بررسی و محاسبه کیفیت انتقال انرژی حاصل از انفجارات معدن مس سونگون

سید هادی حسینی[۱*]، علی نصیری نژاد[۲]، یاشار پوررحیمیان[۳]

۱- دانشجوی مهندسی استخراج معدن- دانشگاه صنعتی سهند

۲- کارشناس ارشد استخراج معدن- دفتر فنی چالزنی وآتشکاری- معدن مس سونگون

۳- کارشناس ارشد مکانیک سنگ- عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی سهند

E-mail:Pourrahimian @ sut .ac.ir

چکیده

عبور امواج حاصل از انفجارباعث ایجاد تنش های کششی و فشاری در سنگ شده و توده سنگ را از لحاظ رفتار مکانیکی و دینامیکی تحریک می نماید. در بررسی کارایی مواد منفجره و به طور کلی ارزیابی کیفیت انفجار، داشتن اطلاع دقیق از رفتار سنگ تحت تنش های ناشی از انفجار و کیفیت انتقال و توزیع انرژی حاصله از آتشباری نقش بسزایی دارند.

در مقاله حاضر با توجه به نمونه برداری های انجام شده وانجام مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی، امپدانس سنگ های دورن گیر و باطله معدن مس سونگون تعیین گردیده و سپس با استفاده ازامپدانس های استاندارد آنفو و محاسبات ریاضی، شرایط انتقال انرژی ناشی ازآتشکاری معدن سونگون به صورت کمی مورد بحث قرار گرفته است. نتایج حاصله حاکی از اتلاف زیاد انرژی درتوده سنگ های درزه دار بوده و میزان اتلاف با افزایش پرکنده ها افزایش چشم گیری نشان می دهد.

واژه های کلیدی : آتشکاری، کیفیت انتقال انرژی، امپدانس، معدن مس سونگون.

* آدرس: تبریز- شهر جدید سهند- دانشگاه صنعتی سهند- دانشکده مهندسی معدن

۱- مقدمه

همواره نتایج آتشکاری در معادن و کیفیت انتقال انرژی حاصله، به نقطه تولید و شروع و نیز خصوصیات سنگ مسیر حرکت انرژی و موج ضربه بستگی دارد. رفتار مکانیکی و خصوصیات ژئومکانیکی بویژه چگالی وسرعت امواج الاستیک در سنگ محل شروع انفجار و نیز سنگ های بین چال و سطح آزاد نقش بسزایی در کارایی انفجار و توزیع انرژی دارند. انتقال انرژی از ماده منفجره به سنگ تابع ضریب امپدانس ماده منفجره و سنگ و نیز ضریب جفت شدگی (Coupling Factor)
می باشد. اطلاع دقیق از کمیت پارامترهای مذکور، رفتار سنگ را تحت تنش های القایی ناشی از انفجار هرچه بیشتر آشکار می سازد.
در معدن سونگون که در حال حاضر در مرحله پیش باطله برداری می باشد شناخت پارامتر های دخیل در آتشکاری و ارزیابی کمی وکیفی آنها، مسلما تاثیر بسزایی در بهبود شرایط فنی و اقتصادی عملیات آتشکاری در حین بهره برداری خواهند داشت. لزوم دستیابی به پارامترهای بهینه و بررسی راندمان مواد منفجره مصرفی ضرورت بررسی و محاسبه کیفیت

انتقال انرژی حاصل از آتشکاری را قبل از رسیدن به مرحله بهره برداری نهایی معدن مس سونگون به وضوح آشکار می سازد.

۲-زمین شناسی محدوده معدن مس سونگون

معدن مس سونگون که در ۱۲۰ کیلومتری شمال تبریز واقع گردیده است با ذخیره قطعی بالغ بریک میلیارد تن یکی از بزرگترین ذخایر مس پورفیری ایران و جهان به شمار می رود. از لحاظ سنگ شناسی و زمین شناسی عمومی، با طله محدوده پیت معدن شامل ۴ توده سنگ عمده می باشد:

۱- توده مونرونیتی (این توده به همراه زون های مختلف کانی سازی معدن به سونگون پوروفیری یا sp معروف است)
۲- توده تراکیتی
۳- دایک های نفوذی
۴- پیرو کلاست

توده مونزونیتی به عنوان سنگ میزبان حجم بسیار زیادی از محدوده پیت معدن را شامل می شود این توده از لحاظ مکانیک سنگی دارای درزه های جوش خورده، خالی و گاه به همراه مواد پر کننده بسیار اندکی می باشد. دگر سانی سطح درزه ها در حد متوسط بوده و سطح درزه ها بیشتر به صورت موج دار قابل تشخیص اند.

