نشریه علمی-پژوهشی "مهندسی معدن"
Iranian Journal of Mining Engineering (IRJME)

دوره دوازدهم،شماره ۳۵، تابستان ۱۳۹۶، صفحه۱۳تا۲۴
Vol. 12, No. 35, 2017, pp.13-24

یادداشت فنی

تخمین حجم بلوک‌های برجای سنگ با استفاده از فاصله‌داری درزه‌ها در معادن تراورتن آذرشهر

ابوطالب امینی[۱] ؛ سید حسن خوشرو*[۲]

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

(دریافت ۱۰ مرداد ۱۳۹۴، پذیرش ۸ خرداد۱۳۹۶)

چکیده

قبل از شروع معدن‌کاری در معادن کواری و استخراج بلوک‌های سنگ، در صورتی که حجم بلوک‌های قابل استخراج پیش از هرگونه سرمایه-گذاری و خرید ماشین‌آلات پیش‌بینی شود، به میزان بالایی از صرف هزینه‌های بی‌مورد و رکود سرمایه‌ها جلوگیری خواهد شد. حجم بلوک‌های سنگ را می‌توان از تحلیل اندازه‌گیری‌های فاصله‌داری درزه‌ها و با استفاده از روش‌های مختلف تخمین زد. از جمله این روش‌ها می‌توان به روش‌های استفاده از فاصله‌داری درزه‌ها، استفاده از تعداد حجمی درزه و استفاده از چگالی وزنی درزه‌داری اشاره کرد. اندازه‌گیری درزه‌ها را می‌توان با انتخاب چندین خط برداشت در رخنمون‌های سنگی انجام داد. با انتخاب خطوط برداشتی به طول ۱۵۶۲ متر در امتداد ۱۵۲ سینه‌کار از معادن تراورتن آذرشهر، فاصله‌داری و سایر ویژگی‌های درزه‌ها اندازه‌گیری و ثبت شد. با تجزیه و تحلیل اطلاعات برداشت شده، متوسط تعداد حجمی برجای درزه(J_{vi}) برابر با ۱/۱۲ درزه در هر مترمکعب، متوسط شاخص کیفیت بلوک(BQD) برابر با ۶۹/۷۶ درصد و متوسط فاصله‌داری درزه‌ها برای معادن مورد مطالعه برابر با ۳/۴۵ متر محاسبه شد. 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. به‌منظور اعتبارسنجی تخمین‌های صورت-گرفته، ابعاد حدود ۳۰۶۱ بلوک که در سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ در سه معدن مورد مطالعه تولید شده‌اند مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند، که طی آن متوسط حجم بلوک‌های تولیدی(V_b) برابر با ۶/۶۳ مترمکعب و تعداد حجمی درزه برای این بلوک‌ها(J_{vb}) برابر با ۱/۷۰ درزه در هر مترمکعب به‌دست آمد. روابط بین مجموعه پارامترهای محاسبه شده برای هر روش با رسم نمودارهایی بررسی شد و با مقایسه نتایج سه روش مورد استفاده، در نهایت روش استفاده از تعداد حجمی درزه، به‌عنوان بهترین روش در تخمین حجم بلوک انتخاب شد. در پایان رابطه بین پارامترهایی که از مطالعات صحرایی و تحلیل ابعاد بلوک‌های تولیدی در روشِ استفاده از تعداد حجمی درزه‌ها به‌دست آمده‌اند به‌صورت یک نمودار ارائه شد. از این نمودار می‌توان برای تخمین متوسط حجم بلوک‌های قابل استخراج از توده‌سنگ استفاده کرد.

کلمات کلیدی

تخمین حجم بلوک، سنگ ساختمانی، تراورتن، فاصله‌داری دسته‌درزه، آذرشهر

* نویسنده مسئول مکاتبات

۱- مقدمه

برای افزایش بهره‌وری و بالا بردن سوددهی معادن سنگ‌های ساختمانی دانستن حجم، هندسه و توزیع بلوک‌های خامِ مورد انتظار، ضروری است. پیش‌بینی اولیه از اندازه نسبی قطعات، به بهینه‌سازی تولید سنگ ساختمانی کمک خواهد کرد[۱]. این بهینه‌سازی می‌تواند در جهت کاهش تأثیرات زیست-محیطی معادن سنگ ساختمانی و همچنین کاهش مقدار باطله تولیدی از این معادن مورد استفاده قرار گیرد. چون بسیاری از معادن سنگ ساختمانی با تولید مقادیر و حجم زیادی از باطله‌ها، که بخش اعظمی از آن‌ها را بلوک‌های با ابعاد غیر اقتصادی تشکیل می‌دهند، باعث بر هم زدن چشم اندازهای اطراف منطقه معدن شده و بسیاری از مناظر طبیعی را با خطر مواجهه می‌کنند. ضمن این‌که از لحاظ اقتصادی نیز تولید این حجم وسیعی از باطله بار مالی سنگینی را به معدن تحمیل خواهد کرد.

همچنین مدیریت معدن کواری به شدت به اندازه طبیعی بلوک وابسته است[۲]. چون ابعاد بلوک‌ها به وسیله فاصله‌داری درزه‌ها، تعداد دسته‌های درزه و تداوم درزه‌ها مشخص می‌شوند، بنابراین درزه‌ها و شکستگی‌های موجود در توده‌سنگ از مهم‌ترین ساختارهای زمین شناسی می‌باشند و ارزیابی آن‌ها یکی از مهم‌ترین وظایفی است که در طول عملیات اکتشاف و همچنین در طول پیشروی عملیات کواری باید صورت گیرد.

ابعاد بلوک‌هایی که از توده سنگ می‌توان استخراج کرد به-وسیله صفحات ناپیوستگی که در آن حضور دارند محدود می‌شوند. تعداد دسته‌درزه‌ها و امتداد ناپیوستگی‌ها، شکل بلوک‌های حاصل را مشخص می‌کند [۳]. تحلیل فاصله‌داری ناپیوستگی‌ها نه تنها به ما امکان تخمین حجم متوسط بلوک‌های سنگ را می‌دهد، بلکه ما را قادر می‌سازد تا مشخص کنیم که در چه جایی می‌توان بلوک‌ها را به‌صورت اقتصادی از توده سنگ استخراج نمود. بنابراین اگر متوسط حجم بلوک تخمین زده شده در یک معدن، کوچک باشد سرمایه گذاری در چنین محل‌هایی اقتصادی نخواهد بود[۱].

از جمله مطالعاتی که در رابطه با تخمین حجم بلوک انجام شده است می‌توان به تخمین حجم بلوک با استفاده از اندازه‌گیری‌های میدانی ناپیوستگی‌ها توسط سن و عیسی[۱] [۴]، بررسی روش‌های مختلف تعیین حجم بلوک با استفاده از اندازه‌گیری‌های صحرایی توسط پالمستروم[۲][۵، ۶، ۷]، تعیین اندازه بلوک با در نظر گرفتن تداوم درزه‌ها توسط کیم و همکاران[۳] [۸]، بررسی تأثیر ویژگی‌های درزه در ارزیابی اندازه بلوک سنگی توسط سوسا[۴] [۲]، بررسی تأثیر جهت‌گیری درزه‌ها بر روی اندازه و شکل بلوک‌ها و بهینه‌سازی اندازه بلوک با به‌کارگیری یک الگوریتم عددی و تهیه یک برنامه کامپیوتری توسط موس و همکاران[۵] [۱]، ارائه تکنیکی جدیدی بر مبنای روش شبیه‌سازی مونت کارلو برای تخمین توزیع برجای حجم بلوک در توده‌سنگ توسط الموتی و پروپات[۶] [۹] و تعیین هندسه بلوک‌های توده‌سنگ در فضاهای دو بعدی با تهیه یک برنامه کامپیوتری توسط یاراحمدی و همکاران[۱۰] اشاره کرد.

