

دانشگاه صنعتی شاهرود

گزارش نهایی طرح پژوهشی

# طراحی الگوهای آتشکاری و تعیین خرج ویژه در معادن روباز با استفاده از مشخصات توده سنگ برجا

مجری طرح:

دکتر فرهنگ سرشکی

(استادیار دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک)

همکاران طرح:

دکتر محمد عطائی

(دانشیار دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک)

سید هادی حسینی

(دانشجوی دکتری مهندسی استخراج معدن)

پائیز ۱۳۸۷

## چکیده

در این طرح ابتدا منابع علمی موجود در زمینه انفجار مورد مطالعه جامع قرار گرفته و پارامترهای مؤثر در طراحی الگوهای آتش‌کاری و روش‌ها موجود برای طراحی و به طور عمده روش‌های طراحی مبتنی بر مشخصات توده سنگ‌ها مرور گردیده است. در ادامه به عنوان مطالعه موردی برای انجام مطالعات صحرایی و جمع‌آوری اطلاعات، در بیش از هشتاد نقطه معدن مس سونگون مشخصات مهندسی توده سنگ مورد نیاز در تعیین شاخص قابلیت آتشکاری (BI) و شاخص خردایش سنگ (RFI) مورد مطالعه و برداشت صحرایی قرار گرفته است. از هر یک از نقاط فوق نمونه‌هایی از ماده سنگ جمع‌آوری شده و به آزمایشگاه منتقل شده و بر روی کلیه نمونه‌ها آزمایش‌های مقاومت فشاری، چگالی و سختی انجام گرفته است. سپس خواص مکانیکی ماده سنگ و مشخصات ژئومکانیکی توده سنگ، شاخص قابلیت آتشکاری و شاخص خردایش سنگ برای توده سنگ‌های موجود در نقاط هشتاد گانه تعیین شده است. سپس با استفاده از شاخص‌های مذکور و نیز روش‌های سنتی طراحی، مشخصات ژئومتری انفجار طراحی گردیده و خرج ویژه انفجارها تعیین شده است. در پایان نتایج طراحی توسط روش‌های سنتی و روش‌های مبتنی بر مشخصات ژئومکانیکی توده سنگ با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

## مقدمه

آتشکاری به عنوان یکی از مهمترین و اولین مراحل استخراج معادن روباز نقش بسیار اساسی در راندمان تولید، برنامه‌ریزی تولید بلند مدت و کوتاه مدت، هزینه‌های استخراج و نیز مسائل زیست محیطی دارد. آتشکاری مناسب در مجموع باعث بهبود شرایط استخراج و وضعیت فنی و اقتصادی معدن می‌گردد. عموماً عملیات آتشکاری در معادن به دو بخش کلی تقسیم می‌شود: الف) طراحی الگوی انفجار و ب) پیاده سازی طرح و انجام عملیات آتشکاری.

واضح است که انجام مناسب مرحله دوم به طور کامل وابسته به طراحی مناسب و با رعایت اصول مهندسی است. لذا طراحی الگوی آتشکاری اولین قدم در چرخه عملیات معدنکاری روباز به شمار می‌رود. همچنین میزان خردایش مطلوب ارتباط تنگاتنگی با آرایش مناسب چال‌های انفجاری در هر سیکل دارد. میزان خردایش تعیین‌کننده این موضوع می‌باشد که چال‌های با عمق مشخص با چه بارسنگی و چه فاصله ردیفی آرایش یابند و چه نوع ماده منفجره‌ای و به چه میزان در هر چال ریخته شود تا توده سنگ به حد مطلوب از خردایش دست یابد. ارتباط مذکور به صورت دو طرفه می‌باشد لذا طراحی صحیح و مبتنی بر مشخصات توده سنگ و مشخصات ماده منفجره پروژه را به سوی یک عملیات بهینه فنی و اقتصادی سوق می‌دهد.

دومین مرحله از عملیات استخراج که بلافاصله پس از مرحله آتشکاری صورت می‌گیرد مرحله بارگیری و حمل ماده معدنی و باطله است. این مرحله نیز به شدت به نتایج آتشکاری وابسته است. میزان خردایش حاصل، ضریب تورم توده سنگ، میزان یکنواختی دپو و شکل توده دپو از جمله مهمترین عوامل ناشی از آتشکاری است که به طور چشمگیری راندمان و پارامترهای عملیاتی ترابری مثل ضریب پرشدگی جام لودر و شاول، سرعت بارگیری و استهلاک ماشین‌آلات را تحت تأثیر قرار می‌دهد. لذا هر گونه تغییر در طراحی الگوی انفجار کلیه پارامترهای فوق و در نهایت توان تولید معدن را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

سنگ شکنی به عنوان آخرین مرحله از عملیات استخراج نیز به میزان قابل توجهی متأثر از نتایج آتشکاری می‌باشد. میزان خردایش سنگ‌های تولیدی معدن به عنوان ورودی خط سنگ شکنی و کارخانه فرآوری از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. از نظر فنی ابعاد سنگ تولید شده در معدن نباید از ۸۰٪ دهانه سنگ شکن بزرگ‌تر بوده و از خروجی سنگ شکن نیز کوچکتر نباشد. خروج از این بازه باعث افزایش هزینه‌های تولید و کاهش راندمان عملیات سنگ شکن می‌گردد. همچنین در معادنی که در فرآیند فرآوری آن‌ها از

فلوتاسیون استفاده می‌شود، کنترل ذرات بسیار ریز حاصل از آتشکاری بسیار حیاتی است. لذا چنانچه شرح داده شد طراحی الگوهای آتشکاری به عنوان خشت اول عملیات معدنکاری روباز از اهمیت فوق العاده ای برخوردار است .

در فصل اول این تحقیق پارامترهای مؤثر بر طراحی الگوهای آتشکاری و نیز روش‌های مختلف در ادامه این فصل روش‌های مختلف طراحی به طور اجمالی مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌است. در فصل دوم برداشت‌های صحرائی و آزمایش‌های انجام شده و نتایج آن‌ها به طور تفصیلی ارائه شده است. در فصل سوم با استفاده از روش‌های مختلف الگوهای آتشکاری در معدن مس سونگون طراحی شده و نتایج طراحی با استفاده از روش‌های مختلف با یکدیگر مقایسه گردیده‌اند. در فصل چهارم نتیجه‌گیری و پیشنهاداتی برای مطالعات آینده ارائه شده‌است.

فصل اول

مروری بر روش‌های طراحی

الگوی انفجار

## ۱- مقدمه

در این فصل با توجه به پارامترهای ژئومکانیکی و فنی مؤثر بر فرآیند انفجار ابتدا پارامترهای مذکور معرفی و شرح داده می‌شوند. سپس روش‌های تجربی و تحلیلی موجود برای طراحی الگوی انفجار در معادن روباز به صورت جامع مورد ارزیابی قرار می‌گیرند.

ارزیابی عملکرد آتشکاری و طراحی الگوهای مناسب برای انفجار، بدون آگاهی دقیق و تحلیل موشکافانه مکانیزم انفجار، امری بسیار دشوار است. زیرا تا جایی که فرآیند وقوع یک پدیده و پارامترهای دخیل در آن به خوبی شناسائی و معرفی نگردد هرگز نمی‌توان بر روی بهینه‌سازی و تعالی نتایج آن پدیده بحث نمود. لذا ابتدا مکانیزم انفجار و نحوه خردایش سنگ شرح داده می‌شود تا با توجه به آشنایی حاصله با این پدیده بتوان تأثیر هر یک از پارامترهای فنی را بر روی راندمان آتشکاری به سهولت و درستی تحلیل نمود.

## ۲- تئوری انفجار

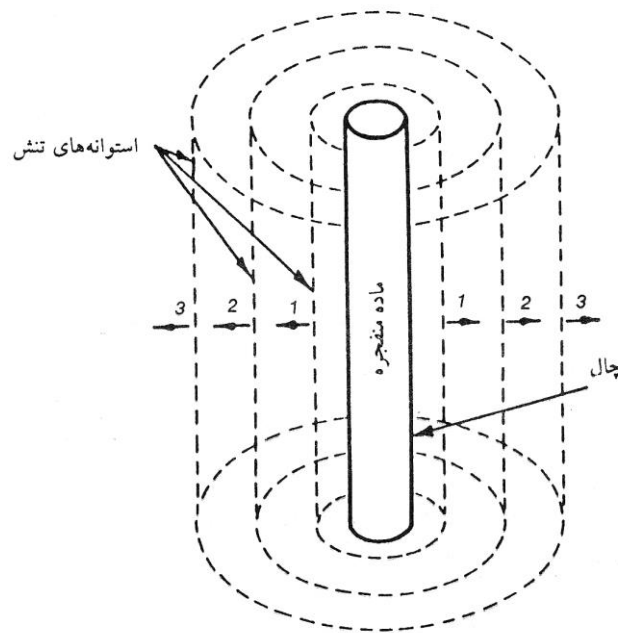
بطور کلی شکستن سنگ ناشی از دو عامل اصلی است: الف) انفجار ماده منفجره و آزاد شدن انرژی و ب) عکس العمل سنگ در مقابل این انرژی آزاد شده. با وجود تحقیقات متعددی که در سال‌های اخیر صورت گرفته هنوز تئوری واحدی برای بیان چگونگی شکسته شدن سنگ در اثر انفجار وضع نشده و آنچه که تاکنون بیان گردیده بر اساس سال‌ها تجربه صحرایی، آزمایشگاهی و تجزیه و تحلیل ریاضی نتایج بدست آمده می‌باشد. از لحظه وقوع انفجار تا شکسته شدن و جابجا شدن توده سنگ و سرانجام پایان کار اتفاقات مشخصی روی می‌دهد که می‌توان هر یک از در بخشی جداگانه بررسی نمود. مجموعه این اتفاقات را در چهار بخش (زمان) می‌توان مورد مطالعه قرار داد (استوار، ۱۳۸۳):  $T_1$  - انفجار،  $T_2$  - انتشار امواج ضربه،  $T_3$  - انبساط گازهای ناشی از انفجار و  $T_4$  - جابجا شدن توده سنگ.

### ۲-۱- انفجار

ماده منفجره در اثر انفجار بلافاصله تبدیل به توده‌ای از گاز می‌شود که در این لحظه دارای فشار بسیار زیادی نیز هست. این فشار را فشار انفجار می‌نامند و مقدار آن از ۹ کیلوپار تا ۲۷۵ کیلوپار و درجه حرارت ۳۰۰۰ درجه فارنهایت تا ۷۰۰۰ درجه فارنهایت تغییر می‌کند.

## ۲-۲- انتشار امواج ضربه

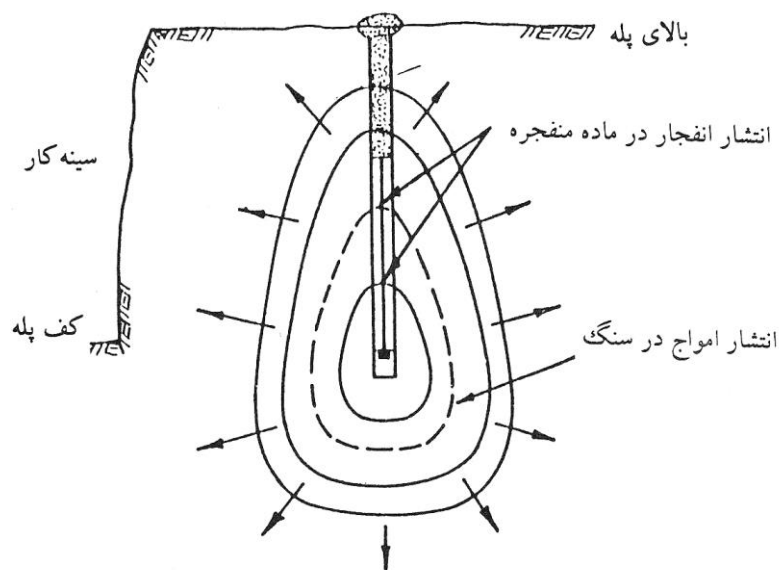
انتشار امواج ضربه در سنگ مرحله بلافصل انفجار است و از آزاد شدن ناگهانی گازهای حاصل از انفجار حاصل می شود. شکل انتشار امواج تابع محل شروع انفجار چال، سرعت انفجار و سرعت انتشار امواج در سنگ می باشد. شکل انتشار امواج مستقل از شکل خرج نیست. اگر نسبت ارتفاع به قطر خرج کمتر از ۶ یا مساوی ۶ باشد شکل انتشار امواج کروی است و اگر بیش از ۶ باشد انتشار امواج به شکل استوانه صورت می گیرد (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱- انتشار امواج در اطراف چال به شکل استوانه (حالت تئوری) (استوار، ۱۳۸۴)

انتشار امواج به شکل فوق بر این اساس است که سرعت انفجار بیش از سرعت انتشار امواج الاستیک در سنگ است. در شرایط معمولی، پرایمر در ته چال قرار دارد. در حالی که امواج حاصل از انفجار در سنگهای اطراف پائین چال در حال تأثیر هستند خود ماده منفجره در حال انفجار است و در نتیجه انتشار امواج در سنگ به شکل گلابی و به صورت شکل ۱-۲ است. تأثیر امواج بر محیط اطراف چال به صورت تنش فشاری است که به آن وارد می کند.

فشار بر دیواره چال به سرعت زیاد شده و به ماکزیمم خود می رسد و اندکی بعد به صورت نمائی از مقدار فشار کاسته می گردد. علت کم شدن فشار دو عامل انبساط چال و سرد شدن گازها است. انبساط چال به میزان یک تا سه برابر قطر چال می باشد.



شکل ۱-۲- انتشار امواج در اطراف چال به شکل گلابی (حالت واقعی) (استوار، ۱۳۸۴)

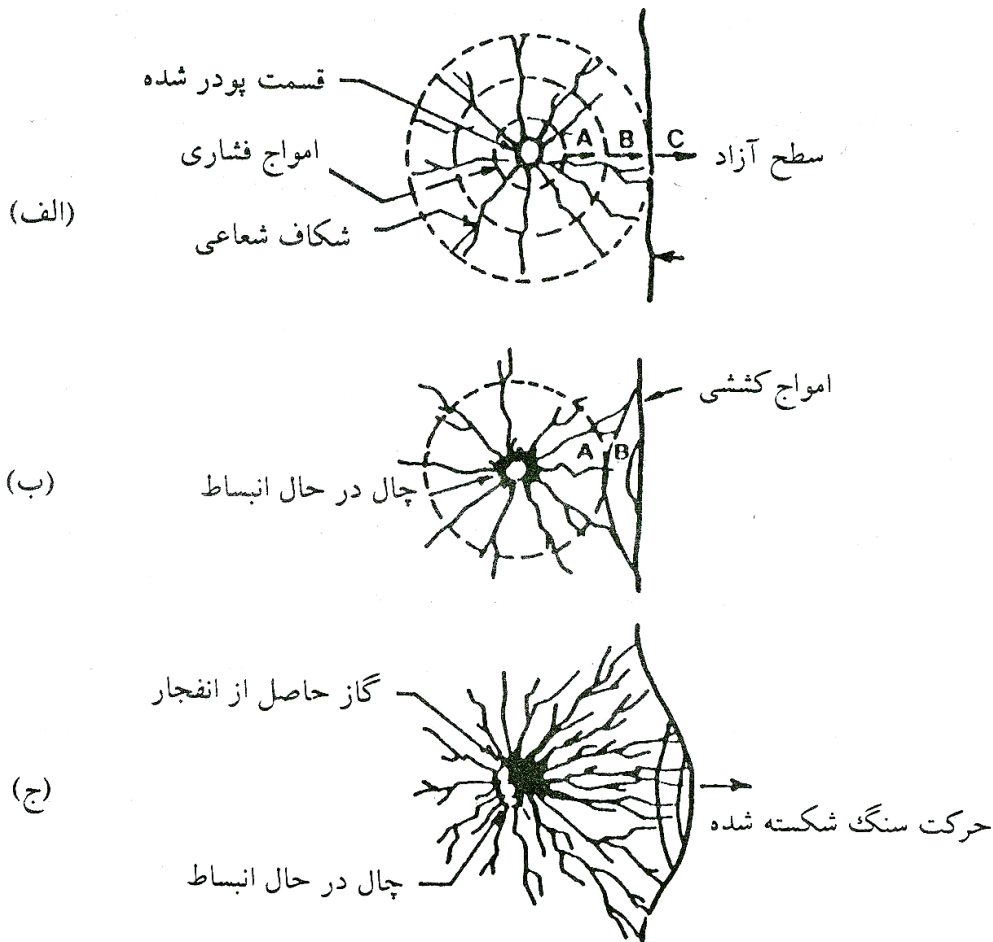
در مرحله فشاری موج ضربه ناشی از انفجار با سرعت ۳۰۰۰ تا ۶۰۰۰ متر بر ثانیه در سنگ عبور می‌کند. این مقدار تقریباً معادل ۰/۱۵ تا ۰/۳۰ میلی ثانیه برای هر متر بار سنگ است. در این حالت سنگ فشرده شده و شکاف‌های میکروسکوپی در آن ایجاد می‌گردد. سرعت انتشار موج در سنگ ۲/۵ تا ۵ برابر سرعت انتشار این شکاف‌های میکروسکوپی است. موج ضربه پس از رسیدن به سطح آزاد منعکس شده و موجب به وجود آمدن تنش کششی در سنگ می‌گردد. سرعت موج در این حالت ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متر بر ثانیه (۰/۵ تا ۲ میلی‌ثانیه برای هر متر بار سنگ) است و موجب تولید شکاف‌های کوچک اولیه شعاعی در چال می‌گردد که از مرکز چال سرچشمه می‌گیرند.

## ۲-۳- انبساط گاز

گاز حاصل از انفجار در چال محبوس است و همین امر باعث می‌شود که فشاری مستمر به دیواره چال وارد کند. مقدار این فشار تقریباً نصف فشار انفجار است. مدت زمان محبوس بودن گاز در چال تابع مقدار ماده منفجره، نوع و ساخت سنگ، وضعیت تکتونیکی سنگ، کیفیت و کمیت گل‌گذاری و ضخامت بار سنگ می‌باشد. با انتخاب ماده منفجره قوی و ضخامت کم بار سنگ زمان حبس بودن گاز در چال پائین می‌آید. طبق بررسی‌های متعددی که به کمک عکاسی سریع انجام گرفته زمان حبس بودن گاز حاصل از انفجار در چال بین ۵ تا ۱۱۰ میلی ثانیه تغییر می‌کند. گاز فشرده شده که دارای انرژی پتانسیل فوق العاده‌ای است به صورت‌های زیر بر سنگ اطراف چال اثر می‌گذارد.



(الف) در ترک‌های ریز حاصل از موج ضربه نفوذ کرده، موجب انبساط و گسترش آن‌ها می‌شود که در نهایت به شکسته شدن سنگ می‌انجامد. در شکل ۱-۳ مراحل مختلف این عمل نشان داده شده است.



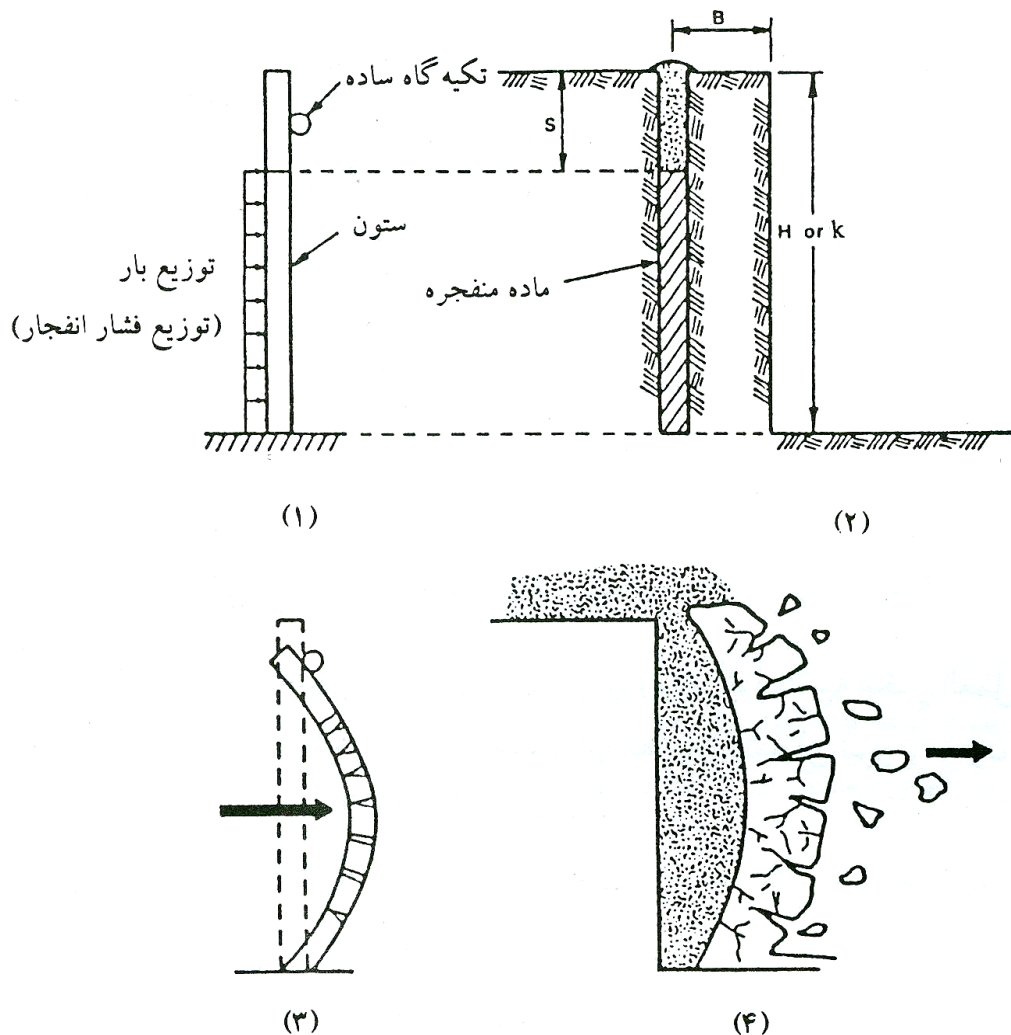
شکل ۱-۳- مراحل مختلف توسعه ترک در توده سنگ (استوار، ۱۳۸۴)

(ب) گاز تحت فشار سعی می‌کند که از راه کمترین مقاومت به بیرون از چال نفوذ کند و در صورت وجود چنین شرطی نباید انتظار داشت که نتیجه مطلوب از انفجار چال حاصل شود زیرا انرژی گاز عملاً به هدر خواهد رفت.

(ج) استمرار فشار گاز در چال علاوه بر توسعه شکاف‌های ریز قبلی موجب به وجود آمدن شکاف‌های شعاعی جدید در بار سنگ می‌گردد. در حقیقت چال به استوانه‌ای از فشار تبدیل می‌شود.

(د) توده سنگی را که باید به وسیله انفجار یک چال خرد شود می‌توان به منزله یک ستون سنگی تلقی کرد که به وسیله فشار موجود در چال شکسته خواهد شد. فشار گاز موجب اعمال نیرو بر ستون می‌گردد. عکس

العمل ستون در مقابل این نیرو را می توان شبیه عکس العمل یک ستون یک سرگیردار در نظر گرفت. مراحل مختلف این نظریه از نمایش نیرو بر ستون تا شکسته شدن ستون در شکل ۱-۴ ملاحظه می شود.



شکل ۱-۴- مراحل مختلف شکسته شده سنگ جلو چال (استوار، ۱۳۸۴)

به طور کلی از شرح مکانیسم انفجار نتیجه گیری می شود که موج ضربه اولین مرحله انفجار است و شکاف های ریز ایجاد می کند. شکاف های شعاعی به وسیله فشار گاز ایجاد می شود. سنگ در اثر خمش چال ناشی از فشار گاز می شکند، گاز در شکاف ها رخنه کرده و بالطبع اثر آن در طرف سطح آزاد مشهود است. لذا پشت چال کمتر لطمه خواهد دید. اگر سطح آزاد وجود نداشته باشد یا ضخامت بار سنگ به حدی باشد که فشار گازها نتواند به روی آن تاثیر کرده جابجایش کند در این صورت با حفره سازی مواجه هستیم یعنی چال مثل توپ عمل می کند و یا عقب زدگی زیاد می شود.

## ۲-۴- جابجائی توده سنگ

آخرین مرحله شکسته شدن سنگ در اثر انفجار جابجایی توده سنگ است. در این جا نیز مقداری سنگ مجدداً شکسته می شود. در انفجارهای روباز به شکل V سنگها از روبرو به هم می خورند و باز هم شکسته می شوند و به دلیل انباشته شدن سنگ، بارگیری آسان می باشد. توده سنگ با سرعت متوسط ۱۰ تا ۳۰ متر بر ثانیه در اثر انفجار جابجا می شود.

## ۳- تئوری انتقال انرژی از ماده منفجره به سنگ

انتقال انرژی از ماده منفجره به سنگ تابع کیفیت ماده منفجره و سنگ و کیفیت خرجگذاری است. انرژی منتقل شده به سنگ به صورت مختلف توزیع می شود. انتقال انرژی از ماده منفجره به سنگ و توزیع انرژی منقل شده به شرح زیر می باشد.

### الف) انتقال انرژی از ماده منفجره به سنگ

کیفیت ماده منفجره و سنگ به صورت امیدانس آنها نشان داده می شود.

- امیدانس سنگ برابر است با:  $I_r = p_r v_r$

- امیدانس ماده منفجره برابر است با:  $I_e = p_e v_e$

که در آنها:  $I_r =$  امیدانس سنگ به  $\frac{kg}{m^2 Sec}$ ،  $I_e =$  امیدانس ماده منفجره به  $\frac{kg}{m^2 Sec}$ ،  $v_r =$  سرعت عبور

امواج الاستیک در سنگ  $v_e = \frac{m}{s}$ ،  $v_r =$  سرعت انفجار ماده منفجره به  $\frac{m}{s}$ ،  $p_r =$  چگالی سنگ به  $\frac{kg}{m^3}$  و  $p_e =$

چگالی ماده منفجره به  $\frac{kg}{m^3}$  می باشند.

ضریب انتقال انرژی از ماده منفجره به سنگ (ضریب امیدانس) برابر است با:

$$\eta_1 = 1 - \frac{(I_r - I_e)^2}{(I_r + I_e)^2} \quad (1-1)$$

هرچه  $I_e$  و  $I_r$  به هم نزدیکتر باشند  $\eta_1$  بیشتر است. برای سنگهای نرم و سست بهتر است از مواد منفجره ضعیفتر استفاده نمود.

### ب) ضریب مربوط به کیفیت خرجگذاری (ضریب جفت شدگی)

ضریب جفت شدگی به صورت معادله زیر است:

$$\eta_2 = \frac{I}{e^{\left(\frac{\phi_h}{\phi_c}\right)} - (e - I)} \quad (2-1)$$

که در آن:  $\phi_h$  = قطر چال و  $\phi_c$  = قطر خرج هستند.

انرژی که به سنگ منتقل می شود را می توان به صورت زیر نوشت:

$$E_1 = \eta_1 \eta_2 Q E_e \quad (3-1)$$

که در آن:  $E_1$  = انرژی ماده منفجره منتقل شده به MJ،  $\eta_1$  = ضریب امپدانس،  $\eta_2$  = ضریب جفت شدگی،

$Q$  = مقدار ماده منفجره به kg و  $E_e$  = انرژی ویژه ماده منفجره به  $\frac{MJ}{kg}$  می باشند.

انرژی منتقل شده ناشی از انفجار به سنگ تقریباً به صورت زیر توزیع می شود:

- خرد شدن سنگ حدود ۱۵ درصد

- تولید شکاف در سنگ حدود کمتر از ۱ درصد

- جابجائی سنگ های خرد شده حدود ۴ درصد

- خرد کردن در نزدیک چال (پودر شدن) حدود ۱ تا ۲ درصد

- پرتاب سنگ حدود ۱ درصد

- لرزش زمین حدود ۴۰ درصد

- لرزش هوا حدود ۳۸ تا ۳۹ درصد

بنابراین بیشتر انرژی منتقل شده صرف لرزش زمین و هوا می شود و تنها حدود ۱۵ درصد آن صرف

خردایش سنگ می شود. با این وجود در طراحی تئوری آتشیاری ضرایب انتقال انرژی  $\eta_1$  و  $\eta_2$  و درصدی از

انرژی منتقل شده که صرف خردایش سنگ می شود ( $\eta_3$ ) دارای اهمیت هستند.

انرژی که برای خرد شدن سنگ لازم است به صورت زیر می باشد:

$$E_b = VSE_s \quad (4-1)$$

که در آن:  $E_b$  = انرژی مربوط به خردایش سنگ به MJ،  $V$  = حجم سنگ به متر مکعب،  $S$  = سطح جدید به

وجود آمده توسط انفجار  $\left(S = \frac{64}{D_m}\right)$  به  $\frac{m^2}{m^3}$  که در آن  $D_m$  بزرگترین بعد سنگ خرد شده به متر می باشد

و  $E_s$  = انرژی سطحی مخصوص به  $\frac{MJ}{m^2}$  می‌باشند. جدول ۱-۱ میزان امیدانس و انرژی سطحی تعدادی از سنگ‌ها را نشان می‌دهد.

$E_b$  را می‌توان به صورت زیر نیز نوشت:

$$E_b = E_i \eta_3 \quad ۵-۱$$

$$E_b = \eta_1 \eta_2 \eta_3 Q E \quad ۶-۱$$

$$\eta_1 \eta_2 \eta_3 Q E_e = V S E_s \quad ۷-۱$$

$$\frac{Q}{V} = \frac{S E_s}{\eta_1 \eta_2 \eta_3 E_e} \quad ۸-۱$$

که در آن:  $\eta_3$  = ضریب مربوط به خردایش سنگ و  $Q$  = مقدار مواد ناریه جهت شکستن سنگ دارای حجم  $V$  می‌باشد.

#### ۴- عوامل مؤثر و پارامترهای طراحی آتشکاری در معادن روباز

برای طراحی یک الگوی مناسب با توجه به کلیه شرایط موجود در معدن عوامل متعددی جریان طراحی و پارامترهای آن را تحت تأثیر قرار می‌دهند. در طراحی آتشکاری عمدتاً دو دسته عوامل اصلی دخالت دارند:

الف) پارامترهای غیر قابل کنترل (ثابت)

ب) پارامترهای قابل کنترل (متغیر)

منظور از پارامترهای ثابت، مشخصات مربوط به ماده سنگ و توده سنگ می‌باشد. این پارامترها به ذات زمین‌شناسی و تکتونیک یک معدن وابسته بوده و در آتشکاری یک سایت عملیاتی، ثابت و غیر قابل کنترل هستند. به دلیل عدم قابلیت کنترل، این پارامترها به عنوان مهمترین دسته پارامترهای مؤثر در آتشکاری مطرح می‌باشند.

دسته دوم از عوامل که به پارامترهای قابل کنترل مشهورند به یک سری مشخصات هندسی و فنی الگوی انفجار گفته می‌شوند که با توجه به مشخصات توده سنگ برجا و نیز مشخصات ماده منفجره تعیین می‌گردند. هدف از طراحی الگوی آتشکاری تعیین مناسب این پارامترهاست.

جدول ۱-۱- برخی از مشخصات انفجاری سنگ‌ها (استوار، ۱۳۸۴)

نام سنگ	امپدانس ( $I_r$ ) $10^6 \text{kg/m}^2 \text{sec}$	انرژی سطحی ( $E_s$ ) $10^{-3} \text{Mj/m}^2$
گرانیت	۱۳/۵	۱/۶۸
سینیت	۱۱	۱/۵۳
گابرو	۱۱	۱/۵۱
پریودیت	۱۶	۱/۹۳
پرفیری	۱۴/۵۶	۱/۶۱
بازالت	۱۵/۶۶	۱/۶۵
دیاباز	۱۵/۵	۱/۹۲
ماسه‌سنگ	۶/۱۹	۱/۱۸
کوارتزیت	۱۱/۹۳	۱/۶۳
سنگ آهک	۱۰/۴	۱/۴۷
دولومیت	۱۰/۶	۱/۵۴
مارن	۶/۳۸	۱/۱
توف	۲/۹۴	۱/۱
گچ	۵/۷۵	۱/۱
نمک طعام	۷/۷	۱/۱
تراورتن	۵/۸۸	۱/۱۶
آمفیبولیت	۱۳/۵	۲/۸۴
گنیس	۱۳/۵	۱/۸۱
سریانتین	۱۱/۱۳	۱/۳۵
شیست آهکی	۸/۰۶	۱/۴۴

#### ۴-۱- تأثیر ویژگی‌های توده سنگ بر فرآیند آتشکاری (پارامترهای غیر قابل کنترل)

در طراحی یک آتشکاری و پیاده‌سازی تئوری انفجار در زمین ابتدا لازم است بدانیم با چه محیطی سروکار داریم. بدین مفهوم که محیط سنگی به عنوان میزبان فرآیند آتشکاری، چه مشخصات ژئومکانیکی دارد. لذا شناخت ویژگی‌های ماده سنگ و توده سنگ و چگونگی استفاده بهینه از آن‌ها یکی از اساسی‌ترین کارهایی که باید قبل از طراحی بدان توجه شود. تأثیر ویژگی‌های توده سنگ در فرآیند انفجار زمانی آشکارتر می‌شود که دقت کنیم که توده سنگ یک جسم جامد پیوسته همگن و همسانگرد نیست و دارای انواع ناپیوستگی‌ها می‌باشد. لذا کلیه رفتار استاتیکی و دینامیکی سنگ از این امر تأثیر می‌پذیرند.

از بین ویژگی‌های توده سنگ، ویژگی‌هایی که در عملکرد انفجار مؤثرند به شرح زیر می‌باشند:

۱- ناپیوستگی‌های توده سنگ

الف) فاصله داری

ب) شیب و امتداد درزه‌ها

ج) بازشدگی و پرکننده درزه‌ها

۲- مشخصات ماده سنگ

الف) مقاومت فشاری

ب) چگالی

ج) مدول الاستیسیته

د) سختی

در ادامه به تشریح هر یک از پارامترهای فوق می‌پردازیم.

#### ۴-۱-۱- تأثیر ناپیوستگی‌ها بر عملکرد آتشفکری

یکی از رایج‌ترین تقسیم‌بندی‌های عوارض ساختمانی زمین استفاده از تقسیم‌بندی انفصال‌های زمین شناسی است (حسینی، ۱۳۸۰). در این تقسیم‌بندی انفصال‌های زمین‌شناسی به سه گروه به شرح ذیل تقسیم می‌شوند:

الف) ترک‌های ریز (ریز ترک‌ها)

نقایص ساختاری هستند که در بافت سنگ وجود دارند. عرض این ناپیوستگی‌ها در حدود کوچکتر یا مساوی یک میکرون و طول آن‌ها در حدود یک بلور تا سه مولکول آب می‌باشد.

ب) شکستگی‌های ریز

عرض این شکستگی‌ها در حدود یا کوچکتر یا مساوی ۰/۱ میلی‌متر است. این شکستگی‌ها به ندرت با چشم غیر مسلح قابل رؤیت هستند ولی گسترش آن‌ها قابل توجه است. مشخصات آن‌ها اغلب به شیتوزیته سنگ بستگی داشته و جهت‌یابی کاملاً معینی در فضا دارند.

ج) شکستگی‌های بزرگ

این دسته ناپیوستگی‌ها عریض‌تر از ۰/۱ میلی‌متر هستند. طول آن‌ها ممکن است تا چندین متر یا بیشتر نیز برسد. در ژئومکانیک اصطلاح "ناپیوستگی" که به صورت وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد عموماً به معنی

همان شکستگی‌های بزرگ می‌باشد این کلمه عنوانی عام برای اکثر انواع درزه‌ها، صفحات ضعیف لایه‌بندی، زون‌های ضعیف و گسل‌ها می‌باشد.

