

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

ابوطالب امینی<sup>۱</sup>؛ سید حسن خوشرو<sup>۲\*</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد استخراج معدن، دانشگاه صنعتی امیرکبیر aminiabo@gmail.com  
۲- استادیار دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر dr.khosrou@yahoo.com  
(دریافت ۱۰ مرداد ۱۳۹۴، پذیرش ۸ خرداد ۱۳۹۶)

### چکیده

قبل از شروع معدن‌کاری در معادن کواری و استخراج بلوک‌های سنگ، در صورتی که حجم بلوک‌های قابل استخراج پیش از هرگونه سرمایه‌گذاری 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 روش 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 صورت‌گرفته، 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 صحرائی و تحلیل ابعاد بلوک‌های تولیدی در روش 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 دسته‌دازه، آذرشهر

## ۱- مقدمه

همکاران<sup>۳</sup> [۸]، بررسی تأثیر ویژگی‌های درزه در ارزیابی اندازه بلوک سنگی توسط سوسا<sup>۴</sup> [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<sup>۵</sup> [۱]، ارائه تکنیکی جدیدی بر مبنای روش شبیه‌سازی مونت کارلو برای تخمین توزیع برجای حجم بلوک در توده‌سنگ توسط الموتی و پروپات<sup>۶</sup> [۹] و تعیین هندسه بلوک‌های توده‌سنگ در فضاهای دو بعدی با تهیه یک برنامه کامپیوتری توسط پیراحمدی 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 پیش‌بینی 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 زمین‌شناسی 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 تخته‌گاه‌های بلند و پهنه‌های پست‌تر شکل گرفته است، و تقریباً 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.

برای افزایش بهره‌وری و بالا بردن سوددهی معادن سنگ‌های ساختمانی دانستن حجم، هندسه و توزیع بلوک‌های خام 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 برهم زدن چشم اندازه‌های 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 زمین‌شناسی 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 سرمایه‌گذاری 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<sup>۱</sup> [۴]، بررسی روش‌های مختلف تعیین حجم بلوک با استفاده از اندازه‌گیری‌های صحرایی توسط پالمستروم<sup>۲</sup> [۵]، [۶]، [۷]، تعیین اندازه بلوک با در نظر گرفتن تداوم درزه‌ها توسط کیم و

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 به ذکر 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) به دست آورد [۱۴]:

$$V_i = \frac{S_1 * S_2 * S_3}{\sin \gamma_{12} * \sin \gamma_{13} * \sin \gamma_{23}} \quad (1)$$

که در آن  $\gamma_{12}$ ،  $\gamma_{13}$ ،  $\gamma_{23}$  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:

$$V_i = \frac{S_1 * S_2 * S_3 * S_4}{\sin \gamma_{12} * \sin \gamma_{13} * \sin \gamma_{14} * \sin \gamma_{23} * \sin \gamma_{24} * \sin \gamma_{34}} \quad (2)$$

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

##### ۴-۱-۲- روش استفاده از تعداد حجمی درزه ( $J_v$ )

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 به دست 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]:

$$J_v = \frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} + \frac{1}{S_3} + \dots + \frac{1}{S_n} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{S_i} \quad (3)$$

در شمال رودخانه آذرشهر قسمتی از مخروط آبرفتی پلیوسن-کواترن وجود دارد که بخش شمالی توده سهند را احاطه می‌کند. عموماً 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 عمدتاً از نوع شکاف-پشته<sup>۷</sup> هستند [۱۲]. تراورتن‌های شکاف-پشته عوارض مورفوتکتونیک 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].