پس از اکتشاف منابع جدید سنگ ساختمانی برای شروع به کار این معادن اقدامات لازم صورت گرفته و معدن فعالیت خود را آغاز می‌کند، حال آن‌که پس از مدت کوتاهی بسیاری از این معادن سنگ ساختمانی به علت عدم سوددهی کافی و توجیه اقتصادی در نهایت بسته می‌شوند. یکی از دلایل عمده این امر را می‌توان در نبود هیچگونه پیش بینی اولیه نسبت به حجم بلوک‌های برجای سنگ جستجو کرد. از این رو این تحقیق در صدد است تا با انجام یک عملیات صحرایی برداشت درزه و تجزیه و تحلیل اطلاعات به‌دست آمده، تخمینی از حجم برجای بلوک‌های سنگ به‌دست آورد. برای تخمین حجم برجای بلوک از سه روش استفاده شد که عبارتند از روش تعداد حجمی درزه، روش چگالی وزنی درزه‌داری و روش استفاده از فاصله‌داری درزه‌ها. پس از تخمین حجم بلوک با استفاده از روش‌های مختلف و مقایسه نتایج آن‌ها، در نهایت مناسب‌ترین روش برای تخمین حجم بلوک در منطقه آذرشهر مشخص شد.

۲- موقعیت و زمین شناسی معادن

آذرشهر در استان آذربایجان شرقی و با وسعت ۸۴۰ کیلومتر مربع در ۳۰ کیلومتری تبریز و در محور تبریز-بناب واقع شده است. در گستره آذرشهر، در شرق دریاچه ارومیه، در سطحی بیش از ۵۰ کیلومتر مربع، پوششی از تراورتن دیده می‌شود که به شکل یک سه گوشه از قرمز گل تا داشکسن به‌صورت تختگاه‌های بلند و پهنه‌های پست‌تر شکل گرفته است، و تقریبا از یک سوم آن برای کوره‌های آهک‌پزی و سنگ‌های زینتی بهره‌گیری شده است[۱۱]. در این تحقیق از معادن تراورتن قرمز سردار آباد، تراورتن پوست‌ماری کلوانق و تراورتن گردویی نادینلو به‌عنوان مطالعه موردی استفاده شده است. این معادن در ۵ کیلومتری آذرشهر و در مجاورت جاده آذرشهر-مراغه قرار گرفته‌اند.

در شمال رودخانه آذرشهر قسمتی از مخروط آبرفتی پلیوسن-کواترنر وجود دارد که بخش شمالی توده سهند را احاطه می‌کند. عموما فقط بخش سطحی مخروط آبرفتی قابل رویت است. این سطح متشکل از خاک‌های رسی است که در درون آن بلوک‌هایی از سنگ‌های ولکانیکی وجود دارد[۱۱].

یکی از مهم‌ترین بخش‌هایی که در جنوب رودخانه آذرشهر مشاهده می‌شود، توده تراورتن‌هایی است که در این منطقه تشکیل شده است[۱۱]. بر پایه مطالعات انجام شده، نهشته‌های تراورتن آذرشهر عمدتا از نوع شکاف-پشته[۷] هستند[۱۲]. تراورتن‌های شکاف-پشته عوارض مورفوتکتونیکی هستند که در آن‌ها از نهشت تراورتن، از طریق آب‌های هیدروترمال صعودکننده در امتداد شکستگی‌های پی‌سنگ، تراورتن‌ها ایجاد شده‌اند[۱۳]. در بخش زیرین تراورتن‌ها افق‌هایی از اوپال و کربنات آهن دیده می‌شود[۱۱]. پی‌سنگ نهشته‌های تراورتن، واحدهای به سن نئوژن است. فرآیند رسوبگذاری تراورتن هم اکنون نیز به‌طور محدود در تعدادی از چشمه‌های فعال از جمله چشمه‌های تاپ تاپان، قزل داغ و داشکسن ادامه دارد [۱۳].

۳- عملیات برداشت درزه‌ها

خصوصیات درزه‌ها را می‌توان با استفاده از پیمایش‌های خط برداشت[۸] اندازه‌گیری کرد. خطوط برداشت یک سری خطوط فرضی یا عینی هستند که در طول سینه‌کار یا رخنمون سنگی در نظر گرفته می‌شوند و ویژگی‌های درزه‌هایی که با این خط برخورد داشته باشند، اندازه‌گیری شده و در یک جدول به‌طور منظم ثبت می‌شوند.

برای اندازه‌گیری درزه‌ها به وسیله خط برداشت یک رخنمون تمیز و تقریبا صفحه‌ای، به گونه‌ای انتخاب می‌شود که نسبت به اندازه و فاصله‌داری ناپیوستگی‌های در معرض دید، وسعت کافی داشته باشد. در انتخاب رخنمون باید دقت شود تا سطح انتخاب شده نسبت به مواد سنگی و ناپیوستگی‌های محل، معرف باشد. در این تحقیق، کلیه عملیات برداشت درزه‌ها و انتخاب خطوط برداشت، در امتداد سینه‌کارهای معادن مورد مطالعه انجام شده است که یک رخنمون صاف، تقریبا تمیز و نسبتا بزرگ را برای انجام عملیات برداشت فراهم می‌کند. بنابراین می‌توان گفت که طول خطوط برداشت تابعی از طول پله‌ها و نحوه جهت‌گیری آن‌ها نسبت به یکدیگر می‌باشد.

با استفاده از روش خط برداشت پارامترهای شیب، جهت شیب، فاصله‌داری، تداوم و زاویه بین خط برداشت و درزه، در معادن مورد مطالعه برداشت و ثبت شد. برای اندازه‌گیری پارامترهای شیب، جهت شیب و زاویه بین درزه و خط برداشت، از یک کمپاس برانتون استفاده شد و سایر پارامترها نیز با استفاده از یک متر نواری اندازه‌گیری شدند. لازم به‌ذکر است که کلیه محاسبات با فرض بی‌نهایت بودن تداوم درزه‌ها انجام شده است.

۴- تخمین حجم بلوک

۴-۱- روش‌های تخمین حجم بلوک

۴-۱-۱- روش استفاده از فاصله‌داری درزه‌ها

در مواقعی که سه دسته‌درزه منظم اتفاق می‌افتد، حجم بلوک(V_i) را می‌توان از طریق فاصله‌داری درزه با استفاده از رابطه (۱) به‌دست آورد[۱۴]:

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

که در آن γ_{12}، γ_{13}، γ_{23} زوایای بین دسته‌درزه‌ها بر حسب درجه، و S_1، S_2، S_3 فاصله‌داری دسته‌درزه‌ها بر حسب متر می‌باشد. به‌طور مشابه در حالتی که چهار دسته‌درزه موجود باشند، می‌توان حجم بلوک را از طریق رابطه ۲ محاسبه کرد:

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

اثر زاویه بین دسته‌درزه‌ها در مقایسه با تغییراتی که بوسیله فاصله‌داری درزه‌ها در محاسبه حجم بلوک اتفاق می‌افتد، نسبتا کوچک‌تر است [۶].

