

روش‌های مختلف تعیین ابعاد و حجم بلوک‌های سنگی در تخمین شاخص مقاومت زمین‌شناسی (GSI)

حمیدرضا ربانی، محمدحسین طالبی، بهزاد روح‌بخش، حسین جمشیدی

شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک

چکیده

تعیین خصوصیات توده سنگ و ارزیابی آن‌ها از جمله چالش‌های مهندسی سنگ می‌باشد. ساختارهای زمین‌شناسی از مهم‌ترین پارامترها در تعیین خصوصیات توده سنگ است که در تعیین شاخص مقاومت زمین‌شناسی (GSI) نیز از آن استفاده می‌شود. یکی از کاربردی‌ترین مفاهیم در ساختارهای زمین‌شناسی جهت تعیین GSI، حجم بلوک سنگی است. حجم بلوک از مهم‌ترین خصوصیات رفتاری توده سنگ در محیط‌های سطحی و زیرسطحی است، بنابراین اندازه‌گیری قابل اطمینان آن در ارزیابی صحیح رفتار توده سنگ کمک فراوانی می‌کند. از سوی دیگر حجم بلوک سنگی یکی از پارامترهای مهم ورودی جهت تخمین کمی GSI است که برآورد صحیح آن، به تخمین دقیق‌تر این شاخص کمک می‌کند. در این مقاله در ابتدا به تعریف حجم بلوک پرداخته می‌شود و پس از آن روش‌های تخمین حجم بلوک ارائه می‌گردد. تعیین مستقیم حجم بلوک، استفاده از پارامترهای چگالی حجمی درزه‌ها، چگالی وزنی درزه‌ها، فاصله‌داری، RQD و حجم بلوک معادل در شرایط خاص از جمله روش‌هایی هستند که جهت تخمین حجم بلوک مورد استفاده قرار گرفته است. استفاده از تعیین حجم مستقیم بلوک و یا استفاده از چگالی حجمی درزه‌ها از بهترین روش‌ها جهت تخمین حجم بلوک می‌باشد. با توجه به محدودیت‌ها و همبستگی RQD با سایر پارامترهای مربوط به حجم بلوک، باید استفاده از آن جهت تخمین حجم بلوک با احتیاط مورد استفاده قرار گیرد.

استفاده از GSI نیازمند درک صحیح و برداشت مناسب

خصوصیات زمین‌شناسی توده سنگ است. روش‌های مختلفی برای برداشت درزه در توده سنگ پیشنهاد شده است که به مشاهده رخنمون سنگی به صورت آشکار، داده‌های قابل اطمینان و دقیق، نوع و هزینه تحقیقات و بررسی‌ها و تجربه شخصی که برداشت را انجام می‌دهد، وابسته است. ساختارهای توده سنگ در چارت GSI بیان شده است. در برخی موارد ساختار مشاهده شده با چارت مذکور همخوانی کامل ندارد. به همین منظور در روش‌های کمی پارامترهای معادلی از قبیل حجم بلوک، چگالی حجمی درزه‌ها و ... جهت تخمین ساختار توده سنگ ارائه شده است.

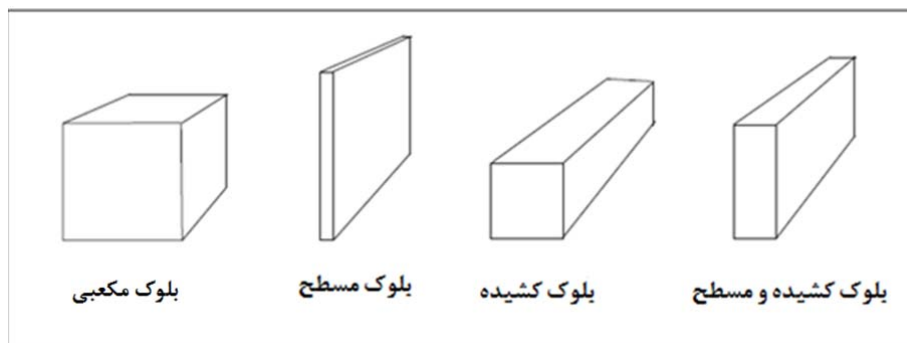
۱- مقدمه

شاخص مقاومت زمین‌شناسی (GSI) در سال ۱۹۹۴ توسط هوک^۱ بیان شد. این شاخص به منظور کاهش مقاومت توده سنگ در شرایط مختلف زمین‌شناسی ارائه شده است. این شاخص بر اساس ساختار توده سنگ و شرایط سطحی ناپیوستگی‌ها تخمین زده می‌شود. کاربرد مستقیم GSI تخمین ثوابت معیار هوک- براون در توده سنگ است. هرچند هدف از ارائه GSI طبقه‌بندی توده سنگ نبوده، اما مقدار آن نشان‌دهنده کیفیت توده سنگ است.

1- Hoek

۲- روش‌های محاسبه حجم بلوک (Vb)

بلوک‌های سنگی در اثر درزه‌های موجود در توده سنگ بوجود می‌آیند و اندازه آن‌ها می‌تواند از بسیار کوچک تا بزرگ متغیر باشد. اندازه بلوک‌ها به فاصله و تعداد درزه‌ها بستگی دارد و درزه‌های تصادفی و یا درزه‌هایی که در اثر حفاری و انفجار به وجود می‌آیند، می‌توانند اندازه بلوک را تغییر دهند. شکل بلوک به سه عامل تعداد دسته درزه‌ها، فاصله‌داری درزه‌ها و زاویه بین دسته درزه‌ها بستگی دارد. با توجه به تحقیقات پالمستروم بلوک‌ها معمولاً جزء یکی از چهار دسته نشان داده در شکل ۱ هستند.