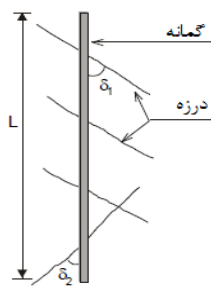
#### ۳- عملیات برداشت درزه‌ها

خصوصیات درزه‌ها را می‌توان با استفاده از پیمایش‌های خط برداشت<sup>۸</sup> 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 تقریباً 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، تقریباً تمیز و نسبتاً 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

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 می شود) [۱۷]

می توان عبارت  $1/\sin \delta_i$  را با  $f_i$  نشان داد که به آن فاکتور رده بندی گفته می شود. برای ساده سازی محاسبات، مقادیر زاویه بین درزه و خط برداشت ( $\delta_i$ ) به فواصلی تقسیم شده و برای هر فاصله، رتبه بندی از  $f_i$  انتخاب شده است. بدین ترتیب پس از اندازه گیری زاویه  $\delta$  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 می دهد.

جدول ۱: فاصله بندی زاویه  $\delta$  و دسته بندی فاکتور  $f_i$  [۱۷]

دسته بندی	زاویه بین درزه و خط برداشت (درجه)
فاکتور $f_i$	
۱	$\delta > 60$
۱/۵	$\delta = 31-60$
۳/۵	$\delta = 16-30$
۶	$\delta < 16$

مقدار چگالی وزنی درزه داری تقریباً شبیه به تعداد حجمی درزه است ( $WJd \approx J_v$ ). بنابراین پس از محاسبه چگالی وزنی درزه داری می توان آن را به جای  $J_v$  در معادلات مربوط به محاسبه حجم بلوک با استفاده از  $J_v$  (رابطه (۵))، قرار داده و حجم بلوک را به دست آورد [۱۷].

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

۱-۲-۴- تعیین تعداد و فاصله داری دسته درزه ها

تعداد دسته ها را به وسیله نمایش کنطوری درزه ها می توان مشخص کرد. نرم افزار Dips از جمله برنامه های کامپیوتری است که از آن می توان برای نمایش کنطوری درزه ها استفاده

در این رابطه  $S_i$  فاصله داری مربوط به دسته درزه  $i$ ام و  $n$  تعداد دسته درزه ها است.

چون  $J_v$  به روش منحصر به فردی همه درزه های موجود در توده سنگ را در نظر می گیرد، در اکثر موارد استفاده از  $J_v$  در رابطه بین اندازه گیری فراوانی درزه ها و تخمین حجم بلوک مناسب است [۱۷].

در حالتی که سه دسته درزه با زوایای  $\gamma_{12}, \gamma_{13}, \gamma_{23}$  همدیگر را قطع می کنند، رابطه ۴ بین  $J_v$  و  $V_b$  وجود دارد [۵]:

$$V_b = \frac{\beta * J_v^{-3}}{\sin \gamma_{12} * \sin \gamma_{13} * \sin \gamma_{23}} \quad (4)$$

که در آن  $\beta$  فاکتور شکل بلوک است. اکثراً زاویه بین دسته درزه ها تقریباً ۹۰ درجه است، بنابراین برای اهداف کاربردی می توان از رابطه ۵ استفاده کرد:

$$V_b = \beta * J_v^{-3} \quad (5)$$

در این رابطه پارامتری که اهمیت دارد فاکتور شکل بلوک می باشد. در مواردی که مقدار  $\beta$  ناشناخته است پالمستروم [۱۴] پیشنهاد می کند تا از مقدار ۳۶ به عنوان یک مقدار اولیه در تخمین حجم بلوک استفاده شود.

۳-۱-۴- روش استفاده از چگالی وزنی درزه داری

شاخص چگالی وزنی درزه (WJd) توسط پالمستروم [۵] پیشنهاد شد. پالمستروم بیان کرده است که چنانچه اندازه گیری های دقیقی انجام شوند، شاخص WJd باید تقریباً شبیه به  $J_v$  به دست آید. هر چند در عمل همیشه این شرایط به دست نمی آید [۱۸]. روش چگالی وزنی درزه داری برای دستیابی به اطلاعات بهتر، از گمانه ها و مشاهدات سطحی اتخاذ شده است [۱۷]. در اصل، روش چگالی وزنی درزه داری بر مبنای اندازه گیری زاویه بین هر درزه و سطح مورد مشاهده یا گمانه (خط برداشت) است. رابطه مربوط به اندازه گیری WJd در حالت یک بعدی در شکل ۱ نشان داده شده است.