توده تراکیتی که توده سنگ غالب باطله در محدوده جنوبی پیت معدن می باشد از لحاظ سنگ شناسی به خانواده آندزیت- بازالت متعلق بوده و توده سنگی بسیار درزه دار می باشد. درزه های توده سنگ حاضر دارای باز شدگی و مواد پرکننده زیاد از جنس رس فشرده اند. طبیعت درزه دار این توده سنگ مشکلات زیادی را در آتشکاری ایجاد می کند.

با توجه به حجم بالای باطله و درگیری زیاد معدن کاری با توده های مونزونیتی و تراکیتی، در مقاله حاضر بیشتر تمرکز محاسبات و مطالعات بر روی این دو توده بوده و نتایج و کیفیت انتقال انرژی در آنها مورد مقایسه قرار می گیرد.

۳- چالزنی و آتشکاری معدن مس سو نگون

در آتشکاری توده باطله معدن سونگون از چالهایی با قطر ۳/۵ ، ۵/۵ و ۶/۲۵ اینچ استفاده می شود و طول چالها عموماً ۱۳/۵ متر می باشد.

خرج اصلی مصرفی در معدن آنفو می باشد که به صورت فله ای توسط آنفو تراکهای موجود در معدن در چالها شارژ می گردد. جهت شروع و تشدید انفجار از چند شاخه دینامیت به عنوان پرایمر و نیز بوسترها ی پنتو لیتی جهت تقویت انفجار در میان خرج استفاده می شود[۱] .

۴- پارامتر های موثر در کیفیت انتقال انرژی

با توجه به نیاز شناخت کمی و کیفی سنگ در آتشکاری، پارامترها ی مختلف و متعددی جهت شناسایی و اندیس گذاری سنگ ها وجود دارد. با این حال جهت محاسبه کیفیت انتقال انرژی دو پارامتر ضریب امپدانس و ضریب جفت شدگی حائز اهمیت بسزایی هستند.

۴-۱- امپدانس سنگ و ماده منفجره[۲و۳]

با توجه به تئوری های پذیرفته شده در دنیا ، برای هر ماده منفجره امپدانسی قابل محاسبه می باشد که از لحاظ عددی

طبق رابطه (۱)، با حاصل ضرب سرعت انفجار (V_e) و چگالی ماده منفجره (D_e) برابرمی باشد.

(۱) امپدانس ماده منفجره $I_e = D_e.V_e$

امپدانس سنگ نیز همانند امپدانس ماده منفجره با توجه به سرعت امواج الاستیک در سنگ (V) و نیز چگالی سنگ (D_r) به صورت رابطه (۲) قابل محاسبه می باشد.

(۲) امپدانس سنگ $I_r = D_r.V$

۴-۲- ضریب امپدانس و ضریب جفت شدگی[۲و۳]

با توجه به تئوری انفجار و انتقال انرژی در صورتیکه قطر چال حفر شده برابر (Φ_h) و قطر خرج (Φ_c) باشد ضریب امپدانس و ضریب جفت شدگی به ترتیب طبق رابطه (۳) و (۴) قابل محاسبه اند:

(۳) ضریب امپدانس

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

(۴) ضریب جفت شدگی

$$\eta_2=\frac{1}{e^{\Phi_h/\Phi_c}-(e-1)} \qquad (e=۲/۷۱۸۲۸)$$

امپدانس سنگ ظرفیت و توانایی انعکاس و انکسار سنگ را نشان می دهد و برای قابلیت عبور انرژی در سنگ یک بیان ریاضی و تئوری محسوب می شود.