شکل ۱- تقسیم بندی انواع بلوک های سنگی (پالمستروم ۱۹۹۵)

حجم بلوک به صورت کلی بر اساس مشاهده و یا محاسبه بر اساس سطح رخنمون سنگ، مغزه‌های حفاری و یا بر اساس ارزیابی‌های ژئوفیزیکی بدست می‌آید. در

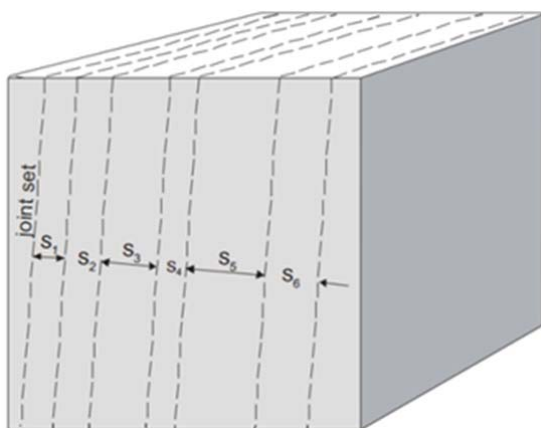
جدول ۱- اطلاعات و خصوصیات توده سنگ حاصل از حالات مختلف جمع‌آوری اطلاعات

جمع‌آوری داده بر اساس				خصوصیات توده سنگ
ژئوفیزیک	رخنمون سنگی	فضای زیر سطحی	مغزه حفاری	
×	✓	✓	X/(✓)	حجم بلوک
(✓)	✓	✓	(✓)	فاصله‌داری درزه
×	✓	✓	X	امتداد درزه
✓ پارامتری که قابلیت اندازه‌گیری دارد. (✓) پارامتری که در برخی موارد قابلیت اندازه‌گیری دارد. X پارامتری که قابلیت اندازه‌گیری ندارد.				

۲-۱- محاسبه حجم بلوکی (Vb) از طریق فاصله‌داری (S)

اصطلاح فاصله‌داری و یا فاصله‌داری میانگین اغلب در توصیف توده‌های سنگی استفاده می‌شود (شکل ۲). فاصله‌داری را می‌توان فاصله عمودی بین دو درزه در یک دسته درزه تعریف کرد. در صورتی که در توده سنگ بیش از یک دسته درزه وجود داشته باشد، برای آن‌ها از فاصله‌داری میانگین استفاده می‌شود. در محاسبه فاصله‌داری میانگین عدم قطعیت وجود دارد. به عنوان مثال برای سه دسته درزه عمود بر هم با فاصله‌داری‌های ۱، ۵ و ۰/۵ و ۰/۲ متر میانگین فاصله‌داری ۰/۱۲۵ متر است که مطابق رابطه (۱) محاسبه شده است.

$$S_a = \frac{1}{J_v} = \frac{1}{\frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} + \frac{1}{S_3}} = \frac{1}{1 + 5 + 2} = 0.125 \quad (1)$$



شکل ۳- میانگین فاصله‌داری دسته درزه (S)

با محاسبه فاصله‌داری هر دسته درزه، می‌توان حجم بلوک را بر اساس رابطه (۲) بدست آورد. در این رابطه فرض شده که بلوک سنگی از سه دسته درزه تشکیل شده است.

$$V_b = (S_1 \cdot S_2 \cdot S_3) / \sin \gamma_1 \cdot \sin \gamma_2 \cdot \sin \gamma_3 \quad (2)$$

$$V_b = V_{b0} / \sin \gamma_1 \cdot \sin \gamma_2 \cdot \sin \gamma_3$$

که در آن S میانگین فاصله‌داری هر دسته درزه، γ زاویه تقاطع دسته درزه‌ها نسبت به یکدیگر و V_{b0} حجم

زمانی که یک بلوک در سطح مشاهده می‌شود، می‌توان با انتخاب چندین بلوک نماینده، ابعاد میانگین آن‌ها را بدست آورد و حجم بلوک را به صورت مستقیم محاسبه نمود. (شکل ۲) در حالتی که حجم بلوک در حد دسی متر مکعب یا کمتر باشد، این روش نسبت به سایر روش‌ها ساده‌تر است. همچنین در صورتی که ابعاد بلوک کوچک‌تر از مغزه‌های حفاری باشد، می‌توان با استفاده از حفاری حجم بلوک را محاسبه کرد.



شکل ۲- محاسبه حجم مستقیم بلوک

از آنجا که در توده سنگ اندازه بلوک‌ها ممکن است بسیار متغیر باشد، بهتر است به جای ارائه یک عدد واحد، حجم بلوک به صورت یک بازه در نظر گرفته شود. در صورتی که در بلوک کمتر از ۳ دسته درزه وجود داشته باشد و یا درزه‌های تصادفی تاثیرگذار باشند و یا بلوک‌ها نامنظم باشند، باید از بلوک‌دهی معادل استفاده کرد. هنگامی که بلوک‌ها در رخنمون بطور مستقیم قابل تشخیص و اندازه‌گیری هستند می‌توان به سادگی با اندازه‌گیری ابعاد بلوک‌ها، حجم بلوک نماینده از رخنمون را تعیین نمود.