۴-۱-۲- روش استفاده از تعداد حجمی درزه[۹] (J_v)

پالمستروم [۱۶-۱۴]، تعداد حجمی درزه(J_v) را به‌عنوان ابزاری مفید در توصیف و رده‌بندی میزان درزه‌داری توده‌سنگ‌ها معرفی کرد که به سادگی از توصیف‌های استاندارد درزه می‌توان آن را به‌دست آورد. تعداد درزه‌هایی که یک توده سنگ واحد را قطع می‌کنند به‌عنوان تعداد حجمی درزه‌ها(برحسب درزه بر مترمکعب) تعریف می‌شوند که خواهیم داشت [۱۴]:

$$J_v = \frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} + \frac{1}{S_3} + \cdots + \frac{1}{S_n} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{S_i} \qquad (۳)$$

در این رابطه S_i فاصله‌داری مربوط به دسته‌درزه iام و n تعداد دسته‌درزه‌ها است.

چون J_v به روش منحصر به فردی همه درزه‌های موجود در توده سنگ را در نظر می‌گیرد، در اکثر موارد استفاده از J_v در رابطه بین اندازه‌گیری فراوانی درزه‌ها و تخمین حجم بلوک مناسب است[۱۷].

در حالتی که سه دسته‌درزه با زوایای γ_{12}, γ_{13}, γ_{23} همدیگر را قطع می‌کنند، رابطه ۴ بین J_v و V_b وجود دارد [۵]:

$$V_b = \frac{\beta * {J_v}^{-3}}{Sin\gamma_{12} * Sin\gamma_{13} * Sin\gamma_{23}} \quad (۴)$$

که در آن β فاکتور شکل بلوک است. اکثرا زاویه بین دسته‌درزه‌ها تقریبا ۹۰ درجه است، بنابراین برای اهداف کاربردی می‌توان از رابطه ۵ استفاده کرد:

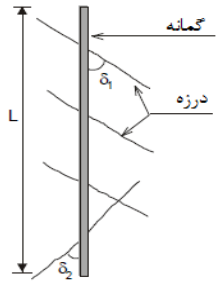
$$V_b = \beta * {J_v}^{-3} \quad (۵)$$

در این رابطه پارامتری که اهمیت دارد فاکتور شکل بلوک می‌باشد. در مواردی که مقدار β ناشناخته است پالمستروم [۱۴] پیشنهاد می‌کند تا از مقدار ۳۶ به‌عنوان یک مقدار اولیه در تخمین حجم بلوک استفاده شود.

۴-۱-۳- روش استفاده از چگالی وزنی درزه‌داری

شاخص چگالی وزنی درزه(WJd) توسط پالمستروم[۵] پیشنهاد شد. پالمستروم بیان کرده است که چنانچه اندازه‌گیری‌های دقیقی انجام شوند، شاخص WJd باید تقریبا شبیه به J_v به‌دست آید. هر چند در عمل همیشه این شرایط به‌دست نمی‌آید [۱۸]. روش چگالی وزنی درزه‌داری برای دست‌یابی به اطلاعات بهتر، از گمانه‌ها و مشاهدات سطحی اتخاذ شده است [۱۷]. در اصل، روش چگالی وزنی درزه‌داری بر مبنای اندازه‌گیری زاویه بین هر درزه و سطح مورد مشاهده یا گمانه (خط برداشت) است. رابطه مربوط به اندازه‌گیری WJd در حالتِ یک بعدی در شکل ۱ نشان داده شده است.

اندازه گیری یک بعدی



$$wJd = \frac{1}{L}\sum \frac{1}{\sin\delta_i}$$

شکل ۱ : نحوه محاسبه WJd در یک گمانه(در یک خط برداشت نیز به همین صورت محاسبه می‌شود)[۱۷]

می‌توان عبارت $1/Sin\delta_i$ را با f_i نشان داد که به آن فاکتور رده‌بندی گفته می‌شود. برای ساده‌سازی محاسبات، مقادیر زاویه بین درزه و خط برداشت(δ_i) به فواصلی تقسیم شده و برای هر فاصله، رتبه‌بندی از f_i انتخاب شده است. بدین ترتیب پس از اندازه‌گیری زاویه δ کافی است تا مقدار فاکتور f_i معادل آن، در رابطه WJd قرار داده شود و شاخص WJd محاسبه گردد. جدول ۱ مقادیر این دسته بندی را نشان می‌دهد.

جدول ۱ : فاصله‌بندی زاویه δ و دسته‌بندی فاکتور f_i [۱۷]

زاویه بین درزه و خط برداشت(درجه)	دسته‌بندی فاکتور f_i
δ >۶۰	۱
δ=۳۱-۶۰	۱/۵
δ=۱۶-۳۰	۳/۵
δ<۱۶	۶

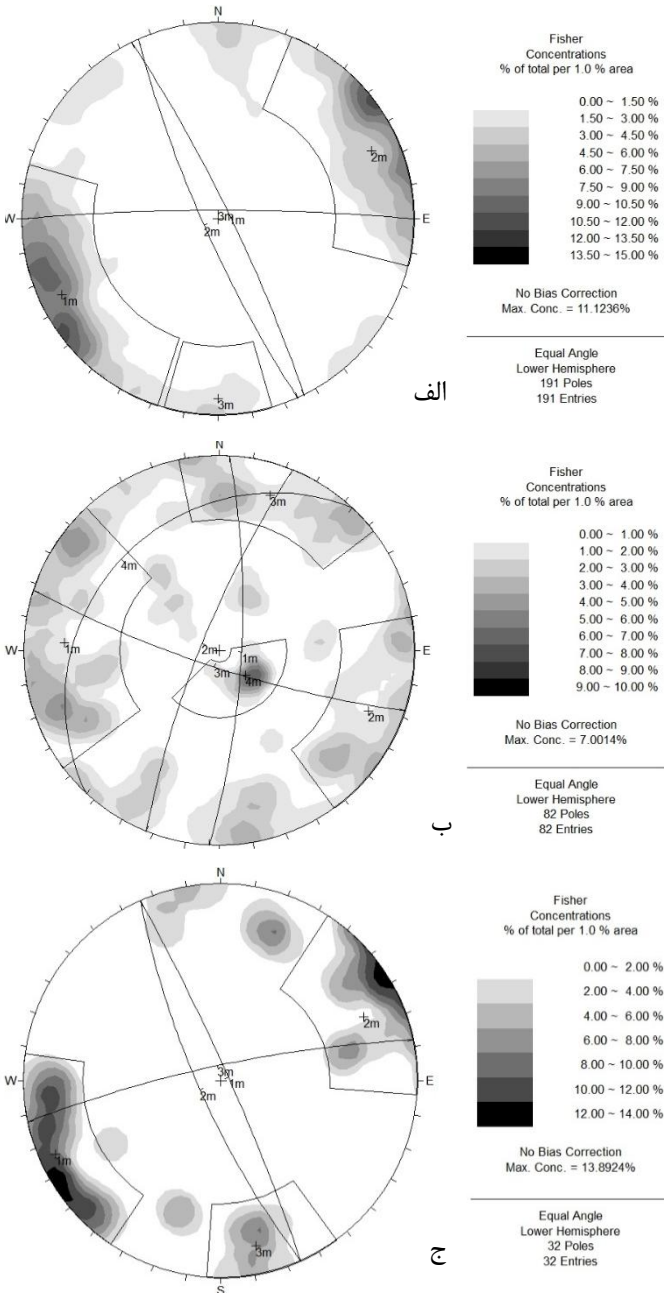
مقدار چگالی وزنی درزه‌داری تقریبا شبیه به تعداد حجمی درزه است($WJd\approx J_v$). بنابراین پس از محاسبه چگالی وزنی درزه‌داری می‌توان آن‌را به جای J_v، در معادلات مربوط به محاسبه حجم بلوک با استفاده از J_v(رابطه (۵))، قرار داده و حجم بلوک را به‌دست آورد [۱۷].