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.

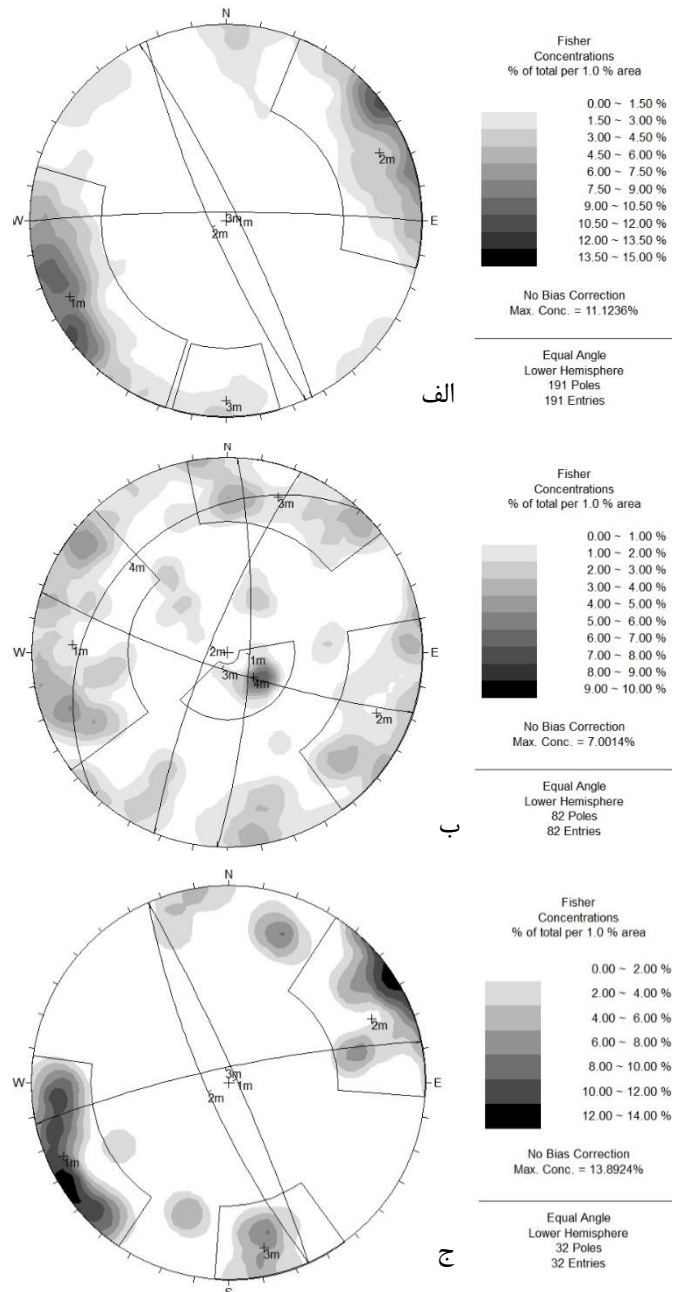
جدول ۲: طول کل خط برداشت انتخاب شده در معادن مورد مطالعه

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

السی و تورک<sup>[۱۹]</sup> برای ارزیابی توانایی توده‌سنگ در تولید بلوک‌های سنگی با کیفیت، پارامتری به نام شاخص کیفیت بلوک<sup>۱۱</sup> (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.