بلوک درحالتی است که زاویه تقاطع دسته درزه ها ۹۰ درجه باشد. همان طور که مشاهده می شود در حالتی که زاویه تقاطع دسته درزه ها ۴۵ درجه باشد، بیشترین مقدار حجم بلوک که ۲/۸ برابر V_{b0} است، بدست می آید.

به منظور ساده سازی محاسبه حجم بلوک، برخی حالات خاص تقاطع دسته درزه ها نسبت به هم در جدول ۲ نشان

جدول ۲- جدول محاسبه V_b با توجه به زاویه بین دسته درزه ها (پالمستروم ۲۰۰۵)

تمام زوایا ۹۰ درجه	دو زاویه ۹۰ و یک زاویه ۶۰ درجه	یک زاویه ۹۰ و ۲ زاویه ۶۰ درجه	تمام زوایا ۶۰ درجه	تمام زوایا ۴۵ درجه
$V_b = V_{b0}$ $= S_1 * S_2 * S_3$	$V_b = 1.16 V_{b0}$	$V_b = 1.3 V_{b0}$	$V_b = 1.5 V_{b0}$	$V_b = 2.8 V_{b0}$

فرکانس درزه ها را با توجه به تحقیقات محققین گوناگون نشان می دهد.

۳- چگالی حجمی درزه ها

چگالی حجمی درزه ها میزان درزه داری در سنگ را مشخص می کند و به صورت معکوس فاصله داری تعریف می شود (رابطه ۳).

۳-۱- رابطه بین حجم بلوکی (V_b) و چگالی حجمی درزه ها (J_v)

از آنجا که حجم بلوک و چگالی حجمی درزه ها به شکل بلوک وابسته هستند، همبستگی خوبی بین این دو پارامتر وجود دارد. بر این اساس روابط (۵) و (۶) برای ارتباط این دو پارامتر پیشنهاد شده است. این رابطه ها بر مبنای سه دسته درزه می باشد.

$$J_v = (s_2 \cdot s_3 + s_1 \cdot s_3 + s_1 \cdot s_2) / (V_b \cdot \sin \gamma_1 \cdot \sin \gamma_2 \cdot \sin \gamma_3) \quad (5)$$

$$V_b = \beta \cdot J_v^{-3} \frac{1}{\sin \gamma_1 \cdot \sin \gamma_2 \cdot \sin \gamma_3} \quad (6)$$

که در آن S فاصله داری برای هر دسته درزه بر اساس متر، V_b حجم بلوکی، γ زاویه تقاطع هر دسته درزه با دسته درزه دیگر و β ضریب شکل که از رابطه (۷) محاسبه می باشد.

$$\beta = \frac{(\alpha_2 + \alpha_2 \cdot \alpha_3 + \alpha_3)^3}{(\alpha_2 \cdot \alpha_3)^3} \quad (7)$$

در این رابطه $\alpha_3 = s_3/s_1$ و $\alpha_2 = s_2/s_1$ می باشند. رابطه (۷) را می توان با استفاده از شکل ۵ نیز محاسبه کرد.

$$J_v = \sum \left(\frac{1}{s_i} \right) \quad (3)$$

که در آن S_i فاصله بر حسب متر برای هر دسته درزه است. زمانی که درزه های تصادفی وجود داشته باشد، بر اساس یک قانون کلی به صورت تقریبی فاصله داری ۵ متر برای آن ها در نظر گرفته می شود و بر اساس رابطه تجربی (۴) می توان J_v را محاسبه کرد.

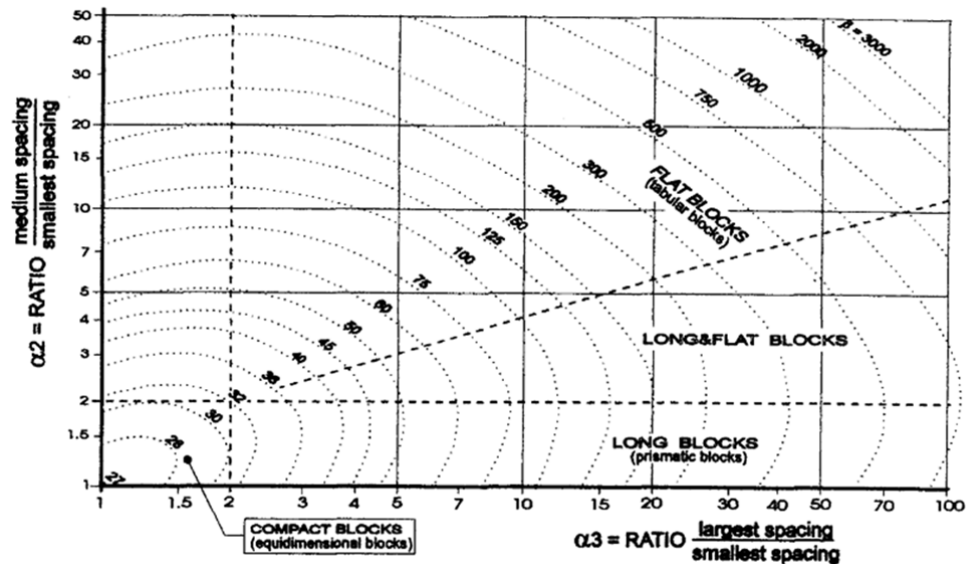
$$J_v = \sum \left(\frac{1}{s_i} \right) + \frac{Nr}{5 \cdot \sqrt{A}} \quad (4)$$

که در آن Nr تعداد درزه های تصادفی، A مساحت برداشت بر حسب متر مربع و S_i فاصله داری درزه ها است.