۴-۲- محاسبه و تعیین پارامترهای مورد نیاز در تخمین حجم بلوک

۴-۲-۱- تعیین تعداد و فاصله‌داری دسته‌درزه‌ها

تعداد دسته‌ها را به وسیله نمایش کنتوری درزه‌ها می‌توان مشخص کرد. نرم افزار Dips از جمله برنامه‌های کامپیوتری است که از آن می‌توان برای نمایش کنتوری درزه‌ها استفاده

نمود. نتایج این نرم افزار در شکل ۲ آورده شده است. با تعیین تعداد دسته‌درزه‌ها می‌توان مقادیر متوسط فاصله‌داری دسته‌درزه‌ها را نیز محاسبه کرد. این مقادیر محاسبه شده، در جدول ۳ ارائه شده است.



شکل ۲ : نمایش کنتوری و دسته‌درزه‌های انتخاب شده در معادن الف)تراورتن قرمز ب)تراورتن پوست ماری ج)تراورتن گردویی

۴-۲-۲- محاسبه تعداد حجمی درزه‌ها

با مشخص شدن تعداد و فاصله‌داری دسته‌درزه‌ها می‌توان تعداد حجمی درزه را با استفاده از رابطه ۳ محاسبه کرد.

مقادیر J_v محاسبه شده برای معادن مورد مطالعه در جدول ۳ آورده شده است.

۴-۲-۳- تعیین زاویه بین دسته‌درزه‌ها

پس از به‌دست آوردن متوسط مقدار شیب و جهت شیب برای هر کدام از دسته‌درزه‌های شناسایی شده، به روش دستی و با استفاده از استریونت می‌توان زاویه بین دسته‌درزه‌ها را به‌دست آورد. از زاویه بین دسته‌درزه‌ها در محاسبه حجم بلوک با استفاده از فاصله‌داری درزه‌ها و همچنین در محاسبه حجم بلوک با استفاده از تعداد حجمی درزه‌ها استفاده خواهد شد. مقادیر زوایای بین دسته‌درزه‌های مختلف در جدول ۳ آورده شده است.

۴-۲-۴- طول کل خط برداشت هر معدن

برای به‌دست آوردن طول کل خط برداشت کافی است تا طول همه خطوط برداشت انتخاب شده را با یکدیگر جمع کنیم. بدین ترتیب طول کل پیمایش صورت گرفته برای هر معدن بدست خواهد آمد که این مقادیر در جدول ۲ آورده شده‌اند. از طول کل خط برداشت در محاسبه WJd استفاده خواهد شد.

جدول ۲ : طول کل خط برداشت انتخاب شده در معادن مورد مطالعه

نام معدن	تعداد خط برداشت انتخاب شده (تعداد سینه‌کارها)	طول کل خط برداشت (متر)
تراورتن قرمز	۸۳	۹۹۲
تراورتن پوست ماری	۳۶	۲۸۵
تراورتن گردویی	۳۳	۲۸۵
جمع کل	۱۵۲	۱۵۶۲

۴-۲-۵- محاسبه BQD

اِلسی و تورک[۱۰] [۱۹] برای ارزیابی توانایی توده‌سنگ در تولید بلوک‌های سنگی با کیفیت، پارامتری به نام شاخص کیفیت بلوک[۱۱](BQD) را تعریف کردند. BQD به‌صورت مجموع مقادیر فاصله‌داری(S) بزرگ‌تر یا مساوی با یک متر، تقسیم بر طول کل خط برداشت(L) و بر حسب درصد تعریف می‌شود. طول کل خط برداشت در جدول ۲ آورده شده است. رابطه ۶ نیز فرمول مورد استفاده برای محاسبه این فاکتور را نشان می‌دهد. جدول ۳ مقادیر BQD بدست آمده برای معادن مختلف را نشان می‌دهد.

جدول ۳ : اطلاعات کلی درزه‌های معادن تراورتن آذرشهر

نام معدن	شماره دسته‌درزه	شیب (درجه)	جهت شیب (درجه)	فاصله‌داری (متر)	تعداد حجمی درزه (درزه بر مترمکعب)	زاویه بین دسته‌درزه‌ها	BQD (٪)
تراورتن قرمز	۱	۸۳	۶۴	۳/۶۳	۰/۸۴	γ_{12}=۱۶۵	۶۹/۰۷
	۲	۸۱	۲۴۶	۳/۴۱		γ_{13}=۶۴	
	۳	۸۵	۳۶۰	۳/۷۰		γ_{23}=۱۱۳	
تراورتن پوست ماری	۱	۷۷	۹۳	۲/۷۴	۱/۷۷	γ_{12}=۱۵۰	۷۱/۰۳
	۲	۷۹	۲۹۲	۲/۰۶		γ_{13}=۱۰۲	
	۳	۸۰	۱۹۸	۲/۳۳		γ_{14}=۹۴	
	۴	۲۱	۳۱۳	۲/۰۲		γ_{23}=۹۲	
						γ_{24}=۶۰	
						γ_{34}=۹۰	
تراورتن گردویی	۱	۸۵	۶۶	۳/۲۱	۰/۷۵	γ_{12}=۱۶۴	۶۹/۱۹
	۲	۷۷	۲۴۶	۳/۱۰		γ_{13}=۷۷	
	۳	۸۱	۳۴۸	۸/۲۶		γ_{23}=۱۰۰	
میانگین کلی				۳/۴۵	۱/۱۲		۶۹/۷۶

$$BQD = \frac{\sum S \geq 1}{L} * 100 \quad (۶)$$

۴-۲-۶- تحلیل ابعاد بلوک‌های تولید شده در معادن مورد مطالعه در سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲

بمنظور اعتبارسنجیِ محاسبات و تخمین‌هایی که با تحلیل اطلاعات صحرایی محاسبه گردید، ابعاد حدود ۳۰۶۱ بلوک که توسط شرکت سنگاب آذرشهر در سال‌های ۹۱ و ۹۲ در این سه معدن تولید شده، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. حجم بلوک‌ها با استفاده از طول و عرض و ارتفاع بلوک‌های تولیدی قابل محاسبه هستند. همچنین با فرض اینکه هر سطح بلوکِ تولید شده بیانگر یک صفحه ناپیوستگی باشد، تعداد حجمی درزه برای هر بلوک(J_{vb}) را می‌توان با استفاده از رابطه (۷) بدست آورد. سطوح مذکور سطوحی هستند که پس از برش و شکل‌دهی بلوک توسط دستگاه سیم برش الماسه ایجاد می‌شوند. جدول ۴ مقادیر بدست آمده را نشان می‌دهد.

$$J_{vb} = \frac{۱}{\text{طول}} + \frac{۱}{\text{عرض}} + \frac{۱}{\text{ارتفاع}} \quad (۷)$$

پس از محاسبه تعداد حجمی درزه‌ها(J_{vb}) و متوسط حجم بلوک‌های تولیدی از این معادن(V_b)، با استفاده از رابطه می‌توان مقادیر فاکتور شکل بلوک‌های تولیدی را برای معادن مورد مطالعه بدست آورد. این مقادیر نیز در جدول ۴ آورده شده است.