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 کنٹوری و دسته‌درزه‌های انتخاب شده در معادن الف) تراورتن قرمز ب) تراورتن پوست ماری ج) تراورتن گردویی

#### ۴-۲-۴- محاسبه تعداد حجمی درزه‌ها

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

جدول ۳: اطلاعات کلی درزه‌های معادن تراورتن آذرشهر

نام معدن	شماره دسته‌دروزه	شیب (درجه)	جهت شیب (درجه)	فاصله‌داری (متر)	تعداد حجمی درزه (دروزه بر مترمکعب)	زاویه بین دسته‌دروزه‌ها	BQD (%)
تراورتن قرمز	۱	۸۳	۶۴	۳/۶۳	۰/۸۴	$\gamma_{12}=165$	۶۹/۰۷
	۲	۸۱	۲۴۶	۳/۴۱		$\gamma_{13}=64$	
	۳	۸۵	۳۶۰	۳/۷۰		$\gamma_{23}=113$	
تراورتن پوست ماری	۱	۷۷	۹۳	۲/۷۴	۱/۷۷	$\gamma_{12}=150$	۷۱/۰۳
	۲	۷۹	۲۹۲	۲/۰۶		$\gamma_{13}=102$	
	۳	۸۰	۱۹۸	۲/۳۳		$\gamma_{14}=94$	
	۴	۲۱	۳۱۳	۲/۰۲		$\gamma_{23}=92$ $\gamma_{24}=60$ $\gamma_{34}=90$	
تراورتن گردویی	۱	۸۵	۶۶	۳/۲۱	۰/۷۵	$\gamma_{12}=164$	۶۹/۱۹
	۲	۷۷	۲۴۶	۳/۱۰		$\gamma_{13}=77$	
	۳	۸۱	۳۴۸	۸/۲۶		$\gamma_{23}=100$	
میانگین کلی				۳/۴۵	۱/۱۲		۶۹/۷۶

## ۳-۴- تخمین مقادیر حجم بلوک

## ۳-۴-۱- روش استفاده از فاصله‌داری دسته‌دروزه‌ها

با توجه به رابطه ۱ در این روش تنها از دو پارامتر فاصله‌داری درزه‌ها و زاویه بین دسته‌دروزه‌ها 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 دسته‌دروزه	حجم بلوک تخمین زده شده (مترمکعب)
تراورتن قرمز	۳	۲۱۳/۶۵
تراورتن پوست ماری	۴	۶۲/۹۴
تراورتن گردویی	۳	۳۱۰/۵۴

## ۳-۴-۲- 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 دسته‌دروزه‌های موجود در معدن را به دست آورد. حجم تخمین زده شده برای بلوک‌ها باید نسبت به شکل و نوع بلوک‌ها تصحیح شوند که این کار با به کار بردن فاکتور شکل بلوک، تعداد دسته‌دروزه‌ها و همچنین زاویه بین دسته‌دروزه‌ها انجام

$$BQD = \frac{\sum S \geq 1}{L} * 100 \quad (6)$$

۳-۴-۲-۶- تحلیل ابعاد بلوک‌های تولید شده در معادن مورد مطالعه در سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲

بمنظور اعتبارسنجی 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 بلوک 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.

$$J_{vb} = \frac{1}{\text{ارتفاع}} + \frac{1}{\text{عرض}} + \frac{1}{\text{طول}} \quad (7)$$

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.

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

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 ( $\beta$ )	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 نسبتاً 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

جدول ۴: متوسط ابعاد و حجم بلوک‌های 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 ± ۰/۴۰	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

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 صحرائی ( $J_{vi}, V_i, BQD$ ) 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.

#### 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

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

شماره معدن	نام معدن	$J_{vi}$ (joint/m <sup>3</sup> )	$V_i$ (m <sup>3</sup> )	BQD (%)	$J_{vb}$ (joint/m <sup>3</sup> )	$V_b$ (m <sup>3</sup> )
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 به دست آمده از معادن مورد مطالعه در روش استفاده از تعداد حجمی درزه

شماره معدن	نام معدن	$J_{vi}$ (joint/m <sup>3</sup> )	$V_i$ (m <sup>3</sup> )	BQD (%)	$J_{vb}$ (joint/m <sup>3</sup> )	$V_b$ (m <sup>3</sup> )
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 به دست آمده از معادن مورد مطالعه در روش استفاده از چگالی وزنی درزه‌داری

شماره معدن	نام معدن	$J_{vi}$ (joint/m <sup>3</sup> )	$V_i$ (m <sup>3</sup> )	BQD (%)	$J_{vb}$ (joint/m <sup>3</sup> )	$V_b$ (m <sup>3</sup> )
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

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 ( $R^2=0/84$ ) را با بلوک‌های تولید شده از این معادن دارند.