در بحث آتشفکری با توجه به اینکه دو دسته اول ناپیوستگی‌ها عموماً در سایر مشخصات سنگ همچون مقاومت فشاری و یا مدول الاستیسیته سنگ جلوه‌گر می‌شوند بیشتر دسته سوم انفصال‌های زمین‌شناسی مطرح می‌باشند.

از آن جایی که آتشفکری عموماً در یک فضای با ابعاد هندسی مشخص و بیشتر در سنگ انجام می‌شود. درزه‌ها به عنوان شاخص‌ترین عضو این گروه بیشترین تأثیر را بر نتایج انفجار و خردایش دارند. لذا در اکثر مطالعات صحرایی آتشفکری نیز مشخصات درزه‌ها مورد مطالعه قرار می‌گیرد. مشخصات مهم درزه‌ها از نظر آتشفکری شامل فاصله‌داری، اندازه دهانه‌ها و مواد پرکننده و جهت یافتگی (راستای نسبی) می‌شود.

#### ۴-۱-۱-۱- تأثیر فاصله‌داری درزه‌ها بر عملکرد آتشفکری

فاصله‌داری درزه‌ها به عنوان مهم‌ترین مشخصه هر دسته درزه مطرح می‌باشد. میزان فاصله‌داری درزه‌ها تعیین می‌کند که یک توده سنگ از نظر ژئومکانیکی چه وضعیتی دارد. از نظر آتشفکری فاصله‌داری زیاد بین درزه‌ها باعث افزایش مقاومت توده سنگ و دشواری آتشفکری می‌گردد.

شکست سنگ و میزان خردایش حاصل همواره تحت تأثیر میزان انرژی موج ضربه و فشار چال (فشارگاز) می‌باشد (استوار، ۱۳۸۳). سیستم درزه‌های یک توده سنگ بر هر دو عامل فوق تأثیرات چشمگیری دارد و با تغییر روند فرآیندهای ایجاد کننده دو پارامتر مذکور، نتایج کامل متفاوتی نسبت به شرایط عادی ایجاد می‌کنند.

چنانچه اندازه ابعاد انفصال‌های توده سنگ بزرگ باشد، طبق تعریف و دسته‌بندی آن‌ها، معمولاً اندازه دهانه آن‌ها نیز بزرگتر است. مواد منفجره در حین خرج‌گذاری وارد دهانه ناپیوستگی‌ها می‌شود و همچنین گازهای داغ ناشی از انفجار وارد شکاف‌هایی که با چال تلاقی دارند، می‌گردد. یا با هدر رفتن انرژی مواد منفجره از این طریق، فشار انفجار و در نتیجه قدرت موج ضربه‌ای که وارد محیط اطراف چال می‌شود، کاهش می‌یابد. وجود چنین ناپیوستگی‌هایی باعث می‌گردد که انفجار مواد منفجره دهانه آن‌ها را بازتر نموده و بدنه سنگ بین ناپیوستگی‌ها را کمتر خرد نماید. وقتی که اندازه انفصال‌های توده سنگ کوچکتر است، اندازه دهانه آن‌ها نیز معمولاً کوچکتر است. نکته مهم‌تر این است که در این حالت نه تنها مثل حالت قبل انرژی



مواد منفجره به هدر نمی‌رود بلکه وجود انفصال‌های کوچکتر (از جمله شکستگی‌های ریز) به عنوان سطوح ضعیفی در حین انفجار باعث خردایش بهتر سنگ می‌گردند.

#### ۴-۱-۱-۲- تأثیر جهت یافتگی درزه‌ها بر عملکرد آتشکاری

جهت یافتگی درزه‌ها به ویژه شرایط و راستای قرارگیری آن‌ها نسبت به سطح آزاد پله تأثیر زیادی بر فرآیند انتقال انرژی و خردشدگی دارد. در بحث از جهت یافتگی درزه‌ها دو عامل شیب و امتداد به صورت توأم مطرح می‌شوند. تأثیر همزمان این دو پارامتر نتایج انفجار را می‌تواند به شدت تحت تأثیر قرار دهد.

ناپیوستگی‌ها در ماده معدنی (سنگ) اغلب با شبکه چال‌ها طوری همخوانی پیدا نمی‌کنند که از آن‌ها به عنوان سطح آزاد استفاده شود. چون ناپیوستگی‌ها معمولاً به منظور آتشکاری قانونمند نبوده و در عمق توده سنگ وضعیت آن‌ها نیز به خوبی مشخص نیست. حفر چال‌ها در توده سنگ دارای درزه و شکاف به این منظور که از درزه‌ها به عنوان سطح آزاد استفاده شود، هیچ وقت در عمل امکان پذیر نبوده است. چون چال‌ها بعضاً ناگزیر درزه‌ها را قطع می‌کنند.

در توده سنگ‌ها با درزه‌داری قانونمند و منظم زاویه خط برش انفجار و امتداد عمومی درزه‌های سینه کار به میزان زیادی می‌تواند از سیستم درزه‌ها جهت بهبود نتایج آتشکاری استفاده نمود. در شرایطی که لایه‌بندی (ناپیوستگی) موازی کف پله باشد، طول اضافه حفر چال ممکن است کاهش یابد. گازهای ناشی از انفجار به صورت گوه‌ای، لایه را برش داده و باز می‌نماید و کف پله هم مسطح در خواهد آمد. همچنین طول گل‌گذاری ممکن است در این حالت کمی افزایش یابد تا گازهای ناشی از انفجار خارج نشده و صرف جابجا نمودن بار سنگ شوند. بنابراین یک لایه می‌تواند کف صافی برای پله باشد. اگر شیب ناپیوستگی‌ها (لایه‌ها) به طرف بیرون سینه کار باشد، پایداری دیواره (پله) به خطر می‌افتد، لایه‌ها تحت تأثیر وزن خود می‌توانند به طرف پایین بلغزند. در این حالت امکان عقب‌زدگی بیشتر است. حفر چال زاویه‌دار پتانسیل ریزش را کاهش می‌دهد. چنانچه شیب لایه به طرف داخل سینه کار باشد، باعث ایجاد قوزک در پاشنه پله شده اما دیواره پایدار می‌ماند و عقب‌زدگی کاهش می‌یابد.

شکستگی‌های طبیعی که موازی با سطح هستند، باعث می‌شوند که دیواره‌ها خوب کنترل شوند. چنانچه لایه‌ها (شکستگی‌های طبیعی) سینه کار را قطع کنند، لایه‌های گوناگون عکس العمل‌های متفاوت در مقابل انفجار از خود نشان می‌دهند. این عامل باعث می‌شود که سینه کار ناصاف به وجود آید.

شکل (۱-۵) تأثیر توام امتداد و شیب درزه‌ها را در طراحی شبکه آتشکاری و نتایج حاصل از آن‌ها را در تمامی حالات ممکن نشان می‌دهد.

#### ۴-۱-۱-۳- تأثیر اندازه دهانه و پرکننده‌ها بر عملکرد آتشکاری

چنانچه ذکر شد انرژی موج ضربه و فشار چال دو عامل مهم در ایجاد خردشدگی در سنگ به حساب می‌آیند. طبق تئوری انفجار و انتقال انرژی از ماده منفجره به سنگ به وضوح مشخص می‌شود که میزان بازشدگی درزه‌های موجود در توده سنگ و نیز کمیت و کیفیت پرکننده آن‌ها به شدت خردایش حاصل از آتشکاری را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

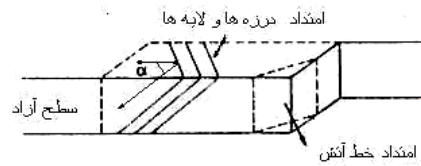
میزان بازشدگی دهانه درزه‌ها و ابعاد درزه‌ها رابطه مستقیم دارند. از نظر تأثیر بر انرژی موج ضربه هنگامی که درزه‌ها دارای بازشدگی زیاد باشند به دلیل جدایش سطح دو طرف درزه، انتقال انرژی از یک بلوک به بلوک دیگر سنگ به دشواری انجام می‌گیرد و انرژی حاصل از انفجار در عبور از فضای خالی درزه (دهانه) دچار افت شدیدی می‌شود. در صورتیکه دهانه درزه‌ها توسط خاک یا مواد سنگی پر شده باشند به دلیل کاهش اختلاف امپدانس بین سنگ و محیط بین درزه انرژی کمتری تلف می‌شود.

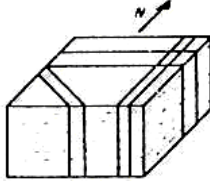
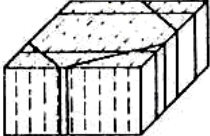
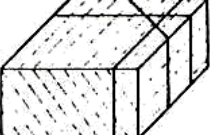
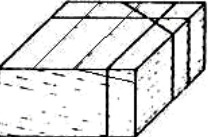
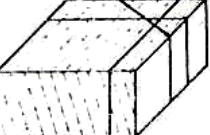
همچنین میزان دهانه و پرکننده درزه فشار چال را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد تا جایی که هیچ عاملی به این اندازه فشار چال ناشی از انفجار را تحت الشعاع قرار نمی‌دهد. با افزایش بازشدگی دهانه درزه‌ها، زمان حبس گازهای حاصل از انفجار به شدت کم می‌شود و در نتیجه گازهای حاصل از انفجار بدون انبساط آنی و بدون انجام هیچ گونه کار مفیدی در فرآیند خردایش، محیط انفجار را از طریق درزه‌های باز ترک می‌کنند. همین امر باعث کاهش شدید خردایش و به طبع آن باعث افزایش پرتاب سنگ و خطرات زیست محیطی و همچنین آلودگی هوا می‌شود.

وجود پرکننده‌ها برای جلوگیری از خروج گازهای انفجار و افزایش زمان حبس گاز در چال بسیار سودمند است. در کل چنین نتیجه‌گیری می‌شود که هم از نظر انتقال موج ضربه و هم از نظر فشار چال، درزه‌های دارای بازشدگی وجود پرکننده سودمندتر از عدم وجود آن است.

چنانچه شرح آن آمد، عوارض ساختاری در توده سنگ‌ها و به ویژه درزه‌ها فرآیند آتشکاری را از لحاظ بسیاری از شرایط انجام، تحت تأثیر قرار داده و نتایج حاصل از انفجار را تا حد بسیار زیادی تغییر می‌دهند. پر واضح

است که عدم دقت و توجه به این عوامل بسیار مهم، نتایج ناخواسته و نامطلوب فراوانی می‌تواند به دنبال داشته باشد.



نتایج حاصله از آتشباری	زاویه بین امتداد درزه‌ها و خط برش انفجار	زاویه شیب درزه‌ها	
		$\alpha = 0^\circ$	
فردایش متناسب با سطح شکست ناممواز	$\beta = 0^\circ = 180^\circ = 360^\circ$	$\alpha = 90^\circ$	
فردایش غیر یکنواخت با سطح شکست دندان‌دار	$\beta = 45^\circ = 135^\circ = 225^\circ = 315^\circ$		
مطلوب‌ترین امتداد	$\beta = 90^\circ = 270^\circ$		
قوب نه مطلوب	$\beta = 0^\circ = 180^\circ = 360^\circ$	$\alpha = 45^\circ$	
نه دندان مطلوب	$\beta = 45^\circ = 135^\circ$		
رضایت بخش	$\beta = 90^\circ$		
بسیار مطلوب	$\beta = 225^\circ = 315^\circ$		
	$\beta = 270^\circ$	$0^\circ < \alpha < 45^\circ$	
قوب نه مطلوب	$\beta = 0^\circ = 180^\circ = 360^\circ$	$45^\circ < \alpha < 90^\circ$	
نه دندان مطلوب	$\beta = 45^\circ = 135^\circ$		
مطلوب	$\beta = 90^\circ$		
	$\beta = 270^\circ$		

شکل ۱-۵- تأثیر توام امتداد و شیب درزه‌ها در طراحی آتشکاری و نتایج حاصل از آن‌ها (Jimeno et al, 1995)

#### ۴-۱-۲- تأثیر مشخصات ماده سنگ بر عملکرد آتشکاری

ماده سنگ به عنوان محیط اصلی و ماده فیزیکی در معرض انفجار، نقش بسیار مهمی در عملکرد و عکس‌العمل سنگ نسبت به فرآیند انفجار دارد. همانند سایر پدیده‌های مکانیک سنگی بسیاری از مشخصات فیزیکی و مکانیکی سنگ در قابلیت انفجار آن نقش دارند. از جمله آن‌ها می‌توان به چگالی، تخلخل، مقاومت فشاری، مدول الاستیته، مقاومت کششی سنگ و... اشاره نمود. علی‌الرغم این اهمیت، مطالعات وسیع و

جامعی به صورت کمی بر روی ارتباط این پارامترها و نتایج انفجار انجام نشده است. حداکثر مطالب موجود در منابع معتبر به صورت تجربی و بیشتر مشاهده‌ای بوده است.

#### ۴-۱-۲-۱- چگالی و مقاومت سنگ

سنگ معدن پس از انفجار علاوه بر شکسته شدن بایستی بارگیری و حمل شود و برای این منظور لازم است از جا در آمده و مقداری جابجا شود. کار جابجائی سنگ به عهده مواد منفجره است. برآورد میزان ماده منفجره مورد نیاز در جابجائی سنگ تابع وزن سنگ و یا به عبارتی دیگر تابع وزن مخصوص سنگ است (استوار، ۱۳۸۳). نسبت بار سنگ (B) به قطر چال ( $\rho_h$ ) برای سنگ‌هایی مثل آهک با وزن مخصوص ۲/۵ تا ۲/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب، شیبست با وزن مخصوص ۲/۶ تا ۲/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب پر فیری با وزن مخصوص ۲/۵ تا ۲/۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب بین ۲۵ تا ۳۰ می‌باشد. در سنگ‌های سنگین‌تر مثل بازالت با وزن مخصوص ۲/۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب منیتیت با وزن مخصوص ۴/۹ تا ۵/۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب نسبت فوق کوچکتر است و در نتیجه خرج ویژه باید افزایش یابد.

مقاومت و شکنندگی سنگ می‌تواند اثر بسیار مهمی در نتیجه انفجار داشته باشد اگر در سنگ نرم کمتر از مقدار مورد نیاز خرج منفجر شود احتمالاً می‌توان مجدداً در آن چال حفر کرده و اقدام به خرج‌گذاری نمود و چنانچه بیش از نیاز خرج‌گذاری شود اتفاق چندان مهمی رخ نمی‌دهد.

در سنگ سخت اگر خرج‌گذاری کمتر از مقدار مورد نیاز باشد سنگ شکسته می‌شود اما جابجا نمی‌شود و در نتیجه پس از انفجار با توده‌ای از سنگ در جا شکسته شده سروکار داریم و حفر چال در آن بسیار مشکل و یا حتی غیر ممکن است. اگر در سنگ سخت خرج‌گذاری بیش از مقدار مورد نیاز باشد پرتاب سنگ و لرزش هوا شدیدتر می‌شود.

به دلیل در نظر گرفته نشدن سایر پارامترهای ماده سنگ در روش‌های مختلف طراحی الگوهای انفجار از بحث در مورد کیفیت و کمیت تأثیرات خودداری شده و تنها به توضیحات فوق بسنده گردیده است.

#### ۴-۲- اجرای طراحی آتشکاری در معادن روباز

چنانچه شرح آن آمد، دومین دسته پارامترهای مهم مؤثر در راندمان و طراحی آتشکاری پارامترهای قابل کنترل و یا پارامترهای مربوط به هندسه الگوی آتشکاری است. از نظر فنی اجزای طراحی آتشکاری به صورت کلی شامل؛ قطر چال ( $\phi_h$ )، ضخامت بار سنگ (B)، فاصله ردیفی چال‌ها (S)، طول چال (H)،

اضافه حفاری چال ( $U$ )، ارتفاع پله ( $K$ )، ضخامت گل‌گذاری ( $S_T$ )، طول خرج میان چال ( $h_c$ )، طول خرج ته چال ( $h_b$ )، شیب چال ( $\alpha$ )، خرج ویژه ( $q$ ) و حفر ویژه ( $h$ ) است. اجزای طراحی در جدول (۱-۱) به طور خلاصه آورده شده است. بین کلیه این پارامترها یک سری روابط منطقی برقرار است. این روابط به طور کلی تابع شرایط زیر می‌باشند (استوار، ۱۳۸۳):

الف) هدف از آتشکاری

ب) نوع و ساختمان سنگ (مشخصات توده سنگ)

ج) نوع ماده منفجره

د) مسائل فنی و شرایط محیط کار

معرفی، نحوه محاسبه و شرح مربوط به هر یک از اجزای طراحی آتشکاری به طور خلاصه در جدول ۱-۲ آورده شده است.

جدول ۱-۲- پارامترهای چالزنی و آتشکاری در معادن روباز

ردیف	پارامتر	شرح
۱	قطر چال ( $\phi_h$ )	قطر چال متأثر از میزان استخراج، ارتفاع پله، نحوه خردایش، لرزش هوا و زمین، پرتاب سنگ و نوع ماده منفجره می‌باشد.
۲	ضخامت بارسنگ (B)	بارسنگ مهمترین پارامتر در طراحی انفجار بوده ارتباط مستقیمی با سایر عوامل آتشکاری داشته و اثر قاطعی روی پیامدهای انفجار دارد. در طراحی آتشکاری مقدار بارسنگ به طرق مختلفی تعیین می‌شود. این پارامتر در متن بیشتر توضیح داده شده است. (مومیوند، ۱۳۸۲) $B = (19 - 49)\phi_c$ (استوار، ۱۳۸۲) $B = (20 - 40)\phi_c$
۳	فاصله ردیفی چال (S)	فاصله چال‌ها در جهت عمود بر ضخامت بار سنگ را فاصله ردیفی چال‌ها می‌گویند. اگر فاصله ردیفی چال‌ها خیلی کمتر از بارسنگ انتخاب شود موج انفجار قبل از رسیدن به سطح آزاد به چال بعدی می‌رسد. تداخل این امواج از چالی به چال دیگر موجب ایجاد سروصدا، لرزش هوا، تخریب و انسداد دهانه چال، خروج گازها، تغییر نحوه خردایش و تشکیل سکو در پای پله می‌شود. اگر فاصله ردیفی چالها زیاد باشد محل شکستن سنگ ناهموار خواهد بود و خردشدگی نامناسب خواهیم داشت. در این حالت سنگ‌های اطراف چال خرد می‌شوند اما سنگ واقع در میان دو چال با ابعاد درشت‌تر خواهند بود. $S = (1 - 2)B$ هر چه ضریب سفتی پله (نسبت ارتفاع پله به ضخامت بارسنگ $\frac{K}{B}$ ) بیشتر باشد ضریب بزرگتری در فرمول فوق محاسبه می‌شود. در شرایط معمولی $\frac{S}{B} = 1.8$ است و در جایی که ضریب سفتی بیشتر از پنج باشد $\frac{S}{B} = 2$ است. برای تخمین اولیه

		$\frac{S}{B} = 1.5$ انتخاب می‌شود.
۴	ارتفاع پله (K)	ارتفاع پله متأثر از میزان استخراج روزانه، توپوگرافی، مکانیک سنگ، امکان دسترسی به ماشین آلات، قطر چال و بارسنگ می‌باشد. $K = (60 - 120)\phi_h$
۵	اضافه حفر چال (U)	در معادن روباز حفرچال تا مقداری پائین‌تر از کف پله پائینی نیز ادامه داده می‌شود. این مقدار را اضافه حفر چال می‌نامند. $U = 0.33B$ (مومیوند، ۱۳۸۲، استوار، ۱۳۸۳) $U = (0.2 - 0.5)B$ (استوار، ۱۳۸۳) $U > 0.3B$ (مومیوند، ۱۳۸۳) $U = (8 - 12)B$ (Lopez et al., 1995)
۶	گل‌گذاری ( $S_t$ )	اصولاً بخشی از چال خرج‌گذاری نشده بلکه با مواد خنثی پر می‌شوند تا فضای چال را محدودتر کند. این امر برای استفاده بیشتر از فشار گاز حاصل از انفجار ماده منفجره ضروری است. همچنین گل‌گذاری در لرزش هوا، پرتاب سنگ، شکست در بالای چال، خردشدگی سنگ، لرزش زمین و عقب‌زدگی مؤثر است. $S_t = (0.7 - 1.3)B$ یا $S_t = (14 - 28)\phi_h$ (استوار، ۱۳۸۳) $S_t = (20 - 60)\phi_h$ (Lopez et al., 1995) $S_t = 0.7B$ یا $S_t = (0.5 - 1)B$ (مومیوند، ۱۳۸۳)
۷	شیب چال ( $\alpha$ )	در حفر چال قائم حفظ امتداد راحت‌تر از چال مایل صورت می‌گیرد اما امکان خردشدن سنگ ته چال بیش از چال مایل است و این امر مخصوص وقتی که چند ردیف چال منفجر می‌شوند پیش می‌آید. در این صورت سکوی ایجاد شده بزرگتر شده و به مرور ایجاد مشکل می‌کند. با حفر چال مایل این مشکل تا حد بسیار خوبی برطرف می‌شود. و این بدان معنی است که مقدار بیشتری سنگ می‌توان استخراج کرد.
۸	طول چال (H)	$H = \frac{K}{\cos \alpha} + U$
۹	طول خرج ( $L_e$ )	$L_e = H - S_t$
۱۰	خرج ته چال ( $Q_b$ )	در پائین پله عموماً ضخامت بارسنگ بیشتر است و سنگ نیز مقاوم‌تر می‌باشد لذا احتیاج به نیروی برشی قوی در امتداد کف پله است. برای این منظور مقدار ماده منفجره بیشتر از سایر جاهای چال و یا ماده منفجره قوی‌تری مورد نیاز است که باید در ته چال خرج‌گذاری شود. آن خرج را خرج ته چال می‌نامند. طول خرج ته چال به متر ( $h_b$ ) برابر است با: $h_b = 1.3B$ تراکم خرج ته چال به کیلوگرم بر متر ( $I_b$ ) به صورت زیر تعریف می‌شود: $I_b = \frac{\phi_h^2}{1000} \times \frac{D_h}{1.25}$ $Q_b = I_b \times h_b$ $D_h =$ وزن مخصوص خرج‌گذاری به کیلوگرم بر دسی‌متر مکعب $\phi_h =$ قطر چال به میلی‌متر خرج ته چال در اغلب عملیات آتشیاری همان پرایمر است.
۱۱	خرج میان چال ( $Q_c$ )	خرجی که پس از خرج ته چال مصرف می‌شود نیز سنگ را خواهد شکست اما لازم نیست که همان قدرت را داشته باشد. تراکم خرج در این حالت معمولاً ۴۰ تا ۵۰ درصد

<p>تراکم خرج ته چال است.</p> <p>- تراکم خرج میان چال به کیلوگرم برمتر (I<sub>c</sub>)</p> <p>- طول خرج میان چال به متر (h<sub>c</sub>)</p> $I_c = \frac{\pi \phi_c^2}{4} D_h$ $h_c = H - h_b - S_t$ $Q_c = I_c \times h_c$		
--	--	--

با دقت در جدول فوق به راحتی مشخص می‌گردد که کلیه پارامترهای مذکور به صورت مستقیم یا غیرمستقیم بر اساس قطر چال یا بار سنگ طراحی می‌شوند. انتخاب قطر چال‌های آتشفکری یک امر کاملاً فنی و اقتصادی است و پارامترهای زیادی بر آن مؤثرند. در هر معدن انتخاب قطر چال به عنوان یک انتخاب کلیدی مطرح می‌باشد زیرا سایر مراحل عملیات معدنکاری به شدت از این انتخاب تأثیر می‌پذیرند. انتخاب صحیح قطر چال برای کسب حداکثر خردشدگی و حداقل هزینه مهم می‌باشد عوامل مهم مؤثر در اندازه قطر چال عبارتند از: میزان استخراج، ارتفاع پله، نحوه خردشدن، لرزش زمین، پرتاب سنگ و نوع ماه منفجره. اما باید در نظر داشت که سایر فاکتورهای آتشفکری نیز بر قطر چال تأثیر متقابل دارند. در انتخاب صحیح قطر چال برای اجرای آتشفکری راهنمائی‌های زیر بایستی مورد توجه قرار گیرند (استوار، ۱۳۸۳):

- سرعت حفر چال با قطر چال نسبت معکوس دارد. چال‌های قطور با سرعتی کمتر از چال‌های کم قطر حفر می‌شوند.

- هزینه حفر چال و هزینه مواد ناریه با اضافه شدن قطر چال کاهش می‌یابد و به طور کلی هزینه خرد کردن یک توده سنگ در صورت حفر چال با قطر بیشتر کم می‌شود. اما به علت وجود قطعات بزرگ سنگ هزینه حمل و بارگیری و سنگ شکنی افزایش می‌یابد.

- چال‌های قطور بایستی از هم فاصله داشته باشند و این امر موجب تمرکز خرج در نقاطی خاص از توده سنگ می‌شود که در نهایت می‌تواند این معایب را داشته باشد: لرزش زیاد، خردشدگی غیریکنواخت و پرتاب زیاد.

- چال‌های با قطر کم به هم نزدیک هستند. بدین لحاظ توزیع انرژی ماده منفجره بهتر از چال‌های قطور انجام می‌شود. در این موارد هزینه حفر چال زیاد می‌شود اما لرزش زمین قابل کنترل می‌گردد، خردشدگی سنگ یکنواخت می‌شود و پرتاب را می‌توان به خوبی کم کرد.

- استفاده از چال‌های کم قطر در سنگ‌های پردرزه موجب می‌شود که به علت قطر کم، چال‌ها به هم نزدیک باشند و عملاً تعداد درزه‌های موجود بین دو چال متوالی کم شود لذا امواج ضربه به هدر نمی‌رود و در نتیجه سنگ‌های درشت کاهش پیدا می‌کند و خردشدگی بیشتر می‌شود.

وقتی که قطر چال زیاد باشد فاصله چال‌ها از هم یعنی B و S نیز زیاد خواهد بود. این چنین طرح آتشکاری برای معادنی با تولید زیاد، لوازم بارگیری، حمل و نقل و سنگ شکنی بزرگ که خردشدگی یکنواخت، صافی کف پله، لرزش زمین و هوا زیاد مهم نباشد مناسب است.

تولید ترک و شکاف در کف پله بعدی ناشی از چال‌های قطور است و اگر کف پله یا سطح انتهایی چال‌ها از نظر ایجاد ترک و شکاف مورد شک باشد باید در انتخاب قطر چال توجه زیاد نمود. قطر چال و ارتفاع پله بر یکدیگر تاثیر متقابل دارند.

وضعیت زمین شناسی یکی از عوامل مهم در انتخاب قطر چال است. وجود سطوح جدایش مثل درزه‌ها، لایه-بندی و نواحی سست موجب تقسیم توده سنگ به قطعاتی می‌گردد که به ابعاد بزرگ و کوچک کنار هم چیده شده‌اند. اگر قطر چال‌ها بزرگ انتخاب شود خواه ناخواه فاصله‌شان از هم نیز زیاد خواهد بود. نتیجه انفجار در چنین سنگی تولید قطعات بزرگ می‌باشد. در حالی که اگر قطر چال را کوچک انتخاب کنیم فاصله چال‌ها از هم کوچک خواهد بود و به علت اینکه هر قطعه سنگ حداقل یک چال دارد و توزیع مواد منفجره بهتر صورت می‌گیرد میزان خردشدگی افزایش پیدا می‌کند.

پس از انتخاب قطر حفاری دو پارامتر بارسنگ و خرج ویژه از اهمیت بسیار بالایی برخوردارند و دو عامل کلیدی در طراحی آتشباری به حساب می‌آیند. این دو پارامتر روی همدیگر نیز تأثیر مستقیم داشته یا به عبارت دیگر گویای یک واقعیت هستند. لذا در بحث طراحی آتشکاری از آنجایی که کلیه پارامترها بر اساس این دو عامل به ویژه بارسنگ قابل محاسبه‌اند، کلیه تکنیک‌های ارائه شده تاکنون بیشتر به محاسبه بارسنگ و خرج ویژه اختصاص پیدا کرده‌اند سایر پارامترها بر اساس روابط تجربی (جدول ۱-۲) قابل محاسبه‌اند.

## ۵- روشهای برآورد بار سنگ و خرج ویژه در آتشکاری‌های روباز

تاکنون روش‌های تجربی و تکنیک‌های مختلفی برای برآورد و تعیین بار سنگ و خرج ویژه در معادن سطحی ارائه شده است. کلیه این روش‌ها را می‌توان بر اساس پارامترهای مورد استفاده به دو دسته کلی تقسیم‌بندی نمود:



الف) روش‌های تجربی - تحلیلی

ب) روش‌های مبتنی بر مشخصات توده سنگ

در ادامه این مبحث ابتدا روش‌های تجربی - تحلیلی تعیین بارسنگ و خرج ویژه شرح داده شده سپس با معرفی روش‌های مبتنی بر توده سنگ روش کاربرد آن‌ها به تفصیل ارائه خواهد شد.

## ۵-۱- روشهای تجربی - تحلیلی بر آورد بار سنگ و خرج ویژه

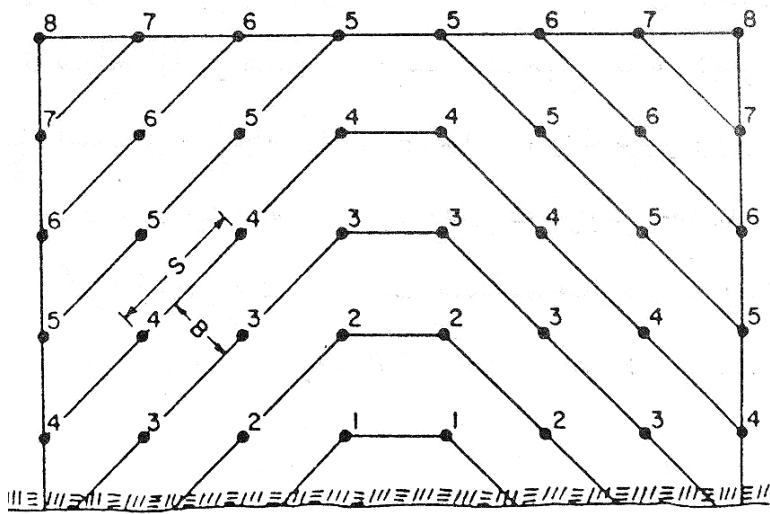
### ۵-۱-۱- روشهای تجربی - تحلیلی بر آورد بار سنگ

نزدیک‌ترین فاصله سطح آزاد هنگام انفجار تا محل چال را بارسنگ می‌نامند که می‌توان آن را به عنوان مهم-ترین و بحرانی‌ترین متغیر در طراحی انفجار روباز به حساب آورد. ضخامت بارسنگ در ارتباط مستقیم با سایر عوامل آتشکاری است و تغییرات آن اثری قاطع روی پیامدهای انفجار خواهد داشت و اگر خطائی در انتخاب آن پیش آید اثرش در نتیجه آتشکاری خیلی بیشتر از سایر پارامترها است.

اگر ضخامت بار سنگ کم باشد، پرتاب سنگ و لرزش هوا زیاد می‌شود. سنگ بیش از اندازه خرد می‌شود، سر و صدای زیاد ایجاد می‌گردد و عملاً بخش مهمی از انرژی ماده منفجره به هدر می‌رود. با وجود بار سنگ کم لازم است که فاصله ردیفی چال‌ها نیز کم شود و این امر بدین معناست که برای خرد کردن یک توده سنگ نیاز به حفاری بیشتر و صرف ماده منفجره بیش از اندازه است. اگر ضخامت بار سنگ بیش از مقدار مورد نیاز باشد مدت زمان حبس گازهای حاصل از انفجار در چال بیشتر می‌شود و همین امر موجب فشار آوردن به پشت چال و در نتیجه عقب زدگی زیاد می‌گردد. خردشدگی کم می‌شود و جلوی پله سکو به وجود آمده و ناصاف می‌گردد و لرزش زمین زیاد می‌شود. اگر ضخامت بار سنگ خیلی بیش از مقدار صحیح آن باشد توده سنگ جلو چال‌ها حرکت نکرده و انفجار منجر به تشکیل حفره می‌گردد که به همراه آن مواجهه با لرزش زمین و پرتاب سنگ خواهیم بود.

در محاسبه ضخامت حقیقی بار سنگ عواملی همچون آرایش چال‌ها و شیوه انفجار تأخیری مؤثر است (شکل ۶-۱). در این شکل همانگونه که مشاهده می‌شود آرایش چال‌ها به شکل مربع و به فاصله  $3 \times 3$  متر از یکدیگر قرار دارند. روش انفجار تأخیری به گونه‌ای است که شکلی به صورت  $V$  حاصل می‌گردد. به این ترتیب فاصله تغییر یافته چال‌ها تا سطح آزاد با این روش انفجار  $B = 2/12$  متر و  $S = 4/24$  می‌گردد. نکته

حائز اهمیت این است که برای آرایش چال‌ها به صورت مستطیل و یا لوزی اصول به کار رفته جهت طراحی آتشکاری یکسان است.



شکل ۱-۶- تأثیر آرایش چال‌ها و شیوه انفجار تأخیری در محاسبه ضخامت حقیقی بار سنگ

فاصله تصحیح شده چال‌ها تا سطح آزاد و همچنین فاصله تصحیح شده ردیفی چال‌ها توسط روابط هندسی قابل محاسبه است و چنانچه آرایش چال‌ها به صورت دقیق روی کاغذ پیاده شود. این فواصل را می‌توان از راه ترسیم نیز به دست آورد. وقتی که آرایش چال‌ها به صورت مربع باشد و انفجار به نحوی صورت گیرد که سینه کار از حالت مستقیم خارج شده و به شکل V در آید، سطح آزاد به وجود آمده با سطح آزاد قبلی زاویه ۴۵ درجه می‌سازد. در این صورت روابط زیر در آرایش چال‌ها برقرار است.

$$\tan \alpha = \frac{S}{B} = 1$$

$$\alpha = 45^\circ$$

$$B_1 = B \sin \alpha$$

$$S_1 = \frac{B}{\sin \alpha}$$

$\alpha$ : زاویه سطح آزاد جدید با سطح آزاد قبلی

B: بار سنگ اولیه

$B_1$ : بار سنگ جدید

S: فاصله اولیه چال‌ها

$S_1$ : فاصله جدید چال‌ها

به منظور تعیین میزان بار سنگ از روابط زیر استفاده می‌شود:

## الف) محاسبه بار سنگ با استفاده از نوع ماده منفجره و چگالی سنگ

مقدار بار سنگ B تابع قطر خرج ( $\phi_c$ ) می‌باشد. اگر از خرج فله‌ای استفاده شود قطر خرج و قطر چال ( $\phi_h$ ) برابرند ( $\phi_h = \phi_c$ ). اگر از مواد منفجره بسته‌بندی شده استفاده شود، در صورتی که خرج در چال فشرده شود  $\phi_c \leq \phi_h$  و چنانچه خرج در چال فشرده نشود  $\phi_c < \phi_h$ . رابطه بین بار سنگ B و قطر خرج ( $\phi_c$ ) به صورت زیر است:

$$B = (20 - 40)\phi_c$$

باید توجه داشت که اعداد فوق تقریبی هستند و نسبت‌های صحیح در تجارب محلی به دست می‌آیند. به ندرت پیش می‌آید که  $\frac{B}{\phi_c} > 40$  یا  $\frac{B}{\phi_c} < 20$  باشد. به طور کلی هر چه وزن مخصوص سنگ بیشتر باشد نسبت  $\frac{B}{\phi_c}$  کوچکتر می‌شود. روابط تجربی برای تعیین اولیه مقدار بار سنگ با توجه به نوع ماده منفجره و چگالی سنگ در جدول ۱-۳ به طور خلاصه آورده شده است.