چگالی حجمی درزه را می توان در مواقعی که درزه ها حالت غیرمنظم دارند و یا درزه ها به صورت تصادفی هستند محاسبه کرد. شکل ۴ رابطه بین J_v و فاصله داری و



شکل ۴- طبقه بندی فاصله داری s با چگالی حجمی Jv (پالمستروم ۱۹۸۲)



شکل ۵- رابطه بین فاصله داری درزه ها و فاکتور شکل بلوکی (پالمستروم ۱۹۹۶)

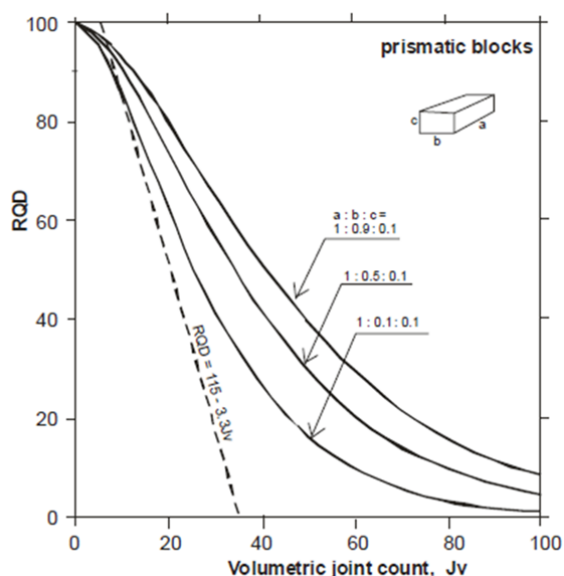
همچنین برای راحتی کار پالمستروم جدول (۳) را کاربر قرار می‌دهد. در جایی که مقدار β مشخص نباشد آن پیشنهاد کرد که سریعاً حدود ضریب شکل را در اختیار را ۴۰ فرض می‌کنند.

جدول ۳- محاسبه ضریب شکل با توجه به نسبت ابعاد بلوک (پالمستروم ۲۰۰۵)

شکل بلوک	نسبت بزرگترین بعد به کوچکترین بعد	β
بلوک مکعبی	۱-۲	۲۷-۳۲
بلوک تقریباً کشیده	۲-۵	۳۲-۵۰
بلوک با کشیدگی متوسط	۵-۱۲	۵۰-۱۰۰
بلوک با کشیدگی زیاد	۱۲-۷۰	۱۰۰-۵۰۰
بلوک با کشیدگی بسیار زیاد	>۷۰	>۵۰۰

$$RQD = 100e^{-0.1\lambda} (1 + \lambda 0.1) \quad (9)$$

سن و ایسا (۱۹۹۱) نمودار بین RQD و چگالی حجمی درزه‌ها را با توجه به نوع بلوک ارائه کردند (شکل ۷). همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، مقدار RQD با انواع مختلف بلوک تغییر می‌کند.



شکل ۷- تغییرات RQD با توجه به تغییر در شکل و نوع بلوک‌ها (سن و عیسی ۱۹۹۲)

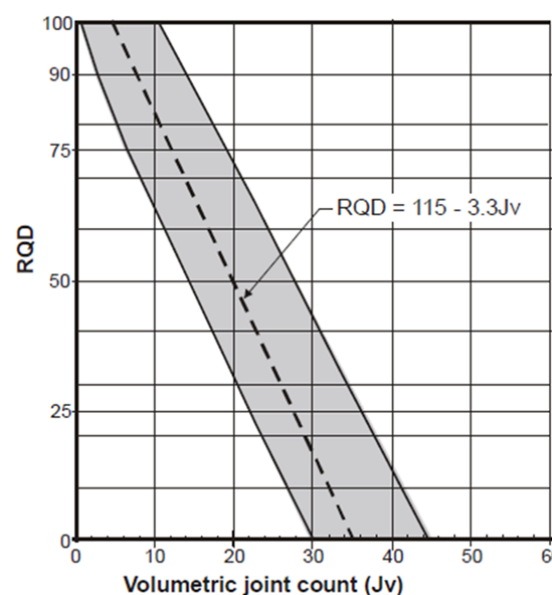
زمانی که از J_v برای بدست آوردن RQD استفاده می‌شود فرض بر این است که این دو همبستگی خوبی دارند. اما همبستگی این دو پارامتر با کاهش RQD کم می‌شود. حقیقت این است که RQD در توده سنگ‌های با درزه‌داری متوسط حساسیت کمی دارد اما اگر J_v کم یا زیاد شود به شدت مقدار RQD را تحت تاثیر قرار می‌دهد. همچنین RQD چون بصورت خطی اندازه‌گیری می‌شود در نتیجه در صورت تغییر جهت حفاری، مقدار آن تغییر می‌کند. در شکل ۸ یک مثال اغراق آمیز از یک توده سنگ نشان داده شده است که در سه حالت، سنگ دارای مشخصات مشابه می‌باشد و تنها جهت حفاری متغیر است. مشاهده می‌شود با توجه به ثابت بودن چگالی حجمی درزه‌ها مقدار RQD می‌تواند هر دو عدد صفر و ۱۰۰ باشد.