۴-۳- تخمین مقادیر حجم بلوک

۴-۳-۱- روش استفاده از فاصله‌داری دسته‌درزه‌ها

با توجه به رابطه ۱ در این روش تنها از دو پارامتر فاصله‌داری درزه‌ها و زاویه بین دسته‌درزه‌ها استفاده می‌شود. مقادیر حجم بلوک‌های تخمین زده شده برای هر معدن در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵ : حجم بلوک‌های تخمین زده شده در روش استفاده از فاصله‌داری درزه‌ها

نام معدن	تعداد دسته‌درزه	حجم بلوک تخمین زده شده (مترمکعب)
تراورتن قرمز	۳	۲۱۳/۶۵
تراورتن پوست ماری	۴	۶۲/۹۴
تراورتن گردویی	۳	۳۱۰/۵۴

۴-۳-۲- روش استفاده از تعداد حجمی درزه

پس از محاسبه تعداد حجمی درزه‌ها، با استفاده از رابطه ۴ می‌توان تخمینی از حجم بلوک‌های ایجاد شده توسط دسته‌درزه‌های موجود در معدن را به‌دست آورد. حجم تخمین زده شده برای بلوک‌ها باید نسبت به شکل و نوع بلوک‌ها تصحیح شوند که این کار با به‌کار بردن فاکتور شکل بلوک، تعداد دسته‌درزه‌ها و همچنین زاویه بین دسته‌درزه‌ها انجام

می‌شود. حجم بلوک‌هایی که با استفاده از این روش برای معادن مختلف محاسبه شده‌اند در جدول ۶ آمده است.

جدول ۶ : حجم بلوک‌های تخمین زده شده در روش استفاده از تعداد حجمی درزه

نام معدن	تعداد حجمی درزه برجا ($joint/m^3$)	فاکتور شکل بلوک (β)	حجم بلوک تخمین زده شده (m^3)
تراورتن قرمز	۰/۸۴	۳۶	۲۸۴/۳۳
تراورتن پوست ماری	۱/۷۷	۳۶	۱۵/۲۶
تراورتن گردویی	۰/۷۵	۳۶	۳۱۵/۷۶

۴-۳-۳- روش استفاده از چگالی وزنی درزه‌داری

روش چگالی وزنی درزه‌داری، روشی نسبتا ساده و سریع است. این روش بر مبنای اندازه‌گیری زاویه بین هر درزه و سطح مورد مشاهده یا خط برداشت است. در این روش تنها دو عامل اهمیت دارد: زاویه بین درزه و خط برداشت که در واقع زاویه‌ای است که درزه تحت آن، خط برداشت را قطع می‌کند، و دیگری طول کل خط برداشت است. پس از محاسبه چگالی وزنی درزه‌داری و با قرار دادن آن در رابطه ۵ (به جای J_v)، تخمینی از حجم برجای بلوک را می‌توان به‌دست آورد. همچنین در این رابطه نیز مقدار فاکتور شکل بلوک برابر با مقدار پیشنهادی رایج (یعنی ۳۶) در نظر گرفته شده است. بدین ترتیب می‌توان حجم بلوک‌های تخمین زده شده با این روش را به‌صورت جدول ۷ عنوان کرد.

جدول ۷ : حجم بلوک تخمین زده شده با استفاده از چگالی وزنی درزه‌داری

نام معدن	مقدار WJd	حجم تخمینی بلوک(m^3)
تراورتن قرمز	۰/۳۰۵	۱۲۷۲/۲۸
تراورتن پوست ماری	۰/۵۶۲	۲۰۲/۲۷
تراورتن گردویی	۰/۱۹۱	۵۱۴۸/۳۵

جدول ۴ : متوسط ابعاد و حجم بلوک های تولیدی از معادن مورد مطالعه

نام معدن	متوسط ابعاد بلوک			متوسط حجم بلوک‌های تولیدی (مترمکعب)	متوسط تعداد حجمی درزه ($joint/m^3$)	متوسط فاکتور شکل بلوک	تعداد بلوک‌های تولیدی
	طول (متر)	عرض (متر)	ارتفاع (متر)				
تراورتن قرمز	۲/۷۵ ±۰/۸۵	۱/۷۵ ±۰/۵۰	۱/۳۴ ±۰/۶۳	۶/۴۵ ±۳/۶۲	۱/۷۲ ± ۰/۵۲	۳۲/۸۲	۱۸۶۹
تراورتن پوست ماری	۲/۶۶ ±۰/۸۰	۱/۶۹ ±۱/۴۰	۱/۵۷ ±۰/۵۵	۷/۰۶ ± ۳/۰۴	۱/۶۴ ± ۰/۳۷	۳۱/۱۴	۷۴۵
تراورتن گردویی	۲/۶۵ ±۰/۸۵	۱/۶۷ ±۰/۳۵	۱/۵۱ ±۰/۵۷	۶/۶۸ ±۲/۹۴	۱/۷۰ ± ۰/۳۸	۳۲/۸۲	۴۴۷
میانگین وزن‌دار	۲/۷۱ ±۰/۸۴	۱/۷۲ ±۰/۴۵	۱/۴۲ ±۰/۶۰	۶/۶۳ ±۳/۴۲	۱/۷۰ ± ۰/۴۶	۳۲/۴۱	۳۰۶۱

۴-۴- انتخاب مناسب‌ترین روش برای تخمین حجم بلوک در این منطقه

پس از محاسبه و تخمین حجم بلوک‌های برجا با استفاده از روش‌های مختلف، حال باید از بین این روش‌ها مناسب‌ترین روش انتخاب شود. مناسب‌ترین روش، روشی است که نتایج آن بیشترین تطابق با واقعیت را داشته باشد، یعنی حجم بلوک تخمین زده شده بیشترین تطابق را با بلوک‌های تولید شده داشته باشد. در اینجا لازم است تا هر سه معدن مورد مطالعه را با هم‌دیگر در نظر گرفته، و آن‌ها در جدولی مانند جدول ۸ قرار داده شوند. مؤلفه‌های تشکیل‌دهنده این جدول، تعداد حجمی درزه‌داری برجا (J_{vi})، حجم تخمین زده شده بلوک(V_i)، شاخص کیفیت بلوک(BQD)، تعداد حجمی درزه بلوک‌های تولید شده از معادن (J_{vb}) و حجم بلوک‌های تولید شده از معادن (V_b) است. در واقع تعدادی از این پارامترها از طریق اندازه‌گیری‌های صحرایی(J_{vi},V_i,BQD) و تعدادی دیگر از طریق تحلیل ابعاد بلوک‌های تولید شده از معادن(J_{vb},V_b) به‌دست آمده‌اند. برای هر سه روش مورد استفاده چنین جدولی (جداول ۸، ۹ و ۱۰) تشکیل داده می‌شود.

جدول ۸ : مجموعه پارامترهای به‌دست آمده از معادن مورد مطالعه در روش استفاده از فاصله‌داری درزه‌ها

شماره معدن	نام معدن	J_{vi} (joint/m^3)	V_j (m^3)	BQD (%)	J_{vb} (joint/m^3)	V_b (m^3)
۱	تراورتن قرمز	۰/۸۴	۲۱۳/۶۵	۶۹/۰۷	۱/۷۲	۶/۴۶
۲	تراورتن پوست ماری	۱/۷۷	۶۲/۹۴	۷۱/۰۳	۱/۶۴	۷/۰۷
۳	تراورتن گردویی	۰/۷۵	۳۱۰/۵۴	۶۹/۱۹	۱/۷۰	۶/۶۸

جدول ۹ : مجموعه پارامترهای به‌دست آمده از معادن مورد مطالعه در روش استفاده از تعداد حجمی درزه

شماره معدن	نام معدن	J_{vi} (joint/m^3)	V_j (m^3)	BQD (%)	J_{vb} (joint/m^3)	V_b (m^3)
۱	تراورتن قرمز	۰/۸۴	۲۸۴/۳۳	۶۹/۰۷	۱/۷۲	۶/۴۶
۲	تراورتن پوست ماری	۱/۷۷	۱۵/۲۶	۷۱/۰۳	۱/۶۴	۷/۰۷
۳	تراورتن گردویی	۰/۷۵	۳۱۵/۷۶	۶۹/۱۹	۱/۷۰	۶/۶۸