جدول ۱-۳- ارتباط بین بار سنگ، ماده منفجره و سنگ

$\frac{B}{\phi_c}$	چگالی سنگ ( $kg/m^3$ )	نوع ماده منفجره
۲۸	۲۲۰۰	آنفو با چگالی ( $kg/m^3$ ) ۸۵۰
۲۵	۲۷۰۰	
۲۳	۳۲۰۰	
۳۳	۲۲۰۰	دینامیت با چگالی ( $kg/m^3$ ) ۸۵۰
۳۰	۲۷۰۰	
۲۷	۳۲۰۰	

## ب) محاسبه بار سنگ با استفاده از فرمول‌های تجربی

تاکنون فرمول‌های تجربی زیادی برای تعیین رابطه بین بار سنگ ( $B$ ) ارائه شده‌اند. اساس اکثر این روش‌ها مشاهدات و تجربیات محققان در معادن کشورهای مختلف جهان و در سنگ‌های متفاوت بوده است. در ادامه تعدادی از روابط مذکور شرح داده می‌شوند.

۱- آندرسن<sup>۱</sup> (۱۹۵۲)

$$B = K \times \sqrt{D \times L}$$

B: بار سنگ (ft)

<sup>۱</sup> Andersen

D: قطر چال (in)

L: طول چال (ft)

K: ثابت تجربی.

در بسیاری از موارد عملی با فرض  $K=1$  نتایج خوبی به دست آمده است. اگر مقدار قطر بر حسب اینچ در فرمول قرار داده شود فرمول قبلی را می توان به صورت شکل زیر نوشت:

$$B = \sqrt{D \times L}$$

که در آن قطر بر حسب اینچ است. فرمول آندرسن خصوصیات سنگ و ماده منفجره را در نظر نمی گیرد. در این رابطه مقدار بار سنگ با افزایش طول چال بیشتر میشود ولی نه به آن شدت که در عمل رخ می دهد.

۲- فرانکل ۲ (۱۹۵۲)

$$B = \frac{R_v \times L^{0.3} \times l^{0.3} \times D^{0.8}}{50}$$

B: بار سنگ (m)

L: طول چال (m)

l: طول خرج (m)

D: قطر چال (mm)

$R_v$ : مقاومت در برابر آتشکاری که از ۱ تا ۶ متغیر است. برای سنگ های با مقاومت فشاری بالا برابر ۱/۵ و برای سنگ های مقاومت فشاری کم برابر ۵ است.

معمولاً در عمل فرضیات زیر در نظر گرفته می شود:

مقدار B تا  $0.67L < 0.8B$  کاهش می یابد.

مقدار l برابر  $0.75L$  در نظر گرفته می شود.

مقدار S باید کمتر از  $1/5B$  باشد.

۳- پیرس ۳ (۱۹۵۵)

پیرس معادله خویش را با توجه به مفهوم انرژی تغییر شکل بر واحد حجم به صورت زیر پیشنهاد نمود:

<sup>2</sup> Fraenkel

<sup>3</sup> Pears

$$B = K_v \times 10^{-3} \times D \times \left[ \frac{PD}{RT} \right]^{0.5}$$

B: بارسنگ (m)

$K_v$ : ثابتی که بسته به خصوصیات سنگ از ۰/۷ تا ۱ متغیر است.

D: قطر چال (mm)

PD: فشار انفجار ماده منفجره ( $\text{kg/cm}^2$ )

RT: مقاومت کششی سنگ ( $\text{kg/cm}^2$ )

۴- هینو<sup>۴</sup> (۱۹۵۹)

$$B = \frac{D}{4} \times \left[ \frac{PD}{RT'} \right]^{1/n}$$

B: بارسنگ (m)

D: قطر چال (cm)

PD: فشار انفجار ماده منفجره ( $\text{kg/cm}^2$ )

RT': مقاومت کششی دینامیکی ( $\text{kg/cm}^2$ )

n: ثابت مربوط به مشخصات سنگ و ماده منفجره که از رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$n = \frac{\log \frac{PD}{RT'}}{\log \frac{D_o}{d/2}}$$

d: قطر خرج

$D_o$ : عمق بهینه مرکز ثقل خرج (cm) که با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$D_g = \Delta \sum V_e^{1/3}$$

$\Delta$ : نسبت عمق‌های  $D_g/D_c$

$D_c$ : عمق بحرانی مرکز ثقل خرج

$\sum$ : ثابت حجمی خرج

$V_e$ : حجم خرج استفاده شده

۵- آلسمن<sup>۵</sup> (۱۹۶۰)

$$B_{\max} = \sqrt{\frac{\text{impulse} \times g}{\pi \times \rho_r \times u}} = \sqrt{\frac{PD \times D \times \Delta t \times g}{\rho_r \times u}}$$

$B_{\max}$ : حداکثر بارسنگ (m)

PD: متوسط فشار انفجار ( $\text{N/m}^2$ )

$\Delta t$ : مدت زمان متوسط انفجار (s)

$\rho_r$ : وزن مخصوص سنگ ( $\text{N/m}^3$ )

$u$ : حداقل سرعتی که در سنگ‌ها ایجاد می‌شود (m/s)

D: قطر چال (m)

g: شتاب ثقل ( $9.8 \text{ m/s}^2$ )

۶- اش<sup>۶</sup> (۱۹۶۳)

$$B = \frac{K_B \times D}{12}$$

B: بارسنگ (ft)

D: قطر چال (in)

$K_B$ : بر حسب نوع سنگ و نوع ماده منفجره طبق جدول زیر بین ۱۴ تا ۴۹ تغییر می‌کند.

گروه سنگ			نوع ماده منفجره
سخت	متوسط	نرم	
۲۰	۲۵	۳۰	چگالی کم ( $0.8 - 0.9 \text{ g/cm}^3$ )، قدرت کم
۲۵	۳۰	۳۵	چگالی متوسط ( $1 - 1.2 \text{ g/cm}^3$ )، قدرت متوسط
۳۰	۳۵	۴۰	چگالی بالا ( $1.3 - 1.6 \text{ g/cm}^3$ )، قدرت بالا

۷- لانگفرس<sup>۷</sup> (۱۹۶۳)

$$B_{\max} = \frac{D}{33} \times \sqrt{\frac{\rho_e \times PRP}{\bar{c} \times f \times (S/B)}}$$

$B_{\max}$ : حداکثر بارسنگ (m)

D: قطر چال (mm)

$\bar{c}$ : ثابت سنگ

<sup>5</sup> Allsman

<sup>6</sup> Ash

<sup>7</sup> Langefors

برای بارسنگ‌های بین ۱/۴ تا ۱۰ متر  $\bar{c} = c + 0.05$

برای بارسنگ‌های کوچک‌تر از ۱/۴ متر  $\bar{c} = c + \frac{0.07}{B}$

ثابت  $c$  مقدار ماده منفجره لازم جهت خردکردن یک متر مکعب سنگ است و معمولاً در آتشکاری‌های سطحی به شرح زیر می باشد:

در سنگ‌های سخت  $c=0/4$

در سنگ‌های خیلی درزه‌دار  $c=0/6$

برای سنگ‌های درزه‌دار  $c=0/55$

برای سنگ‌های معمولی با ترک‌های مویی  $c=0/5$

$f$ : درجه ثبوت (برای چال‌های قائم برابر ۱، برای چال‌های با شیب ۷۲ درجه برابر ۰/۹ و برای چال‌های با شیب ۶۳ درجه برابر ۰/۸۵)

$S/B$ : نسبت فاصله جناحی به بارسنگ برای شبکه‌های مربعی برابر ۱ و در شبکه‌های مثلثی برابر با ۱/۲۵ است.

$\rho_e$ : چگالی خرج ( $\text{g/cm}^2$ )

PRP: قدرت وزنی نسبی ماده منفجره، از ۱ تا ۱/۴.

## ۸- هنسین<sup>۸</sup> (۱۹۶۷)

هنسن با اصلاح معادله ارائه شده توسط لانگفرس و کیهلسترم معادله زیر را ارائه کرده است:

$$Q_b = 0.028 \left( \frac{H}{B} + 1.5 \right) \times B^2 + 0.4 \times F_r \left( \frac{H}{B} + 1.5 \right) \times B^3$$

$Q_b$ : خرج کلی هر چال (kg)

$B$ : بارسنگ (m)

$H$ : ارتفاع پله (m)

$F_r$ : فاکتورسنگ که از جدول روبرو بدست می‌آید.

$F_r$	کلاس سنگ
۰/۲۴	یک (آتشکاری آسان)
۰/۳۶	دو
۰/۴۷	سه
۰/۵۹	چهار (آتشکاری دشوار)

۹- یوکار<sup>۹</sup> (۱۹۷۲)

$$1.5 \times B^2 H + 2B \times q_1 - 3H \times q_1 = 0$$

B: بارسنگ (m)

H: ارتفاع پله (m)

$q_1$ : تمرکز خرج (kg/m)

مقدار B از حل معادله درجه دو ارائه شده بدست می‌آید. در ارائه این معادله اوکار از فرضیات زیر استفاده کرده است:

- خرج ویژه (کیلوگرم بر مترمکعب): برابر با ۰/۴

- خرج کلی هر چال (کیلوگرم):  $Q_b = 0.4 \times B \times S \times H$

- تمرکز خرج قائم (متر / کیلوگرم):  $q_1 = \rho_e \times (D/36)^2$

- طول خرج (متر):  $l = H - B + B/3$

$\rho_e$ : چگالی خرج (g/cm<sup>2</sup>)

D: قطر چال (mm)

- شبکه آتشکاری مربعی (B=S) است.

۱۰- کونیا<sup>۱۰</sup> (۱۹۷۲)

$$B = 3.15 \times D \times \left[ \frac{\rho_e}{\rho_r} \right]^{0.33}$$

B: بارسنگ (ft)

D: قطر چال (in)

$\rho_e$ : چگالی خرج

$\rho_r$ : وزن مخصوص سنگ

در این روش میزان فاصله جناحی چال‌ها به صورت زیر حاسبه می‌شوند:

- آتشکاری همزمان و در یک ردیف:

$$S = \frac{H + 2B}{8} \quad \text{اگر } H < 4B \text{ باشد آنگاه:}$$

<sup>9</sup> Ucar  
<sup>10</sup> Konya



اگر  $H > 4B$  باشد آنگاه:  $S = 2B$

- آتشکاری ترتیبی با یک ردیف:

اگر  $H < 4B$  باشد آنگاه:  $S = \frac{H+7B}{8}$

اگر  $H > 4B$  باشد آنگاه:  $S = 1.4B$

همچنین در این روش مقدار گل گذاری:

- در توده سنگ‌های فشرده برابر میزان بارسنگ ( $T = B$ )

- در توده سنگ‌های لایه‌ای ( $T = 0.7B$ )

۱۱- فولدزی<sup>۱۱</sup> (۱۹۸۰)

روش مجارستانی است که توسط فولدزی و همکارانش پیشنهاد گردیده است:

$$B = 0.88 \times D \times \sqrt{\frac{\rho_e}{m \times CE}}$$

B: بارسنگ (m)

D: قطر چال (mm)

$\rho_e$ : چگالی خرج ( $\text{kg/m}^3$ )

CE: خرج ویژه ( $\text{kg/m}^3$ )

$$m = 1 + \frac{0.693}{\ln(\rho_e \times VD^2) - \ln(RC) - 1.39}$$

VD: سرعت انفجار ماده منفجره (m/s)

RC: مقاومت فشاری سنگ (MPa)

در آتشکاری فوری  $2.2 < m < 2.8$  و در آتشکاری تأخیری  $1.1 < m < 1.4$  می‌باشد.

سایر پارامترها نیز عبارتند از:

$S = m \times B$  فاصله ردیفی:

$B_f = 1.2 \times B$  فاصله میان ردیف‌های انفجار:

$J = 0.3 \times B$  اضافه حفاری:

گل گذاری:  $T = 1.265 \times \frac{B \times VD}{VC} \times \sqrt{\frac{\rho_e}{\rho_s}}$  ( $\rho_s$  چگالی ماده گل گذاری شده است)

<sup>11</sup> Foldesi

۱۲- پرایلت<sup>۱۲</sup> (۱۹۸۰)

$$B^3 + \frac{B^2 \times (H \times K)}{D} - \left[ \frac{2.4 \times \rho_e \times \left[ \frac{VD}{4000} \right]^2 \times (H + J - T) \times D^2}{10 \times RC} \right] = 0$$

B: بارسنگ (m)

D: قطر چال (mm)

H: ارتفاع پله (m)

K: ثابتی که برای شاول کابلی ۱۲/۵ و برای دراقلاين ۵۱ در نظر گرفته می‌شود.

$\rho_e$ : چگالی خرج (kg/m<sup>3</sup>)

VD: سرعت انفجار ماده منفجره (m/s)

J: اضافه حفاری (m)

RC: مقاومت فشاری سنگ (MPa)

مقدار B را مستقیماً نمی‌توان از حل معادله فوق بدست آورد لذا برای به دست آوردن آن توسط یک کامپیوتر کوچک تنها می‌توان تقریب زد.

۱۳- لوپز جمینیو<sup>۱۳</sup> (۱۹۸۰)

وی معادله "اش" را با ترکیب سرعت موج در سنگ تصحیح نموده و به صورت زیر در آورد:

$$B = 0.76 \times D \times F$$

B: بارسنگ (m)

D: قطر چال (in)

F: ضریب تصحیحی است که به نوع سنگ و نوع ماده منفجره بستگی دارد.

$$F = f_r \times f_e$$

$$f_r = \left[ \frac{2.7 \times 3500}{\rho_r \times VC} \right]^{0.33}$$

$$f_e = \left[ \frac{\rho_e \times VD}{1.3 \times 3660^2} \right]^{0.33}$$

$\rho_r$ : وزن مخصوص سنگ (g/cm<sup>3</sup>)

<sup>12</sup> Praillet

<sup>13</sup> Lopez Jimeno

VC: سرعت موج در سنگ (m/s)

$\rho_e$ : وزن مخصوص ماده منفجره (g/cm<sup>3</sup>)

VD: سرعت انفجار ماده منفجره (m/s)

فرمول فوق تنها برای آتشکاری‌های با قطر ۱۶۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر اعتبار دارد. برای چالهای قطورتر بار سنگ با اعمال ضریب ۰/۹ کاهش داده می‌شود.

۱۴- کونیا<sup>۱۴</sup> (۱۹۸۳)

$$B = \left[ \frac{2\rho_e}{\rho_r} + 1.5 \right] \times d$$

B: بارسنگ (ft)

$\rho_e$ : وزن مخصوص ماده منفجره (g/cm<sup>3</sup>)

$\rho_r$ : وزن مخصوص سنگ (g/cm<sup>3</sup>)

d: قطر چال (in)

سایر پارامترهای طراحی بر حسب بارسنگ به شرح زیر تعیین می‌شوند:

- فاصله ردیفی چال‌ها (ft)

- آتشکاری همزمان و با یک ردیف چال:

$$S = \frac{H + 2B}{3} \quad \text{اگر } H < 4B \text{ باشد آنگاه:}$$

$$S = 2B \quad \text{اگر } H \geq 4B \text{ باشد آنگاه:}$$

- آتشکاری تأخیری با یک ردیف چال:

$$S = \frac{H + 7B}{8} \quad \text{اگر } H < 4B \text{ باشد آنگاه:}$$

$$S = 1.4B \quad \text{اگر } H \geq 4B \text{ باشد آنگاه:}$$

$$T = 0.7B \quad \text{- گل‌گذاری (ft)}$$

$$J = 0.3 \times B \quad \text{- اضافه حفاری (ft)}$$

۱۵- برتا<sup>۱۵</sup> (۱۹۸۵)

$$B = d \times \sqrt{\frac{\pi \times \rho_e}{4 \times CE}}$$

که در آن:

B: بارسنگ (m)

d: قطر خرج (m)

CE: خرج ویژه (kg/m<sup>3</sup>)

برای تعیین CE از فرمول زیر استفاده می‌شود:

$$CE = \frac{g_f \times \varepsilon_s}{n_1 \times n_2 \times n_3 \times \varepsilon}$$

$g_f$ : سطوح جدید ایجاد شده بوسیله شکسته شدن در واحد حجم (m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>). معمولاً  $64/M$

است.  $M$  اندازه بزرگترین تکه سنگ حاصل از انفجار است.

$\varepsilon_s$ : انرژی سطح ویژه (MJ/m<sup>2</sup>)

$\varepsilon$ : انرژی برواحد جرم (MJ/kg)

$n_1$ : فاکتور امیدانس

$n_2$ : فاکتور جفت‌شدگی

$n_3$ : فاکتور شکست (معمولاً ۰/۱۵)

$$n_1 = \frac{(\rho_e \times VD - \rho_r \times VC)^2}{(\rho_e \times VD + \rho_r \times VC)^2}$$

$$n_2 = \frac{1}{e^{D/d} - (e - 1)}$$

VD: سرعت انفجار ماده منفجره (m/s)

VC: سرعت موج در سنگ (m/s)

D: قطر چال (m)

d: قطر خرج (m)

در خرج‌های فله‌ای مثل آنفو  $D = d$  است.

۱۶- بروسی کار<sup>۱۶</sup> (۱۹۸۵)

روش کار شامل محاسبات زیر است:

الف) امیدانس سنگ:

$$Z_r = 1.31 \times \rho_r \times \frac{vc}{1000}$$

که در آن  $\rho_r$ : وزن مخصوص سنگ و  $VC$ : سرعت موج در سنگ (ft/s) است.

ب) خرج ویژه:

$$CEC = \frac{Z_r}{PD}$$

و

$$PD = \frac{0.418 \times \rho_e \times \left[ \frac{VD}{1000} \right]^2}{0.8 \times \rho_e + 1}$$

ج) فاصله ردیفی چال‌ها:

$$S = 3 \times \sqrt{\frac{\rho_e \times d^2}{CEC}}$$

d: قطر خرج (in) است.

سایر محاسبات به شرح زیر می‌باشد:

$$B = S \times 0.833 \quad \text{- بار سنگ}$$

$$T = B \quad \text{- گل‌گذاری}$$

$$J = (0.3 - 0.5) \times S \quad \text{- اضافه حفاری}$$

۱۷- اولافسون<sup>۱۷</sup> (۱۹۹۰)

وی فرمول ساده شده خود را براساس فرمول لانگفرس به صورت زیر ارائه نمود:

$$B_{\max} = K \times \sqrt{q_f} \times R_1 \times R_2 \times R_3$$

که در آن:

$K$ : ثابتی است که به نوع ماده منفجره بستگی دارد. برای مواد ژلاتینی ۱/۴۷ و برای امولسیون‌ها ۱/۴۵ و

برای آنفو ۱/۳۶ است.

$q_f$ : تمرکز خرج ته چال (kg/m)

$R_1$ : فاکتور تصحیح شیب‌دار بودن

<sup>16</sup> Bruse Carr

<sup>17</sup> Olofsson

$R_2$ : فاکتور تصحیح نوع سنگ

$R_3$ : فاکتور تصحیح ارتفاع پله

مقدار  $R_1$  و  $R_2$  را می‌توان از جدول زیر بدست آورد.

شیب	∞:۱	۱۰:۱	۵:۱	۳:۱	۲:۱	۱:۱
$R_1$	۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۹۸	۱	۱/۰۳	۱/۱

ثابت سنگ "C"	۰/۳	۰/۴	۰/۵
$R_2$	۱/۱۵	۱	۰/۹

هرگاه ارتفاع پله در شرط  $H < 2B_{\max}$  صدق کند و قطر حفاری کمتر از ۱۰۳ میلی‌متر باشد مقدار  $R_3$  از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$R_3 = 1.16 - \left[ 0.16 \frac{H_2}{H_1} \right]^2$$

$H_1$ : ارتفاع پله واقعی

$H_2$ : ارتفاع پله که برابر  $2B_{\max}$  فرض می‌شود و  $H_2 > H_1$  است.

برای محاسبه بارسنگ واقعی از همان فرمول‌های لانگفرس استفاده می‌شود.

۱۸- روستن<sup>۱۸</sup> (۱۹۹۰)

وی رابطه محاسبه بارسنگ در معادن روباز به صورت زیر است:

$$B = 18.1 \times D^{0.689}$$

D: قطر چال است (از ۸۹ تا ۳۱۱ میلی‌متر)

مقدار حداقل  $B$ ، ۳۷٪- و مقدار حداکثر مورد انتظار آن ۵۲٪+ است.

این فرمول از رگرسیون داده‌های مربوط به ۷۳ آزمایش و با ضریب همبستگی ۰/۷۳ بدست آمده است.

**ج) محاسبه بارسنگ با استفاده از فرمول‌های انتقال انرژی**

نسبت بار سنگ به قطر چال  $\left( \frac{B}{\phi_c} \right)$  با داشتن خرج ویژه از طریق فرمول انتقال انرژی به صورت زیر تعیین می‌شود.

$$\frac{B}{\phi_c} = \sqrt{\frac{\pi w_e}{4q}} \quad (10-1)$$

که در آن:  $B =$  بار سنگ به  $m$ ،  $\phi_c =$  قطر خرج به  $m$  ( برای خرج فله ای  $\phi_c$  برابر قطر چال ( $\phi_h$ ) است و  $V_e =$  وزن مخصوص ماده منفجره به  $\frac{Kg}{m^3}$  می باشد.

در کلیه فرمول‌ها و روش‌های فوق برای مثال، در فرمول‌های آندرسن، کونیا و آش طریقی برای بهینه‌سازی دیده نمی‌شود. در فرمول لانگفرس که کامل‌تر و پیچیده‌تر می‌باشد، برای استفاده یک نوع ماده منفجره خاص، خرج ویژه نیز لازم است. اگر خرج ویژه تعیین گردد، مشکل حل شده است و دیگر نیازی به فرمول نمی‌باشد. ورای مسئله بهینه‌سازی، چنانچه خرج ویژه در یک معدن کمتر از مقدار مورد نیاز آن برآورد شود و یا نسبت  $\frac{B}{\phi_h}$  از حد خاص آن بیشتر شود، ممکن است سنگ‌ها از جا کنده نشوند و یا بلوک‌های بزرگ حاصل شوند. این امر باعث خسارت جبران ناپذیری خواهد شد. هر معدنی خود آزمایشگاهی برای رسیدن به چالزنی و آتشیاری بهینه می‌تواند باشد. به این علت مهندسان آتشیکار مجرب کمتر از چنین فرمول‌هایی استفاده می‌کنند.

### ۵-۱-۲- روش‌های برآورد خرج ویژه

خرج ویژه، مصرف ماده منفجره برای واحد حجم یا وزن سنگ را در یک عملیات آتشیاری نشان می‌دهد و مقدار آن ممکن است با ضریب ثابت سنگ‌ها مساوی باشد. واحدهای خرج ویژه به قرار زیرند (استوار، ۱۳۸۳): گرم خرج بر متر مکعب سنگ، پوند بر یارد مکعب، گرم خرج بر تن سنگ و پوند بر تن. در رابطه با خرج ویژه نکات زیر بایستی مورد توجه قرار گیرد:

- مقدار خرج ویژه تابع نوع ماده منفجره، وزن مخصوص سنگ و شرایط زمین شناسی منطقه است. معمولاً هرچه ماده منفجره قوی‌تر باشد خرج ویژه کمتر می‌شود.
- هرچه وزن مخصوص سنگ بیشتر باشد خرج ویژه بیشتر است.
- تا حدودی خرج ویژه در چال‌های قطور کمتر از چال‌های کم قطر است.
- هرچه تعداد سطح آزاد بیشتر باشد خرج ویژه کمتر است.
- اگر تعداد درزه و شکاف در سنگ‌های توده‌ای کم باشد به نحوی که سنگ در مقابل شکسته شدن مقاوم باشد، خرج ویژه زیاد می‌شود.
- اگر تعداد درزه و شکاف به صورتی باشد که موجب سست شدن سنگ در مقابل ضربات حاصل از انفجار باشند خرج ویژه کم می‌شود.

- چنانچه وضعیت درزه و شکاف به صورتی باشند که موجب اتلاف گازهای حاصل از انفجار و افت آنها بشود خرج ویژه زیاد می‌شود. روش‌های مختلف تعیین خرج ویژه به شرح ذیل می‌باشد.

### الف) استفاده از جداول تجربی

در این روش با توجه به جداول تجربی که برای انواع سنگ‌ها ارائه شده است می‌توان به طور اولیه و بسیار کلی مقدار خرج ویژه را تخمین زد. مقدار خرج ویژه استفاده شده از طریق این جداول بسیار دور از واقعیت بوده حتی در مراحل اولیه آتشکاری می‌تواند باعث خسارت مالی شود. جدول ۱-۴ و جدول ۱-۵ به عنوان دو جدول مشهور در این زمینه میزان خرج ویژه را در سنگ‌های مختلف نشان می‌دهد.

جدول ۱-۴- راهنمای خرج ویژه برای انواع سنگ‌های دارای مقاومت مختلف (استوار، ۱۳۸۳)

مقاومت فشاری سنگ (MPa)	نوع سنگ	خرج ویژه (kg/m <sup>3</sup> )
سخت (>۲۰۰)	آندزیت دلوریت گرانیت سنگ آهن	۰/۷
متوسط (۱۰۰-۲۰۰)	دولومیت هورنفلس کوارتزیت سریانتینیت شیست	۰/۴۵
نرم (۵۰-۱۰۰)	ماسه سنگ آهک شیل	۰/۳
خیلی نرم (<۵۰)	زغال سنگ	۰/۱۵-۰/۲۵

جدول ۱-۵- خرج ویژه بعضی سنگ‌ها با مشخصات ذکر شده (استوار، ۱۳۸۳)

کیفیت سنگ	خرج ویژه (kg/m <sup>3</sup> )
کم مقاومت در برابر شکسته شدن	۰/۲۵-۰/۱۵
سنگ با مقاومت متوسط در برابر شکسته شدن	۰/۴۵-۰/۲۵
سنگ با مقاومت زیاد در برابر شکسته شدن	۰/۷۵-۰/۴۵
سنگ با مقاومت خیلی زیاد در برابر شکسته شدن	۱/۵-۰/۷۵
سنگ خیلی ترک خورده	۰/۶
سنگ ترک دار	۰/۵۵
سنگ معمولی با ترک‌های موئی	۰/۵
سنگ نسبتاً همگن	۰/۴۵
سنگ همگن	۰/۴



## ب) برآورد خرج ویژه از طریق فرمول‌های انتقال انرژی

فرمول‌های مربوط به انتقال انرژی در بخش‌های قبل توضیح داده شد. با استفاده از روابط مذکور می‌توان خرج ویژه را با استفاده از رابطه زیر محاسبه نمود.

$$q = \frac{SE_s}{\eta_1 \eta_2 \eta_3 E_e}$$

که در آن:  $\eta_1$  = ضریب امیدانس،  $\eta_2$  = ضریب جفت شدگی،  $\eta_3$  = ضریب مربوط به خردایش سنگ،  $E_e$  = انرژی ویژه ماده منفجره و  $E_s$  = انرژی سطحی مخصوص به  $\frac{MJ}{m^2}$  می‌باشند.

این خرج ویژه نیز عموماً تنها به عنوان یک تخمین مطرح بوده و پایه محکمی برای اجرای طرح آتشکاری به حساب نمی‌آید.

پارامترهای مربوط به سنگ را می‌توان در آزمایشگاه تعیین نمود و برای تعیین مشخصات ماده منفجره مثل چگالی ( $\gamma_e$ )، امیدانس ( $I_e$ ) و انرژی مخصوص ( $E_e$ ) برخی از مواد منفجره صنعتی می‌توان از جدول (۱-۶) نشان داده شده است.

جدول ۱-۶- مشخصات برخی از مواد منفجره پرمصرف (استوار، ۱۳۸۳)

انرژی مخصوص ( $E_e$ ) Mj/kg	امیدانس ( $I_e$ ) $10^6 \text{kg/m}^2 \text{sec}$		چگالی ( $\text{kg/m}^3$ )	نام مواد منفجره
	با استفاده از فتیله انفجاری	بدون استفاده از فتیله انفجاری		
۴/۵۲	۷/۶	۹/۵۰	۱۴۵۰	ژلاتین ۱
۴/۴۴	۶/۹۳	۸/۶۶	۱۴۲۰	ژلاتین ۲
۳/۶۶	۱/۴۷	۱/۸۴	۸۰۰	آنفو

## ۵-۲- روشهای مبتنی بر مشخصات توده سنگ برای تعیین بار سنگ و خرج ویژه

چنانچه شرح داده شد یک خانواده مهم از روش‌های تعیین بارسنگ و خرج ویژه استفاده از روش‌های مبتنی

بر توده سنگ است. در این روش‌ها هدف اصلی و عمده تعیین رابطه  $\frac{B}{\varphi_C}$  می‌باشد. در این حالت با در دست

بودن قطر حفاری به راحتی می‌توان بار سنگ را تعیین نموده و سایر پارامترها را به سادگی تعیین کرد.

تاکنون دو روش مبتنی بر توده سنگ جهت برآورد بارسنگ و خرج ویژه ارائه شده است که این دو روش در

ادامه به تفصیل توضیح داده می‌شوند.

## ۵-۲-۱- روش شاخص قابلیت انفجار (BI):

لیلی (Lily, 1986) برای اولین بار اندیس قابلیت انفجار را بر اساس مشخصات توده سنگ برجا و به منظور پیش‌بینی خرج ویژه معادن روباز به طور جدی مطرح نمود. در این شاخص پارامترهایی از جمله شرح توده سنگ (RMD)<sup>۱۹</sup>، فاصله داری درزه ها (JPS)<sup>۲۰</sup>، جهت یافتگی درزه ها (JPO)<sup>۲۱</sup>، تأثیر وزن مخصوص (SGI) و سختی (H)<sup>۲۲</sup> سنگ مورد توجه و امتیازدهی قرار گرفته است. در مجموع نحوه محاسبه اندیس قابلیت انفجار به شرح رابطه (۱۱-۱) می باشد.

$$BI = 0.5(RMD + JPS + JPO + SGI + H) \quad (11-1)$$

جهت امتیازدهی به پارامترهای فوق از جدول ۱-۷ استفاده می گردد. حداکثر مقدار اندیس قابلیت انفجار ۱۰۰ می باشد و هر چه اندیس قابلیت انفجار بیشتر باشد بر دشواری انفجار افزوده می گردد. مهمترین کاربرد این شاخص علاوه بر استفاده در مدل‌های خردایش ریاضی پیش‌بینی و محاسبه میزان خرج ویژه می باشد. لیلی رابطه زیر را برای محاسبه خرج ویژه (kg/ton) پیشنهاد کرده است.

$$q = 0.004 BI \quad (12-1)$$

با در دست بودن میزان خرج ویژه می توان با استفاده تئوری انتقال انرژی و فرمول زیر میزان  $\frac{B}{\phi_c}$  را محاسبه نمود.

$$\frac{B}{\phi_c} = \sqrt{\frac{\pi w_e}{4q}}$$

خرج ویژه حاصل از طریق شاخص قابلیت انفجار کمتر از خرج ویژه بهینه می باشد و نسبت  $\frac{B}{\phi_c}$  حاصل از

این طریق بیشتر از نسبت  $\frac{B}{\phi_c}$  بهینه می باشد (مومیوند، ۱۳۸۴).

## ۵-۲-۲- روش شاخص خردایش سنگ (RFI)

در سال ۱۳۸۴ مومیوند طی یک تحقیق بسیار جامع و کامل پیرامون شرایط فنی و اقتصادی آتشکاری، یک شاخص جدید برای کاربردهای آتشکاری از جمله تعیین میزان بار سنگ و خرج ویژه ارائه نمود. این شاخص

<sup>19</sup> Rock Mass Discription

<sup>20</sup> Joint Plane Spacing

<sup>21</sup> Joint Plane Orientation

<sup>22</sup> Hardness

جدول ۱-۷- شرح پارامترها و نحوه امتیاز دهی به آن‌ها جهت تعیین اندیس قابلیت انفجار (BI)

پارامترها	امتیاز
<b>شرح توده سنگ (RMD)</b>	
پودری (خردشده)	۱۰
بلوکی	۲۰
کاملاً یک پارچه	۵۰
<b>فاصله داری درزه ها (JPS)</b>	
نزدیک (متر، <۰٫۱)	۱۰
متوسط (متر ۱-۰٫۱)	۲۰
عریض (متر >۱)	۵۰
<b>جهت یافتگی درزه ها (JPO)</b>	
افقی	۱۰
شیب به طرف بیرون سینه کار	۲۰
امتداد عمود بر سینه کار	۳۰
شیب به طرف داخل سینه کار	۴۰
<b>تأثیر وزن مخصوص (SGI) - <math>SGI=25G^*-50</math></b> <b><math>G^*</math> وزن مخصوص سنگ می باشد</b>	
	۱۰-۵۰
<b>سختی (H)</b>	
	۱-۱۰

جدید در حقیقت اصلاح شده و تکمیل شده شاخص BI می‌باشد. در شاخص RFI پارامتر دهانه و پرکننده درزه‌ها هم به شاخص افزوده شده است که این امر دقت و نتایج عملکرد این شاخص را به شدت بالا می‌برد. روش امتیازدهی به پارامترها و نحوه محاسبه RFI در جدول ۱-۸ آورده شده است. حداقل میزان RFI، ۱۶ و حداکثر مقدار آن ۴۲ می‌باشد.

در مجموع نحوه محاسبه اندیس قابلیت خردایش به شرح رابطه (۱-۱۲) می‌باشد.

$$RFI = DPA + DPS + DPO + RMD + UCS \quad (1-12)$$

در این روش، با توجه به انجام مطالعات اقتصادی در هشت معدن آهک و گچ آذربایجان غربی میزان خرج ویژه بهینه واقعی معین گردیده است. پس بر مبنای کارهای ریاضی و تجربیات صحرایی رابطه بین RFI و بارسنگ به شکل زیر پیشنهاد شده است.

$$RFI = \frac{B}{\varphi_C} \quad (1-13)$$

چنانچه مشاهده می‌شود با دانستن قطر چال، بارسنگ به راحتی توسط رابطه بالا محاسبه می‌شود و از طریق فرمول‌های انتقال انرژی به راحتی می‌توان میزان خرج ویژه را نیز تعیین نمود.

جدول ۱-۸- شرح پارامترها و نحوه امتیازدهی به آن‌ها جهت تعیین شاخص خردایش سنگ (RFI)

پارامترها	عدد معرف
<b>۱-جدایش درزه‌ها (میلی‌متر)</b>	<b>DPA<sup>23</sup></b>
خیلی کم (بسته)، $1 >$	۸
کم، ۱-۵	۷
متوسط و پرشده، ۵-۵۰	۶
متوسط و بدون پرشدگی، ۵-۵۰	۵
زیاد و پرشده، $50 <$	۴
زیاد و بدون پرشدگی، $50 <$	۳
<b>۲- فاصله درزه‌ها (متر)</b>	<b>DPS<sup>24</sup></b>
نزدیک $0.1 <$	۱۲
متوسط ۰/۱-۱	۷
عریض $1 >$	۴
<b>جهت یافتگی درزه‌ها</b>	<b>DPO<sup>25</sup></b>
افقی	۶
شیب به طرف بیرون سینه کار	۵
امتداد عمود بر سینه کار	۴
شیب به طرف داخل سینه کار	۳
<b>شرح توده سنگ</b>	<b>RMD<sup>26</sup></b>
پودری (خردشده)	۱۰
بلوکی	۶
کاملاً یک پارچه	۴
<b>مقاومت فشاری تک‌محوری (MPa)</b>	<b>UCS</b>
مقاومت خیلی کم، $25 >$	۶
مقاومت کم، ۲۵-۵۰	۵
مقاومت متوسط، ۵۰-۱۰۰	۴
مقاومت زیاد، ۱۰۰-۲۰۰	۳
مقاومت خیلی زیاد، $200 >$	۲

چنانچه در این فصل شرح داده شد روش‌های مختلف با توانایی‌ها و قابلیت‌های متنوع برای طراحی آتشفکاری در معادن روباز ارائه گردیده است. انتخاب و استفاده از هر یک از این روش‌ها منوط به مطالعات جامع در

<sup>23</sup> Discontinuity Plane Aperture

<sup>24</sup> Discontinuity Plane Spacing

<sup>25</sup> Discontinuity Plane Orientation

<sup>26</sup> Rock Mass Description

هر معدن و سایت می‌باشد. در فصل آینده با انجام مطالعه موردی قابلیت‌ها و مزایا و معایب کلیه روش‌های مذکور مورد ارزیابی و مقایسه قرار خواهند گرفت.