انرژی رسیده به فصل مشترک دو محیط سنگی مجاور هم دچار انعکاس و انکسار می گردد. د رصورتیکه که (I_1) امپدانس محیط اول و (I_2) امپدانس محیط دوم باشد، ضریب انرژی عبور کرده از فصل مشترک دو محیط سنگی طبق رابطه (۵) خواهد بود.

(۵) ضریب انرژی عبور کرده از فصل مشترک دو محیط

$$\eta_T=1-\frac{(I_2-I_1)^2}{(I_2+I_1)^2}$$

علامت عبارت (I_2-I_1) نوع موج منعکس شده را مشخص می کند . چنانچه (I_2-I_1) مثبت باشد موج بازگشتی از نوع فشاری و چنانچه منفی باشد از نوع کششی است.

۵- محاسبه امپدانس سنگ های معدن مس سونگون (مطالعات صحرایی وآزمایشگاهی)

جهت محاسبه امپدانس توده سنگ های هر معدنی طبق رابطه (۲) محاسبه مقادیر V و D_r برای سنگ های موجود امری ضروری است. در معدن سونگون جهت محاسبه میزان سرعت امواج الاستیک درسنگ عموما ۱۵ عدد مغزه از توده مونزونیتی و ۱۵ عدد مغزه از توده تراکیتی تهیه شده و در آزمایشگاه مکانیک سنگ دانشگاه صنعتی سهند مورد آزمایش تعیین سرعت امواج الاستیک در سنگ قرار گرفته اند. تمامی آزمایش ها توسط دستگاه سرعت سنج Controlz مدل (58-E0048) و طبق استاندارد ISRM [۴] انجام شده اند. در کنار مطالعات فوق چگالی سنگ های تراکیت و مونزونیت که به صورت پراکنده از کل محدوده پیت

نمونه برداری شده بودند تعیین گردیده است و با توجه بـه رابطـه (۲) امپـدانس سـنگ هـای موجـود مـورد محاسبه قرار گرفته است. نتایج آزمایشهای مکانیک سنگی انجام یافته در جدول (۱) ارائه گردیده است.

جدول ۱- نتایج آزمایشات تعیین چگالی و سرعت امواج الاستیک در سنگ[۵]

	چگالی $(\frac{kg}{m^3})$	سرعت امواج الاستیک $(\frac{m}{s})$	امپدانس $(\frac{kg}{m^2.s})$
مونزونیت	۲۴۲۰	۳۲۱۰	$۷/۷۶\times۱۰^{۶}$
تراکیت	۲۹۳۰	۴۱۴۶	$۱۲/۱۵\times۱۰^{۶}$

با توجه به محدودیت های آزمایشگاهی و نیز کمبود امکانات مطالعاتی در مـورد مـواد منفجـره در کشـور در این مقاله برای جایگزینی مقدار عددی امپدانس آنفوی مصرفی در معدن مس سـونگون بـه شناسـنامه فنـی صادره از طرف کارخانه تولید کننده ماده منفجره استناد شده است. فلذا طبق اعداد اعلامی از طرف کارخانه، خصوصیات خرج مصرفی به شرح جدول (۲) می باشد.

جدول (۲) – خصوصیات آنفوی مصرفی در معدن مس سونگون[۶]

چگالی $(\frac{kg}{m^3})$	سرعت انفجار $(\frac{m}{s})$	امپدانس $(\frac{kg}{m^2.s})$
۸۵۰	۳۲۰۰	$۲/۷۲\times۱۰^{۶}$

۶- کیفیت انتقال انرژی در توده سنگ مونزونیتی معدن مس سونگون

با توجه مقادیر امپدانس ارائه شده در جدول (۱) و (۲) و نیز رابطه (۳) ضـریب امپـدانس یـا ضـریب انتقـال انرژی از آنفو به سنگ مونزونیت مقدار $\eta_{۱(sp)} = ۷۷٪$ می باشد.

با توجه به اینکه در معدن سونگون از آنفو به صورت فله ای و شارژ با ماشین اسـتفاده مـی شـود بـا تقریـب نزدیک به واقعیت می توان قطر خرج و قطر چال را برابر گرفت ($\Phi_h \cong \Phi_c$); لذا طبـق رابطـه (۴) ضـریب جفت شدگی برای توده مونزونیتی برابر با یک خواهد بود ($\eta_{۲(sp)} = ۱$).