جدول ۱۰ : مجموعه پارامترهای به‌دست آمده از معادن مورد مطالعه در روش استفاده از چگالی وزنی درزه‌داری

شماره معدن	نام معدن	J_{vi} (joint/m^3)	V_j (m^3)	BQD (%)	J_{vb} (joint/m^3)	V_b (m^3)
۱	تراورتن قرمز	۰/۳۰	۱۲۷۲/۲۸	۶۹/۰۷	۱/۷۲	۶/۴۶
۲	تراورتن پوست ماری	۰/۵۶	۲۰۲/۲۷	۷۱/۰۳	۱/۶۴	۷/۰۷
۳	تراورتن گردویی	۰/۱۹	۵۱۴۸/۳۵	۶۹/۱۹	۱/۷۰	۶/۶۸

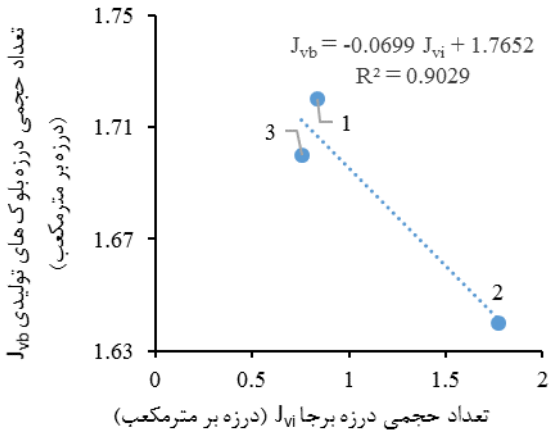
در هر جدول رابطه موجود بین دو به دوی پارامترها، با رسم نمودارهایی بررسی می‌شود. هر کدام از این نمودارها دارای یک ضریب همبستگی می‌باشند که در واقع میزان همبستگی یا ارتباطِ موجود بین دو پارامتر را نشان می‌دهد. مقدار ضریب همبستگی بین صفر تا یک متغیر است که هر چه مقدار این ضریب به یک نزدیک‌تر باشد یعنی دو پارامتر به یکدیگر همبستگی و ارتباط بیشتری دارند. بر این اساس می‌توان نمودارهای مختلفی که برای هر کدام از این جداول رسم شده‌اند را با یکدیگر مقایسه کرده و از بین آن‌ها بهترین نمودارها و در نتیجه بهترین روش را انتخاب کرد. جدول ۱۱ ضرایب همبستگی مربوط به نمودارهای رسم شده برای هر سه روش و مناسب‌ترین روش انتخاب شده را نشان می‌دهد.

مطابق جدول ۱۱ با مقایسه ضرایب همبستگی نمودارهای حاصل از سه روش مورد استفاده، در نهایت روش استفاده از تعداد حجمی درزه‌ها به عنوان بهترین روش در تخمین حجم بلوک‌های سنگ در منطقه آذرشهر انتخاب می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود حجم بلوک‌های تخمین زده شده با این روش بیشترین تطابق و همبستگی (R^2=۰/۸۴) را با بلوک‌های تولید شده از این معادن دارند.

حال با رسم نمودارهایی به بررسی روابط بین مجموعه پارامترهای به‌دست آمده از روش تعداد حجمی درزه‌ها (که در جدول ۹ نشان داده شده است) پرداخته می‌شود. به‌عنوان مثال ارتباط بین دو پارامتر J_{vi} و J_{vb} در شکل ۳ نمایش داده شده است. همان‌طور که از شکل پیداست بین J_{vi} و J_{vb} یک رابطه خطی معنادار(R^2 = ۰/۹۰) وجود دارد.

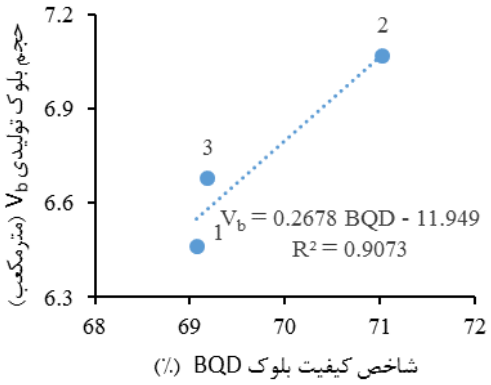
جدول ۱۱ : انتخاب بهترین روش برای تخمین حجم بلوک سنگ در منطقه مورد مطالعه(حالت منتخب پررنگ شده است)

نمودارهای رسم شده ←	J_{vi}-V_i	J_{vi}-BQD	J_{vi}-J_{vb}	J_{vi}-V_b	V_i-V_b	BQD-J_{vb}	BQD-V_b
روش فاصله داری دسته‌درزه	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۰	۰/۸۲	۰/۶۸	۰/۹۷	۰/۹۱
روش تعداد حجمی درزه	**۱**	**۰/۹۸**	**۰/۹۰**	**۰/۸۲**	**۰/۸۴**	**۰/۹۷**	**۰/۹۱**
روش چگالی وزنی درزه داری	۱	۰/۸۸	۰/۷۳	۰/۶۲	۰/۴۶	۰/۹۷	۰/۹۱



شکل ۳: رابطه بین متوسط تعداد حجمی درزه برجا و متوسط تعداد حجمی درزه بلوک‌های تولیدی برای معادن تراورتن آذرشهر(۱،۲،۳ شماره معادن هستند)

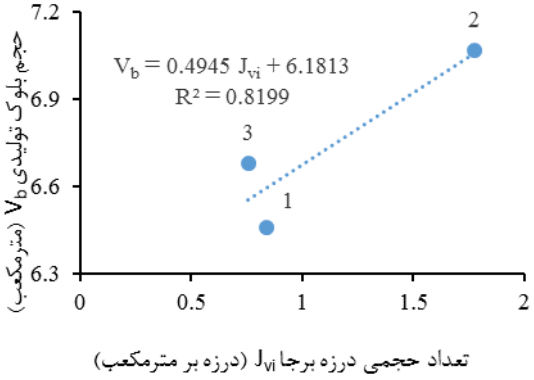
بین حجم بلوک(V_b) و مقادیر BQD رابطه خطی معناداری (R^2 = ۰/۹۱) به‌صورت $V_b = 0.2678\ BQD - 11.949$ به‌دست می‌آید. این رابطه در نمودار ۴ نشان داده شده است.



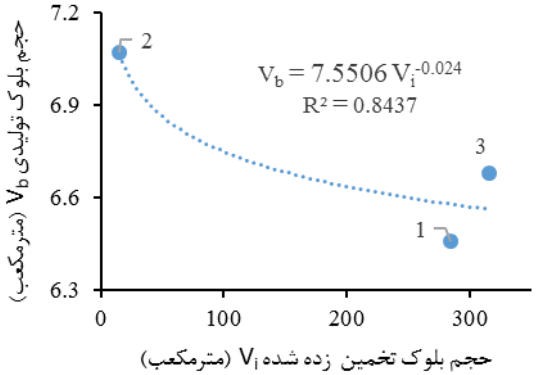
شکل ۴ : رابطه بین BQD و متوسط حجم بلوک‌های تولیدی از معادن تراورتن آذرشهر(۱،۲،۳ شماره معادن هستند)

رابطه بین حجم بلوک‌های تولیدی(V_b) و تعداد حجمی درزه برجا(J_{vi})، که یک رابطه خطی با ضریب همبستگی R^2 = ۰/۸۲ و به صورت $V_b = 0.4945\ J_{vi} + 6.1813$ می‌باشد، در شکل ۵ نشان داده شده است.