## فصل دوم

مطالعات صحرایی برای ارزیابی و مقایسه

روش‌های مختلف طراحی آتشکاری

## ۱- مقدمه

چنانچه روش‌های متعددی برای تعیین بارسنگ و در نتیجه خرج ویژه وجود دارد. انتخاب هر یک از روش‌های فوق و اعتماد به سطح کارایی و خروجی آن‌ها همواره یکی از دغدغه‌های طراحان آشکاری و نیز مدیران معادن می‌باشد. حساسیت این موضوع زمانی آشکارتر می‌شود که اختلاف بین نتایج روش‌های مختلف طراحی زیاد بوده و همخوانی مناسبی با هم نداشته باشند.

تاکنون در کشورمان مطالعه جامعی در هیچ یک از معادن بزرگ و با تولید بالا در مورد اعتبارسنجی و ارزیابی کارایی تمامی این روش‌ها انجام نگرفته و هیچ سابقه عملی در این مورد وجود ندارد. با این حال در طی ارائه روش RFI توسط مومیوند در سال ۱۳۸۴، تعداد هشت معدن کوچک و متوسط سنگ گچ و سنگ آهک در استان آذربایجان غربی به محور بسیار عالی مورد مطالعه فنی، طراحی و اقتصادی انجام گرفته‌اند. مومیوند طی چند سال مطالعه در این معادن با توجه به مطالعات اقتصادی که انجام داد رابطه بین RFI و خرج ویژه بهینه را ارائه نمود. مومیوند در این تحقیق تأکید کرده است که خرج ویژه بهینه خرجی است که کمترین هزینه تولید را داشته باشد.

در این تحقیق با مبنا قرار دادن خرج ویژه حاصل از روش RFI به عنوان ملاک سنجش سایر روش‌ها سعی گردیده تا میزان اختلاف سایر روش‌های سنتی و نیز روش BI با حالت بهینه مشخص شود. از آنجائی که هر تحقیق آشکاری مسلماً باید در یک معدن و با اطلاعات واقعی انجام گیرد لذا اولین مرحله این تحقیق انتخاب معدن مناسب برای انجام مطالعات بوده است.

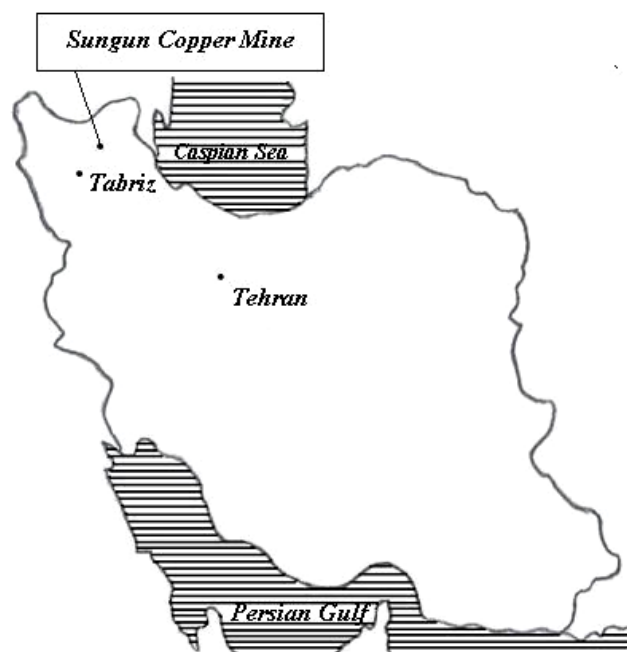
با توجه به آشنایی مجریان طرح از معادن بزرگ کشور ابتدا پنج معدن به صورت انتخاب اولیه برای این تحقیق به شرح زیر انتخاب گردیدند:

- ۱) معدن مس سرچشمه
- ۲) معدن سنگ آهن چغارت
- ۳) معدن سنگ آهن چادرملو
- ۴) معدن مس سونگون ورزقان
- ۵) معدن سنگ آهن گل‌گهر سیرجان

در ادامه با توجه به شرایط ژئومکانیکی توده سنگ‌های موجود در معادن فوق همچنین تنوع سنگ‌ها و ساختارهای زمین‌شناسی، معدن مس سونگون به عنوان بهترین معدن برای مطالعات صحرایی انتخاب گردید. شایان ذکر است دسترسی به آزمایشگاه و نیز شرایط آب و هوایی مناسب نیز در انتخاب معدن سونگون مد نظر قرار گرفتند.

## ۲- معدن مس سونگون

معدن مس سونگون اهر در ۱۲۵ کیلومتری شمال شرق تبریز و ۴۵ کیلومتری شمال شهرستان ورزقان در منطقه‌ای کوهستانی و در موقعیت جغرافیایی ۴۶ درجه و ۴۳ دقیقه طول و ۳۸ درجه و ۴۳ دقیقه عرض واقع شده است. ارتفاع متوسط منطقه از سطح دریا ۲۰۰۰ متر و حداکثر ارتفاع در منطقه حدود ۲۳۰۰ متر از سطح دریا و پست‌ترین نقطه نیز در حدود ۱۵۰۰ متری از سطح دریا می‌باشد (شکل ۱-۲).



شکل ۱-۲- موقعیت معدن مس سونگون در جغرافیای ایران

این منطقه بخشی از حوضه رود ارس می‌باشد و از آب و هوایی سرد و مرطوب تا معتدل برخوردار است. میزان بارندگی سالانه زیاد و تا حدود ۴۵۰ میلی‌متر می‌باشد. اختلاف درجه حرارت در تابستان و زمستان به حدود ۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. محدوده کانسار دارای توپوگرافی سخت و کوهستانی می‌باشد و در منطقه شیب‌های بسیار تند کاملاً مشهود می‌باشند. اکثر این ارتفاعات و شیب‌ها پوشیده از جنگل است. ارتفاعات این منطقه بخشی از رشته کوه قره‌داغ محسوب می‌شود.



## ۲-۱- کانی‌سازی در سونگون

کانسار مس سونگون بر روی کمربندی از سنگ‌های نفوذی نیمه‌عمیق با سن الیگومیوسن، که با روند شمال غربی- جنوب شرقی در کل ایران گسترش یافته‌اند، جای دارد. شواهد پترولوژیکی، ژئوشیمیایی، پاراژنتیکی و... در ابعاد سطحی و نیمه عمیق بیانگر وجود دو نوع کانی‌سازی عمده در منطقه است. نوع اول کانی‌سازی از نوع پرفیری در داخل توده است و نوع دوم کانی‌سازی از نوع اسکارن است که در حقیقت عامل بروز این نوع کانی‌سازی همان توده اصلی و دایک‌های ثانوی آن و وجود یک طبقه کربناتی بسیار مناسب برای ذخیره سازی کانی‌ها بوده است.

کانی‌سازی از نوع پرفیری بطور عمده در ارتباط با توده ساب ولکانیک سونگون و دایک‌های ثانوی آن بوده و از گسترش نسبتاً وسیعی نیز برخوردار است به نحوی که در مجموع سه ناحیه دگرسان شده را در اطراف آتشفشان‌های منطقه (سونگون، چال داغی و بزرگ داغی) تشکیل می‌دهد که از میان این موارد منطقه سونگون دارای ارزش مطالعاتی بوده است و در دو منطقه دیگر مقدار مس محتوی کم می‌باشد.

معدن مس سونگون دارای ذخیره قطعی بیش از ۷۷۰ میلیون تن و ذخیره احتمالی بیش از ۱ میلیارد تن می‌باشد (طالبی و همکاران، ۱۳۸۱). همراه با کانی مس کانی‌های با ارزش دیگری مانند طلا، نقره و مولیبدن وجود دارد. ذخیره معدن در دامنه یک کوه با شیب نسبتاً زیاد قرار دارد و همانند اکثر کانسارهای پرفیری مس، زون‌های فروشسته، سوپژن و هیپوژن در آن قابل مشاهده می‌باشد.

سنگ‌های موجود در منطقه اغلب سنگ‌های رسوبی و آهکی و رسوبات آتشفشانی می‌باشد که در برخی مواقع سنگ‌های آتشفشانی و دگرگونی نیز قابل مشاهده است.

## ۲-۲- زون‌های سنگی موجود در معدن

### ۲-۲-۱- زون مونزونیت پرفیری

مونزونیت پرفیری با سن الیگومیوسن از اصلی‌ترین سنگ‌های موجود در منطقه سونگون می‌باشد و در منطقه نیز به نام SP معروف است. این زون در معدن به رنگ‌های سفید تا خاکستری و گاه کرمی و لیمویی نیز مشاهده می‌شود. در رخنمون‌های متعدد موجود، این واحد چهره‌های متفاوتی (شامل ترم‌های گرانومونزونیت تا مونزودیوریت) از خود نشان می‌دهد. آلتراسیون شدید حاکم بر منطقه بر این تفاوت‌ها افزوده است و انتخاب نام محلی SP جهت پوشش دادن به این تفاوت‌ها بوده است.

براساس یافته‌های سطحی، می‌توان گفت این تیپ آلتراسیون در اثر مجاورت دایک‌های دیوریتی تشدید می‌گردد. رنگ روشن، فقدان بافت اولیه، کائولینیزه شدن، فنوکریستال‌های پلاژیوکلاز و وجود کانه فلزی از وجوه مشخصه این لیتولوژی به شمار می‌رود (طالبی و همکاران، ۱۳۸۱).

این زون بسیار خرد شده است و درزه و شکاف‌هایی متعدد و بسیاری در منطقه قابل شناسایی است، وجود این شکستگی‌ها باعث کاهش بسیار زیاد RQD در منطقه شده‌است. این شکستگی‌ها از روند خاصی پیروی نمی‌کنند و حالات مختلفی را شامل می‌شوند.

### ۲-۲-۲- زون گرانودیوریت دایک

غالباً خانواده دایک‌های دیوریتی، با رنگ قهوه‌ای روشن تا خاکستری تیره، بافت واضح پورفیری و فنوکریستال‌های پلاژیوکلاز عموماً سالم مشخص می‌شوند. براساس شواهد صحرایی (شامل شدت آلتراسیون، تقدم و تأخر فاز تزریق، وجود زینولیت‌ها و دلایل تکتونیک) و نیز پتروگرافی مودال و بررسی‌های پتروشیمیایی بر روی نمونه‌های اخذ شده از دایک‌های دیوریتی، این دایک‌ها به سه دسته تقسیم شده‌اند که از قدیم به جدید عبارتند از:

۱) دایک‌های دیوریتی نسل اول یا دایک‌های مونزودیوریتی (DK<sub>1A</sub>)

۲) دایک‌های دیوریتی نسل دوم یا دایک‌های دیوریتی (میکرودیوریت + دیوریت پورفیری) (DK<sub>1B</sub>)

۳) دایک‌های دیوریتی نسل سوم یا دایک‌های گرانودیوریتی (DK<sub>1C</sub>)

دایک‌های نوع سوم با رنگ خاکستری تیره مشخص می‌شوند. در نمونه‌های دستی، بافت پورفیری واضح داشته و میزان سیلیس به نحو قابل ملاحظه‌ای بیشتر از دایک‌های دیوریتی است. این دایک‌ها غیرآتره بوده و در مقطع سنگ پلاژیوکلازهای غیر آتره قابل رویت است. این نوع سنگ به سختی می‌شکند.

این زون نیز بسیار شکسته بوده و شکستگی‌های مختلفی در جهات افقی و عمودی قابل رویت است. با توجه به اینکه دایک‌های نوع یک و دو دارای حجم بالای در پیت معدن هستند در این تحقیق تنها مشخصات ژئومکانیکی این دو توده از دایک‌ها مورد ارزیابی و مطالعه قرار گرفته‌اند.

### ۲-۲-۳- زون تراکیتی

این زون در ناحیه ای باریکی در جنوب معدن قابل مشاهده است. در این زون همانند زون‌های دیگر تکتونیک شدیدی مشاهده می‌شود ولی وجه تمایز این زون با زون‌های دیگر سختی فوق العاده بالا و

بازشدگی (دهانه) بسیار زیاد است. با توجه به حجم کمتر اینزون نسبت به دو زون دیگر و نیز رو به اتمام بودن باطله برداری در این منطقه، در این تحقیق مطالعه‌ای در این بخش انجام نشده است.

## ۲-۲-۴- ماده معدنی

معدن مس به علت طبیعت پرفیری و توده‌ای خویش همچون سایر ذخایر مس پرفیری دارای تنوع عیاری می‌باشد. با این حال به صورت کلی در محدوده معدن دو نوع ماده معدنی کم عیار و پر عیار به صورت عرفی نامگذاری می‌شوند. از آنجاییکه در افق‌های محدودی از معدن ماده معدنی رخنمون دارد لذا دستیابی به اطلاعات کلی در مورد این توده‌ها همانند سایر توده‌ها میسر نمی‌باشد. با این حال در این تحقیق سعی شده است که از افق‌های آشکار، اطلاعات اولیه‌ای از ساختار ژئومکانیکی و قابلیت انفجار این توده‌ها جمع‌آوری و تحلیل شوند.

## ۳- انجام مطالعات صحرایی

با توجه به روابط ارائه شده برای برآورده بارسنگ و خرج ویژه در فصل اول، چنانچه به وضوح مشخص است تنها دو روش شاخص قابلیت انفجار (BI)، روش شاخص خردایش سنگ (RFI) نیاز به مطالعات صحرایی داشته و سایر روش‌ها بیشتر به صورت تجربی محاسبه می‌شوند. لذا فاز اصلی و بسیار زمان‌بر این تحقیق شامل مطالعات صحرایی و تعیین پارامترهای مورد استفاده در روش RFI و BI بوده است. چنانچه ذکر شد پارامترهای مورد استفاده در این روش‌ها شامل مشخصات توده سنگ (سیستم درزه‌ها) و نیز مشخصات ماده سنگ می‌باشد. لذا انجام مطالعات بر روی توده سنگ‌های معدن سونگون نیز شامل دو فاز اصلی مطالعات صحرایی و سرزمین و مطالعات آزمایشگاهی بوده است. در ادامه هر یک از این مراحل شرح داده می‌شوند.

### ۳-۱- مطالعات صحرایی برای تعیین مشخصات درزه‌داری توده سنگ‌ها

با توجه به مشخصات توده سنگ مورد استفاده در روش‌های RFI و BI، سه مشخصه اصلی سیستم درزه‌ها شامل فاصله‌داری، جهت یافتگی و نیز شرایط پرکننده درزه‌ها هدف مطالعات صحرایی قرار گرفت. چنانچه ذکر شد باطله‌های معدن مس سونگون که عمدتاً شامل سه نوع سنگ مهم (SP، DK<sub>1A</sub>، DK<sub>1B</sub>) می‌باشد و نیز ماده معدنی به صورت بسیار پیچیده‌ای از نظر ساختمانی و توجیه فضایی در کنار همدیگر و در ادغام و تماس با هم در معدن دیده می‌شوند. در این تحقیق سعی شده است تا تمامی این چهار نوع سنگ از نظر ژئومکانیکی مورد مطالعه دقیق قرار گیرد. برای این منظور هر نقطه از معدن که توده سنگ‌های تیپیک و

معرف مناسبی از هر نوع سنگ مشاهده گردید، به صورت سیستماتیک و منظم برداشت شده و اطلاعات سیستم درزه‌ها ثبت گردید. با توجه به ساختار کلی زمین‌شناسی معدن در مجموعه ۷۶ نقطه مناسب، از نظر توده سنگ مورد مطالعه قرار گرفتند. در کنار ثبت پارامترهای مربوط به سیستم درزه‌ها، وضعیت کلی و شرح هر توده سنگ نیز ثبت گردید. برای ثبت اطلاعات سرزمین به منظور سهولت ارزیابی و ترتیب‌بخشی و طبقه‌بندی اطلاعات فرم‌های خاصی طراحی و مورد استفاده قرار گرفتند. فرم برداشت مشخصات هر یک از ۷۶ برداشت انجام شده در ادامه آورده شده است. موقعیت نقاط مورد مطالعه ذکر شده روی نقشه معدن (پیوست) نشان داده شده است.

### ۲-۳- مطالعات آزمایشگاهی

مرحله دوم در مطالعات انجام شده در معدن تعیین دسته دوم پارامترهای مؤثر در طراحی آتشکاری شامل مشخصات ماده سنگ می‌باشد. برای این منظور از هر کدام از نقاط ۷۶ گانه مورد مطالعه در بخش قبل یک نمونه سنگی بزرگ و یک نمونه دستی جهت تعیین مقاومت فشاری تک محوری، چگالی و سختی جمع‌آوری شده و به آزمایشگاه ارسال گردید. هدف از تهیه نمونه از هر سایت، تعیین دقیق پارامترهای مهندسی سنگ و پرهیز از کلی‌گویی و قضاوت کلی بوده است. نتایج آزمایش‌های انجام گرفته و مشخصات ماده سنگها نیز در فرم مربوط به مشخصات هر سایت وارد شده است. در ادامه فصل نتایج کلی برداشتها تجربه و تحلیل شده و شرح داده خواهند شد.

### ۴- نگاهی آماری به اصلاحات جمع‌آوری شده

#### ۴-۱- ساختار کلی توده سنگ

با توجه به اطلاعات مندرج در فرم‌های برداشت، می‌توان هیستوگرام امتیازهای کسب شده توسط توده سنگ‌ها در نواحی مختلف معدن را به صورت شکل ۲-۲ و ۳-۲ رسم نمود. چنانچه از شکل‌های فوق بر می‌آید، در معدن مس سونگون بیش از ۴۰٪ توده سنگ‌ها حالت بلوکی داشته و سایر توده سنگ‌ها وضعیت بین بلوکی و پودری دارند. در موارد بسیار کمی حالت یکپارچه و ماسیو در معدن مشاهده شده است.

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفکاري					
شماره سايت: ۱		تراز: ۲۲۲۵/شمال		نوع سنگ: مونزونيت	
رنگ کلي: سفيد		پارامترهاي مربوط به انديس خردايش سنگ (RFI)			
پارامترهاي مربوط به انديس قابليت انفجار (BI)			پارامترهاي مربوط به انديس خردايش سنگ (RFI)		
نام پارامتر	توضيحات	امتيياز	نام پارامتر	توضيحات	امتيياز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوكي	۲۰	شرح توده سنگ (RMD)	بلوكي	۶
فاصله‌داري درزه‌ها (JPS)	۳۵ سانتی‌متر	۲۰	فاصله‌داري درزه‌ها (JPS)	۳۵ سانتی‌متر	۷
جهت‌يافتگي درزه‌ها (JPO)	شيب به طرف بيرون سينه كار- كمی عمود بر سينه كار	۲۲	جهت‌يافتگي درزه‌ها (JPO)	شيب به طرف بيرون سينه كار- كمی عمود بر سينه كار	۵
وزن مخصوص	۲/۷۱	-----	جدايش درزه‌ها (DPA)	خيلي كم (بسته)، < ۱	۸
تأثير وزن مخصوص (SGI)	۱۷/۷۵	-----	مقاومت فشاري تك محوري	۲۵-۵۰	۵
سختي	≈ ۴	-----			
انديس قابليت انفجار (BI)	۴۱/۸۷۵	-----	انديس خردايش سنگ (RFI)	۳۱	-----

گزارش برداشت پارامترهاي ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفکاري					
شماره سايت: ۲		تراز: ۲۲۲۵/شمال		نوع سنگ: مونزونيت	
رنگ کلي: سفيد		پارامترهاي مربوط به انديس قابليت انفجار (BI)			
پارامترهاي مربوط به انديس قابليت انفجار (BI)			پارامترهاي مربوط به انديس خردايش سنگ (RFI)		
نام پارامتر	توضيحات	امتيياز	نام پارامتر	توضيحات	امتيياز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوكي-توده‌اي	۲۰	شرح توده سنگ (RMD)	بلوكي-توده‌اي	۶
فاصله‌داري درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۱	۲۰	فاصله‌داري درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۱	۷
جهت‌يافتگي درزه‌ها (JPO)	شيب به طرف بيرون سينه كار- كمی عمود بر سينه كار	۲۵	جهت‌يافتگي درزه‌ها (JPO)	شيب به طرف بيرون سينه كار- كمی عمود بر سينه كار	۴/۵
وزن مخصوص	۲/۵۷	-----	جدايش درزه‌ها (DPA)	خيلي كم (بسته)، < ۱	۸
تأثير وزن مخصوص (SGI)	۱۴/۲۵	-----	مقاومت فشاري تك محوري	۲۵-۵۰	۵
سختي	≈ ۴	-----			
انديس قابليت انفجار (BI)	۴۲/۱۲۵	-----	انديس خردايش سنگ (RFI)	۳۰/۵	-----

گزارش برداشت پارامترهاي ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفکاري					
شماره سايت: ۳		تراز: ۲۲۲۵/شمال		نوع سنگ: مونزونيت	
رنگ کلي: سفيد		پارامترهاي مربوط به انديس قابليت انفجار (BI)			
پارامترهاي مربوط به انديس قابليت انفجار (BI)			پارامترهاي مربوط به انديس خردايش سنگ (RFI)		
نام پارامتر	توضيحات	امتيياز	نام پارامتر	توضيحات	امتيياز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوكي+توده‌اي	۳۵	شرح توده سنگ (RMD)	بلوكي+توده‌اي	۵
فاصله‌داري درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۱	۲۰	فاصله‌داري درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۱	۷
جهت‌يافتگي درزه‌ها (JPO)	بيشتر عمود بر سينه كار	۲۷	جهت‌يافتگي درزه‌ها (JPO)	بيشتر عمود بر سينه كار	۴
وزن مخصوص	۲/۸	-----	جدايش درزه‌ها (DPA)	متوسط و بدون پرشدگي ۵-۵۰ mm	۵
تأثير وزن مخصوص (SGI)	۲۰	-----	مقاومت فشاري تك محوري	۲۵-۵۰	۵
سختي	≈ ۳/۵	-----			
انديس قابليت انفجار (BI)	۵۲/۷۵	-----	انديس خردايش سنگ (RFI)	۲۶	-----

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشانی					
شماره سایت: ۴		تراز: ۲۲۲۵/شمال		نوع سنگ: مونزونیت	
رنگ کلی: سفید		پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			
پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۲۰	شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۶
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۱	۲۰	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۱	۷
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	شیب به طرف بیرون سینه کار- کمی افقی	۱۸	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	شیب به طرف بیرون سینه کار- کمی افقی	۵
وزن مخصوص	۲/۶۴	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	کم، ۱-۵ mm	۷
تأثیر وزن مخصوص (SGI)		۱۶	مقاومت فشاری تک محوری	۲۵-۵۰	۵
سختی		≈ ۳/۵			
اندیس قابلیت انفجار (BI)		۳۸/۷۵	اندیس خردایش سنگ (RFI)		۳۰

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشانی					
شماره سایت: ۵		تراز: ۲۱۳۷/۵/مرکز		نوع سنگ: مونزونیت	
رنگ کلی: خاکستری و لیمویی		پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			
پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	خرد تا بلوکی	۱۶	شرح توده سنگ (RMD)	خرد تا بلوکی	۷
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۵-۰/۳۵	۸	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۵-۰/۳۵	۱۱
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	هم عمود و هم رو به بیرون با تأثیر مساوی	۲۵	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	هم عمود و هم رو به بیرون با تأثیر مساوی	۴/۵
وزن مخصوص	۲/۵۵	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	خیلی کم (بسته)، < ۱	۸
تأثیر وزن مخصوص (SGI)		۱۳/۷۵	مقاومت فشاری تک محوری	۲۵-۵۰	۵
سختی		≈ ۴			
اندیس قابلیت انفجار (BI)		۳۳/۳۷۵	اندیس خردایش سنگ (RFI)		۳۵/۵

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشانی					
شماره سایت: ۶		تراز: ۲۱۳۷/۵/شمال		نوع سنگ: مونزونیت	
رنگ کلی: لیمویی تا قهوه‌ای		پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			
پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی تا کمی خرد	۱۸	شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی تا کمی خرد	۷
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۰/۶	۲۰	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۰/۶	۷
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	اکثرأ عمود و کمی رو به بیرون سینه کار	۲۷	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	اکثرأ عمود و کمی رو به بیرون سینه کار	۴
وزن مخصوص	۲/۶۱	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	خیلی کم (بسته)، < ۱	۸
تأثیر وزن مخصوص (SGI)		۱۵/۲۵	مقاومت فشاری تک محوری	۲۵-۵۰	۵
سختی		≈ ۵			
اندیس قابلیت انفجار (BI)		۴۲/۶۲۵	اندیس خردایش سنگ (RFI)		۳۱

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفکاري					
شماره سایت: ۷		تراز: ۲۱۳۷/۵/شمال		نوع سنگ: مونزونیت	
پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	خرده شده	۹	شرح توده سنگ (RMD)	خرده شده	۱۳
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۵-۰/۲	۹	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۵-۰/۲	۱۸
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	هم عمود و هم رو به بیرون سینه کار	۴/۵	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	هم عمود و هم رو به بیرون سینه کار	۲۵
وزن مخصوص	۲/۴۷	۸	جدایش درزه‌ها (DPA)	خیلی کم (بسته)، < ۱	-----
تأثیر وزن مخصوص (SGI)	۱۱/۷۵	۵	مقاومت فشاری تک محوری	۲۵-۵۰	-----
سختی	≈ ۴/۵				
اندیس قابلیت انفجار (BI)	۳۶/۱۲۵		اندیس خردایش سنگ (RFI)	۳۵/۵	

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفکاري					
شماره سایت: ۸		تراز: ۲۱۳۷/۵/شمال		نوع سنگ: مونزونیت	
پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۶	شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۲۰
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۱	۷	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۱	۲۰
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	هم عمود و هم رو به بیرون سینه کار	۴/۵	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	هم عمود و هم رو به بیرون سینه کار	۲۵
وزن مخصوص	۲/۳۸	۸	جدایش درزه‌ها (DPA)	خیلی کم (بسته)، < ۱	-----
تأثیر وزن مخصوص (SGI)	۱۰	۵	مقاومت فشاری تک محوری	۲۵-۵۰	-----
سختی	≈ ۴				
اندیس قابلیت انفجار (BI)	۳۹/۵		اندیس خردایش سنگ (RFI)	۳۰/۵	

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفکاري					
شماره سایت: ۹		تراز: ۲۱۰۰		نوع سنگ: مونزونیت	
پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی بسیار کوچک	۸	شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی بسیار کوچک	۱۸
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۰/۲ ۰/۲-۰/۴	۷	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۰/۲ ۰/۲-۰/۴	۲۰
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	هم عمود و هم رو به بیرون سینه کار	۴/۵	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	هم عمود و هم رو به بیرون سینه کار	۲۵
وزن مخصوص	۲/۳۴	۸	جدایش درزه‌ها (DPA)	خیلی کم (بسته)، < ۱	-----
تأثیر وزن مخصوص (SGI)	۱۰	۴	مقاومت فشاری تک محوری	۵۰-۷۰	-----
سختی	≈ ۳/۵				
اندیس قابلیت انفجار (BI)	۳۸/۲۵		اندیس خردایش سنگ (RFI)	۳۱/۵	

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشانی					
شماره سایت: ۱۰		تراز: ۲۱۰۰/مرکز		نوع سنگ: مونزونیت	
رنگ کلی: لیمویی*		پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			
پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۲۰	شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۶
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۵-۰/۴۵	۱۵	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۵-۰/۴۵	۹
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	اکثرأ عمود	۲۸	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	اکثرأ عمود	۴/۵
وزن مخصوص	۲/۲	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	خیلی کم (بسته)، < ۱	۸
تأثیر وزن مخصوص (SGI)		۱۰	مقاومت فشاری تک محوری	۲۵-۵۰	۵
سختی		≈ ۶			
اندیس قابلیت انفجار (BI)	۳۹/۵		اندیس خردایش سنگ (RFI)	۳۲/۵	

\* این تیپ مونزونیت از فراوانی زیادی در معدن برخوردار است.

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشانی					
شماره سایت: ۱۱		تراز: ۲۱۰۰/مرکز		نوع سنگ: مونزونیت	
رنگ کلی: لیمویی تا قهوه‌ای		پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			
پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی بسیار کوچک	۱۴	شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی بسیار کوچک	۹
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۵-۰/۳	۱۴	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۵-۰/۳	۹
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	هم عمود و هم رو به بیرون	۲۵	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	هم عمود و هم رو به بیرون سینه کار	۴/۵
وزن مخصوص	۲/۳۹	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	خیلی کم (بسته)، < ۱	۸
تأثیر وزن مخصوص (SGI)		۱۰	مقاومت فشاری تک محوری	۲۵-۵۰	۵
سختی		≈ ۶			
اندیس قابلیت انفجار (BI)	۳۴/۵		اندیس خردایش سنگ (RFI)	۳۵/۵	

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشانی					
شماره سایت: ۱۲		تراز: ۲۱۰۰/مرکز		نوع سنگ: مونزونیت	
رنگ کلی: لیمویی تا قهوه‌ای		پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			
پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی بسیار خرد شده	۱۲	شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی بسیار خرد شده	۹
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۱-۰/۱۵	۱۲	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۱-۰/۱۵	۹
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	هم عمود و هم رو به بیرون	۲۵	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	هم عمود و هم رو به بیرون سینه کار	۴/۵
وزن مخصوص	۲/۱۷	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	خیلی کم (بسته)، < ۱	۸
تأثیر وزن مخصوص (SGI)		۱۰	مقاومت فشاری تک محوری	۲۵-۵۰	۵
سختی		≈ ۶			
اندیس قابلیت انفجار (BI)	۳۲/۵		اندیس خردایش سنگ (RFI)	۳۷/۵	



گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشانی					
شماره سایت: ۱۳		تراز: ۲۱۰۰/مرکز		نوع سنگ: مونزونیت	
رنگ کلی: قهوه‌ای و طوسی		پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			
پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی تا توده‌ای	۳۵	شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی تا توده‌ای	۵
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۰/۵	۲۰	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۰/۵	۷
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	هم عمود و هم رو به بیرون سینه کار	۲۵	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	هم عمود و هم رو به بیرون سینه کار	۴/۵
وزن مخصوص	۲/۷۳	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	کم، ۱-۵	۷
تأثیر وزن مخصوص (SGI)	۱۸/۲۵	-----	مقاومت فشاری تک محوری	۵۰-۷۵	۴
سختی	≈ ۶	-----			
اندیس قابلیت انفجار (BI)	۵۲/۱۲۵	-----	اندیس خردایش سنگ (RFI)	۲۶/۵	-----

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشانی					
شماره سایت: ۱۴		تراز: ۲۱۰۰/مرکز		نوع سنگ: مونزونیت	
رنگ کلی: طوسی		پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			
پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی تا خرد (بسیار کم)	۱۹	شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی تا خرد (بسیار کم)	۶/۵
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۵-۰/۶	۱۵	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۵-۰/۶	۹/۵
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	هم عمود و هم کمی رو به داخل سینه کار	۳۳	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	هم عمود و هم کمی رو به داخل سینه کار	۳/۷
وزن مخصوص	۲/۲۱	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	متوسط، بدون پرکننده (۵-۵۰)	۵
تأثیر وزن مخصوص (SGI)	۱۰	-----	مقاومت فشاری تک محوری	۲۵-۵۰	۵
سختی	≈ ۴	-----			
اندیس قابلیت انفجار (BI)	۴۰/۵	-----	اندیس خردایش سنگ (RFI)	۲۹/۷	-----

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشانی					
شماره سایت: ۱۵		تراز: ۱۹۵۰/جنوب		نوع سنگ: مونزونیت	
رنگ کلی: طوسی تا لیمویی		پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			
پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بسیار خرد شده (مخلوط با خاک)	۱۲	شرح توده سنگ (RMD)	بسیار خرد شده (مخلوط با خاک)	۹
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۵-۰/۱۳	۱۳	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۵-۰/۱۳	۱۰/۵
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	هم عمود و هم کمی رو به بیرون سینه کار	۲۵	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	هم عمود و هم کمی رو به بیرون سینه کار	۴/۵
وزن مخصوص	۲/۴۳	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	خیلی کم (بسته)، < ۱	۸
تأثیر وزن مخصوص (SGI)	۱۰/۷۵	-----	مقاومت فشاری تک محوری	۲۵-۵۰	۵
سختی	≈ ۵	-----			
اندیس قابلیت انفجار (BI)	۳۲/۸۷۵	-----	اندیس خردایش سنگ (RFI)	۳۷	-----

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشانی					
شماره سایت: ۱۶		تراز: ۱۹۵۰/جنوب		نوع سنگ: مونزونیت	
رنگ کلی: طوسی تا لیمویی					
پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)		
امتیاز	توضیحات	نام پارامتر	امتیاز	توضیحات	نام پارامتر
۹	بلوکی - بسیار خرد شده (مخلوط با خاک)	شرح توده سنگ (RMD)	۱۲	بلوکی - بسیار خرد شده (مخلوط با خاک)	شرح توده سنگ (RMD)
۱۲	۰/۰۲-۰/۱	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۱۰	۰/۰۲-۰/۱	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)
۴/۵	هم عمود و هم رو به بیرون سینه کار	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	۲۵	هم عمود و هم رو به بیرون سینه کار	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)
۸	خیلی کم (بسته)، < ۱	جدایش درزه‌ها (DPA)	-----	۲/۴۵	وزن مخصوص
۵	۲۵-۵۰	مقاومت فشاری تک محوری	۱۰/۷۵		تأثیر وزن مخصوص (SGI)
			≈ ۵		سختی
۳۸/۵		اندیس خردایش سنگ (RFI)	۳۱/۳۷۵		اندیس قابلیت انفجار (BI)

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشانی					
شماره سایت: ۱۷		تراز: ۲۲۵۰/جنوب		نوع سنگ: مونزونیت	
رنگ کلی: لیمویی					
پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)		
امتیاز	توضیحات	نام پارامتر	امتیاز	توضیحات	نام پارامتر
۶	بلوکی	شرح توده سنگ (RMD)	۲۰	بلوکی	شرح توده سنگ (RMD)
۹/۵	۰/۰۵-۰/۱۶	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۱۵	۰/۰۵-۰/۱۶	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)
۴/۵	اکثراً رو به بیرون + عمود به سینه کار	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	۲۳	اکثراً رو به بیرون + عمود به سینه کار	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)
۸	خیلی کم (بسته)، < ۱	جدایش درزه‌ها (DPA)	-----	۲/۱۴	وزن مخصوص
۵	۲۵-۵۰	مقاومت فشاری تک محوری	۱۰		تأثیر وزن مخصوص (SGI)
			≈ ۴		سختی
۳۳		اندیس خردایش سنگ (RFI)	۳۶		اندیس قابلیت انفجار (BI)