حال با رسم نمودارهایی به بررسی روابط بین مجموعه پارامترهای به دست آمده از روش تعداد حجمی درزه‌ها (که در جدول ۹ نشان داده شده است) پرداخته می‌شود. به‌عنوان مثال ارتباط بین دو پارامتر  $J_{vb}$  و  $J_{vi}$  در شکل ۳ نمایش داده شده است. همان‌طور که از شکل پیداست بین  $J_{vb}$  و  $J_{vi}$  یک رابطه خطی معنادار ( $R^2 = 0/90$ ) وجود دارد.

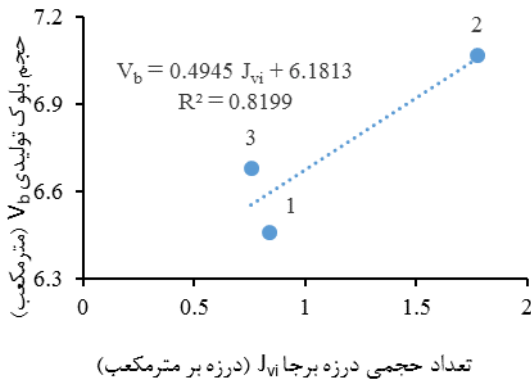
در هر جدول رابطه موجود بین دو به دوی پارامترها، با رسم نمودارهایی بررسی می‌شود. هر کدام از این نمودارها دارای یک ضریب همبستگی می‌باشند که در واقع میزان همبستگی یا ارتباط موجود بین دو پارامتر را نشان می‌دهد. مقدار ضریب همبستگی بین صفر تا یک متغیر است که هر چه مقدار این ضریب به یک نزدیک‌تر باشد یعنی دو 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.

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

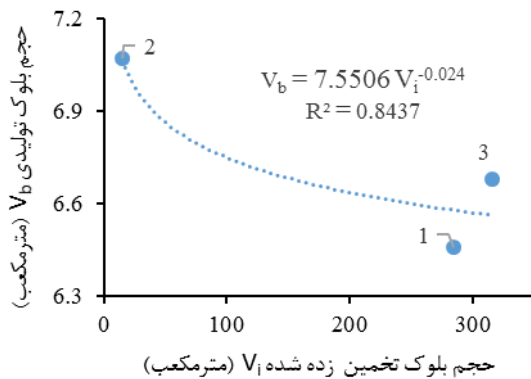
نمودارهای رسم شده ←	$J_{vi}-V_i$	$J_{vi}-BQD$	$J_{vi}-J_{vb}$	$J_{vi}-V_b$	$V_i-V_b$	$BQD-J_{vb}$	$BQD-V_b$
روش فاصله‌داری دسته‌دوزه	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۰	۰/۸۲	۰/۶۸	۰/۹۷	۰/۹۱
روش تعداد حجمی درزه	۱	۰/۹۸	۰/۹۰	۰/۸۲	۰/۸۴	۰/۹۷	۰/۹۱
روش چگالی وزنی درزه‌داری	۱	۰/۸۸	۰/۷۳	۰/۶۲	۰/۴۶	۰/۹۷	۰/۹۱