همچنین شکل ۶ نمایان‌گر ارتباط بین متوسط حجم بلوک‌های تولیدی (V_b) و حجم تخمینی بلوک‌ها(V_i) است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بین این دو پارامتر رابطه‌ای توانی و به صورت $V_b = 7.550\ V_i^{-0.024}$ با ضریب همبستگی R^2 = ۰/۸۴ وجود دارد.



شکل ۵ : ارتباط بین متوسط J_{vi} برجا و متوسط حجم بلوک‌های تولیدی در معادن تراورتن آذرشهر(۱،۲،۳ شماره معادن هستند)



شکل ۶ : رابطه بین حجم تخمینی بلوک و متوسط حجم بلوک‌های تولیدی از معادن تراورتن آذرشهر(۱،۲،۳ شماره معادن هستند)

روابط به‌دست آمده بین داده‌های حاصل از اندازه‌گیری درزه‌ها (که طی عملیات صحرایی ثبت شده‌اند) و حجم بلوک‌های تولید شده، که در شکل‌های ۶-۳ نمایش داده شدند، می‌تواند به‌عنوان یک راهنما برای اپراتورهای اکتشاف معادن سنگ ساختمانی در تخمین حجم بلوک‌های برجای سنگ، استفاده شود. البته برای هر منطقه باید اندازه‌گیری درزه‌های موجود انجام شده و روابط دقیق بین این پارامترها ارائه شود.

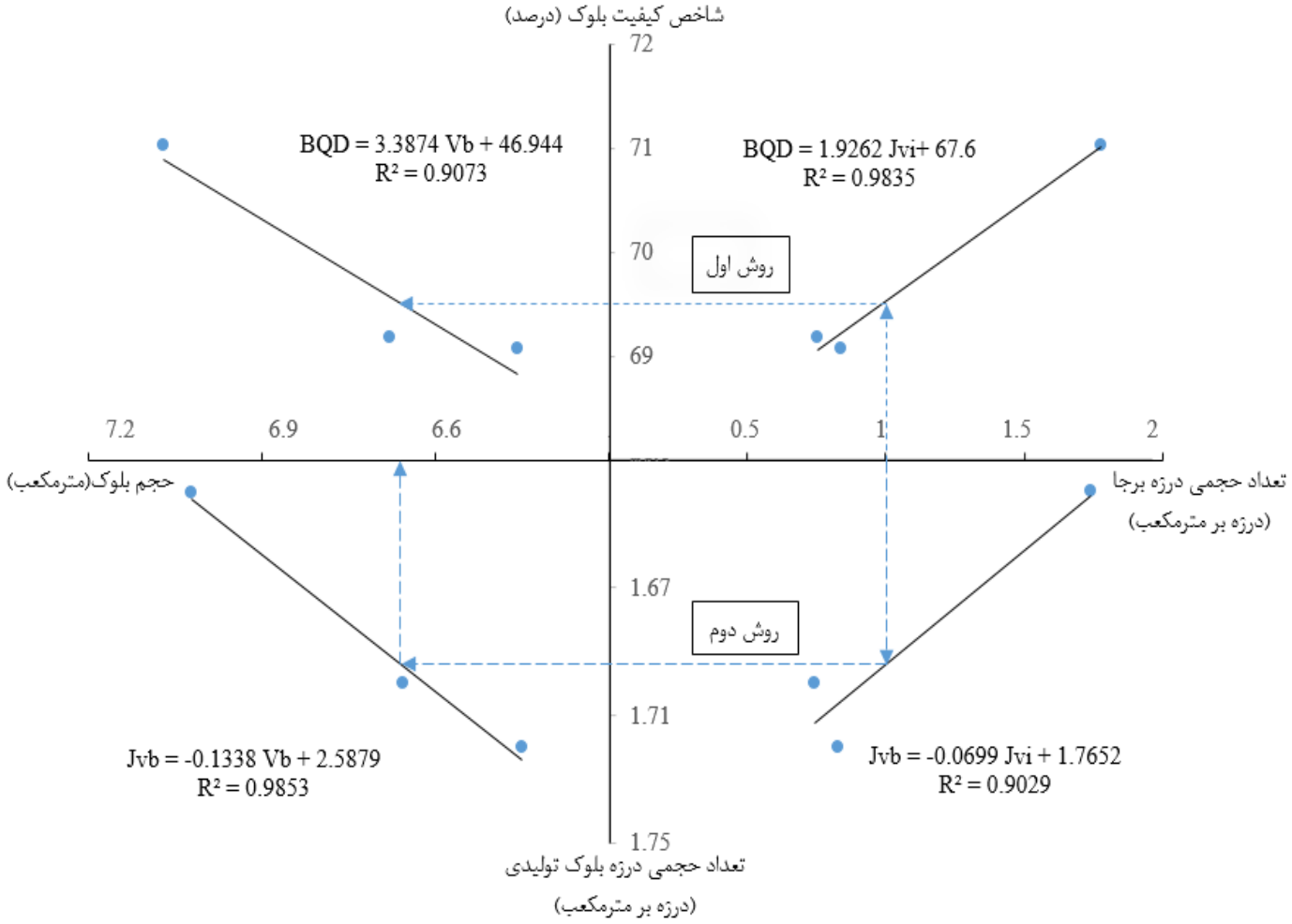
نمودار نمایش داده شده در شکل ۷، با استفاده از روابط مختلف موجود بین فاصله‌داری درزه‌های برداشت شده از معادن تراورتن آذرشهر و ابعاد بلوک‌های تولیدی در آن‌ها به‌دست آمده است. از این نمودار به دو روش می‌توان استفاده کرد:

روش اول) ابتدا مقدار شاخص کیفیت بلوک(BQD)، برای توده‌سنگ اندازه‌گیری و محاسبه شود و سپس با استفاده از رابطه‌ای که بین این پارامتر و حجم بلوک وجود دارد، تخمینی از حجم بلوک را می‌توان به‌دست آورد (یا اینکه مقدار شاخص

کیفیت بلوک را با استفاده از تعداد حجمی درزه برجا به‌دست آورده وسپس مقدار حجم بلوک محاسبه شود.

روش دوم) ابتدا مقدارِ تعداد حجمی درزه برجا (J_{vi}) محاسبه شود، سپس تخمینی از تعداد حجمی درزه بلوک‌های تولیدی (J_{vb}) را با استفاده از رابطه موجود بین این دو پارامتر به‌دست آورده و نهایتا با استفاده از رابطه بین تعداد حجمی درزه بلوک‌های تولیدی (J_{vb}) و حجم بلوک (V_b)، تخمینی از مقدار حجم بلوک را می‌توان محاسبه کرد.

نمودار ارائه شده در شکل ۷ بیان‌گر این واقعیت است که با انجام یک عملیات اندازه‌گیری و برداشت اطلاعات ناپیوستگی‌ها در رخنمون‌های سنگی، می‌توان تخمینی از حجم بلوک‌های برجای سنگ در هر منطقه را به‌دست آورد. از این حجم بلوک تخمین زده شده می‌توان استفاده‌های زیادی کرد، به‌عنوان مثال چنانچه حجم بلوک تخمین زده شده کمتر از مقدار حجم بلوک اقتصادی باشد، در این صورت سرمایه-گذاری و کار روی این معدن به صرفه نخواهد بود. از دیگر کاربردهای آن می‌توان به برنامه‌ریزی برای تولید بهینه از معادن سنگ، بررسی میزان سوددهی معدن سنگ ساختمانی با توجه به حجم بلوک برجای تخمین زده شده و غیره اشاره کرد



شکل ۷ : نمودار کلی برای تخمین حجم متوسط بلوک، با استفاده از اندازه‌گیری میدانیِ مقادیر فاصله‌داری درزه‌ها در معادن تراورتن آذرشهر

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به تحلیل‌های انجام‌شده روی فاصله‌داری درزه‌های برداشت شده از معادن تراورتن آذرشهر و همچنین تحلیل ابعاد بلوک‌های تولیدی از این معادن می‌توان نتایج زیر را عنوان کرد:

- اندازه‌گیری صحرایی درزه‌ها در امتداد ۱۵۲ سینه‌کار و با انتخاب خطوط برداشتی به طول کلی ۱۵۶۲ متر انجام شد که

مقدار تعداد حجمی درزه برابر با ۱/۱۲ درزه در هر مترمکعب و متوسط فاصله‌داری کل درزه‌ها برابر با ۳/۴۵ متر محاسبه شد.