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشانی					
شماره سایت: ۱۸		تراز: ۲۲۵۰/جنوب		نوع سنگ: مونزونیت	
رنگ کلی: طوسی					
پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)		
امتیاز	توضیحات	نام پارامتر	امتیاز	توضیحات	نام پارامتر
۷	بلوکی تا کمی خرد	شرح توده سنگ (RMD)	۱۷	بلوکی تا کمی خرد	شرح توده سنگ (RMD)
۹/۵	۰/۰۵-۰/۲۵	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۱۵	۰/۰۵-۰/۲۵	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)
۴	درزه‌ها موازی سینه کار + سطح درزه‌ها به سمت داخل و بیرون	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	۳۰	درزه‌ها موازی سینه کار + سطح درزه‌ها به سمت داخل و بیرون	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)
۸	خیلی کم (بسته)، < ۱	جدایش درزه‌ها (DPA)	-----	۲/۳۴	وزن مخصوص
۵	۲۵-۵۰	مقاومت فشاری تک محوری	۱۰		تأثیر وزن مخصوص (SGI)
			≈ ۳		سختی
۳۳/۵		اندیس خردایش سنگ (RFI)	۳۲/۵		اندیس قابلیت انفجار (BI)

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشاری					
شماره سایت: ۱۹		تراز: ۲۲۵۰/جنوب		نوع سنگ: مونزونیت	
رنگ کلی: طوسی					
پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	خردشده، در بعضی مناطق توده‌ای و یکپارچه	۳۰	شرح توده سنگ (RMD)	خردشده، در بعضی مناطق توده‌ای و یکپارچه	۷
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۵-۰/۲۵	۱۵	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۵-۰/۲۵	۹/۵
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	درزه‌ها عمود بر سینه کار+ سطح درزه‌ها به سمت بیرون	۲۵	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	درزه‌ها عمود بر سینه کار+ سطح درزه‌ها به سمت بیرون	۴/۵
وزن مخصوص	۲/۲۷	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	کم، ۱-۵	۷
تأثیر وزن مخصوص (SGI)	۱۰	۱۰	مقاومت فشاری تک محوری	۲۵-۵۰	۵
سختی	≈ ۴				
اندیس قابلیت انفجار (BI)	۴۲		اندیس خردایش سنگ (RFI)	۳۳	

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشاری					
شماره سایت: ۲۰		تراز: ۲۲۵۰/جنوب		نوع سنگ: مونزونیت	
رنگ کلی: طوسی					
پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی تا توده‌ای	۳۰	شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی تا توده‌ای	۷
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۰/۴	۲۰	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۰/۴	۷
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به سمت بیرون	۲۵	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	درزه‌ها عمود بر سینه کار+ سطح درزه‌ها به سمت بیرون	۴/۵
وزن مخصوص	۲/۸۶	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	کم، ۱-۵	۷
تأثیر وزن مخصوص (SGI)	۲۱/۵	۲۱/۵	مقاومت فشاری تک محوری	۲۵-۵۰	۵
سختی	≈ ۵/۵				
اندیس قابلیت انفجار (BI)	۵۱/۱۲۵		اندیس خردایش سنگ (RFI)	۳۰/۵	

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشاری					
شماره سایت: ۲۱		تراز: ۲۲۳۷/۵		نوع سنگ: Dk <sub>1a</sub>	
رنگ کلی: قهوه‌ای					
پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۲۰	شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۶
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۰/۷	۲۰	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۰/۷	۷
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	اکثر درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به بیرون	۲۷	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	اکثر درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به بیرون	۴/۵
وزن مخصوص	۲/۴۵	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	کم، ۱-۵	۷
تأثیر وزن مخصوص (SGI)	۱۱/۲۵	۱۱/۲۵	مقاومت فشاری تک محوری	۵۰-۷۵	۵
سختی	≈ ۵/۵				
اندیس قابلیت انفجار (BI)	۴۱/۸۷۵		اندیس خردایش سنگ (RFI)	۲۹/۵	

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفکاری					
شماره سایت: ۲۲		تراز: ۲۲۳۷/۵		نوع سنگ: مونزونیت	
رنگ کلی: طوسی روشن		پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			
پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۲۰	شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۶
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۱	۲۰	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۱	۷
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به بیرون	۲۵	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به بیرون	۴/۵
وزن مخصوص	۲/۸۵	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	خیلی کم+ کم، ۱-۵	۷/۵
تأثیر وزن مخصوص (SGI)	۲۱/۲۵	-----	مقاومت فشاری تک محوری	۲۵-۵۰	۵
سختی	≈ ۳	-----			
اندیس قابلیت انفجار (BI)	۴۴/۶۲۵	-----	اندیس خردایش سنگ (RFI)	۳۰	-----

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفکاری					
شماره سایت: ۲۳		تراز: ۲۲۳۷/۵		نوع سنگ: مونزونیت	
رنگ کلی: طوسی روشن		پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			
پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی تا توده‌ای	۳۰	شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی تا توده‌ای	۵/۵
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۰/۶	۲۰	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۰/۶	۷
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به سمت بیرون	۲۵	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	درزه‌ها عمود بر سینه کار+ سطح درزه‌ها به سمت بیرون	۴/۵
وزن مخصوص	۲/۸۱	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	خیلی کم (بسته)، < ۱	۸
تأثیر وزن مخصوص (SGI)	۲۰/۲۵	-----	مقاومت فشاری تک محوری	۲۵-۵۰	۵
سختی	≈ ۵/۵	-----			
اندیس قابلیت انفجار (BI)	۵۰/۵	-----	اندیس خردایش سنگ (RFI)	۳۰	-----

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفکاری					
شماره سایت: ۲۴		تراز: ۲۲۳۷/۵		نوع سنگ: Dk1b	
رنگ کلی: طوسی سیر		پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			
پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی تا خرد	۱۷	شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی تا خرد	۷/۵
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۵-۰/۳	۱۵	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۵-۰/۳	۹/۵
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	درزه‌ها افقی+ شیب درزه‌ها به سمت بیرون	۱۵	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	درزه‌ها افقی+ شیب درزه‌ها به سمت بیرون	۵/۵
وزن مخصوص	۲/۹	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	متوسط، پرشده	۶
تأثیر وزن مخصوص (SGI)	۲۲/۵	-----	مقاومت فشاری تک محوری	۵۰-۷۵	۴
سختی	≈ ۵/۵	-----			
اندیس قابلیت انفجار (BI)	۳۷/۵	-----	اندیس خردایش سنگ (RFI)	۳۲/۵	-----

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفکاري						
		رنگ کلي: طوسي سير (خاکستري)	نوع سنگ: Dk1a	تراز: ۲۲۳۷/۵	شماره سايت: ۲۵	
پارامترهاي مربوط به انديس خردايش سنگ (RFI)			پارامترهاي مربوط به انديس قابليت انفجار (BI)			
امتيياز	توضيحات	نام پارامتر	امتيياز	توضيحات	نام پارامتر	
۶	بلوكي	شرح توده سنگ (RMD)	۲۰	بلوكي	شرح توده سنگ (RMD)	
۷	۰/۱-۰/۵	فاصله داري درزه ها (JPS)	۲۰	۰/۱-۰/۵	فاصله داري درزه ها (JPS)	
۴/۵	درزه ها عمود بر سینه كار+ شيب درزه ها به سمت بيرون	جهت يافتگي درزه ها (JPO)	۲۵	درزه ها عمود بر سینه كار+ شيب درزه ها به سمت بيرون	جهت يافتگي درزه ها (JPO)	
۸	خيلي كم (بسته)، < ۱	جدائش درزه ها (DPA)	-----	۲/۸۴	وزن مخصوص	
۴	۵۰-۷۵	مقاومت فشاري تك محوري	۲۱		تأثير وزن مخصوص (SGI)	
			≈ ۶		سختي	
۲۹/۵		انديس خردايش سنگ (RFI)	۴۶		انديس قابليت انفجار (BI)	

گزارش برداشت پارامترهاي ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفکاري						
		رنگ کلي: زرد	نوع سنگ: Dk1a	تراز: ۲۲۳۷/۵	شماره سايت: ۲۶	
پارامترهاي مربوط به انديس خردايش سنگ (RFI)			پارامترهاي مربوط به انديس قابليت انفجار (BI)			
امتيياز	توضيحات	نام پارامتر	امتيياز	توضيحات	نام پارامتر	
۹	خرد تا بلوكي	شرح توده سنگ (RMD)	۱۴	خرد تا بلوكي	شرح توده سنگ (RMD)	
۱۰	۰/۰۵-۰/۲	فاصله داري درزه ها (JPS)	۱۴	۰/۰۵-۰/۲	فاصله داري درزه ها (JPS)	
۴/۵	تمام شرايط، مخلوط	جهت يافتگي درزه ها (JPO)	۲۵	تمام شرايط، مخلوط	جهت يافتگي درزه ها (JPO)	
۷	کم، ۱-۵	جدائش درزه ها (DPA)	-----	۲/۵۱	وزن مخصوص	
۵	۲۵-۵۰	مقاومت فشاري تك محوري	۱۲/۷۵		تأثير وزن مخصوص (SGI)	
			≈ ۳/۵		سختي	
۳۵/۵		انديس خردايش سنگ (RFI)	۳۴/۶۲۵		انديس قابليت انفجار (BI)	

گزارش برداشت پارامترهاي ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفکاري						
		رنگ کلي: طوسي کمرنگ	نوع سنگ: Dk1a	تراز: ۲۲۳۷/۵	شماره سايت: ۲۷	
پارامترهاي مربوط به انديس خردايش سنگ (RFI)			پارامترهاي مربوط به انديس قابليت انفجار (BI)			
امتيياز	توضيحات	نام پارامتر	امتيياز	توضيحات	نام پارامتر	
۸	خرد تا بلوكي	شرح توده سنگ (RMD)	۱۶	خرد تا بلوكي	شرح توده سنگ (RMD)	
۹	۰/۰۵-۰/۲	فاصله داري درزه ها (JPS)	۱۵	۰/۰۵-۰/۲	فاصله داري درزه ها (JPS)	
۴/۵	تمام شرايط، مخلوط	جهت يافتگي درزه ها (JPO)	۲۵	تمام شرايط، مخلوط	جهت يافتگي درزه ها (JPO)	
۷	کم، ۱-۵	جدائش درزه ها (DPA)	-----	۲/۷	وزن مخصوص	
۵	۲۵-۵۰	مقاومت فشاري تك محوري	۱۷/۵		تأثير وزن مخصوص (SGI)	
			≈ ۳/۵		سختي	
۳۳/۵		انديس خردايش سنگ (RFI)	۳۸/۵		انديس قابليت انفجار (BI)	

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشاری					
شماره سایت: ۲۸		تراز: ۲۲۳۷/۵		رنگ کلی: قهوه‌ای	
پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	کمی خرد تا بلوکی	۱۷	شرح توده سنگ (RMD)	کمی خرد تا بلوکی	۷/۵
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۵-۰/۴	۱۷	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۵-۰/۴	۸/۵
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به سمت بیرون	۲۵	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به سمت بیرون	۴/۵
وزن مخصوص	۲/۳۱	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	کم، ۱-۵	۷
تأثیر وزن مخصوص (SGI)		۱۰	مقاومت فشاری تک محوری	۵۰-۷۵	۴
سختی		≈۳/۵			
اندیس قابلیت انفجار (BI)		۳۶/۲۵	اندیس خردایش سنگ (RFI)		۳۱/۵

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشاری					
شماره سایت: ۲۹		تراز: ۲۲۱۲/۵		رنگ کلی: طوسی تا گوشتی	
پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی تا خرد	۱۵	شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی تا خرد	۷/۵
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۳-۰/۴۵	۱۵	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۳-۰/۴۵	۸/۵
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به سمت بیرون	۲۵	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به سمت بیرون	۴/۵
وزن مخصوص	۲/۶۵	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	کم، ۱-۵	۷
تأثیر وزن مخصوص (SGI)		۱۶/۲۵	مقاومت فشاری تک محوری	۲۵-۵۰	۴
سختی		≈۴/۵			
اندیس قابلیت انفجار (BI)		۳۷/۸۷۵	اندیس خردایش سنگ (RFI)		۳۴

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشاری					
شماره سایت: ۳۰		تراز: ۲۲۱۲/۵		رنگ کلی: طوسی (دارای رگه سیلیسی)	
پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۲۰	شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۶
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۵-۰/۵	۱۷	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۵-۰/۵ اولویت با ۰/۲	۸
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به سمت بیرون	۲۵	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به سمت بیرون	۴/۵
وزن مخصوص	۲/۳	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	خیلی کم (بسته)، <۱	۸
تأثیر وزن مخصوص (SGI)		۱۰	مقاومت فشاری تک محوری	۲۵-۵۰	۵
سختی		≈۶			
اندیس قابلیت انفجار (BI)		۳۹	اندیس خردایش سنگ (RFI)		۳۱/۵

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشاری					
شماره سایت: ۳۱		تراز: ۲۲۱۲/۵		رنگ کلی: لیمویی	
پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۲۰	شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۶
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۰/۵	۱۸	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۰/۵ اولویت با ۰/۲-۰/۱۵	۸
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	بینابین اما شیب درزه‌ها بیشتر به سمت بیرون	۲۳	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به سمت بیرون	۴/۷
وزن مخصوص	۲/۶۲	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	خیلی کم (بسته)، < ۱	۸
تأثیر وزن مخصوص (SGI)	۱۵/۵	۱۵/۵	مقاومت فشاری تک محوری	۲۵-۵۰	۵
سختی		≈ ۵			
اندیس قابلیت انفجار (BI)	۴۰/۷۵		اندیس خردایش سنگ (RFI)	۳۱/۷	

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشاری					
شماره سایت: ۳۲		تراز: ۲۲۱۲/۵		رنگ کلی: طوسی پررنگ	
پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۲۰	شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۶
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۰/۴ بیشتر	۱۸	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۰/۴ بیشتر	۷
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	درزه‌ها عمود بر سینه کار+ اکثراً شیب درزه‌ها به بیرون	۲۱	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به بیرون	۴/۸
وزن مخصوص	۲/۴۵	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	کم، ۱-۵	۷
تأثیر وزن مخصوص (SGI)	۱۱/۲۵	۱۱/۲۵	مقاومت فشاری تک محوری	۵۰-۷۵	۴
سختی		۴/۵-۵			
اندیس قابلیت انفجار (BI)	۳۸		اندیس خردایش سنگ (RFI)	۲۸/۸	

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشاری					
شماره سایت: ۳۳		تراز: ۲۲۱۲/۵		رنگ کلی: طوسی کمرنگ	
پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۲۰	شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۶
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱۵-۰/۶ بیشتر	۲۰	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱۵-۰/۶ بیشتر	۷
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به بیرون	۲۵	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به بیرون	۴/۵
وزن مخصوص	۲/۴۶	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	خیلی کم، بسته < ۱	۸
تأثیر وزن مخصوص (SGI)	۱۱/۵	۱۱/۵	مقاومت فشاری تک محوری	۲۵-۵۰	۵
سختی		۴/۵			
اندیس قابلیت انفجار (BI)	۴۰/۵		اندیس خردایش سنگ (RFI)	۳۰/۵	

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشاری					
		رنگ کلی: قهوه‌ای	نوع سنگ: DK <sub>1</sub> A	تراز: ۲۲۱۲/۵	شماره سایت: ۳۴
پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)		
امتیاز	توضیحات	نام پارامتر	امتیاز	توضیحات	نام پارامتر
۶	بلوکی	شرح توده سنگ (RMD)	۲۰	بلوکی	شرح توده سنگ (RMD)
۷	۰/۱-۰/۸ بیشتر	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۲۰	۰/۱-۰/۸	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)
۴/۵	درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به بیرون	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	۲۵	درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به بیرون	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)
۷	کم، ۱-۵	جدایش درزه‌ها (DPA)	-----	۲/۶	وزن مخصوص
۴	۵۰-۷۵	مقاومت فشاری تک محوری	۱۵		تأثیر وزن مخصوص (SGI)
			۳/۵		سختی
۲۶/۵		اندیس خردایش سنگ (RFI)	۴۱/۷۵		اندیس قابلیت انفجار (BI)

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشاری					
		رنگ کلی: طوسی روشن	نوع سنگ: DK <sub>1</sub> A	تراز: ۲۲۱۲/۵	شماره سایت: ۳۵
پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)		
امتیاز	توضیحات	نام پارامتر	امتیاز	توضیحات	نام پارامتر
۶	بلوکی	شرح توده سنگ (RMD)	۲۰	بلوکی	شرح توده سنگ (RMD)
۷	۰/۱۵-۰/۷۵ بیشتر (۰/۱۵-۰/۳۵)	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۲۰	۰/۱۵-۰/۷۵ بیشتر (۰/۱۵-۰/۳۵)	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)
۴/۵	درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به بیرون	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	۲۵	درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به بیرون	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)
۷	کم، ۱-۵	جدایش درزه‌ها (DPA)	-----	۲/۵۱	وزن مخصوص
۴	۵۰-۷۵	مقاومت فشاری تک محوری	۱۲/۷۵		تأثیر وزن مخصوص (SGI)
			۵/۵		سختی
۲۶/۵		اندیس خردایش سنگ (RFI)	۴۱/۶۲۵		اندیس قابلیت انفجار (BI)

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشاری					
		رنگ کلی: طوسی روشن	نوع سنگ: SP	تراز: ۲۲۱۲/۵	شماره سایت: ۳۶
پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)		
امتیاز	توضیحات	نام پارامتر	امتیاز	توضیحات	نام پارامتر
۷	بلوکی تا خرد	شرح توده سنگ (RMD)	۱۸	بلوکی تا خرد	شرح توده سنگ (RMD)
۹	۰/۰۵-۰/۲۵	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۱۶	۰/۰۵-۰/۲۵	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)
۴/۵	درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به بیرون	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	۲۵	درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به بیرون	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)
۷	کم، ۱-۵	جدایش درزه‌ها (DPA)	-----	۲/۵۵	وزن مخصوص
۵	۲۵-۵۰	مقاومت فشاری تک محوری	۱۲/۷۵		تأثیر وزن مخصوص (SGI)
			۵-۶		سختی
۳۲/۵		اندیس خردایش سنگ (RFI)	۳۶/۶۲۵		اندیس قابلیت انفجار (BI)



گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشاری					
شماره سایت: ۳۷		تراز: ۲۲۱۲/۵		نوع سنگ: SP	
پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی تا کمی خرد	۱۸	شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی تا کمی خرد	۶
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۳-۰/۲۵	۱۶	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۳-۰/۲۵	۱۰/۵
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به بیرون	۲۵	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به بیرون	۴/۵
وزن مخصوص	۲/۶۵	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	کم، ۱-۵	۷/۵
تأثیر وزن مخصوص (SGI)	۱۶/۲۵	-----	مقاومت فشاری تک محوری	۲۵-۵۰	۵
سختی	۵-۶	-----			
اندیس قابلیت انفجار (BI)	۴۰/۵	-----	اندیس خردایش سنگ (RFI)	۳۳/۵	-----

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشاری					
شماره سایت: ۳۷		تراز: ۲۲۱۲/۵		نوع سنگ: DK1A	
پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	خرد تا بلوکی	۱۳	شرح توده سنگ (RMD)	خرد تا بلوکی	۸/۵
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۱-۰/۲۵	۱۴	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۱-۰/۲۵	۱۰
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	مختلط	۲۵	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	مختلط	۴/۵
وزن مخصوص	۲/۲۴	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	بسته، < ۱	۸
تأثیر وزن مخصوص (SGI)	۱۰	-----	مقاومت فشاری تک محوری	۲۵-۵۰	۵
سختی	۳	-----			
اندیس قابلیت انفجار (BI)	۳۲/۵	-----	اندیس خردایش سنگ (RFI)	۳۶	-----

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشاری					
شماره سایت: ۳۹		تراز: ۲۲۱۲/۵		نوع سنگ: DK1B	
پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۲۰	شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۶
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۵-۰/۳ بیشتر ۰/۱۵-۰/۶۵	۲۰	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۵-۰/۳ بیشتر ۰/۱۵-۰/۶۵	۷
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به بیرون	۲۵	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به بیرون	۴/۵
وزن مخصوص	۲/۵۳	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	هم بسته هم با بازشدگی کم	۷/۵
تأثیر وزن مخصوص (SGI)	۱۳/۲۵	-----	مقاومت فشاری تک محوری	۵۰-۷۵	۴
سختی	۵-۶	-----			
اندیس قابلیت انفجار (BI)	۴۲	-----	اندیس خردایش سنگ (RFI)	۳۱/۵	-----

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشاری					
شماره سایت: ۴۰		تراز: ۲۲۰۰		نوع سنگ: SP	
رنگ کلی: سفید تا شیری					
پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی تا کمی خرد	۱۷/۵	شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی تا کمی خرد	۷
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۵-۰/۲۵	۱۵	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۵-۰/۲۵	۹/۵
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به بیرون	۲۵	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به بیرون	۴/۵
وزن مخصوص	۲/۵۹	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	بدون پرکننده	۷
تأثیر وزن مخصوص (SGI)	۱۴/۷۵		مقاومت فشاری تک محوری	۲۵-۵۰	۵
سختی	۴				
اندیس قابلیت انفجار (BI)	۳۸/۱۲۵		اندیس خردایش سنگ (RFI)	۳۳	

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشاری					
شماره سایت: ۴۱		تراز: ۲۲۰۰		نوع سنگ: SP	
رنگ کلی: لیمویی تا گوشتی					
پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	خرد تا بلوکی	۱۴	شرح توده سنگ (RMD)	خرد تا بلوکی	۸/۵
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۵-۰/۱۵	۱۴	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۵-۰/۱۵	۱۰
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	مختلط	۲۵	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	مختلط	۴/۵
وزن مخصوص	۲/۲۹	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	بسته، <	۸
تأثیر وزن مخصوص (SGI)	۱۰		مقاومت فشاری تک محوری	۲۵-۵۰	۴
سختی	۵/۵				
اندیس قابلیت انفجار (BI)	۳۴/۲۵		اندیس خردایش سنگ (RFI)	۳۵	

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشاری					
شماره سایت: ۴۲		تراز: ۲۲۰۰		نوع سنگ: DK1A	
رنگ کلی: سطح قهوه‌ای درون طوسی					
پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۲۰	شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۶
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۰/۴۵	۲۰	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۰/۴۵	۷
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	مختلط	۲۵	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	مختلط	۴/۵
وزن مخصوص	۲/۶۷	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	بسته، <	۸
تأثیر وزن مخصوص (SGI)	۱۶/۷۵		مقاومت فشاری تک محوری	۵۰-۷۵	۴
سختی	۵/۵				
اندیس قابلیت انفجار (BI)	۴۳/۶۲۵		اندیس خردایش سنگ (RFI)	۲۹/۵	

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشاری					
شماره سایت: ۴۳		تراز: ۲۲۰۰		نوع سنگ: SP	
رنگ کلی: لیمویی تا طوسی					
پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	خرد تا بلوکی	۱۳	شرح توده سنگ (RMD)	خرد تا بلوکی	۹
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۵-۰/۱۵	۱۳	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۵-۰/۱۵	۱۰/۵
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	مختلط	۲۵	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	مختلط	۴/۵
وزن مخصوص	۳/۲۸	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	بسته (خالی)، <۱، کمی بسته	۶/۵
تأثیر وزن مخصوص (SGI)		۳۲	مقاومت فشاری تک محوری	۲۵-۵۰	۵
سختی		۳/۵			
اندیس قابلیت انفجار (BI)		۴۲	اندیس خردایش سنگ (RFI)		۳۵/۵

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشاری					
شماره سایت: ۴۴		تراز: ۲۲۰۰		نوع سنگ: DK <sub>1A</sub>	
رنگ کلی: قهوه‌ای مایل به سیاه					
پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۲۰	شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۶
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۰/۳	۲۰	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۰/۳	۷
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	اکثرأ درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به بیرون	۲۷	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	اکثرأ درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به بیرون	۴/۳
وزن مخصوص	۲/۳۸	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	بسته (خالی)، <۱	۸
تأثیر وزن مخصوص (SGI)		۱۰	مقاومت فشاری تک محوری	۲۵-۵۰	۵
سختی		۳/۵			
اندیس قابلیت انفجار (BI)		۴۰/۲۵	اندیس خردایش سنگ (RFI)		۳۰/۳

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشاری					
شماره سایت: ۴۵		تراز: ۲۲۰۰		نوع سنگ: DK <sub>1A</sub>	
رنگ کلی: طوسی					
پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی تا خرد	۱۵	شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی تا خرد	۸
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۰/۲	۲۰	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۰/۲	۷
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به بیرون	۲۵	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به بیرون	۴/۵
وزن مخصوص	۲/۳۶	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	کمی بسته+۱-۵	۷/۵
تأثیر وزن مخصوص (SGI)		۱۰	مقاومت فشاری تک محوری	۲۵-۵۰	۵
سختی		۴			
اندیس قابلیت انفجار (BI)		۳۷	اندیس خردایش سنگ (RFI)		۳۲

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفکاري						
		رنگ کلي:		نوع سنگ: DK <sub>1</sub> B		شماره سايت: ۴۶
		رنگ کلي: ۲۲۰۰		تراز: ۲۲۰۰		
پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			پارامترهای مربوط به اندیس قابليت انفجار (BI)			
امتیاز	توضیحات	نام پارامتر	امتیاز	توضیحات	نام پارامتر	
۶	بلوکی	شرح توده سنگ (RMD)	۲۰	بلوکی	شرح توده سنگ (RMD)	
۷	۰/۱-۰/۳	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۲۰	۰/۱-۰/۳	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	
۴/۵	درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به بیرون	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	۲۵	درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به بیرون	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	
۸	بسته، <۱	جدایش درزه‌ها (DPA)	-----	۲/۵	وزن مخصوص	
۴	۵۰-۷۵	مقاومت فشاري تک محوري	۱۲/۵		تأثير وزن مخصوص (SGI)	
			۴-۵		سختی	
۲۹/۵		اندیس خردایش سنگ (RFI)	۴۱/۲۵		اندیس قابليت انفجار (BI)	

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفکاري						
		رنگ کلي: قهوه‌ای		نوع سنگ: DK <sub>1</sub> A		شماره سايت: ۴۷
		رنگ کلي: ۲۲۰۰		تراز: ۲۲۰۰		
پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			پارامترهای مربوط به اندیس قابليت انفجار (BI)			
امتیاز	توضیحات	نام پارامتر	امتیاز	توضیحات	نام پارامتر	
۶	بلوکی	شرح توده سنگ (RMD)	۲۰	بلوکی	شرح توده سنگ (RMD)	
۷	۰/۱-۰/۲۵	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۲۰	۰/۱-۰/۲۵	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	
۴/۳	اکثرأ درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به بیرون	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	۲۷	اکثرأ درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به بیرون	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	
۷/۵	بسته، کمی بسته	جدایش درزه‌ها (DPA)	-----	۲/۹۳	وزن مخصوص	
۴	۵۰-۷۵	مقاومت فشاري تک محوري	۲۳/۲۵		تأثير وزن مخصوص (SGI)	
			۳-۴		سختی	
۲۸/۸		اندیس خردایش سنگ (RFI)	۴۶/۸۷۵		اندیس قابليت انفجار (BI)	

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفکاري						
		رنگ کلي: زرد تا طوسی		نوع سنگ: DK <sub>1</sub> B		شماره سايت: ۴۸
		رنگ کلي: ۲۲۰۰		تراز: ۲۲۰۰		
پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			پارامترهای مربوط به اندیس قابليت انفجار (BI)			
امتیاز	توضیحات	نام پارامتر	امتیاز	توضیحات	نام پارامتر	
۵/۵	بلوکی تا کمی ماسیو	شرح توده سنگ (RMD)	۲۷	بلوکی تا کمی ماسیو	شرح توده سنگ (RMD)	
۴/۷	۰/۱-۰/۴	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۲۳	۰/۱-۰/۴	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	
۷	اکثرأ درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به بیرون	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	۲۰	اکثرأ درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به بیرون	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	
۶/۵	پرکننده متوسط، کمی بسته	جدایش درزه‌ها (DPA)	-----	۲/۴۲	وزن مخصوص	
۴	۵۰-۷۵	مقاومت فشاري تک محوري	۱۰/۵		تأثير وزن مخصوص (SGI)	
			۴-۵		سختی	
۲۷/۷		اندیس خردایش سنگ (RFI)	۴۳		اندیس قابليت انفجار (BI)	

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشانی					
شماره سایت: ۴۹		تراز: ۲۲۰۰		رنگ کلی: طوسی	
پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	ماسیو تا بلوکی	۴۰	شرح توده سنگ (RMD)	ماسیو تا بلوکی	۵
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۲-۰/۷	۲۰	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۲-۰/۷	۷
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	اکثرأ درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به بیرون	۲۷	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	اکثرأ درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به بیرون	۴/۷
وزن مخصوص	۲/۷۳	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	بسته، <۱	۸
تأثیر وزن مخصوص (SGI)	۱۸/۲۵	-----	مقاومت فشاری تک محوری	۲۵-۵۰	۵
سختی		۳-۴			
اندیس قابلیت انفجار (BI)		۵۴/۲۵	اندیس خردایش سنگ (RFI)		۲۹/۷

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشانی					
شماره سایت: ۵۰		تراز: ۲۱۸۷/۵		رنگ کلی: قهوه‌ای بسیار تیره	
پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۲۰	شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۶
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۰/۵	۲۰	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۰/۵	۷
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به بیرون	۲۵	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به بیرون	۴/۵
وزن مخصوص	۲/۳۸	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	کمی بسته + بسته	۷/۵
تأثیر وزن مخصوص (SGI)	۱۰	-----	مقاومت فشاری تک محوری	۵۰-۱۰۰	۴
سختی		۵			
اندیس قابلیت انفجار (BI)		۴۰	اندیس خردایش سنگ (RFI)		۲۹

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشانی					
شماره سایت: ۵۱		تراز: ۲۱۸۷/۵		رنگ کلی: قهوه‌ای بسیار تیره	
پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی تا توده‌ای	۲۵	شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی تا توده‌ای	۵/۷
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱۵-۰/۹	۲۰	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱۵-۰/۹	۷
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	مختلط، عموماً شیب درزه‌ها به بیرون	۲۲	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	مختلط، عموماً شیب درزه‌ها به بیرون	۴/۸
وزن مخصوص	۲/۳۸	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	بسته + آلتزه	۸
تأثیر وزن مخصوص (SGI)	۱۰	-----	مقاومت فشاری تک محوری	۵۰-۱۰۰	۴
سختی		۵			
اندیس قابلیت انفجار (BI)		۴۱	اندیس خردایش سنگ (RFI)		۲۹/۵

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشانی					
شماره سایت: ۵۲		تراز: ۲۱۸۷/۵		رنگ کلی: طوسی روشن	
پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی تا کمی خرد	۱۷	شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی تا کمی خرد	۶/۳
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۵-۰/۳	۱۷	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۵-۰/۳ ۰/۱-۰/۲ بیشتر	۸/۲
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	اکثرآ درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به بیرون	۲۷	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	اکثرآ درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به بیرون	۴/۳
وزن مخصوص	۲/۵۳	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	بسته + آلتزه	۷/۵
تأثیر وزن مخصوص (SGI)	۱۳/۲۵	۱۳/۲۵	مقاومت فشاری تک محوری	۲۵-۵۰	۵
سختی		۵			
اندیس قابلیت انفجار (BI)	۳۹/۶۲۵		اندیس خردایش سنگ (RFI)	۳۲/۳	

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشانی					
شماره سایت: ۵۳		تراز: ۲۱۸۷/۵		رنگ کلی: طوسی روشن	
پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	خرد تا بلوکی	۱۴	شرح توده سنگ (RMD)	خرد تا بلوکی	۸/۵
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۵-۰/۲	۱۵	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۵-۰/۲ ۰/۵-۰/۱ بیشتر	۹/۵
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	اکثرآ درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به بیرون	۲۷	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	اکثرآ درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به بیرون	۴/۳
وزن مخصوص	۳/۰۳	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	بسته	۸
تأثیر وزن مخصوص (SGI)	۲۵/۷۵	۲۵/۷۵	مقاومت فشاری تک محوری	۲۵-۵۰	۵
سختی		۶			
اندیس قابلیت انفجار (BI)	۴۳/۸۷۵		اندیس خردایش سنگ (RFI)	۳۵/۳	

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشانی					
شماره سایت: ۵۴		تراز: ۲۱۸۷/۵		رنگ کلی: لمویی تا خاکستری	
پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	خرد تا بلوکی	۱۳	شرح توده سنگ (RMD)	خرد تا بلوکی	۸
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۲-۰/۱۵	۱۳	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۲-۰/۱۵ ۰/۰۲-۰/۱ بیشتر	۱۰
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	مختلط	۲۵	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	مختلط	۴/۵
وزن مخصوص	۲/۹	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	بسته و کمی بسته	۷/۵
تأثیر وزن مخصوص (SGI)	۲۲/۵	۲۲/۵	مقاومت فشاری تک محوری	۲۵-۵۰	۵
سختی		۳/۵			
اندیس قابلیت انفجار (BI)	۳۸/۵		اندیس خردایش سنگ (RFI)	۳۵	

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشانی					
شماره سایت: ۵۵		تراز: ۲۱۸۷/۵		رنگ کلی: سفید تا طوسی	
پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۲۰	شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۶
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۰/۵	۲۰	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۰/۵	۷
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به بیرون	۲۵	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به بیرون	۴/۵
وزن مخصوص	۲/۷۷	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	بسته+ کمی بسته	۷/۵
تأثیر وزن مخصوص (SGI)	۱۹/۲۵	۱۹/۲۵	مقاومت فشاری تک محوری	۲۵-۵۰	۵
سختی		۴			
اندیس قابلیت انفجار (BI)	۴۴/۱۲۵		اندیس خردایش سنگ (RFI)	۳۰	

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشانی					
شماره سایت: ۵۶		تراز: ۲۱۸۷/۵		رنگ کلی: قهوه‌ای	
پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۲۰	شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۶
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۰/۳	۲۰	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۰/۳ ۰/۱-۰/۱۵ بیشتر	۷
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	مختلط	۲۵	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	مختلط	۴/۵
وزن مخصوص	۲/۵۴	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	بسته	۸
تأثیر وزن مخصوص (SGI)	۱۳/۵	۱۳/۵	مقاومت فشاری تک محوری	۵۰-۱۰۰	۴
سختی		۵			
اندیس قابلیت انفجار (BI)	۴۱/۷۵		اندیس خردایش سنگ (RFI)	۲۹/۵	

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشانی					
شماره سایت: ۵۷		تراز: ۲۱۸۷/۵		رنگ کلی: لیمویی	
پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۲۰	شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۶
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۰/۵	۲۰	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۰/۵ ۰/۱-۰/۲ بیشتر	۷
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	اکثرأ بیرون+ شیب درزه‌ها به بیرون	۲۳	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	اکثرأ بیرون+ شیب درزه‌ها به بیرون	۴/۷
وزن مخصوص	۲/۹۶	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	بسته	۸
تأثیر وزن مخصوص (SGI)	۲۴	۲۴	مقاومت فشاری تک محوری	۲۵-۵۰	۵
سختی		۳			
اندیس قابلیت انفجار (BI)	۴۵		اندیس خردایش سنگ (RFI)	۳۰/۷	