A1



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

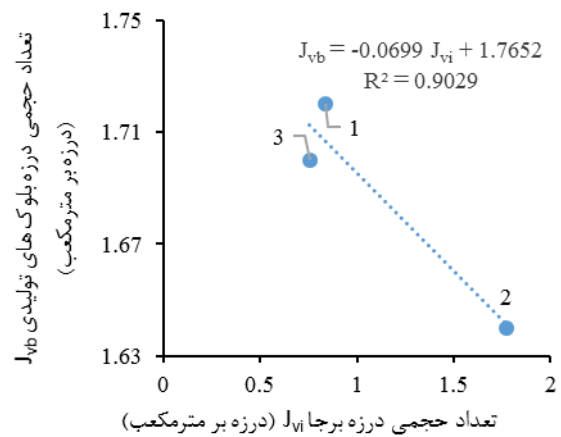


شکل ۶: رابطه بین حجم تخمینی بلوک و متوسط حجم بلوک‌های تولیدی از معادن تراورتن آذرشهر (۱،۲،۳ شماره معادن هستند)

روابط به‌دست آمده بین داده‌های حاصل از اندازه‌گیری درزه‌ها (که طی عملیات صحرائی 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.

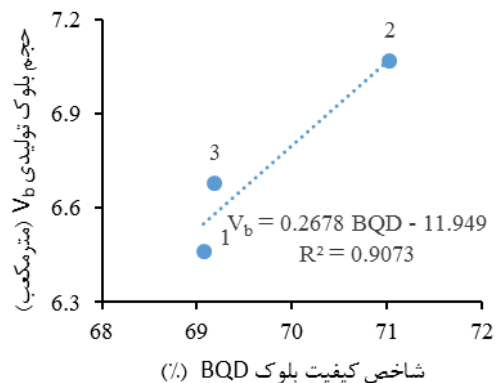
نمودار نمایش داده شده در شکل ۷، با استفاده از روابط مختلف موجود بین فاصله‌داری درزه‌های برداشت شده از معادن تراورتن آذرشهر و ابعاد بلوک‌های تولیدی در آن‌ها به‌دست آمده است. از این نمودار به دو روش می‌توان استفاده کرد:

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



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  $(R^2 = 0.91)$  به صورت  $V_b = 0.2678 BQD - 11.949$  به دست 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  $R^2 = 0.82$  و به صورت  $V_b = 0.4945 J_{vi} + 6.1813$  می‌باشد، در شکل ۵ نشان داده شده است.