۳-۲- رابطه بین RQD و چگالی حجمی درزه‌ها J_v

رابطه بین RQD و J_v همبستگی بالایی ندارد، اما پالمستروم در سال ۱۹۸۲ رابطه (۸) را پیشنهاد کرد:

$$RQD = 115 - 3.3 J_v \quad (8)$$

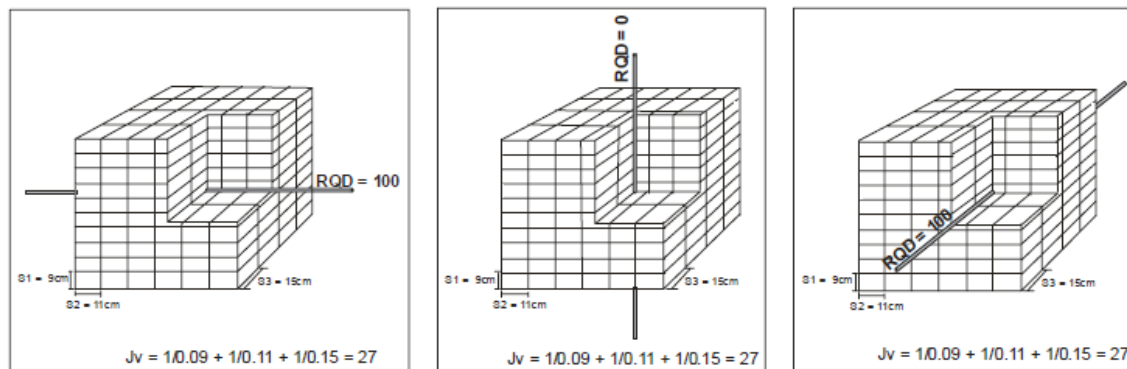
در رابطه فوق در صورتی که J_v بیش از ۳۵ باشد، RQD=0 است و برای J_v کمتر از ۴/۵، RQD=100 می‌باشد. همانطور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود همبستگی RQD و J_v ضعیف است. بر اساس مطالعات صورت گرفته در صورتی که طول بیشتر قطعات مغزه حفاری حدود ۱۰ سانتی‌متر باشد، این همبستگی کمتر می‌شود.



شکل ۶- همبستگی RQD و J_v و محدوده کاربرد آن (مقیاس خطی شده توسط پالمستروم ۱۹۷۴)

هادسون^۱ و پرایس^۲ در سال ۱۹۷۹ بر اساس روابط ریاضی و با استفاده از فرکانس شکستگی‌ها رابطه (۹) را پیشنهاد دادند:

- 1- Hudson
- 2- Priest



شکل ۸- سه نوع گمانه در سه جهت مختلف در یک توده سنگ مشابه که RQD

هر دو عدد صفر و ۱۰۰ بدست آمده است. (پالمستروم ۲۰۰۵)

۳-۳- رابطه چگالی وزنی (Wjd) و چگالی حجمی درزه‌ها (Jv)

ترزاقی (۱۹۶۵) اشاره می‌کند که دقت در برداشت‌ها را می‌توان با افزایش تعداد برداشت درزه‌ها در سطح یا گمانه (Na) بدست آورد که آن را با N_{90} معرفی کرد. N_{90} معرف تعداد ناپیوستگی‌هایی است که دارای امتداد یکسانی هستند و یکدیگر را با زاویه ۹۰ درجه قطع می‌کنند و مطابق رابطه (۱۱) بدست می‌آید.

$$N_{90} = N_a / \sin \alpha \quad (11)$$

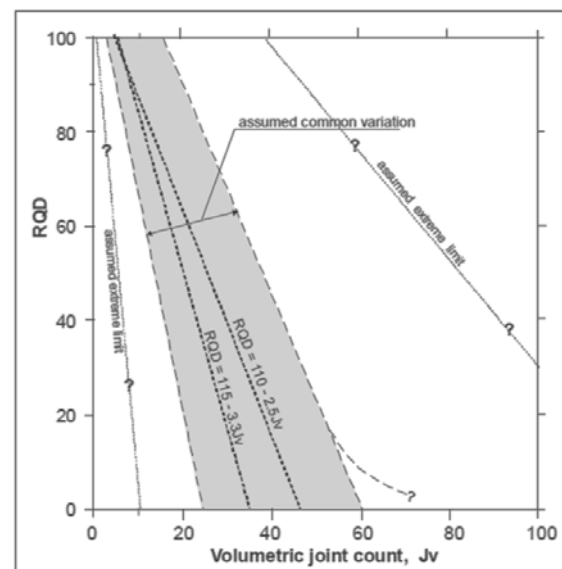
که در آن α زاویه تقاطع بین سطح ناپیوستگی و یا درزه‌ها با خط برداشت و Na تعداد ناپیوستگی و یا درزه‌ها در خط برداشت است.

ترزاقی^۱ به مشکلات مربوط به α های کوچک تاکید دارد، زیرا در این حالت تعداد ناپیوستگی‌هایی که یکدیگر را قطع می‌کنند تحت تاثیر تغییرات فاصله‌داری و تداوم قرار می‌گیرند و اگر α صفر باشد، هیچ اصلاحی صورت نمی‌گیرد. از این رو N_{90} قادر نیست تعداد درزه‌هایی که به صورت افقی یا با شیب کم هستند را نشان دهد.