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشانی					
شماره سایت: ۵۸		تراز: ۲۱۵۰		نوع سنگ: SP	
پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۲۰	شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۶
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۰/۶	۲۰	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۰/۶ ۰/۱-۰/۳ بیشتر	۷
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	اکثراً بیرون + کمی شیب درزه‌ها به بیرون	۲۷	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	اکثراً بیرون + کمی شیب درزه‌ها به بیرون	۴/۳
وزن مخصوص	۲/۸	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	کمی بسته، ۱-۵	۷
تأثیر وزن مخصوص (SGI)		۲۰	مقاومت فشاری تک محوری	۲۵-۵۰	۵
سختی		۵			
اندیس قابلیت انفجار (BI)	۴۶		اندیس خردایش سنگ (RFI)	۲۹/۳	

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشانی					
شماره سایت: ۵۹		تراز: ۲۱۵۰		نوع سنگ: DK <sub>1</sub> A	
پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۲۰	شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۶
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۰/۷	۲۰	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۰/۷	۷
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	مختلط	۲۵	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	مختلط	۴/۵
وزن مخصوص	۳/۱۴	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	بسته، < ۱	۸
تأثیر وزن مخصوص (SGI)		۲۸/۵	مقاومت فشاری تک محوری	۵۰-۱۰۰	۴
سختی		۵/۵			
اندیس قابلیت انفجار (BI)	۴۹/۵		اندیس خردایش سنگ (RFI)	۲۹/۵	

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشانی					
شماره سایت: ۶۰		تراز: ۲۱۳۷/۵		نوع سنگ: DK <sub>1</sub> A	
پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۲۰	شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۶
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۰/۴	۲۰	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۰/۴	۷
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	مختلط (عموماً رو به بیرون)	۲۵	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	مختلط (عموماً رو به بیرون)	۴/۵
وزن مخصوص	۲/۴۶	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	بسته تا کمی بسته	۷/۵
تأثیر وزن مخصوص (SGI)		۱۱/۵	مقاومت فشاری تک محوری	۲۵-۵۰	۵
سختی		۴-۵			
اندیس قابلیت انفجار (BI)	۴۰/۵		اندیس خردایش سنگ (RFI)	۳۰	



گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشانی					
شماره سایت: ۶۱		تراز: ۲۱۳۷/۵		نوع سنگ: DK <sub>1A</sub>	
پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی تا خرد	۱۹	شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی تا خرد	۶/۵
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۰/۲	۲۰	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۰/۲	۷/۵
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	مختلط	۲۵	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	مختلط	۴/۵
وزن مخصوص	۲/۳۶	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	بسته تا کمی بسته	۷/۵
تأثیر وزن مخصوص (SGI)		۱۰	مقاومت فشاری تک محوری	۲۵-۵۰	۵
سختی		۳-۴			
اندیس قابلیت انفجار (BI)	۳۸/۷۵		اندیس خردایش سنگ (RFI)	۳۱	

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشانی					
شماره سایت: ۶۲		تراز: ۲۱۳۷/۵		نوع سنگ: DK <sub>1A</sub>	
پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	پودری	۱۹	شرح توده سنگ (RMD)	پودری	۱۰
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۲۵-۰/۱	۲۰	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۲۵-۰/۱	۱۲
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	مختلط	۲۵	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	مختلط	۴/۵
وزن مخصوص	۲/۴	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	متوسط ۵-۵۰	۶/۵
تأثیر وزن مخصوص (SGI)		۱۲/۵	مقاومت فشاری تک محوری	۲۵-۵۰	۵
سختی		۳			
اندیس قابلیت انفجار (BI)	۳۰/۲۵		اندیس خردایش سنگ (RFI)	۳۸	

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشانی					
شماره سایت: ۶۳		تراز: ۲۱۳۷/۵		نوع سنگ: DK <sub>1A</sub>	
پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۲۰	شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۶
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۰/۳	۲۰	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۰/۳	۷
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	اکثرأ عمود+ بیرون	۲۷	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	اکثرأ عمود+ بیرون	۴/۳
وزن مخصوص	۲/۸۴	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	متوسط ۵-۵۰	۷
تأثیر وزن مخصوص (SGI)		۲۱	مقاومت فشاری تک محوری	۵۰-۱۰۰	۵
سختی		۵-۶			
اندیس قابلیت انفجار (BI)	۴۶/۷۵		اندیس خردایش سنگ (RFI)	۲۸/۳	

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفکاری					
شماره سایت: ۶۴		تراز: ۲۱۰۰		رنگ کلی: زرد تا گوشتی	
پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بسیار خرد تا بلوکی	۱۲	شرح توده سنگ (RMD)	بسیار خرد تا بلوکی	۹
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۲-۰/۲	۱۲	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۲-۰/۲	۱۱
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	اکثرأ عمود+ افقی	۲۵	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	اکثرأ عمود+ افقی	۴/۵
وزن مخصوص	۲/۷۶	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	کاملاً بسته	۸
تأثیر وزن مخصوص (SGI)		۱۹	مقاومت فشاری تک محوری	۲۵-۵۰	۵
		۴			
اندیس قابلیت انفجار (BI)		۳۶	اندیس خردایش سنگ (RFI)		۳۷/۵

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفکاری					
شماره سایت: ۶۵		تراز: ۲۱۰۰		رنگ کلی: زرد تا نخودی	
پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۲۰	شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۶
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۵-۰/۳	۱۷	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۵-۰/۳	۸/۵
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به بیرون	۲۵	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	اکثرأ عمود+ افقی	۴/۵
وزن مخصوص	۲/۸	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	کمی بسته، ۱-۵	۷
تأثیر وزن مخصوص (SGI)		۲۰	مقاومت فشاری تک محوری	۲۵-۵۰	۵
		۴-۵			
اندیس قابلیت انفجار (BI)		۴۳/۲۵	اندیس خردایش سنگ (RFI)		۳۱

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفکاری					
شماره سایت: ۶۶		تراز: ۲۱۰۰		رنگ کلی: قهوه‌ای	
پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۲۰	شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۶
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۰/۶	۲۰	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۰/۶	۷
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	درزه‌ها عمود بر سینه کار+ اکثرأ شیب درزه‌ها به بیرون	۲۷	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	درزه‌ها عمود بر سینه کار+ اکثرأ شیب درزه‌ها به بیرون	۴/۳
وزن مخصوص	۲/۱۵	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	کمی بسته، ۱-۵	۸
تأثیر وزن مخصوص (SGI)		۱۰	مقاومت فشاری تک محوری	۲۵-۵۰	۵
		۵-۶			
اندیس قابلیت انفجار (BI)		۴۱/۲۵	اندیس خردایش سنگ (RFI)		۳۰/۳

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشانی					
شماره سایت: ۶۷		تراز: ۲۱۰۰		نوع سنگ: SP	
رنگ کلی: زرد تا نخودی					
پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی (با نمای ماسیو)	۲۵	شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی (با نمای ماسیو)	۵/۵
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۰/۴۵	۲۰	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۰/۴۵	۷
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	اکثرأ شیب درزه‌ها به بیرون	۲۲	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	اکثرأ شیب درزه‌ها به بیرون	۴/۸
وزن مخصوص	۲/۲۲	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	کمی بسته + بسته	۷/۵
تأثیر وزن مخصوص (SGI)		۱۰	مقاومت فشاری تک محوری	۲۵-۵۰	۵
سختی		۴-۵			
اندیس قابلیت انفجار (BI)	۴۰/۷۵		اندیس خردایش سنگ (RFI)	۲۹/۸	

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشانی					
شماره سایت: ۶۸		تراز: ۲۱۰۰		نوع سنگ: SP	
رنگ کلی: قهوه‌ای تا خاکستری					
پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۲۰	شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۶
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۰/۵	۲۰	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱-۰/۵ ۰/۲-۰/۳ بیشتر	۷
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	درزه‌ها عمود بر سینه کار+ اکثرأ شیب درزه‌ها به بیرون	۲۷	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	درزه‌ها عمود بر سینه کار+ اکثرأ شیب درزه‌ها به بیرون	۴/۳
وزن مخصوص	۲/۲۴	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	کمی بسته تا بسته	۷/۵
تأثیر وزن مخصوص (SGI)		۱۰	مقاومت فشاری تک محوری	۲۵-۵۰	۵
سختی		۳-۴			
اندیس قابلیت انفجار (BI)	۴۰/۲۵		اندیس خردایش سنگ (RFI)	۲۹/۸	

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشانی					
شماره سایت: ۶۹		تراز: ۲۲۱۲/۵		نوع سنگ: سولفور کم عیار	
رنگ کلی: طوسی					
پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۲۰	شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۶
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۳-۰/۲۵	۱۷	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۳-۰/۲۵ ۰/۰۵-۰/۱۵ بیشتر	۱۰/۵
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به بیرون	۲۵	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	درزه‌ها عمود بر سینه کار+ شیب درزه‌ها به بیرون	۴/۵
وزن مخصوص	۲/۲۴	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	کمی بسته، ۱-۵	۶/۵
تأثیر وزن مخصوص (SGI)		۱۱/۲۵	مقاومت فشاری تک محوری	۲۵-۵۰	۵
سختی		۳-۴			
اندیس قابلیت انفجار (BI)	۳۸/۸۷۵		اندیس خردایش سنگ (RFI)	۲۷/۵	

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشانی					
شماره سایت: ۷۰		تراز: ۲۲۱۲/۵		نوع سنگ: سولفور کم عیار	
رنگ کلی: طوسی		پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			
پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)		پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۲۰	شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۶
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱ - ۰/۴ بیشتر ۰/۱۵-۰/۲۵	۲۰	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱ - ۰/۴ بیشتر ۰/۱۵-۰/۲۵	۷
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	مختلط	۲۵	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	مختلط	۴/۵
وزن مخصوص	۲/۵۴	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	کمی بسته، ۱-۵	۶/۵
تأثیر وزن مخصوص (SGI)	۱۳/۵	-----	مقاومت فشاری تک محوری	۲۵-۵۰	۵
سختی	۴-۵	-----			
اندیس قابلیت انفجار (BI)	۴۱/۵	-----	اندیس خردایش سنگ (RFI)	۲۹	-----

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشانی					
شماره سایت: ۷۱		تراز: ۲۲۱۲/۵		نوع سنگ: سولفور کم عیار	
رنگ کلی: طوسی		پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			
پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)		پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۲۰	شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۶
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱ - ۰/۶ بیشتر ۰/۲۵-۰/۳۵	۲۰	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱ - ۰/۶ بیشتر ۰/۲۵-۰/۳۵	۷
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	مختلط	۲۵	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	مختلط	۴/۵
وزن مخصوص	۲/۶۱	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	متوسط با پرکننده، ۵-۵۰	۶
تأثیر وزن مخصوص (SGI)	۱۵/۲۵	-----	مقاومت فشاری تک محوری	۲۵-۵۰	۵
سختی	۴-۵	-----			
اندیس قابلیت انفجار (BI)	۴۲/۳۷۵	-----	اندیس خردایش سنگ (RFI)	۲۸/۵	-----

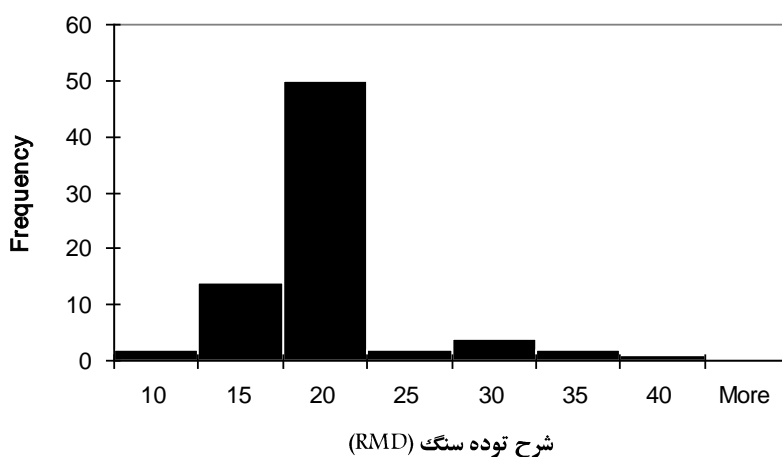
گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشانی					
شماره سایت: ۷۲		تراز: ۲۲۳۷/۵		نوع سنگ: سولفور پرعیار	
رنگ کلی: طوسی		پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			
پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)		پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	پودری	۱۰	شرح توده سنگ (RMD)	پودری	۱۰
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۳ - ۰/۱ بیشتر ۰/۰۳-۰/۰۵	۱۱	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۳ - ۰/۱ بیشتر ۰/۰۳-۰/۰۵	۱۱/۵
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	مختلط	۲۵	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	مختلط	۴/۵
وزن مخصوص	۲/۵۲	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	خیلی کم، <۱	۸
تأثیر وزن مخصوص (SGI)	۱۳	-----	مقاومت فشاری تک محوری	۲۵-۵۰	۵
سختی	۴	-----			
اندیس قابلیت انفجار (BI)	۳۱/۵	-----	اندیس خردایش سنگ (RFI)	۳۹	-----

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشانی					
شماره سایت: ۷۳		تراز: ۲۲۳۷/۵		نوع سنگ: DK <sub>1</sub> A	
رنگ کلی: سفید تا خاکستری		پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			
پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۲۰	شرح توده سنگ (RMD)	پودری	۶
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱ - ۰/۲۵	۲۰	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۳ - ۰/۱ ۰/۰۳ - ۰/۰۵ بیشتر	۷
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	مختلط	۲۵	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	مختلط	۴/۵
وزن مخصوص	۲/۳۷	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	کمی بسته تا بسته، ۱-۵	۷/۵
تأثیر وزن مخصوص (SGI)		۱۰	مقاومت فشاری تک محوری	۵۰-۱۰۰	۴
سختی		۳			
اندیس قابلیت انفجار (BI)	۳۹		اندیس خردایش سنگ (RFI)	۲۹	

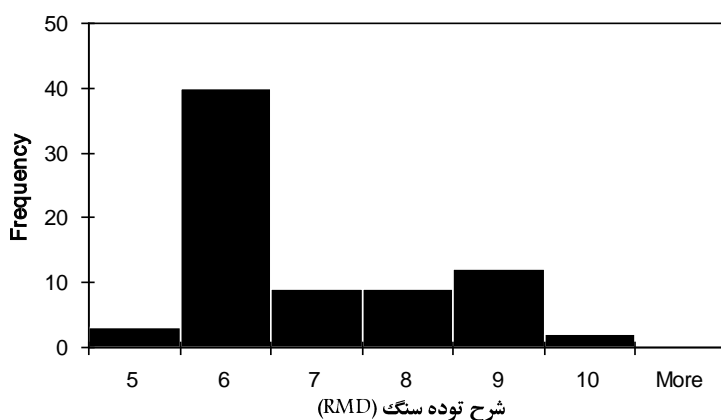
گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشانی					
شماره سایت: ۷۴		تراز: ۲۱۵۰		نوع سنگ: سولفور کم عیار	
رنگ کلی: سفید تا خاکستری		پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			
پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی تا خرد	۱۷	شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی تا خرد	۹
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۲ - ۰/۲ ۰/۰۵ - ۰/۱ بیشتر	۱۱	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۲ - ۰/۲ ۰/۰۵ - ۰/۱ بیشتر	۱۱
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	مختلط	۲۵	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	مختلط	۴/۵
وزن مخصوص	۲/۴۷	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	کمی بسته، ۱-۵	۷/۵
تأثیر وزن مخصوص (SGI)		۱۱/۷۵	مقاومت فشاری تک محوری	۵۰-۱۰۰	۴
سختی		۳-۴			
اندیس قابلیت انفجار (BI)	۳۴/۱۲۵		اندیس خردایش سنگ (RFI)	۳۵	

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آتشفشانی					
شماره سایت: ۷۵		تراز: ۲۱۵۰		نوع سنگ: DK <sub>1</sub> B	
رنگ کلی: قهوه‌ای		پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			
پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)			پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)		
نام پارامتر	توضیحات	امتیاز	نام پارامتر	توضیحات	امتیاز
شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی	۲۰	شرح توده سنگ (RMD)	بلوکی تا خرد	۶
فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۱ - ۰/۲۵ ۰/۲ - ۰/۳ بیشتر	۲۰	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۰/۰۲ - ۰/۲ ۰/۰۵ - ۰/۱ بیشتر	۷
جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	اکثراً روبه بیرون + عمود بر امتداد	۲۷	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	مختلط	۴/۵
وزن مخصوص	۲/۴۶	-----	جدایش درزه‌ها (DPA)	کمی بسته، ۱-۵	۷/۵
تأثیر وزن مخصوص (SGI)		۱۱/۵	مقاومت فشاری تک محوری	۵۰-۱۰۰	۴
سختی		۵-۶			
اندیس قابلیت انفجار (BI)	۴۲		اندیس خردایش سنگ (RFI)	۲۸/۵	

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مؤثر در طراحی آشکاری					
		رنگ کلی: قهوه‌ای		نوع سنگ: DK <sub>1</sub> B	
		تراز: ۲۱۵۰		شماره سایت: ۷۶	
پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)		
امتیاز	توضیحات	نام پارامتر	امتیاز	توضیحات	نام پارامتر
۷/۵	بلوکی تا خرد	شرح توده سنگ (RMD)	۱۶	بلوکی تا خرد	شرح توده سنگ (RMD)
۱۰	۰/۰۲ - ۰/۲ ۰/۰۵ - ۰/۱ بیشتر	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)	۱۵	۰/۰۲ - ۰/۳۵ ۰/۱ - ۰/۱۵ بیشتر	فاصله‌داری درزه‌ها (JPS)
۴/۵	مختلط	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)	۲۵	مختلط	جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)
۷/۵	کمی بسته تا بسته	جدایش درزه‌ها (DPA)	-----	۲/۳۱	وزن مخصوص
۴	۵۰-۱۰۰	مقاومت فشاری تک محوری	۱۰		تأثیر وزن مخصوص (SGI)
			۵-۶		سختی
۳۳/۵		اندیس خردایش سنگ (RFI)	۳۵/۷۵		اندیس قابلیت انفجار (BI)



شکل ۲-۲- هیستوگرام امتیازهای کسب شده توسط توده سنگ‌ها از دیدگاه روش BI



شکل ۲-۳- هیستوگرام امتیازهای کسب شده توسط توده سنگ‌ها از دیدگاه روش RFI

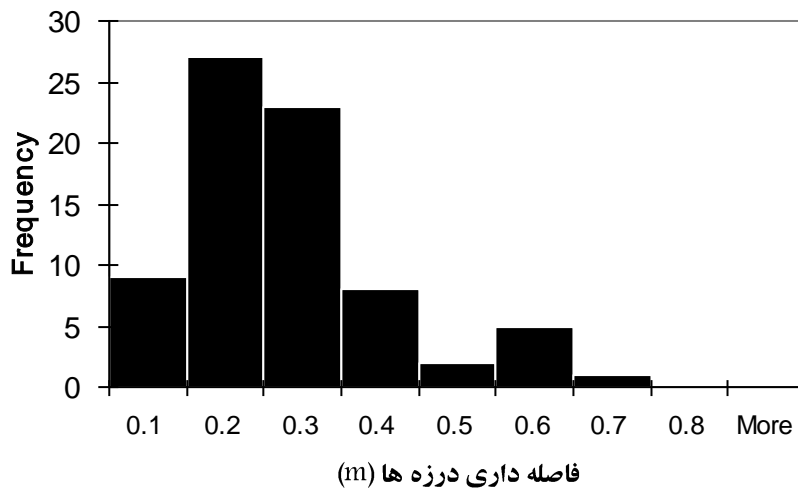
## ۲-۴- فاصله‌داری درزه‌ها

با توجه به اطلاعات مندرج در فرم‌های برداشت، هیستوگرام فاصله‌داری متوسط درزه‌ها در توده سنگ‌ها را می‌توان به صورت شکل ۲-۳ در نواحی مختلف معدن بررسی کرد.

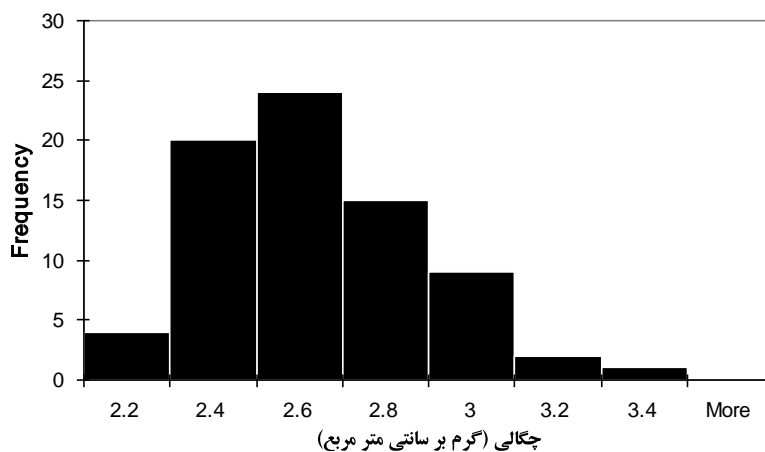
چنانچه در شکل ۲-۴ نشان داده شده است فراوانی درزه‌های با فاصله‌داری متوسط ۰/۲ متر بیشتر از سایر مقادیر است. لذا چنین می‌شود نتیجه گرفت که با توجه به نتایج ارائه شده در بخش ۲-۳-۱ ساختار کلی توده سنگ‌ها متشکل از بلوک‌هایی با ابعاد ۱۰ الی ۳۰ سانتی‌متر می‌باشد.

## ۳-۴- چگالی

با توجه به آزمایش‌های انجام شده بر روی نمونه‌های جمع‌آوری شده از معدن، هیستوگرام فراوانی چگالی در معدن سونگون به صورت شکل ۲-۵ به دست آمده است.



شکل ۲-۴- هیستوگرام فاصله‌داری متوسط درزه‌ها در معدن مس سونگون

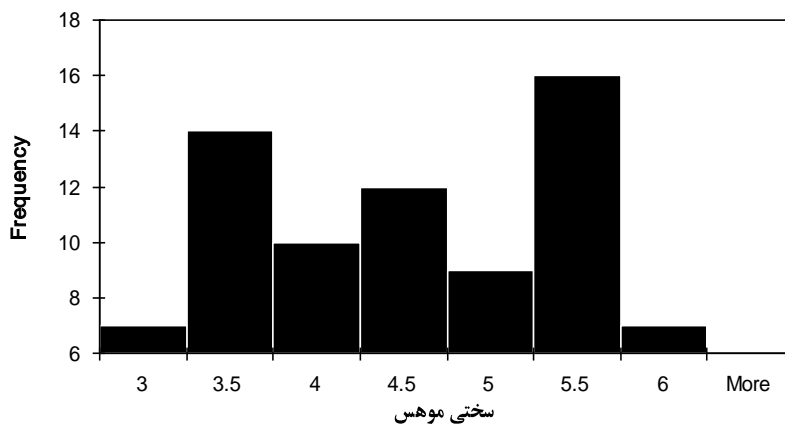


شکل ۲-۵- هیستوگرام چگالی سنگ در معدن مس سونگون

چنانچه در شکل دیده می‌شود فراوانی چگالی در بازه ۲/۲ الی ۲/۶ بیشتر از مقادیر دیگر در معدن است. لذا از نظر چگالی، سنگ‌های معدن متوسط می‌باشند.

#### ۴-۴- سختی

با توجه به آزمایش‌های انجام شده بر روی نمونه‌های دستی، توزیع فراوانی سختی در معدن سونگون به صورت شکل ۲-۵ قابل بررسی است. سختی سنگ‌های معدن مس سونگون در مقادیر ۳ تا ۴ و نیز ۵ تا ۶ بیشترین فراوانی را دارد. سایر مقادیر سختی از فراوانی مشابهی برخوردارند.

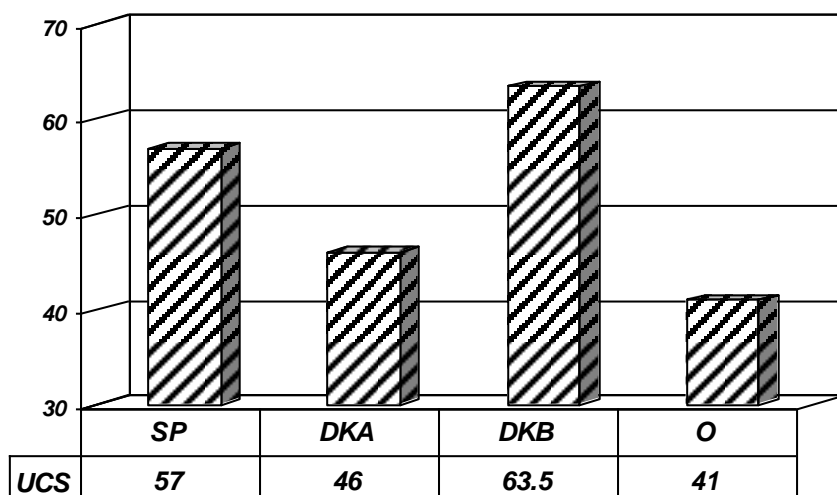


شکل ۲-۵- هیستوگرام فراوانی سختی سنگ در معدن مس سونگون

#### ۴-۵- مقاومت فشاری

با توجه به اینکه در سیستم RFI، مقاومت فشاری به صورت بازه‌ای امتیاز دهی می‌گردد و با عنایت به اینکه هدف این تحقیق ارائه یک مدل کاربردی برای استفاده و پیاده‌سازی آسان روش‌های مبتنی بر توده سنگ در معدن می‌باشد لذا در بحث از مقاومت فشاری به رغم وجود اطلاعات جز به جز از روش بازه‌ای استفاده گردیده است تا الگوبرداری و استفاده از این چارامتر در معدن راحت باشد. لذا با توجه به برداشت‌های انجام شده در معدن، میانگین مقاومت فشاری هر نوع سنگ به صورت شکل ۲-۶ قابل ارائه است.

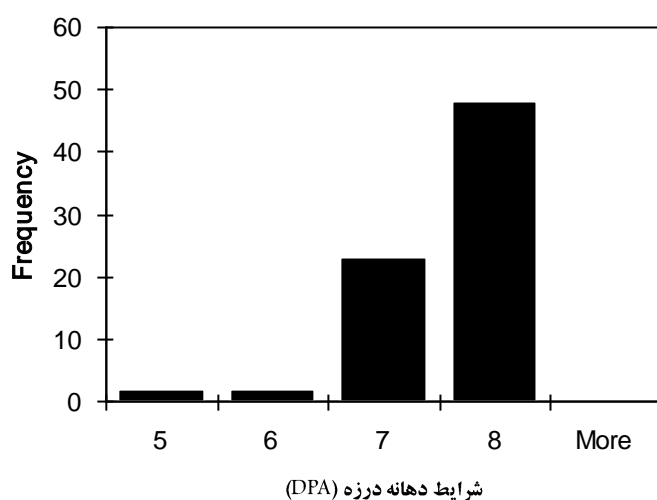




شکل ۲-۶- میانگین مقاومت فشاری هر نوع سنگ در معدن سونگون

#### ۴-۶- شرایط دهانه درزه‌ها

با توجه به اطلاعات مندرج در فرم‌های برداشت، هیستوگرام فراوانی امتیاز کسب شده توسط توده سنگ‌ها از نظر شرایط دهانه درزه‌ها در سیستم RFI را می‌توان به صورت شکل ۲-۷ در نواحی مختلف معدن نشان داد. چنانچه از این شکل بر می‌آید بیشتر حالت وجودی شرایط دهانه درزه‌ها مربوط به  $DPA=8$  می‌باشد. این امر نشان دهنده این موضوع است که دهانه درزه عموماً بسته بوده (خیلی کم،  $> 1$  میلی‌متر)، و از این نظر شرایط توده سنگ برای آتشکاری مناسب می‌باشد.

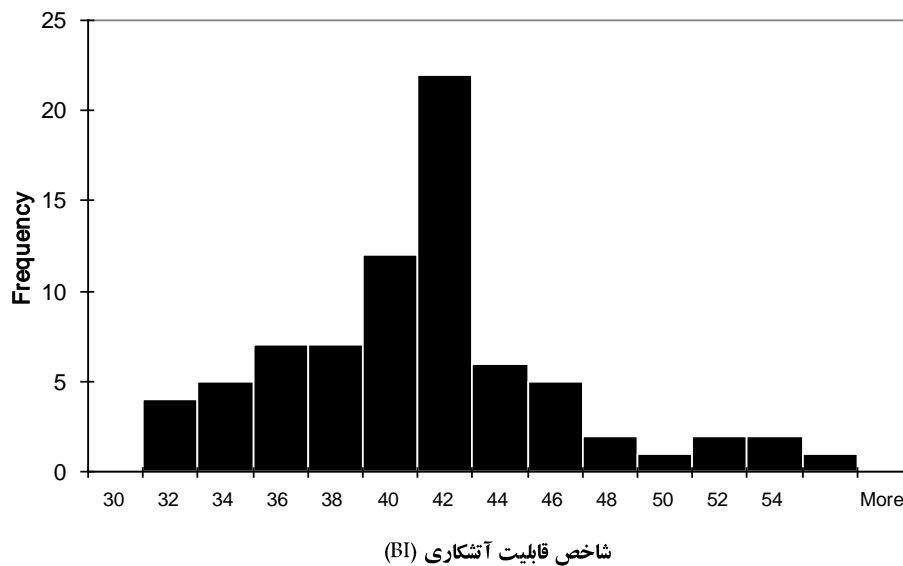


شکل ۲-۷- هیستوگرام فراوانی امتیاز کسب شده توسط توده سنگ‌ها از نظر شرایط دهانه درزه‌ها

#### ۴-۷- شاخص قابلیت انفجار (BI)

با توجه به مطالعات انجام شده در بخش‌های قبلی و با در نظر گرفتن مطالب مندرج در فرم‌های پیوست،

مقادیر شاخص قابلیت انفجار برای کلیه سایت‌های هفتاد و شش‌گانه مورد برداشت در معدن محاسبه گردید. نمودار توزیع فراوانی این شاخص در شکل ۲-۸ آورده شده‌است.



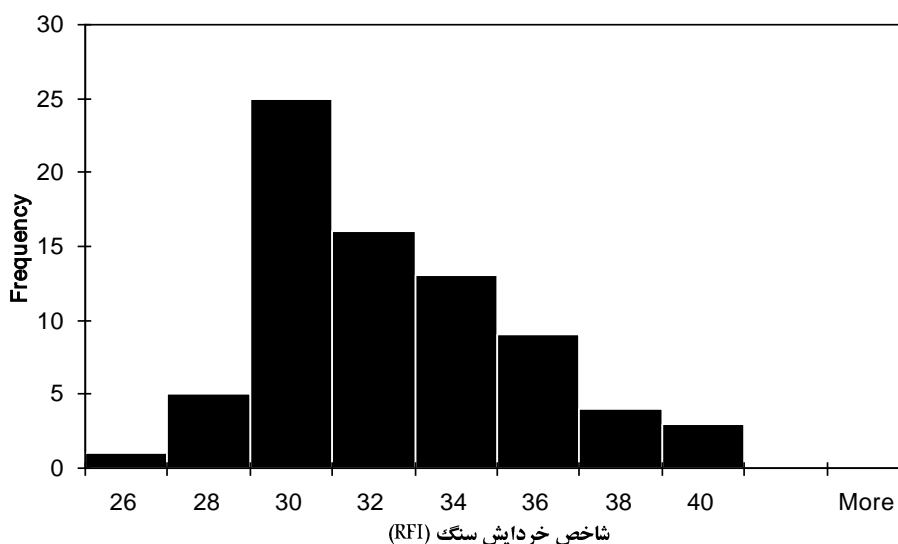
شکل ۲-۸- هیستوگرام فراوانی شاخص قابلیت آتشکاری در معدن سونگون

چنانچه از شکل بر می‌آید فراوانی شاخص قابلیت آتشکاری در معدن مس سونگون در مقادیر پائین بیشتر است. این امر نشان آن است که در اکثر توده سنگ‌ها وضعیت آتشکاری مناسبی پیش‌بینی می‌شود (باید توجه داشت که کیفیت آتشکاری با شاخص BI رابطه عکس دارد). همچنین با توجه به گسترش دامنه مقادیر BI بین ۳۰-۵۶ می‌توان نتیجه گرفت که نمی‌توان با تمامی توده سنگ‌ها به یک برخورد نموده و برای آتشکاری آن‌ها از الگوهای مشابهی استفاده نمود.

#### ۴-۸- شاخص قابلیت خردایش سنگ (RFI)

با دقت در نتایج ارائه شده در فرم‌های برداشت صحرایی، نحوه توزیع فراوانی شاخص خردایش سنگ در معدن مس سونگون به صورت شکل ۲-۹ می‌باشد.

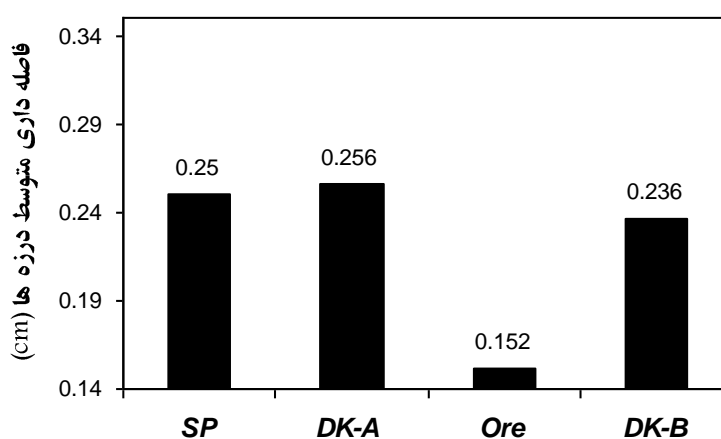
چنانچه در شکل بالا دیده می‌شود ارزیابی قابلیت آتشکاری توده سنگ‌های معدن سونگون از دیدگاه روش RFI هم مؤید این موضوع است که توده سنگ‌های موجود از قابلیت آتشکاری بالایی برخوردارند (باید توجه شود که شاخص RFI با قابلیت آتشکاری توده سنگ‌ها رابطه مستقیم دارد).



شکل ۲-۱۰- هیستوگرام فراوانی شاخص قابلیت خردایش سنگ در معدن سونگون

#### ۴-۹- بررسی پارامترهای ژئومکانیکی در توده سنگ‌های مختلف

چنانچه در بخش آشنایی با زمین‌شناسی سونگون شرح داده شد معدن مس سونگون دارای سه تیپ سنگ‌شناسی مهم در باطله و نیز ماده معدنی می‌باشد. نتایج حاصل از برداشت‌های صحرایی برای هر یک از این زون‌ها به طور جداگانه در جدول ۲-۱ تا جدول ۲-۴ و در شکل‌های ۲-۱۱ تا ۲-۱۲ آورده شده‌است. شایان ذکر است در برخی از پارامترها به منظور راحتی از امتیازات کسب شده توسط توده سنگ در روش‌های BI و RFI استفاده شده است.