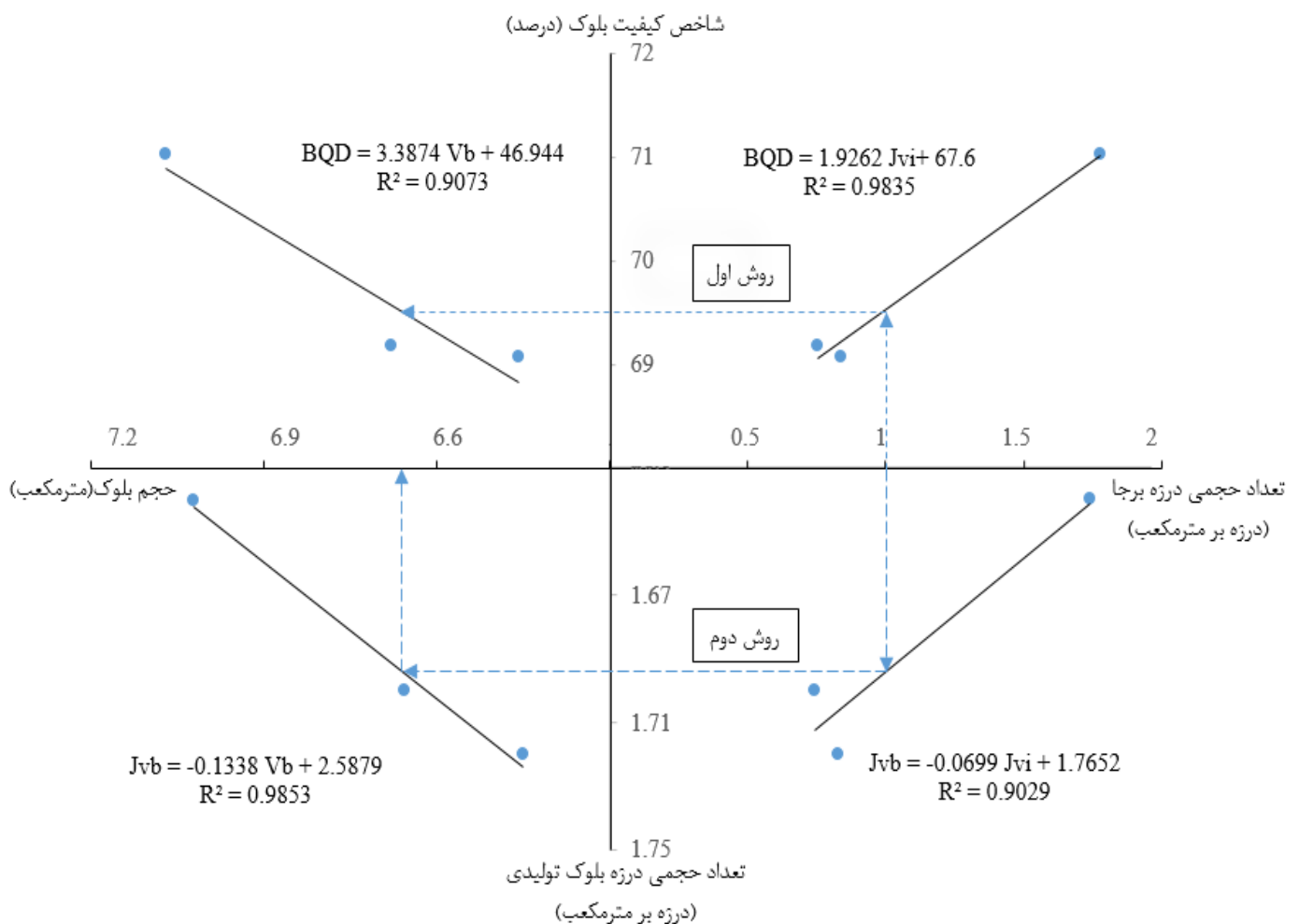
همچنین شکل ۶ نمایانگر ارتباط بین متوسط حجم بلوک‌های تولیدی ( $V_b$ ) و حجم تخمینی بلوک‌ها ( $V_i$ ) است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بین این دو پارامتر رابطه‌ای توانی و به صورت  $V_b = 7.5506 V_i^{-0.024}$  با ضریب همبستگی  $R^2 = 0.84$  وجود دارد.

نایبوستگی‌ها 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

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

روش دوم) ابتدا مقدار 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 نهایتاً 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



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

##### ۵- نتیجه‌گیری

ابعاد بلوک‌های تولیدی از این معادن می‌توان نتایج زیر را عنوان کرد:

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

با توجه به تحلیل‌های انجام‌شده روی فاصله‌داری درزه‌های برداشت شده از معادن تراورتن آذرشهر و همچنین تحلیل

[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]. Palmström, 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 Classification 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]. Elmoutie, 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 نهشته‌های 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،

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 ( $R^2=0/84$ ) 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 ناپوستگی‌های اندازه‌گیری شده در معدن قابل دسترسی هستند، استفاده کرد.

## ۶- تقدیر و تشکر

تحقیق حاضر با همکاری شرکت سنگاب آذرشهر انجام شده است، بنابراین بر خود 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.

[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

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.

<sup>1</sup> Sen & Eissa

<sup>2</sup> Palmstrom

<sup>3</sup> Kim Et Al.

<sup>4</sup> Sousa

<sup>5</sup> Mosch Et Al.

<sup>6</sup> Elmouttie & Poropat

<sup>7</sup> Fissure-Ridge

<sup>8</sup> Scanline

<sup>9</sup> Volumetric Joint Count (J<sub>v</sub>)

<sup>10</sup> Elci and Turk

<sup>11</sup> Block Quality Designation