با توجه به موارد ذکر شده رابطه جدیدی نیز بین RQD و J_v ارائه شده است:

$$RQD = 110 - 2.5 J_v \quad (10)$$

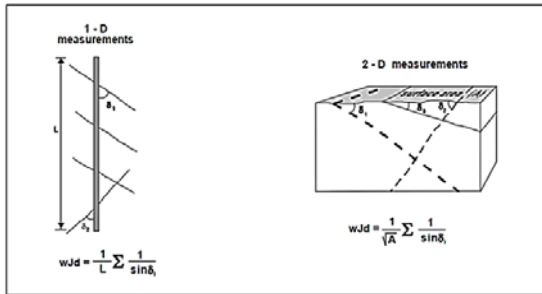
رابطه (۸) برای بلوک‌های دراز تا پهن در سطح متوسط کاربرد دارد و رابطه (۱۰) را برای بلوک‌های مکعبی می‌توان بکار برد (شکل ۹).



شکل ۹- مقایسه نتایج RQD برای هر دو رابطه (پالمستروم

۲۰۰۵)

1- Terzaghi



شکل ۱۰- محاسبه چگالی وزنی درزه ها در یک و دو بعد
(پالمستروم ۲۰۰۱)

۴- محاسبه حجم بلوک معادل در موارد خاص

بر اساس فرضیات قسمت‌های قبل جهت محاسبه حجم بلوک نیاز به حداقل سه دسته درزه می‌باشد. اما در برخی درزه‌های نامنظم امکان دارد که بلوک توسط درزه‌های تصادفی تشکیل شده باشد یا در اثر یک یا دو دسته درزه محدود شده باشد. در مواردی که یک یا دو دسته درزه وجود داشته باشد و هیچ گونه درزه تصادفی نباشد، بلوکی تشکیل نمی‌شود. در این حالت می‌توان از حجم بلوک معادل استفاده کرد. حجم بلوک معادل به وسیله یکی از روش‌های زیر تعیین می‌شود.

۱- در صورتی که یک دسته درزه وجود داشته باشد، حجم بلوک معادل برابر مساحت صفحه درزه در فاصله داری دسته درزه در نظر گرفته می‌شود و از رابطه (۱۴) محاسبه می‌شود.

$$V_b = S * L^2 \quad (14)$$

که در آن S فاصله‌داری درزه و L طول درزه می‌باشد.

۲- در صورتی که دو دسته درزه وجود داشته باشد که فاصله داری آن‌ها به ترتیب برابر S_1 و S_2 و L طول درزه است، حجم بلوک معادل از رابطه (۱۵) بدست می‌آید.

$$V_b = S_1 * S_2 * L \quad (15)$$

روش چگالی وزنی (WJD) روشی است که براساس زاویه حاده بین سطح هر درزه با سطح برداشت یا خط برداشت محاسبه می‌شود.

برای برداشت‌های دو بعدی (برداشت‌های سطحی) چگالی وزنی درزه‌برداری از رابطه (۱۲) و در صورتی که برداشت‌ها به صورت یک بعدی باشند چگالی وزنی درزه‌داری از رابطه (۱۳) بدست می‌آید.

$$WJD = (1/\sqrt{A}) \sum (1/\sin \delta_i) = (1/\sqrt{A}) \sum f_i \quad (12)$$

$$WJD = (1/L) \sum (1/\sin \delta_i) = (1/L) \sum f_i \quad (13)$$

که در آن δ زاویه بین سطح برداشت (یا گمانه) با درزه، A مساحت سطح برداشت و L طول خط برداشت می‌باشد. ضریب f_i در روابط (۱۲) و (۱۳)، با توجه به آزمون و خطا در زوایای مختلف بدست آمده که در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴- محاسبه ضریب f_i با توجه به زاویه سطح ناپیوستگی با خط یا صفحه برداشت (پالمستروم ۲۰۰۱)

ضریب فاکتور f_i	$1/\sin \delta$	زاویه بین درزه با گمانه (یا سطح)
1	<1.16	$\delta > 60$
1.5	1.16-1.99	$\delta = 30 - 60$
3.5	2-3.86	$\delta = 15 - 30$
6	>3.86	$\delta < 15$

نحوه برداشت و محاسبه چگالی وزنی درزه‌ها (WJD) در یک بعد مانند مغزه حفاری و اسکن لاین و در دو بعد صفحه برداشت مانند سطح ترانشه در شکل ۱۰ نشان داده شده است. در عمل چگالی وزنی درزه‌ها تقریباً برابر با چگالی حجمی درزه‌ها می‌باشد ($J_v \approx WJD$).

۳- حجم بلوک در موارد خاص را می‌توان از رابطه (۵) محاسبه و استفاده نمود. در حالت‌های خاص ضریب شکل بلوک بر اساس رابطه (۱۶) محاسبه می‌شود.

$$\beta = 20 + 7 \left(\frac{S_{max}}{S_{min}} \right) \left(\frac{3}{n_j} \right) \quad (16)$$

در رابطه فوق S_{min} و S_{max} در حالتی که کمتر از سه دسته درزه باشد بر اساس فاصله‌داری و طول درزه محاسبه می‌شود. همچنین n_j از جدول ۵ بدست می‌آید.