جدول ۲-۱۱- فاصله‌داری متوسط درزه‌ها به تفکیک زون‌های سنگی موجود در معدن

جدول ۲-۱- نتایج حاصل از برداشت‌های صحرائی برای توده سنگ‌های مونزونیتی

RFI	BI	DPA (امتیاز)	H	UCS (امتیاز)	G ( $gr/cm^3$ )	JPS (m)	RMD		شماره
							RFI	BI	
31	41.875	8	4	5	2.71	0.55	6	20	1
30.5	41.125	8	3	5	2.57	0.55	6	20	2
26	52.75	5	3.5	5	2.8	0.55	5	35	3
30	38.75	7	3.5	5	2.64	0.55	6	20	4
35.5	33.375	8	4	5	2.55	0.2	7	16	5
31	42.625	8	5	5	2.61	0.35	7	18	6
35.5	36.125	8	4.5	5	2.47	0.125	9	13	7
39.5	30.5	8	4	5	2.38	0.55	6	20	8
31.5	38.25	8	3.5	4	2.34	0.225	8	18	9
32.5	39.5	8	6	4	2.2	0.25	6	20	10
35.5	34.5	8	6	5	2.39	0.175	9	14	11
37.5	32.5	8	6	5	2.17	0.08	9	12	12
26.5	52.125	7	6	4	2.73	0.3	5	35	13
29.5	40.5	5	4	5	2.21	0.325	6.5	19	14
37	32.875	8	5	5	2.43	0.09	9	12	15
38.5	31.375	8	5	5	2.43	0.06	9	12	16
33.2	36	8	4	5	2.14	0.325	6	20	17
33.7	32.5	8	3	5	2.34	0.15	7.2	17	18
43.5	42	7	4	5	2.27	0.15	7	30	19
30.5	51.125	7	5.5	5	2.86	0.25	7	30	20
30	44.626	7.5	3	5	2.85	0.55	6	20	22
30	50.5	8	5.5	5	2.81	0.35	5.5	30	23
32.5	37.5	6	5.5	4	2.9	0.175	7.5	17	24
34	37.875	7	4.5	5	2.65	0.24	8	15	29
31.5	39	8	6	5	2.3	0.275	6	20	30
31.7	40.75	8	5	5	2.62	0.24	6	20	31
28.8	38	7	4.5	4	2.45	0.25	6	20	32
30.5	40.5	8	4.5	5	2.46	0.375	6	20	33
32.5	36.625	7	5.5	5	2.51	0.15	7	18	36
33.5	40.5	7.5	5.5	5	2.65	0.14	6	18	37
33	38.125	7	4	5	2.59	0.15	7	17.5	40
35	34.25	8	5.5	4	2.29	0.1	8.5	14	41
35.5	42	6.5	4	5	3.28	0.1	9	13	43
32.3	39.625	7.5	5	5	2.53	0.16	6.5	17	52
	43.875	8	6	5	3.03	0.125	8.5	14	53
35	38.5	7.5	3.5	5	2.9	0.07	8	13	54
30	44.125	7.5	4	5	2.77	0.3	6	20	55
30.7	45	8	3	5	2.96	0.275	6	20	57
29.5	46	7	5	5	2.8	0.25	6	20	58
30	40.5	7.5	4.5	5	2.46	0.25	6	20	60
37.5	36	8	4	5	2.76	0.09	9	12	64
31	43.25	7	4.5	5	2.8	0.16	6	20	65
30.3	41.25	8	5.5	5	2.15	0.21	6	20	66
29.8	40.75	7.5	4.5	5	2.22	0.27	5.5	25	67
29.8	40.25	7.5	3.5	5	2.24	0.27	6	20	68
33	35.75	7.5	5.5	4	2.31	0.17	7.5	16	76
۳۲/۵۷	۳۹/۹	-----	۴/۵۸	-----	۲/۵۵	۰/۲۵	-----	-----	میانگین

جدول ۲-۲- نتایج حاصل از برداشت‌های صحرایی برای توده سنگ‌های DK<sub>1</sub>A

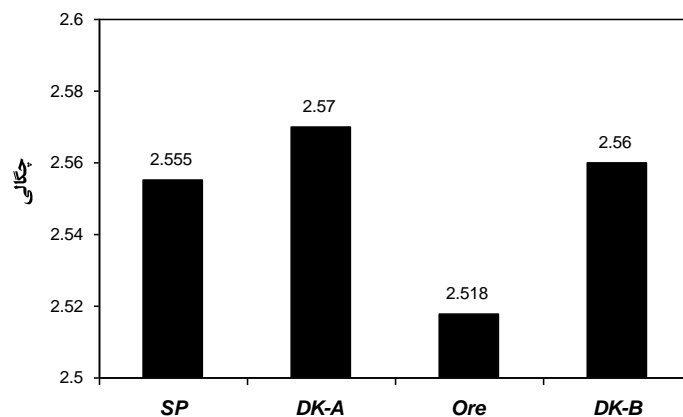
RFI	BI	DPA (امتیاز)	H	UCS (امتیاز)	G (gr/cm <sup>3</sup> )	JPS (m)	RMD		شماره
							RFI	BI	
29.5	46	8	6	4	2.84	0.3	6	20	25
35.5	34.625	7	3.5	5	2.51	0.125	9	14	26
33.5	38.5	7	3.5	5	2.7	0.125	8	16	27
31.5	36.25	7	3.5	4	2.31	0.225	7.5	17	28
26.5	41.75	7	3.5	4	2.6	0.45	6	20	34
26.5	41.625	7	5.5	4	2.51	0.45	6	20	35
36	32.5	8	3	5	2.24	0.13	8.5	13	38
29.5	43.625	8	5.5	4	2.67	0.275	6	20	42
30.3	40.25	8	3.5	5	2.38	0.2	6	20	44
32	37	7.5	4	5	2.36	0.15	8	15	45
28.8	46.875	7.5	3.5	4	2.93	0.175	6	20	47
29.5	49.5	8	5.5	4	3.14	0.4	6	20	59
31	38.75	7.5	3.5	5	2.36	0.15	6.5	19	61
37	30.25	6.5	3	4	2.4	0.625	10	10	62
28.3	46.75	7	5.5	4	2.84	0.2	6	20	63
29	39	7.5	3	4	2.37	0.125	6	20	73
<b>۳۰/۹</b>	<b>۴۰/۲</b>	-----	<b>۴/۱</b>	-----	<b>۲/۵۷</b>	<b>۰/۲۵۶</b>	-----	-----	<b>میانگین</b>

جدول ۳-۲- نتایج حاصل از برداشت‌های صحرایی برای توده سنگ‌های DK<sub>1</sub>B

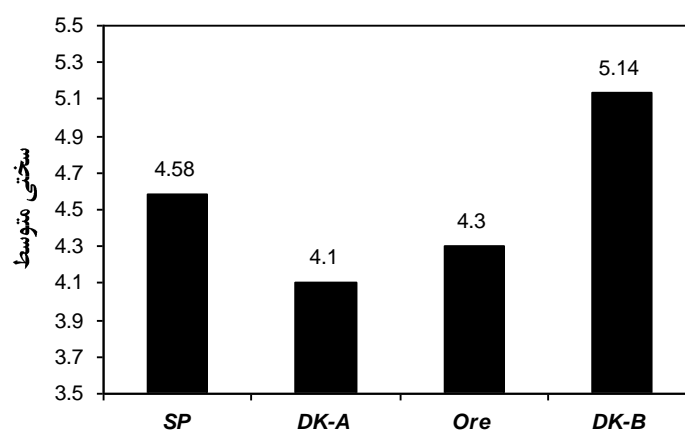
RFI	BI	DPA (امتیاز)	H	UCS (امتیاز)	G (gr/cm <sup>3</sup> )	JPS (m)	RMD		شماره
							RFI	BI	
31.5	42	7.5	5.5	4	2.53	0.285	6	20	39
29.5	41.25	8	4.5	4	2.5	0.2	6	20	46
27.7	43	6.5	5.5	4	2.42	0.25	5.5	27	48
29	40	7.5	5	4	2.38	0.25	6	20	50
29.5	41	8	5	4	2.38	0.35	5.5	25	51
29.5	41.75	8	5	4	2.54	0.16	6	20	56
28.5	42	7	5.5	4	2.46	0.16	6	20	75
<b>۲۹/۳</b>	<b>۴۱/۵۷</b>	-----	<b>۵/۱۴</b>	-----	<b>۲/۵۶</b>	<b>۰/۲۳۶</b>	-----	-----	<b>میانگین</b>

جدول ۴-۲- نتایج حاصل از برداشت‌های صحرایی برای توده سنگ‌های ماده معدنی

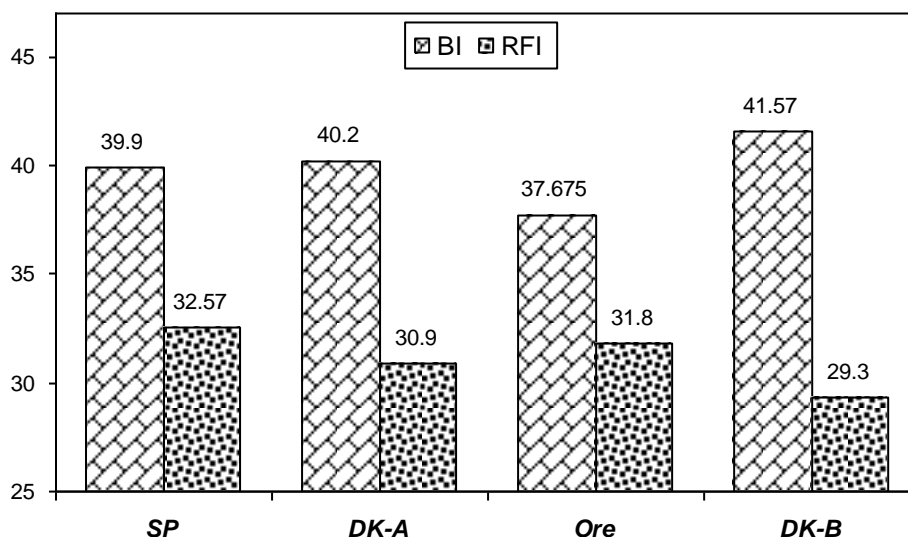
RFI	BI	DPA (امتیاز)	H	UCS (امتیاز)	G (gr/cm <sup>3</sup> )	JPS (m)	RMD		شماره
							RFI	BI	
<b>27.5</b>	38.875	6.5	4.5	5	2.45	0.12	6	20	69
<b>29</b>	41.5	6.5	4.5	5	2.54	0.21	6	20	70
<b>28.5</b>	42.375	6	4.5	5	2.61	0.3	6	20	71
<b>35</b>	34.125	7.5	3.5	5	2.47	0.08	8.8	17	74
<b>39</b>	31.5	8	4.5	5	2.52	0.05	10	10	72
<b>۳۱/۸</b>	<b>۳۷/۶۷۵</b>	-----	<b>۴/۳</b>	-----	<b>۲/۵۱۸</b>	<b>۰/۱۵۲</b>	-----	-----	<b>میانگین</b>



جدول ۲-۱۲- چگالی متوسط به تفکیک زون های سنگی موجود در معدن



جدول ۲-۱۳- سختی متوسط به تفکیک زون های سنگی موجود در معدن



جدول ۲-۱۴- مقادیر BI و RFI متوسط به تفکیک زون های سنگی موجود در معدن

چنانچه از شکل ۲-۱۱ استنباط می گردد با توجه به طبیعت پیچیده و شرایط تکتونیک خاص موجود در معدن (سه زون موجود در باطله حالت تنیدگی دارند)، میزان فاصله داری متوسط درزه ها در سه زون باطله

حالت مشابه هم دارند. اما توده‌های ماده معدنی عموماً حالت ضعیف‌تر داشته و فاصله‌داری درزه‌ها در آن‌ها کمتر از باطله است.

از نظر چگالی سنگ  $DK_1A$  سنگین‌تر از سایر نمونه‌های سنگی معدن می‌باشد. در این مورد نیز ماده معدنی از باطله‌های موجود در معدن دارای مقدار کمتری است. از نظر سختی (شکل ۲-۱۳) سنگ  $DK_1B$  مقدار بیشتری دارد و از این نظر اختلاف سنگ‌های موجود در معدن بسیار واضح‌تر از سایر پارامترهاست.

در شکل ۲-۱۴ میانگین شاخص قابلیت انفجار و میانگین شاخص خردایش سنگ برای توده سنگ‌های مختلف نشان داده شده است. چنانچه از شکل بر می‌آید توده سنگ‌های موجود در دایک‌های  $DK_1B$  از نظر قابلیت آتشکاری شرایط بدتری نسبت به سایر توده سنگ‌ها قرار دارند. ترتیب رتبه‌بندی توده سنگ‌ها از بهترین وضعیت به بدترین وضعیت بر اساس شاخص‌های  $BI$  و  $RFI$  در جدول ۲-۵ آورده شده است.

جدول ۲-۵- ترتیب رتبه‌بندی توده سنگ‌ها از نظر قابلیت آتشکاری

بر اساس امتیاز		رتبه
$RFI$	$BI$	
زون مونزونیتی (SP)	ماده معدنی (Ore)	۱
ماده معدنی (Ore)	زون مونزونیتی (SP)	۲
زون دایکی $DK_1A$	زون دایکی $DK_1A$	۳
زون دایکی $DK_1B$	زون دایکی $DK_1B$	۴

چنانچه در جدول فوق مشاهده می‌شود، رتبه‌بندی توده سنگ‌های مختلف از دیدگاه دو روش  $RFI$  و  $BI$  کمی اختلاف دارند. این امر به نحوه امتیازدهی و پارامترهای مورد استفاده در روش‌های مختلف مربوط می‌شود.

در فصل آینده الگوهای آتشکاری در توده سنگ‌های مختلف معدن مس سونگون با استفاده از روش‌های تجربی و روش‌های جدید طراحی شده و نتایج حاصل از روش‌های مختلف با هم مقایسه خواهند شد.

بر آورد بارسنگ و خرج ویژه

آشکاری‌های معدن مس سونگون



## ۱ - مقدمه

چنانچه در فصل‌های قبل دیدیم، به منظور آتشکاری، تعیین یک سری پارامترها به عنوان پارامترهای ضروری و اولیه الزامی است. در فصل اول با کلیه این پارامترها آشنا شده و روش محاسبه و تعیین آن‌ها ذکر گردید. در این فصل نتایج کلی حاصل از طراحی و نیز طبقه‌بندی نتایج حاصل با استفاده از روش‌های مختلف صورت ارائه می‌شود.

چنانچه در فصل اول ارائه شد اولین و کلیدی‌ترین تصمیم در طراحی آتشکاری معادن روباز انتخاب قطر حفاری می‌باشد. انتخاب قطر به پارامترهای فنی و اقتصادی بسیار زیادی وابسته است. اما گاهی در معدن به ویژه در معادن کشورمان پارامترهایی در انتخاب قطر چال دخالت دارند که به طور کلی فرآیند انتخاب قطر را به طور کامل تغییر داده و نتیجه طراحی را به طور مستقیم تحت الشعاع قرار می‌دهند. یکی از این مسائل در دسترس بودن و امکان تهیه ماشین حفاری است. بدین مفهوم یک مهندس طراح باید از یک سری گزینه‌های محدود و گاه غیر فنی باید بهترین گزینه را انتخاب نماید. چه بسا این انتخاب با شرایط ایده‌آل و شرایط فنی و اقتصادی معدن بسیار فاصله داشته باشد.

در معدن مس سونگون با توجه به کلیه مشکلات اجرایی در کشور از جمله کمبود توان‌هایی پیمانکار در تهیه ماشین آلات حفاری نو و قطر بالا، وجود تحریم‌های مختلف در زمینه فروش و خدمات پس از فروش و نیز هزینه بالای تعمیر و نگهداری این ماشین آلات در مجموع قطر حفاری ۶ اینچ برای عملیات حفاری و آتشکاری انتخاب گردیده است. با توجه به قیمت پائین، ایمنی بالا و سهولت کاربرد، آنفو به عنوان ماده منفجره در معدن مس سونگون انتخاب شده است. با مشخص گردیدن دو عامل قطر و نوع ماده منفجره می‌توان سایر مراحل طراحی را طبق روابط و روش‌های ذکر شده پیش برد.

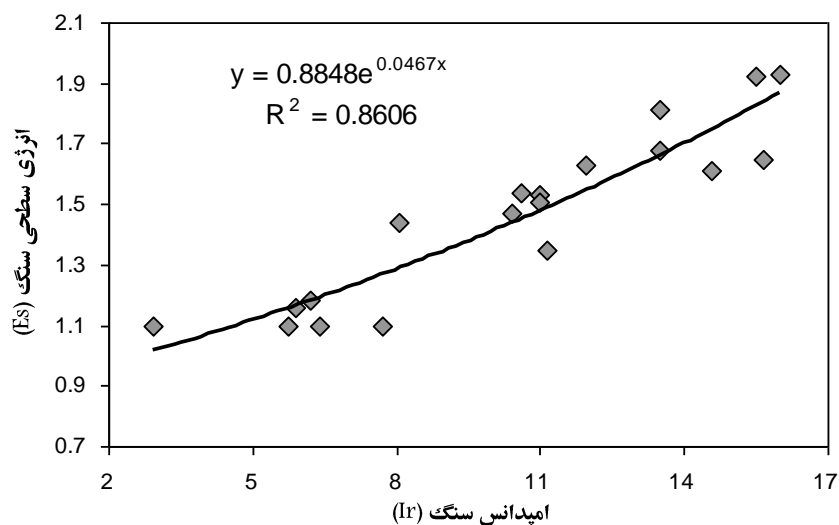
## ۲ - برآورد بارسنگ و خرج ویژه با استفاده از روش انتقال انرژی

با توجه به اینکه طریقه استفاده از فرمول‌های تئوری انتقال انرژی در فصل اول شرح داده شده پارامترهای مربوط به فرمول‌های تئوری انتقال انرژی، خرج ویژه و بارسنگ حاصل از طریق مزبور برای سنگ‌های موجود در جدول ۱-۳ آورده شده است.

جدول ۳-۱- خرج ویژه و بار سنگ محاسبه شده در توده سنگ‌های مختلف با استفاده از روابط انتقال انرژی

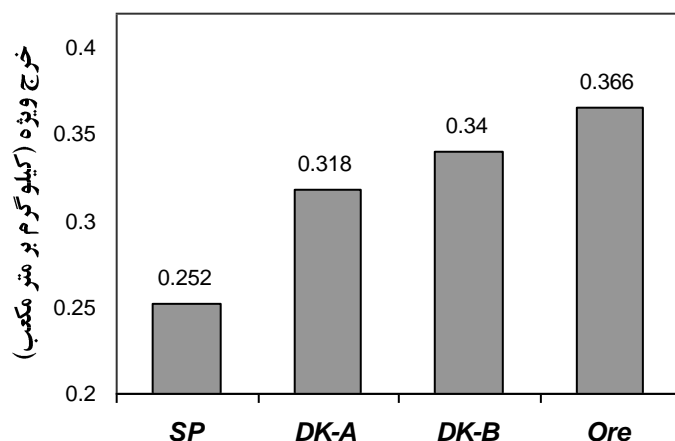
Ore	DK <sub>1B</sub>	DK <sub>1A</sub>	SP	پارامتر
۸۵۰				وزن مخصوص ماده منفجره $(\gamma_e) - kg/m^3$
$2/72 \times 10^6$				امپدانس ماده منفجره $(I_e) - kg/m^2 \times s$
۲۹۸۴	۳۸۸۱	۳۵۰۶	۳۲۱۰	سرعت موج در سنگ $(V_r) - m/s$
۲۵۱۸	۲۵۶۰	۲۵۷۰	۲۵۵۰	وزن مخصوص سنگ $(\gamma_r) - kg/m^3$
۷/۵۱۴	۹/۹۳۵	۹/۰۱	۸/۱۸	امپدانس سنگ $(I_r) - kg/m^2 \times s \times 10^6$
۰/۷۸	۰/۶۷۵	۰/۷۱	۰/۷۴۹	ضریب امپدانس $(\eta_1)$
۱				ضریب جفت‌شدگی $(\eta_2)$
۱/۲۲۵	۱/۳۶۵	۱/۳۴۶	۱/۲۹۴	انرژی سطحی مخصوص سنگ * $(E_s) - MJ/m^3 \times 10^{-3}$
۰/۵	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۸	بعد بزرگترین سنگ خردشده $(D_m) - m$
۱۲۸	۹۲/۳	۹۲/۳	۸۰	سطح مخصوص جدید سنگ $(S) - m^2/m^3$
۳/۶۶				انرژی ویژه ماده منفجره $(E_e) - MJ/kg$
۰/۱۵				ضریب انرژی مربوط به خردایش سنگ $(\eta_3)$
۰/۳۶۶	۰/۳۴	۰/۳۱۸	۰/۲۵۲	خرج ویژه $kg/m^3$
۳۶/۲۳	۳۷/۵۹	۳۸/۸۶	۴۳/۶۶	نسبت بار سنگ به قطر چال $\frac{B}{\phi_h}$
۵/۵۲	۵/۷۲	۵/۹۲	۶/۶۵	بار سنگ (متر)

\* با توجه به اینکه محاسبه انرژی ویژه برای یک سنگ مستلزم انجام آزمایش هزینه‌بری است که امکان محاسبه آن در داخل کشور وجود ندارد لذا با توجه اطلاعات موجود در جدول ۱-۱ می‌توان رابطه ریاضی بین امپدانس سنگ و انرژی سطحی آن را به صورت شکل ۳-۱ نشان داد.

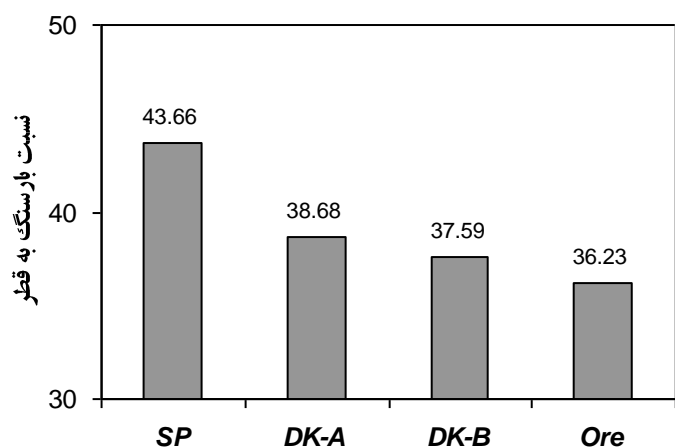


شکل ۳-۱- رابطه تجربی بین امپدانس و انرژی سطحی سنگ‌ها

در این صورت می‌توان با در دست داشتن میزان امیدانس سنگ انرژی سطحی آن را تا حد مطلوبی پیش‌بینی نمود. در این تحقیق نیز به منظور محاسبه انرژی سطحی سنگ‌های موجود در معدن مس سونگون از رابطه ارائه شده در معدن در شکل ۱-۳ استفاده شده است. با توجه به اطلاعات جدول ۱-۳، نتایج طراحی حاصل از فرمول‌های انتقال انرژی در مورد خرج ویژه و بار سنگ به صورت شکل‌های ۲-۳ و ۳-۳ قابل ارائه است.



شکل ۲-۳- مقایسه خرج ویژه حاصل از فرمول‌های انتقال انرژی برای سنگ‌های مختلف معدن



شکل ۲-۳- مقایسه بار سنگ حاصل از فرمول‌های انتقال انرژی برای سنگ‌های مختلف معدن

چنانچه مشاهده می‌شود توده سنگ‌های مونوزونیتی دارای کمترین خرج ویژه و بازرترین شبکه و الگوی انفجار در معدن می‌باشند. اما در مورد توده‌های ماده معدنی تناقض بسیار آشکاری با تجارب صحرائی و نتایج حاصل از این روش مشاهده شده است. در معدن به علت طبیعت درزه‌دار و حالت بلوکی (با بلوک‌های کوچک) دپوی پس از آتشکاری از خردایش بالایی برخوردار است. این در حالی است که مقادیر خرج ویژه

استفاده شده برای چنین دانه‌بندی‌ای ۴۰ درصد کمتر از مقدار محاسبه شده است. این تناقض بین طراحی و واقعیت به ضعف روش انتقال انرژی ناشی از در نظر نگرفتن خواص توده سنگ و تعریف نادرست مفهوم "سطح مخصوص جدید سنگ" است. زیرا مطمئناً ایجاد سطح آزاد در توده سنگ به شدت به درزه‌داری اولیه و بر جای توده سنگ وابسته است و تنها در نظر گرفتن ماده سنگ در این فرآیند امر نادرستی است.

### ۳- برآورد بارسنگ و خرج ویژه با استفاده از روش‌های تجربی

#### ۳-۱- طراحی بارسنگ

چنانچه در فصل اول توضیح داده شد تعداد زیادی رابطه تجربی برای محاسبه بارسنگ در آتشکاری روباز ارائه شده است. تمامی این روش‌ها مزایا، معایب و محدودیت‌های خاص خود را دارند. اما در میان این روش‌ها پنج روش "هینو"، "لانگفرس"، "هنسن"، "یوکار" و "اولافسون" از نظر منطق به کار رفته و نیز پارامترهای مورد استفاده، به طور کلی با مشکلات محاسباتی و کاربردی روبه‌رو هستند.

در روش هینو برای محاسبه بارسنگ از کمیت‌هایی همچون "عمق بهینه خرج"، "عمق مرکز ثقل ستون ماده منفجره درون چال" و نیز "حجم ماده معدنی در چال" استفاده شده است. آشکار است که تعیین مقدار این کمیت‌ها به تعیین بارسنگ و خرج ویژه مربوط می‌شود و لذا بارسنگ هرگز نمی‌تواند وابسته به این مقادیر باشد. باید توجه شود که طبق روابط موجود در جدول ۱-۱، اکثر پارامترهای مربوط به هندسه انفجار با استفاده از قطر چال و بارسنگ تعیین می‌شوند.

با دقت در روش لانگفرس به وضوح می‌توان فهمید که مفهوم "ثابت سنگ" کاملاً به صورت برعکس ارائه شده است. بدین شرح که با افزایش مقاومت سنگ باید بارسنگ کاهش یابد و شبکه انفجار تنگ‌تر شود. اما در روش لانگفرس با افزایش مقاومت سنگ ثابت سنگ کاهش می‌یابد لذا بارسنگ بیشتر می‌شود که این امر کاملاً برخلاف اصول آتشکاری است. همچنین از آنجا که در روابط ارائه شده ثابت سنگ وابسته به میزان بارسنگ نیز می‌باشد این سوال مطرح می‌شود که قبل از طراحی بارسنگ چگونه می‌توان ثابت سنگ را تعیین نمود در حالیکه ثابت سنگ یکی از پارامترهای مورد استفاده در این روش می‌باشد؟

در فرمول هنسن میزان بارسنگ به عنوان یکی از پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه خرج ویژه معرفی شده است. و می‌دانیم که اگر بارسنگ در یک توده سنگ معلوم باشد معادل این است که خرج ویژه نیز معلوم

است لذا رابطه هنس در چرخه معلوم بودن بارسنگ یا معلوم بودن خرج عملاً به یک رابطه بدون کاربرد در معادن روباز تبدیل می‌شود.

با دقت در معادله یوکار براحتی می‌توان فهمید که فرضیات این مسئله متعلق به موارد بسیار خاص و یا حتی یک معدن بخصوص بوده است. بویژه با دقت در فرض مربوط به خرج ویژه ( $0.4$ ) عملاً هیچ استفاده منطقی و اصولی نمی‌توان از این رابطه داشت.

در رابطه اولافسون طول خرج ته چال به عنوان یک پارامتر در طراحی بارسنگ آورده شده است در حالی که چنانچه در فصل اول شرح داده شد طول خرج ته چال خود وابسته به میزان بارسنگ است لذا منطق به کار رفته در این روش نیز با مشکل روبه روست. از سویی دیگر با توجه به محدودیت قطر کاربرد این روش بسیار محدود است.

با توجه به تحلیل‌های ارائه شده، از هیچیک از روش‌های مذکور در طراحی بارسنگ معدن مس سونگون استفاده نشده است.

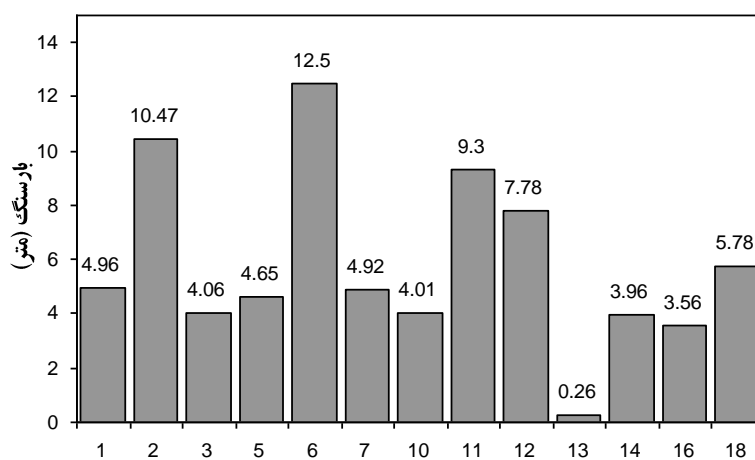
در روش پرایلت نیز استفاده از طول گل‌گذاری و اضافه حفاری در تعیین بارسنگ به عنوان یک منطق خلاف اصول طراحی در این روش به چشم می‌خورد. اما رابطه حجیم ارائه شده، هر مهندس را به راستی آزمایی این روش تشویق می‌کند. در معدن سونگون نیز با اعمال فرضیات اجرایی جای در معدن از این روش نیز برای طراحی به طور آزمایشی استفاده شده است.

همچنین در روش فولدزی گرچه از خرج ویژه به طور ناصحیح در رابطه استفاده شده است اما با توجه به سایر پارامترها که تقریباً خوب انتخاب شده‌اند می‌توان با کمی تصحیح است استفاده نمود. به عنوان مثال می‌شود با قرار دادن خرج ویژه حاصل از روش قابلیت آتشکاری، میزان بارسنگ را محاسبه نمود. در این تحقیق به منظور اعتبارسنجی روش فولدزی از این راهبرد استفاده شده است.

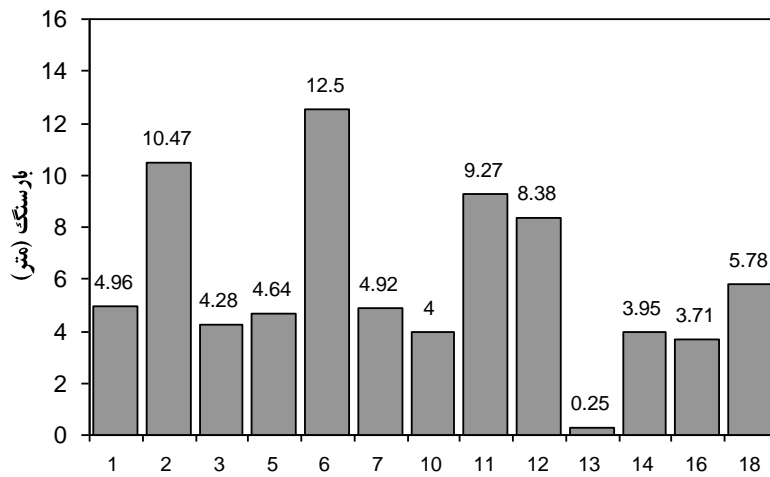
در ادامه نتایج طراحی بارسنگ با استفاده از روش‌های تجربی مختلف به صورت جدول ۳-۲ آورده شده است. همچنین شکل‌های ۳-۴ الی ۳-۷ این نتایج را به صورت تصویری نمایش می‌دهند.

جدول ۳-۲- نتایج طراحی بارسنگ توسط روش‌های تجربی مختلف

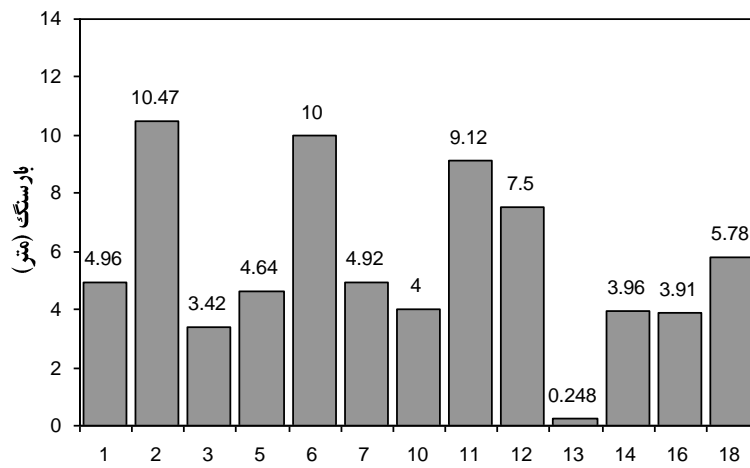
بارسنگ (متر)				روش تجربی	ردیف
ماده معدنی (Ore)	زون دایکی DK <sub>1</sub> B	زون دایکی DK <sub>1</sub> A	زون مونزونیتی (SP)		
۴/۹۶	۴/۹۶	۴/۹۶	۴/۹۶	آندرسن	۱
۱۰/۴۷	۱۰/۴۷	۱۰/۴۷	۱۰/۴۷	فرانکل	۲
۴/۸۵	۳/۴۲	۴/۲۸	۴/۰۶	پیرس	۳
منطق این روش دارای اشکالاتی است.				هینو	۴
۴/۶۸	۴/۶۴	۴/۶۴	۴/۶۵	آلسمن	۵
۱۲/۵	۱۰	۱۲/۵	۱۲/۵	اش	۶
۵/۱۳	۴/۹۲	۴/۹۲	۴/۹۲	لانگفرس	۷
منطق این روش‌ها دارای اشکالاتی است.				هنسن	۸
				یوکار	۹
۴/۰۲۸	۴/۰۰	۴/۰۰	۴/۰۱	کونیا (۱۹۷۲)	۱۰
۹/۵۸	۹/۱۲	۹/۲۷	۹/۳	فولدزی	۱۱
۸/۷۲	۷/۵۰	۸/۳۸	۷/۷۸	پرایلت	۱۲
۰/۲۷	۰/۲۴۸	۰/۲۵	۰/۲۶	لوپز جیمینو	۱۳
۳/۹۸	۳/۹۶	۳/۹۵	۳/۹۶	کونیا (۱۹۸۳)	۱۴
منطق این روش دقیقاً مثل تئوری انتقال انرژی است و در آن بخش آورده شده است.				برتا	۱۵
۳/۴۶	۳/۹۱	۳/۷۱	۳/۵۶	بروسی کار	۱۶
منطق این روش‌ها دارای اشکالاتی است.				اولافسون	۱۷
۵/۷۸	۵/۷۸	۵/۷۸	۵/۷۸	روستن	۱۸



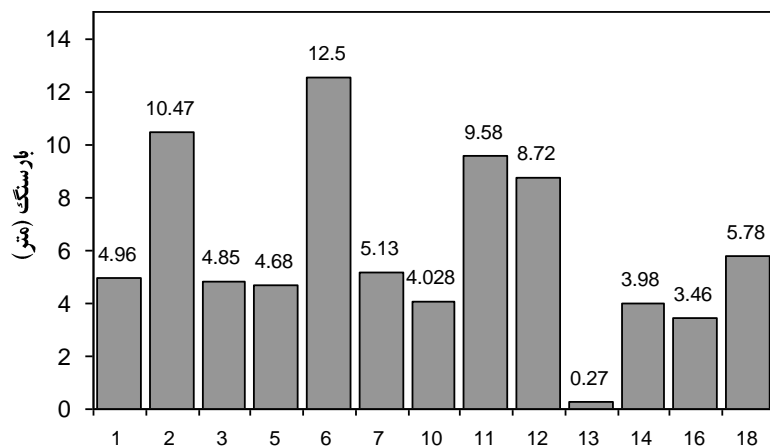
شکل ۳-۴- مقایسه بارسنگ طراحی شده توسط روش‌های تجربی مختلف برای سنگ‌های مونزونیتی



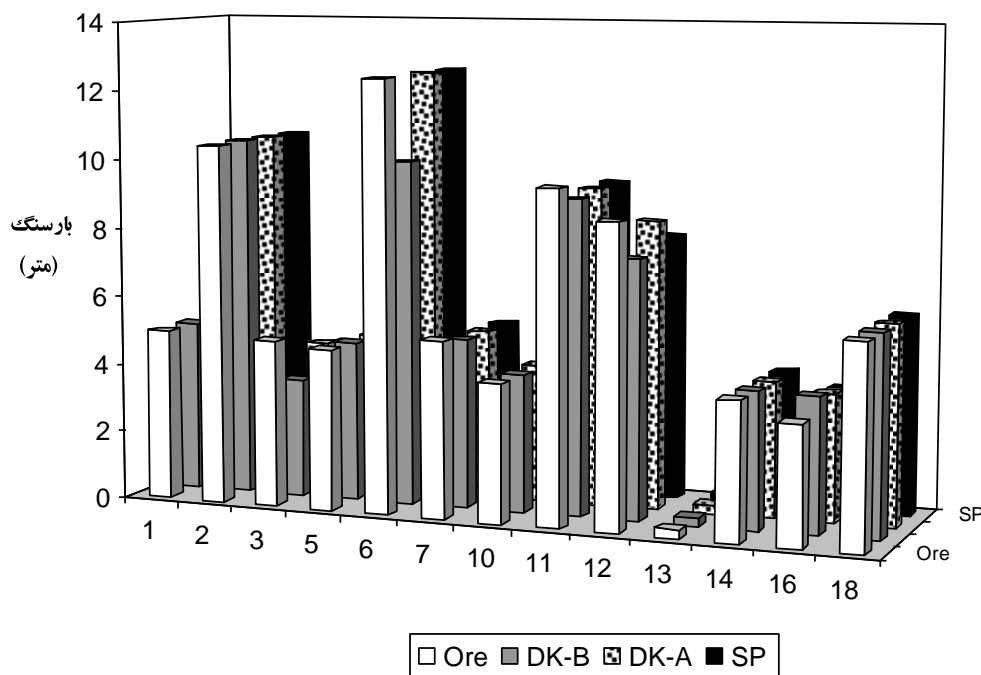
شکل ۳-۵- مقایسه بارسنگ طراحی شده توسط روش‌های تجربی مختلف برای دایک‌های DK-A



شکل ۳-۶- مقایسه بارسنگ طراحی شده توسط روش‌های تجربی مختلف برای دایک‌های DK-B



شکل ۳-۷- مقایسه بارسنگ طراحی شده توسط روش‌های تجربی مختلف برای ماده معدنی



شکل ۳-۷- مقایسه بارسنگ طراحی شده توسط روش‌های تجربی برای توده سنگ‌های مختلف

چنانچه در جدول و شکل‌ها آورده شده است، می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد در میان روش‌های تجربی به طور کلی روش اش (۶)، فرانکل (۲)، فولدزی (۱۱)، پرایلت (۱۲) و روش روستن (۱۸) به ترتیب بالاترین میزان بارسنگ را نتیجه داده‌اند و روش لوپز جیمینیو (۱۳) با توجه به مقدار بسیار غیر واقعی پیش‌بینی نموده، کمترین بارسنگ را نتیجه داده است. همچنین با دقت در شکل ۳-۷ به وضوح آشکار است که روش‌های آندرسن (۱)، پیرس (۳)، آلسمن (۵) و لانگفرس (۷) نتایج کم و بیش مشابه و نزدیکی به هم در هر نوع سنگ ارائه نموده‌اند. نتایج روش‌های کونیا-۱۹۷۲ (۱۰)، کونیا-۱۹۸۰ (۱۴) و روش بروسی کار (۱۶) نیز بسیار نزدیک به هم بوده‌اند.

