم پایه و مهندسی
آذرماه ۱۳۹۶ - تهران
Archive of SID

Estimation of In situ Stone Blocks Volume Considering the Rock Mass Characteristics, Case Study: Mahallat Teravertine Quarries

Saied Namjoo[1], Seyed Hasan Khoshro[2]

[1]MS.c Mining Engineering Student at Amirkabir University of Technology, saied_2810@yahoo.com
[2]Assistance Professor of Mining Engineering at Amirkabir University of Technology, dr.khoshrou@yahoo.com

Abstract

Estimation of block volume is very important for opening and exploitation of rock blocks in quarry mines. Quarry mines require a lot of capital. So if the volume of extractable blocks, before any mining operations, could be predicted, it can prevented from investigating in many non-economic mines. The overall size of the stone blocks can be estimated using measurements of the distance between joints. Joint measurements could be taken by selecting several scanlines in rock outcrops. Spacing and other characteristics of joints in mahallat travertine quarries was measured by selecting several scanlines with a total length of 1362 meters along the 134 faces. By analyzing the collected data, the average in situ volumetric joint count(Jvi) calculated equal to 0.35 joints per cubic meter, average Block shape factor (β) calculated equal to 36.73 and the average joints spacing was calculated equal to 9.02 meter. Then, the in situ blocks volume estimated using three method. These methods are volumetric joint count, weighted jointing density and estimation of block volume by spacing of joints. In order to validate the estimates were made, the dimensions of blocks that were produced from these mines during last years were analyzed, where the average size of produced blocks(Vb) calculated equal to 8.32 Cubic meters and the volumetric joint counts for the blocks(Jvb) calculated equal to 1.52 joint per cubic meter. Relations between sets of parameters that calculated for each method, were analyzed by drawing graphs. By comparing the results of the three methods, the volumetric joint count method, was selected as the best method to estimate the size of the blocks.

Keywords: Estimation of Block Volume, Dimension Stone, Travertine, Joint Spacing, Mahallat.

www.SID.ir