- ابعاد حدود ۳۰۶۱ بلوک سنگ که در سال‌های ۹۱ و ۹۲ توسط شرکت سنگاب از معادن تراورتن آذرشهر تولید شده‌اند مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند، که متوسط تعداد حجمی درزه برابر با ۱/۷۰ درزه در هر مترمکعب و متوسط حجم بلوک‌های تولیدی ۶/۶۳ مترمکعب به‌دست آمد.

- فاکتور شکل بلوک که توسط پالمستروم برای به‌دست آوردن یک تخمین اولیه از حجم بلوک‌های سنگی برابر با مقدار ۳۶ پیشنهاد شده بود، برای بلوک‌هایی که با شکل منظم در معادن تراورتن آذرشهر تولید می‌شوند برابر با ۳۲/۴۱ تعیین شد.

- مطالعه انجام‌شده نشان داد که روش تعداد حجمی درزه در مقایسه با روش‌های چگالی وزنی درزه‌داری و استفاده از فاصله‌داری درزه‌ها نتایج بهتری را در تخمین حجم بلوک به‌دست می‌دهد. حجم بلوک‌های تخمین زده شده با این روش بیشترین تطابق (R^2=۰/۸۴) را با بلوک‌های تولیدی دارند.

- با استفاده از روش تعداد حجمی درزه‌ها، حجم برجای بلوک‌های سنگ در معادن تراورتن قرمز، پوست‌ماری و گردویی به‌ترتیب برابر با ۲۸۴/۳۳، ۱۵/۲۶ و ۳۱۵/۷۶ مترمکعب تخمین زده شد.

- روابط به‌دست آمده بین BQD، J_{vi}، J_{vb} و V_b را می‌توان برای تخمین حجم متوسط بلوک‌هایی که با شکل منظم از ناپیوستگی‌های اندازه‌گیری شده در معدن قابل دسترسی هستند، استفاده کرد.

۶- تقدیر و تشکر

تحقیق حاضر با همکاری شرکت سنگاب آذرشهر انجام شده است، بنابراین برخود وظیفه می‌دانیم تا از همکاری‌های ایشان تشکر و قدردانی نماییم. همچنین قدردان همکاری و مساعدت صمیمانه جناب مهندس مهدی نبی‌پور (مدیرعامل محترم شرکت سنگاب)، مهندس سعیدپور(رئیس محترم مجموعه معادن شرکت سنگاب)، مهندسین عزیز شرکت سنگاب و کلیه عزیزان سهیم در تهیه این تحقیق، می‌باشیم.

مراجع

[1]. Mosch, S., Nikolayew, D., Ewiak, O., & Siegesmund, S.; (2011); *Optimized extraction of dimension stone blocks*. Environmental Earth Sciences, Vol. 63(7-8): p. 1911-1924.

[2]. Sousa, L. M. O.; (2010); *Evaluation of joints in granitic outcrops for dimension stone exploitation*. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, Vol. 43(1): p. 85-94.

[3]. Barton, N.; (1978); *Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses*. ISRM, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, Vol. 15(6).

[4]. Şen, Z., & Eissa, E. A.; (1992, January); *Rock quality charts for log-normally distributed block sizes.* In International journal of rock mechanics and mining sciences & geomechanics abstracts (Vol. 29, No. 1, pp. 1-12). Pergamon.

[5]. Palmstrom, A.; (1996*); RMi—a system for characterizing rock mass strength for use in rock engineering*. J Rock Mech Tunnel Technol, India, Vol. 29(1): p. 69-108.

[6]. Palmstrøm, A.; (1996); *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, vol. 11(2): p. 175-188.

[7]. Palmström, A.; (2000, November); *Block size and block size distribution*. In Proc. Workshop on "Reliability of Class, fication Systems" in connection With The GeoEng 2000 Conference, Melbourne, 12s.

[8]. Kim, B. H., Cai, M., Kaiser, P. K., & Yang, H. S.; (2007); Estimation of block sizes for rock masses with non-*persistent joints*. Rock mechanics and rock engineering, Vol. 40(2): p. 169-192.

[9]. Elmouttie, M. K., & Poropat, G. V.; (2012); *A method to estimate in situ block size distribution*. Rock mechanics and rock engineering, Vol. 45(3): p. 401-407.

[10]. Yarahmadi, R., Bagherpour, R., Kakaie, R., Mirzaie, N. H., & Yari, M.; (2014); *Development of 2D computer program to determine geometry of rock mass blocks*. International Journal of Mining Science and Technology,Vol. *24*(2): p. 191-194.

[۱۱]. بورده، پ؛ ۱۳۵۲؛" **یادداشتی در باره زمین‌شناسی ناحیه آذرشهر توده سهند"**، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

[۱۲]. تقی‌پور، کریم؛ عباسی، محمدرضا؛ ۱۳۸۴؛ " **تراویتونیک : کاربرد نهشته های تراورتن در تکتونیک فعال"**، بیست و چهارمین گردهمایی علوم زمین.

[۱۳]. تقی‌پور، کریم؛ محجل، محمد؛ ۱۳۹۲؛ **" ساختار و نحوه تشکیل پشته‌های تراورتن در منطقه آذرشهر، آذربایجان،**

شمال باختر ایران"، فصل نامه زمین‌شناسی ایران، سال هفتم، شماره ۲۵، صفحات ۲۳-۱۵.

[14]. Palmstrom, A.; (1982); *The volumetric joint count—a useful and simple measure of the degree of rock mass jointing*. In IAEG Congress, New Delhi (Vol. 221).

[15]. Palmstrom, A.; (1985, September); *Application of the volumetric joint count as a measure of rock mass jointing*. In Proceedings of the international symposium on fundamentals of rock joints. Björkliden, Sweden (pp. 103-110).

[16]. Palmström, A.; (1986); *The volumetric joint count as a measure of rock mass jointing*. Annals of the Israel Physical Society, Vol. 8: p. 1-18.

[17]. Palmström, A.; (2001); *Measurement and characterization of rock mass jointing. In situ characterization of rocks. AA Balkema Publishers, Lise/Abingdon/Exton/Tokyo*.

[18]. Sonmez, H., Nefeslioglu, H. A., & Gokceoglu, C.; (2004); *Determination of wJd on rock exposures including wide spaced joints*. Rock mechanics and rock engineering, Vol. 37(5): p. 403-413.

[19]. Elci, H., & Turk, N.; 2014; *Rock mass block quality designation for marble production*. *International* Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 69: p. 26-30

[1] Sen & Eissa
[2] Palmstrom
[3] Kim Et Al.
[4] Sousa
[5] Mosch Et Al.
[6] Elmouttie & Poropat
[7] Fissure-Ridge
[8] Scanline
[9] Volumetric Joint Count (J_v)
[10] Elci and Turk
[11] Block Quality Designation