جدول ۵: مقادیر n_j بر اساس تعداد دسته درزه

مقدار n_j	حالت
۳/۵	سه دسته درزه + درزه‌های تصادفی
۳	سه دسته درزه
۲/۵	دو دسته درزه + درزه‌های تصادفی
۲	دو دسته درزه
۱/۵	یک دسته درزه + درزه‌های تصادفی
۱	یک دسته درزه

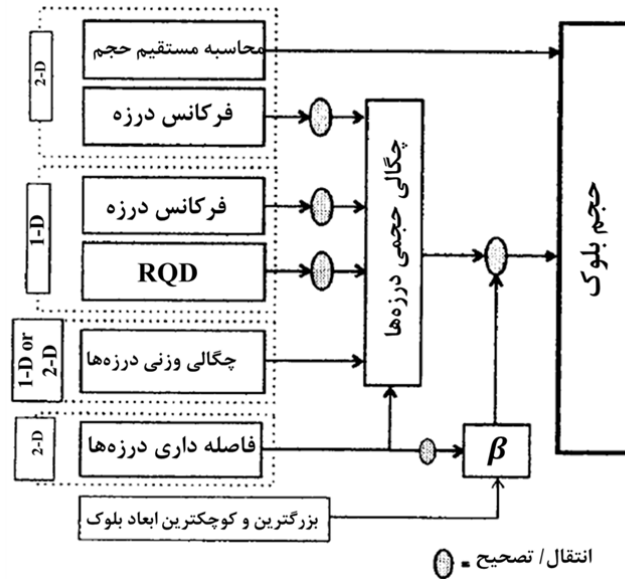
۵- نتیجه‌گیری

انواع مختلف درزه‌ها در توده سنگ نیازمند انتخاب روش‌های مختلف اندازه‌گیری است تا بتوان به نتیجه مناسب رسید. با توجه به اینکه فاصله‌داری درزه‌ها به شدت متغیر است، اختلاف ابعاد بین بعد کوچک و بزرگ توده

سنگ قابل توجه است. بنابراین توصیف حجم بلوک نباید بصورت یک عدد مطلق بلکه به صورت بازه باشد. همچنین نشان داده شد که RQD با سایر پارامترهای اندازه‌گیری حجم بلوک در سنگ‌های ضعیف و خیلی قوی همبستگی مناسبی ندارد و توصیه می‌شود که از این پارامتر احتیاط بیشتری استفاده شود.

اندازه‌گیری حجم بلوک به جای چگالی حجمی بلوک در حالتی که بتوان به صورت مستقیم حجم بلوک را اندازه‌گیری کرد، ساده‌تر و دقیق‌تر می‌باشد، به خصوص زمانی که حجم بلوک را می‌توان به صورت مشاهده‌ای بدست آورد. در جدول ۶ خلاصه‌ای از روش‌های محاسبه حجم بلوک ارائه شده است، اساس اکثر این روش‌ها بر مبنای چگالی حجمی بلوک‌ها می‌باشد. در شکل ۱۱ فلوچارت راهنمای تخمین حجم بلوک ارائه شده است. همچنین شکل ۱۲ ارتباط بین پارامترهای مختلف با حجم بلوک را نشان می‌دهد. همان طور که در شکل مشاهده می‌شود چگالی حجمی درزه نسبت به RQD بازه بزرگتری از حجم بلوک را پوشش می‌دهد.

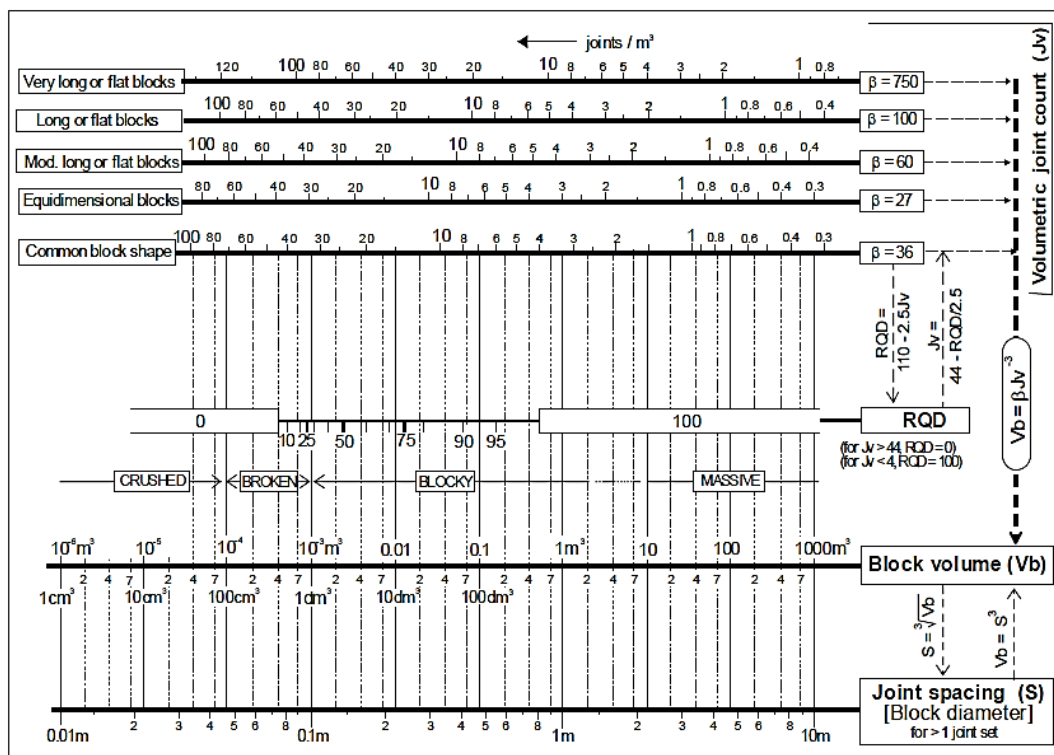
استفاده از روابط ذکر شده در این مقاله در سنگ‌های با ساختارهای متفاوت نیاز به تجربه و تبحر در بکارگیری این روابط دارد. استفاده از روابط مختلف برای مقایسه و صحت اعداد برداشت‌ها می‌بایست انجام شود.