همچنین با دقت در کلیه شکل‌ها معلوم می‌شود که تنها در روش‌های پیرس (۳)، پرایلت (۱۲) و بروسی کار (۱۶) بارسنگ طراحی شده برای سنگ‌های مختلف از همدیگر تفاوت دارند و در سایر روش‌ها به علت توجه کم به مشخصات مهندسی سنگ‌ها بارسنگ طراحی شده برای انواع سنگ‌ها کم و بیش به هم نزدیک است. در بعضی از روش‌ها مانند آندرسن، فرانکل و روستن به دلیل عدم در نظر گرفتن هیچ یک از مشخصات سنگ، نتایج طراحی برای تمامی سنگ‌ها یکسان است. عدم توجه به نوع سنگ و عدم حساسیت روش‌های تجربی یکی از بزرگ‌ترین ایراداتی است که به این روش‌ها وارد است. لذا روش‌هایی همچون شاخص قابلیت



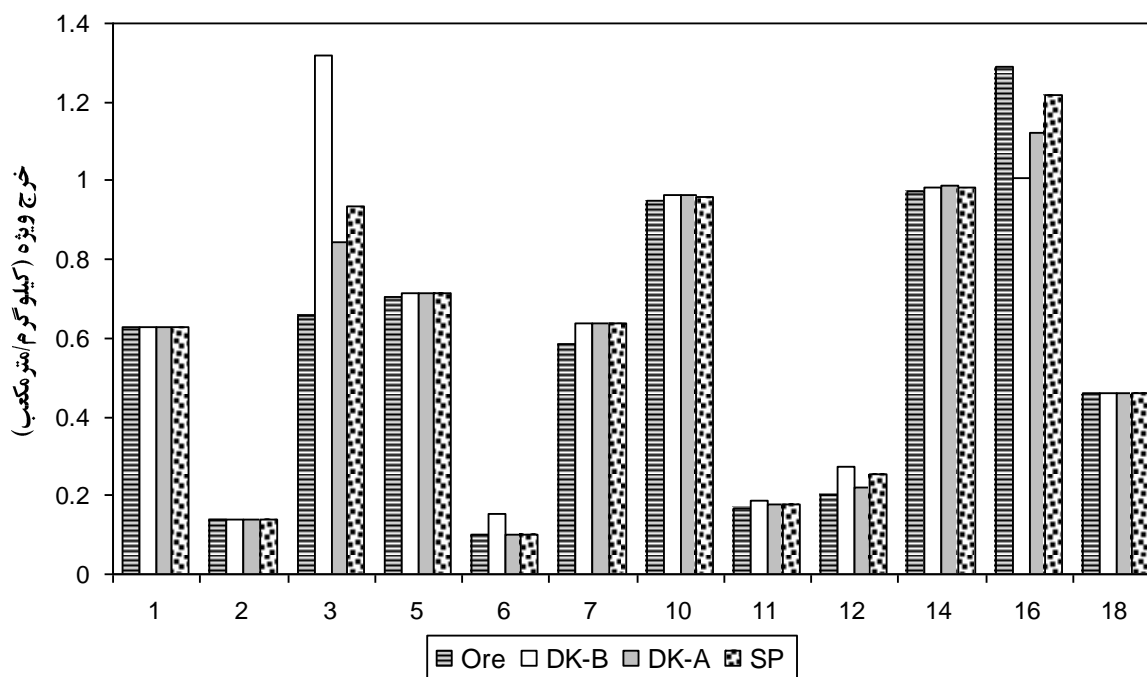
انفجار و نیز روش شاخص خردایش سنگ تلاش‌هایی برای برطرف کردن مشکلات عمده روش‌های سنتی و بهبود طراحی آتشکاری در معادن بوده‌اند.

### ۳-۲- تعیین خرج ویژه

در این بخش با توجه به محاسبه شدن میزان بار سنگ برای هر توده سنگ با استفاده از روش‌های تجربی، خرج ویژه متناسب با هر توده سنگ با در نظر گرفتن بارسنگ محاسبه شده مربوط به هر روش و با استفاده از روش انتقال انرژی (با جاگذاری بارسنگ بدست آمده از هر روش در رابطه) محاسبه شده است. نتایج محاسبات در جدول ۳-۳ و شکل ۳-۸ ارائه شده است.

جدول ۳-۲- میزان خرج ویژه محاسبه شده توسط روش‌های تجربی مختلف

خرج ویژه (کیلوگرم بر متر مکعب)				روش تجربی	ردیف
ماده معدنی (Ore)	زون دایکی DK <sub>1</sub> B	زون دایکی DK <sub>1</sub> A	زون مونزونیتی (SP)		
۰/۶۲۷	۰/۶۲۷	۰/۶۲۷	۰/۶۲۷	آندرسن	۱
۰/۱۴۰	۰/۱۴۰	۰/۱۴۰	۰/۱۴۰	فرانکل	۲
۰/۶۵۵	۱/۳۱۸	۰/۸۴۱	۰/۹۳۵	پیرس	۳
-----				هینو	۴
۰/۷۰۳	۰/۷۱۶	۰/۷۱۶	۰/۷۱۲	آلسمن	۵
۰/۰۹۸	۰/۱۵۴	۰/۰۹۸	۰/۰۹۸	اش	۶
۰/۵۸۶	۰/۶۳۶	۰/۶۳۶	۰/۶۳۶	لانگفرس	۷
-----				هنسن	۸
-----				یوکار	۹
۰/۹۵۰	۰/۹۶۳	۰/۹۶۳	۰/۹۵۸	کونیا (۱۹۷۲)	۱۰
۰/۱۶۷	۰/۱۸۵	۰/۱۷۹	۰/۱۷۸	فولدزی	۱۱
۰/۲۰۳	۰/۲۷۴	۰/۲۱۹	۰/۲۵۵	پرایلت	۱۲
-----				لوپز جیمینو	۱۳
۰/۹۷۳	۰/۹۸۳	۰/۹۸۸	۰/۹۸۳	کونیا (۱۹۸۳)	۱۴
این روش دقیقاً مثل تئوری انتقال انرژی است و در آن بخش آورده شده است.				برتا	۱۵
۱/۲۹	۱/۰۰۸	۰/۱۲۰	۱/۲۱۶	بروسی کار	۱۶
-----				اولافسون	۱۷
۰/۴۶۱	۰/۴۶۱	۰/۴۶۱	۰/۴۶۱	روستن	۱۸



شکل ۳-۸- میزان خرج ویژه محاسبه شده توسط روش‌های تجربی مختلف

چنانچه در شکل ۳-۸ پیداست، خرج ویژه حساب شده توسط روابط تجربی نیز همانند بارسنگ‌های مربوطه از تنوع و اختلاف برخوردارند. در این میان، روش‌های اش (۶)، فرانکل (۲)، فولدزی (۱۱)، پرایلت (۱۲) و روش روستن (۱۸) به کمترین میزان خرج ویژه را نتیجه داده‌اند. همچنین به وضوح آشکار است که روش‌های آندرسن (۱)، پیرس (۳)، آلسمن (۵) و لانگفرس (۷) نتایج کم و بیش مشابه و نزدیکی به هم در هر نوع سنگ ارائه نموده‌اند. نتایج روش‌های کونیا-۱۹۷۲ (۱۰) و کونیا-۱۹۸۰ (۱۴) نیز بسیار نزدیک به هم بوده‌اند. بیشترین مقدار متوسط طراحی شده مربوط به روش بروسی‌کار (۱۶) است لذا می‌توان این روش را به عنوان یک روش دست بالا در طراحی در نظر گرفت.

با دقت در شکل مشخص می‌شود که میزان خرج ویژه پیش‌بینی شده برای توده‌های دایکی نوع B تقریباً بیشتر از سایر انواع سنگ‌هاست. با این حال در تمامی روش‌ها چنین اختلافی به راحتی قابل مشاهده نیست. لذا به این نتیجه می‌رسیم که حساسیت تمامی روش‌ها به نوع سنگ یکسان نیست. چنانچه از شکل ۳-۸ پیداست دو روش پیرس (۳) و بروسی‌کار (۱۶) بیشترین حساسیت را به نوع سنگ دارند.

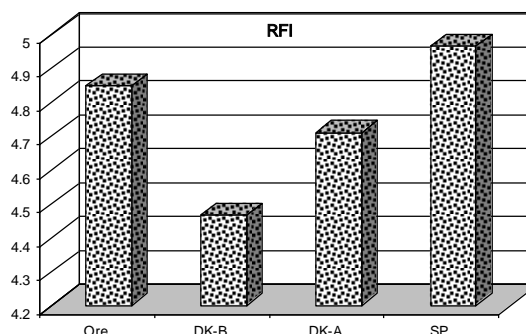
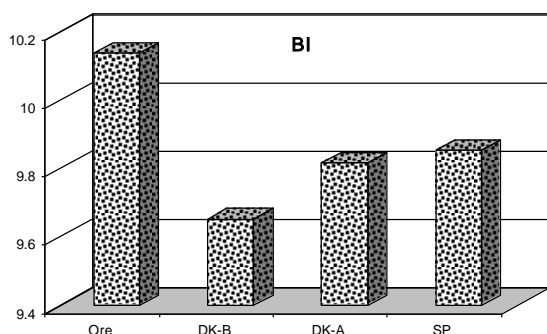
#### ۴- برآورد بار سنگ و خرج ویژه با استفاده از روش‌های مبتنی بر توده سنگ

در این بخش با توجه به نتایج حاصل از مطالعات صحرایی و طبقه‌بندی‌های انجام شده، میزان خرج ویژه و بار سنگ حاصل از روش‌های BI و RFI محاسبه و ارائه شده است. برای محاسبه خرج ویژه توسط روش RFI از رابطه پیشنهادی مومیوند (مومیوند، ۱۳۸۴) استفاده شده است. برای ارائه این رابطه مومیوند با مطالعه فنی و اقتصادی دقیق بر روی آتشفشانی ۶ معدن سنگ آهک آذربایجان غربی ارتباط بین شاخص قابلیت خردایش توده سنگ و خرج ویژه بهینه (خرجی که باعث کمترین هزینه استخراج می‌شود) را به صورت رابطه ریاضی زیر ارائه نمود. در ادامه این بخش نتایج محاسبات در جدول ۳-۴ و جدول ۳-۵ و شکل ۳-۹ نشان داده شده است.

$$Q_o = 312.12 \times RFI^{-2.082} \quad (1-3)$$

جدول ۳-۴- میزان بار سنگ محاسبه شده توسط روش‌های مبتنی بر توده سنگ

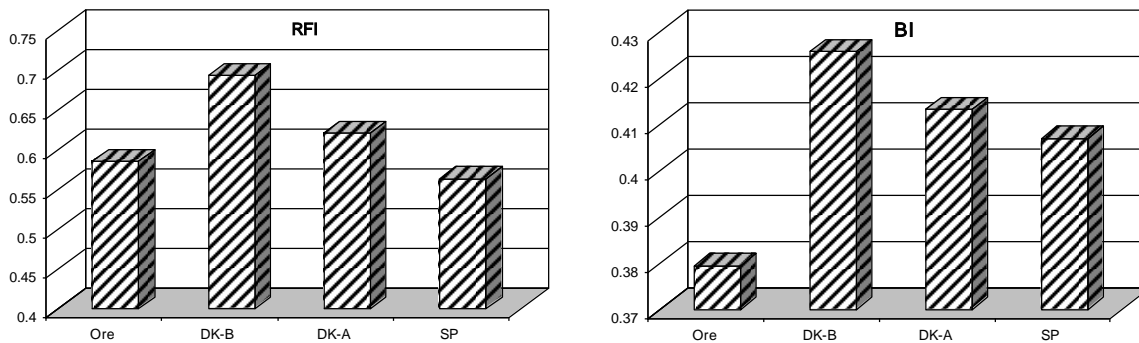
بار سنگ (متر)				
ماده معدنی (Ore)	زون دایکی DK <sub>1</sub> B	زون دایکی DK <sub>1</sub> A	زون مونزونیتی (SP)	روش
۱۰/۱۴	۹/۶۵	۹/۸۲	۹/۸۵	شاخص قابلیت انفجار (BI)
۴/۸۵	۴/۴۶	۴/۷	۴/۹۶	شاخص خردایش سنگ (RFI)



شکل ۳-۹- میزان بار سنگ محاسبه شده توسط روش‌های مبتنی بر توده سنگ

جدول ۳-۵- میزان خرج ویژه محاسبه شده توسط روش‌های مبتنی بر توده سنگ

خرج ویژه (کیلوگرم بر متر مکعب)				
ماده معدنی (Ore)	زون دایکی DK <sub>1</sub> B	زون دایکی DK <sub>1</sub> A	زون مونزونیتی (SP)	روش
۰/۳۷۹	۰/۴۲۵	۰/۴۱۳	۰/۴۰۷	شاخص قابلیت انفجار (BI)
۰/۵۸۵	۰/۶۹۳	۰/۶۲۱	۰/۵۶۳	شاخص خردایش سنگ (RFI)



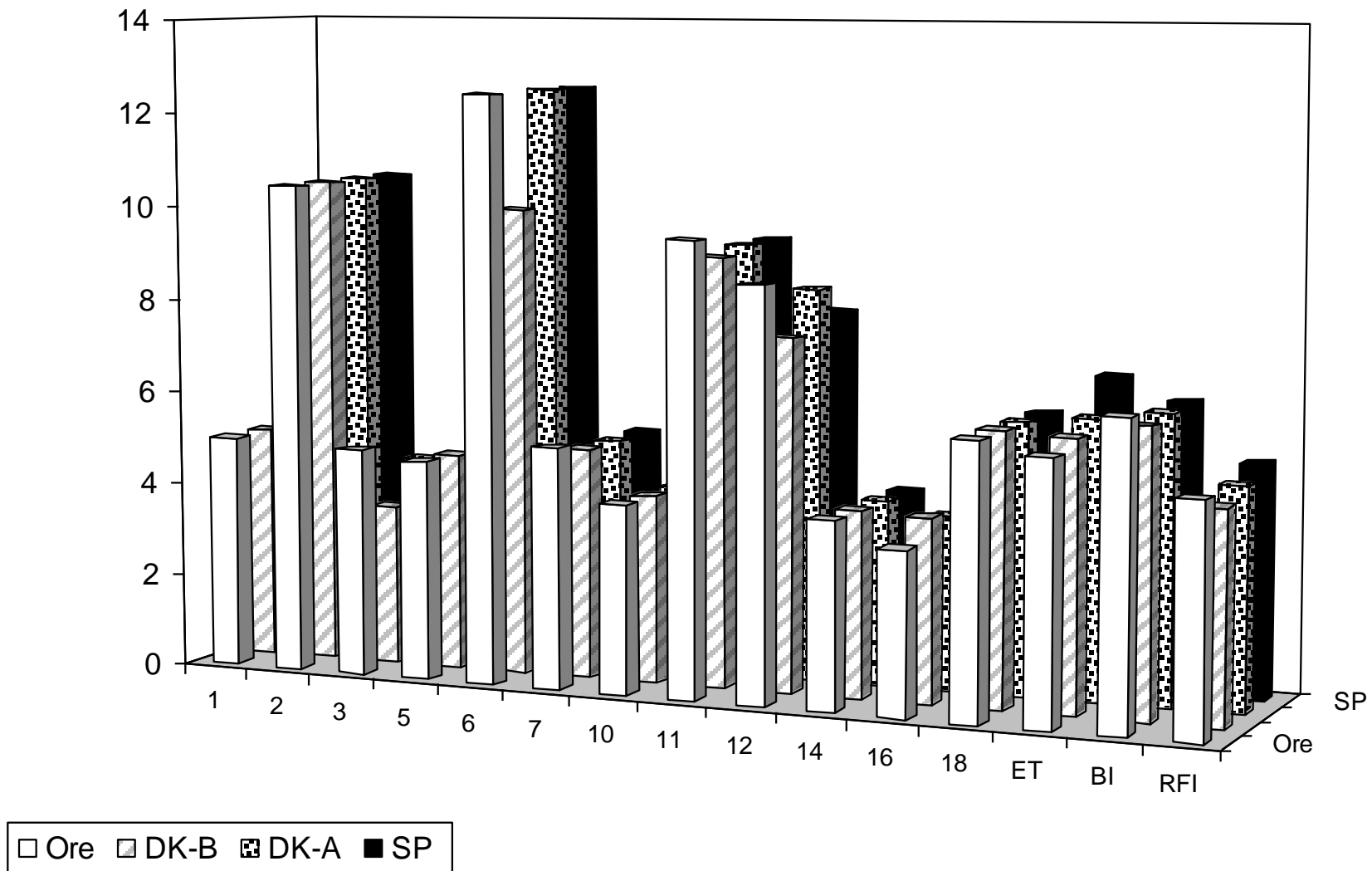
جدول ۳-۱۰- میزان خرج ویژه محاسبه شده توسط روش‌های مبتنی بر توده سنگ

با توجه به نتایج طراحی حاصل از روش‌های مبتنی بر مشخصات توده سنگ اولین موردی که جلب توجه می‌نماید اختلاف معنی‌دار (هرچند اندک) بین مقادیر بارسنگ و خرج ویژه متناسب با هر سنگ است. بدین معنی که طبق مشاهدات سر معدن توده سنگ دایکی DK-B از نظر مکانیکی قوی‌ترین و توده سنگ‌های ماده معدنی ضعیف‌ترین مورد بوده‌اند و نتایج طراحی کاملاً بر این واقعیت منطبق می‌باشد. همچنین ملاحظه می‌شود که بارسنگ طراحی شده توسط روش BI حداقل ۳۰٪ از حالت بهینه کمتر است.

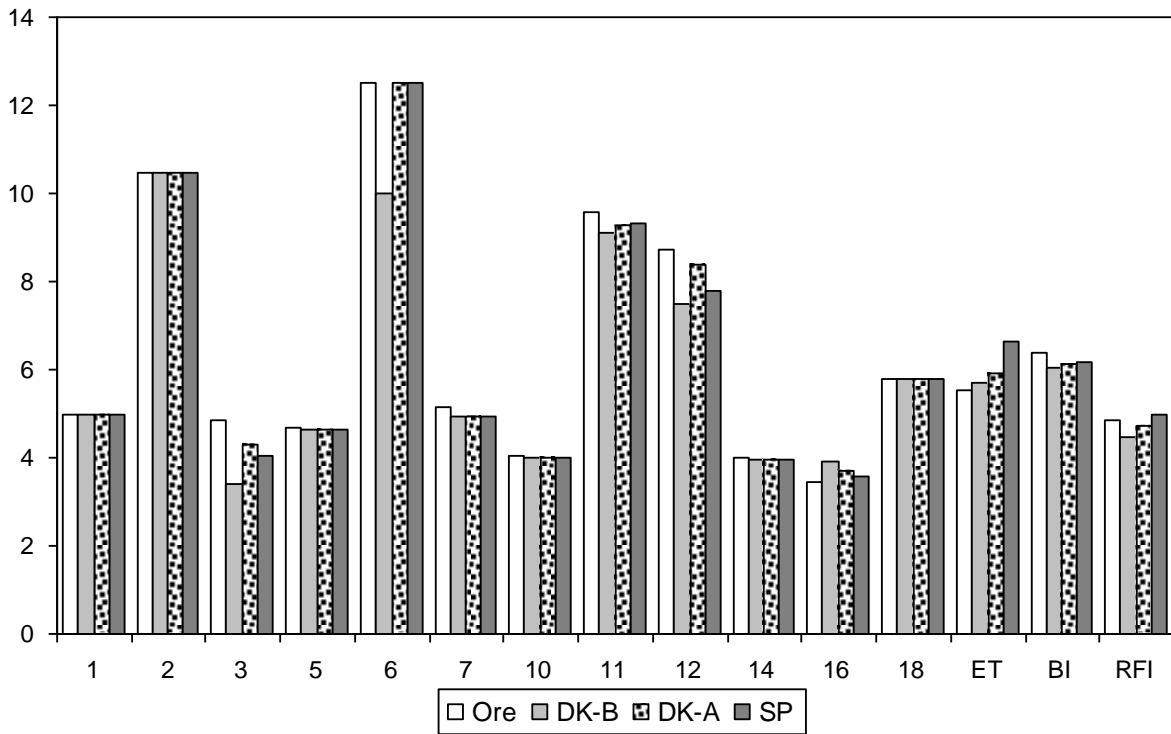
## ۵- مقایسه بارسنگ و خرج ویژه حاصل از کلیه روش‌های موجود

در این بخش با توجه به تمامی محاسبات انجام شده در کلیه مراحل، نتایج طراحی حاصل از روش‌های مختلف با میزان بارسنگ و خرج ویژه بهینه مقایسه گردیده‌اند. شکل ۳-۱۱ میزان بارسنگ و خرج ویژه را با استفاده از کلیه روش‌ها در تمامی توده سنگ‌ها نشان می‌دهد.

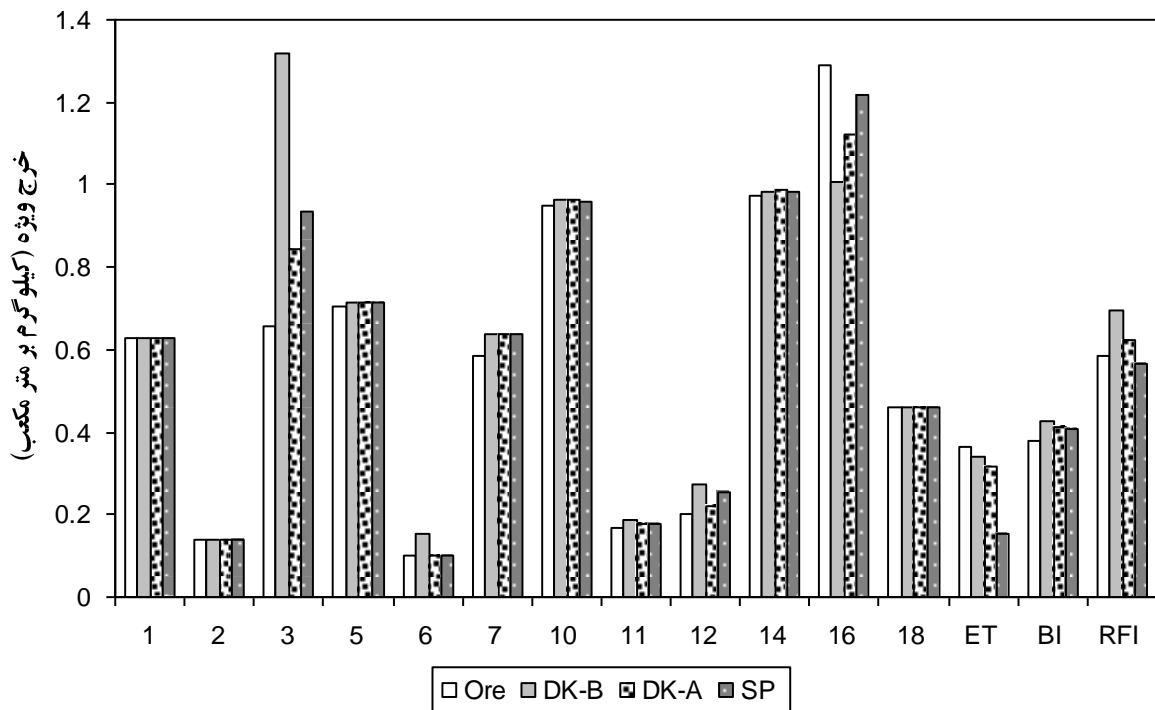
چنانچه در شکل‌های مذکور مشاهده می‌شود روش‌های پیرس (۱۶)، کونیا (۱۹۷۲)، کونیا (۱۹۸۴) و بروسی‌کار (۱۶) بارسنگ کمتری نسبت به حالت بهینه پیش‌بینی می‌کنند. همچنین روش‌های آندرسن (۱)، آلسمن (۵) و لانگفرس (۷) تقریباً نتایج نزدیک به حالت بهینه ارائه می‌کنند. با دقت در نتایج حاصل معلوم می‌شود که روش‌های فرانکل (۲)، اش (۶)، فولدزی (۱۱) و پرایلت (۱۲) بارسنگ خیلی بیشتری نسبت به حالت بهینه محاسبه می‌کنند و لذا به هیچ عنوان استفاده از آن‌ها در معادن روباز توصیه نمی‌شود. روش‌های روستن (۱۸)، شاخص قابلیت انفجار (BI) و روش انتقال انرژی بارسنگ بیشتری با اختلاف کمتر (۲۰٪) نسبت به مقدار بهینه طراحی می‌کنند.



شکل ۳-۱۱- مقایسه بارسنگ حاصل از کلیه روش‌های ارائه شده در تمامی توده سنگ‌های معدن مس سونگون



شکل ۳-۱۲- مقایسه بارسنگ حاصل از کلیه روش‌های ارائه شده در تمامی توده سنگ‌های معدن مس سونگون



شکل ۳-۱۳- مقایسه خرج ویژه حاصل از کلیه روش‌های ارائه شده در تمامی توده سنگ‌های معدن مس سونگون

با دقت در شکل ۳-۱۳ به وضوح می‌شود نتیجه گرفت که مقادیر تعیین شده خرج ویژه اختلافات عمده با هم دارند. در این میان روش بروسی کار (۱۶) بیشترین مقدار و روش اش (۶) کمترین مقدار خرج ویژه را در بین تمامی روش‌ها پیشنهاد می‌کنند.

## فصل چهارم

# نتیجه‌گیری و پیشنهادات



## ۱- نتیجه گیری

با توجه به مطالعات صحرایی و آزمایش‌های انجام شده در طی این تحقیق فرصت بسیاری مناسبی ایجاد گردید تا تمامی روش‌های موجود برای طراحی الگوهای آتشفشانی در معادن روباز به طور عملی و کاربردی مورد ارزیابی و اعتبارسنجی قرار گیرند. در نتیجه این تحقیق نقاط ضعف و قوت این روش‌ها آشکار گردید. در مجموع چنین می‌توان نتیجه‌گیری کرد در میان روش‌های تجربی به طور کلی روش اش، فرانکل، فولدزی، پرایلت و روش روستن به ترتیب بالاترین میزان بارسنگ را نتیجه داده‌اند و روش لویز جیمینیو با توجه به مقدار بسیار غیر واقعی پیش‌بینی نموده، کمترین بارسنگ را نتیجه داده است. همچنین ۷ به وضوح آشکار است که روش‌های آندرسن، پیرس، آلمن و لانگفرس نتایج کم و بیش مشابه و نزدیکی به هم در هر نوع سنگ ارائه نموده‌اند. نتایج روش‌های کونیا-۱۹۷۲، کونیا-۱۹۸۰ و روش بروسی کار نیز بسیار نزدیک به هم بوده‌اند.

در روش‌های پیرس، پرایلت و بروسی کار بارسنگ طراحی شده برای سنگ‌های مختلف از همدیگر تفاوت دارند و در سایر روش‌ها به علت توجه کم به مشخصات مهندسی سنگ‌ها بارسنگ طراحی شده برای انواع سنگ‌ها کم و بیش به هم نزدیک است. در بعضی از روش‌ها مانند آندرسن، فرانکل و روستن به دلیل عدم در نظر گرفتن هیچ یک از مشخصات سنگ، نتایج طراحی برای تمامی سنگ‌ها یکسان است. عدم توجه به نوع سنگ و عدم حساسیت روش‌های تجربی یکی از بزرگ‌ترین ایراداتی است که به این روش‌ها وارد است. لذا روش‌هایی همچون شاخص قابلیت انفجار و نیز روش شاخص خردایش سنگ تلاش‌هایی برای برطرف کردن مشکلات عمده روش‌های سنتی و بهبود طراحی آتشفشانی در معادن بوده‌اند.

خرج ویژه حساب شده توسط روابط تجربی نیز همانند بارسنگ‌های مربوطه از تنوع و اختلاف برخوردارند. در این میان، روش‌های اش، فرانکل، فولدزی، پرایلت و روش روستن به کمترین میزان خرج ویژه را نتیجه داده‌اند. همچنین نتایج نشان می‌دهد روش‌های آندرسن، پیرس، آلمن و لانگفرس نتایج کم و بیش مشابه و نزدیکی به هم در هر نوع سنگ ارائه نموده‌اند. نتایج روش‌های کونیا-۱۹۷۲ و کونیا-۱۹۸۰ نیز بسیار نزدیک به هم بوده‌اند. بیشترین مقدار متوسط طراحی شده مربوط به روش بروسی کار است لذا می‌توان این روش را به عنوان یک روش دست بالا در طراحی در نظر گرفت.

با دقت در نتایج مشخص می‌شود که میزان خرج ویژه پیش‌بینی شده برای توده‌های دایکی نوع B تقریباً بیشتر از سایر انواع سنگ‌هاست. با این حال در تمامی روش‌ها چنین اختلافی به راحتی قابل مشاهده نیست. لذا به این نتیجه می‌رسیم که حساسیت تمامی روش‌ها به نوع سنگ یکسان نیست. چنانچه پیداست دو روش پیرس و بروسی کار بیشترین حساسیت را به نوع سنگ دارند.

با توجه به مطالعات انجام شده مشاهده می‌شود روش‌های پیرس، کونیا (۱۹۷۲)، کونیا (۱۹۸۴) و بروسی کار بارسنگ کمتری نسبت به حالت بهینه پیش‌بینی می‌کنند. همچنین روش‌های آندرسن، آلسمن و لانگفرس تقریباً نتایج نزدیک به حالت بهینه ارائه می‌کنند. با دقت در نتایج حاصل معلوم می‌شود که روش‌های فرانکل، اش، فولدزی و پرایلت بارسنگ خیلی بیشتری نسبت به حالت بهینه محاسبه می‌کنند و لذا به هیچ عنوان استفاده از آن‌ها در معادن روباز توصیه نمی‌شود.

روش‌های روستن، شاخص قابلیت انفجار (BI) و روش انتقال انرژی بارسنگ بیشتری با اختلاف کمتر (۲۰٪) نسبت به مقدار بهینه طراحی می‌کنند.

## ۲- پیشنهادات

با توجه به نتایج حاصل از مطالعات گسترده در معدن مس سونگون چنین به نظر می‌رسد که در حال حاضر با توجه به مطالعات شایان توجه انجام شده در سطح بین‌المللی همانند دهه‌های گذشته نمی‌توان نیاز معادن به تولید بالا و ایمن را با روش‌های سنتی و روش‌های تجربی قدیمی برطرف نمود.

نتایج این تحقیق حاکی از این موضوع است که تمامی روش‌های تجربی کمابیش با حالت بهینه طراحی اختلاف دارند و لذا نمی‌توان در تمامی موارد و موقعیت‌ها به نتایج این روش‌ها اعتماد نمود.

با توجه به مطالب ارائه شده در تمامی عملیات‌های معدنی و عمرانی روباز پیشنهاد می‌شود قبل از طراحی مشخصات مهندسی و ساختاری توده سنگ به خوبی مطالعه و ارزیابی شود و طراحی‌ها مبتنی بر مشخصات توده سنگ باشد تا مبتنی بر ماده منفجره.

همچنین تحقیقات مشابهی باید در سایر معادن کشور انجام شود تا با توجه به نتایج حاصل از آن مطالعات بتوان با قدرت و آگاهی بیشتری روش‌های نامبرده را رد یا قبول نمود.

## منابع و مراجع

استوار، ر، ۱۳۸۳، آتشکاری در معادن (جلد ۱ و ۲)، انتشارات جهاد دانشگاهی صنعتی امیرکبیر، چاپ پنجم.

طالبی و همکاران، ۱۳۸۴، گزارش ماهانه اکتشافات معدن مس سونگون، دفتر فنی معدن مس سونگون، تیر ماه.

مومیوند، ح، ۱۳۸۴، پیشنهاد روشی جدید برای طراحی الگوی چال‌های انفجار در معادن سطحی، دومین کنفرانس معادن

رو باز، ۲۰ و ۲۱ اردیبهشت، کرمان، ایران، ص. ۱۶۸-۱۵۹.

مومیوند، ح، ۱۳۸۳،

Jimeno CL, Jimeno EL, Carcedo FJA. 1995, Drilling and blasting of rocks. Rotterdam: Balkema.

Lily. P.A, 1986, An empirical method of assessing rock mass blastability, Proceeding of Large Open Pit Mine Conference. The Australian Institute of Mining and Metallurgy, Parkville, Victoria, October, pp.89-92.