شکل ۱۱- فلوچارت اصول تخمین حجم بلوک بر اساس روش‌های مختلف (پالمستروم ۱۹۸۲)

جدول ۶- خلاصه‌ای از مشاهدات و روابط برای اندازه‌گیری خصوصیات درزه‌ها در توده سنگ

نوع برداشت			
برداشت سه بعدی (حجمی)	برداشت دو بعدی (سطحی)	برداشت یک بعدی (خطی)	
بر اساس میانگین فاصله‌داری درزه: $J_v = \sum \left(\frac{1}{S_i} \right)$ یا در صورتی که درزه‌های تصادفی (N_r) در نظر گرفته شوند: $J_v = \sum \left(\frac{1}{S_i} \right) + \frac{N_r}{5}$	بر اساس میانگین فاصله‌داری درزه: $J_v = S_m / k_a$ بر اساس چگالی وزنی دو بعدی درزه: $J_v = w_j d$	بر اساس میانگین طول مغزه: $J_v = f_i / k_l$ بر اساس چگالی وزنی یک بعدی درزه: $J_v = w_j d$ بر اساس RQD: $J_v = 35 - RQD / 3.3$	چگالی درزه‌ها (J_v)
بر اساس میانگین فاصله‌داری: $V_{b0} = S_1 \cdot S_2 \cdot S_3$ بر اساس چگالی حجمی درزه‌ها: $V_{b0} = \beta \cdot J_v^3$ بر اساس اندازه‌گیری مستقیم حجم بلوک (V_b)	بر اساس چگالی حجمی بلوک: $V_{b0} = \beta \cdot J_v^3$ بر اساس اندازه‌گیری مستقیم بر اساس الگوی درزه‌ها (V_b)	بر اساس چگالی حجمی درزه‌ها: $V_{b0} = \beta \cdot J_v^3$ بر اساس RQD: $V_b = \beta \cdot (35 - RQD / 3.3)^{-3}$ بر اساس اندازه‌گیری مستقیم بر اساس مغزه حفاری (برای بلوک‌هایی که ابعاد کوچکتر از مغزه حفاری داشته باشند) (V_b)	حجم بلوک (V_b)
نکات: V_{b0}: حجم بلوک در زمانی است که زاویه تقاطع دسته‌درزه‌ها ۹۰ درجه باشد. N_r: تعداد درزه‌های تصادفی مشاهده شده در ناحیه برداشت می‌باشد. β: مربوط به ضریب شکل می‌باشد. فاکتورهای تصحیح برای برداشت‌های دوبعدی و یک بعدی به صورت زیر می‌باشند: $k_l=1-7$ و $k_a=1-2.5$			



شکل ۱۲- ارتباط بین پارامترهای مختلف با حجم بلوک. (پالمستروم ۲۰۰۰)

Conf. on Recent Advances in Tunnelling Technology, New Delhi, India, 9 p.

۶- مراجع

- 7- Palmström A. and Nilsen B., 2000. Engineering geology and rock engineering. Handbook. Norwegian Rock and Soil Engineering Association, 250 p.
- 8- Palmström A. and Singh R., 2001. The deformation modulus of rock masses - comparisons between in situ tests and indirect estimates. Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 16, No. 3, pp. 115 - 131.
- 9- Palmstrom A., 2001b. Measurement and characterization of rock mass jointing. In 'In-situ characterization of rocks'. Sharma V.M. and Saxena K.R. eds., A.A. Balkema publishers, pp. 49 - 97.
- 10- Palmstrom A., Blindheim O.T. and Broch E., 2002. The Q system - possibilities and limitations. (in Norwegian) Norwegian annual tunnelling conference on Fjellsprengningsteknikk / Bergmekanikk / Geoteknikk, Oslo, pp. 41.1 - 41.38.
- 11- Hudson J.A. and Priest S.D., 1979. Discontinuities and rock mass geometry. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol 16, 1979, pp 339 - 362.
- 1- Palmström, A. 1982. The volumetric joint count—auseful and simple measure of the degree of jointing. In: Proceedings of the Fourth International Congress IAEG, New Delhi, vol. V, 221-228.
- 2- Palmström, A. 2005: Measurements of and correlations between block size and rock quality designation (RQD). Tunnels and Underground Space Technology, 20, 326-377.
- 3- Palmstrom A., 1974. Characterization of jointing density and the quality of rock masses (in Norwegian). Internal report, A.B. Berdal, Norway, 26 p.
- 4- Palmstrom A., 1995. RMi - a rock mass characterization system for rock engineering purposes. PhD thesis, University of Oslo, Department of Geology, 400 p.
- 5- Palmstrom A., 1996. The weighted joint density method leads to improved characterization of jointing. Int. Conf. on Recent Advances in Tunnelling Technology, New Delhi, India, 6 p.
- 6- Palmstrom A., 1996b. Application of seismic refraction survey in assessment of jointing. Int.

- 12- Sen Z., Eissa E.A. (1991): "Volumetric rock quality designation." J Geotech. Engn., Vol 117, No 9, 1991, pp. 1331-1346.
- 13- Sen Z. and Eissa E.A. (1992): "Rock quality charts for log-normally distributed block sizes." Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol.29, No. 1, pp. 1-12.
- 14- Hudson J.A. and Priest S.D. (1983): "Discontinuity frequency in rock masses." Int. J. Rock Mec. Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol 20, No 2, pp. 73-89.
- 15- Terzaghi R. (1965): "Sources of error in joint surveys." Geotechnique, Vol 15, 1965, pp.287-304