۶-۱ – محاسبه اتلاف انرژی در عبور از سطح درزه های توده مونزونیتی

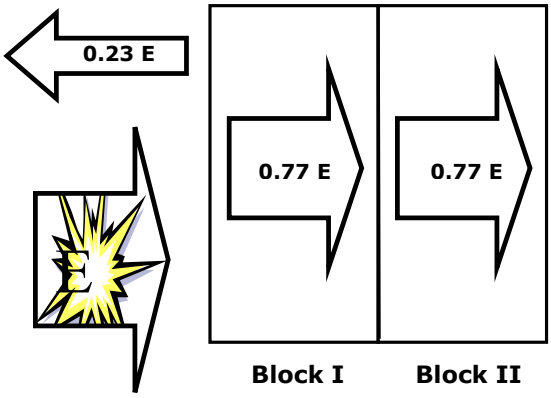
در توده سنگ مونزونیتی (sp) ،شرایط درزه ها را می توان در سه حالت زیر تقسیم بندی نمود:

الف) درزه های جوش خورده (فاقد پر کننده).

ب) درزه های جوش نخورده ای که با هوا پر شده اند.

ج) درزه های جوش نخورده ای که پرکننده آنها به صورت لایه بسیار نازکی از مواد ناشی از آلتراسیون سطح درزه به همراه مقدار کمی رس می باشد.

در حالت(الف) با توجه به مطالعات صحرایی، با تقریب و اطمینان خوبی می توان وجود فضای خالی بین دو بلوک را نادیده گرفته و $I_1 \cong I_2$ فرض نمائیم. در این صورت با توجه به رابطه (۵) ، ٪۱۰۰ انرژی بصورت موج فشاری وارد بلوک دوم سنگ مجاور درزه می شود(شکل۱).



شکل(۱)- انرژی منتقل شده به دومین بلوک مجاور چال در مونزونیت های معدن سونگون (حالت الف)

در حالت (ب) با در نظر گرفتن امپدانس های استاندارد، امپدانس هوا $۰/۰۰۶ \times ۱۰^{۶}$ [۲] در نظر گرفته شده و لذا با توجه به رابطه (۵) تنها ٪۱ انرژی از سطح درزه عبور می کند. شایان ذکر است این حالت نسبت به حالت (الف) و (ج) بسیار کمتر اتفاق می افتد و لذا از اهمیت اجرایی و فنی چندانی بر خوردار نمی باشد.

در حالت (ج) با توجه به شبیه سازی شرایط درزه ها و مواد پرکننده درآزمایشگاه ، امپدانس مواد پر کننده نامتراکم درزه های توده سنگ مونزونیتی $۲/۶ \times ۱۰^{۶}$ در نظر گرفته شده است .لذا طبق رابطه (۵) میزان انرژی منتقل شده از سطح درزه ٪۶۹ می باشد. چنانچه نتایج محاسبات نشان می دهد و با توجه به اینکه $I_2-I_1<0$ می باشد، لذا ٪۶۹ انرژی رسیده به سطح درزه بصورت فشاری عبور کرده و ٪۳۱ انرژی بصورت کششی بر می گردد و مجددا مسیر خود را در درون بلوک اول به سمت چال ادامه می دهد. با توجه به ضریب امپدانس ٪۷۷ محاسبه شده داریم :

٪۶۹ × ٪۷۷ = ٪۵۳

لذا تنها ٪۵۳ از کل انرژی خرج به مواد پر کننده درزه می رسد.

درحالت (ج) در صورتی که میزان اتلاف انرژی در عبور از لایه رسی را ٪۳۰ در نظر بگیریم، با توجه به رابطه (۵) ٪۶۹ کل انرژی به بلوک دوم می رسد. در این حالت چون $I_2-I_1>0$ می باشد در مرز بین لایه رسی پرکننده و بلوک دوم سنگ مونزونیت ، ٪۶۹ انرژی به صورت فشاری عبور کرده و ٪۳۱ بقیه نیز به صورت فشاری به محیط پر کننده باز میگردد. میزان انرژی عبوری در این مرحله به صورت در صد کل انرژی تولیدی برابر است با:

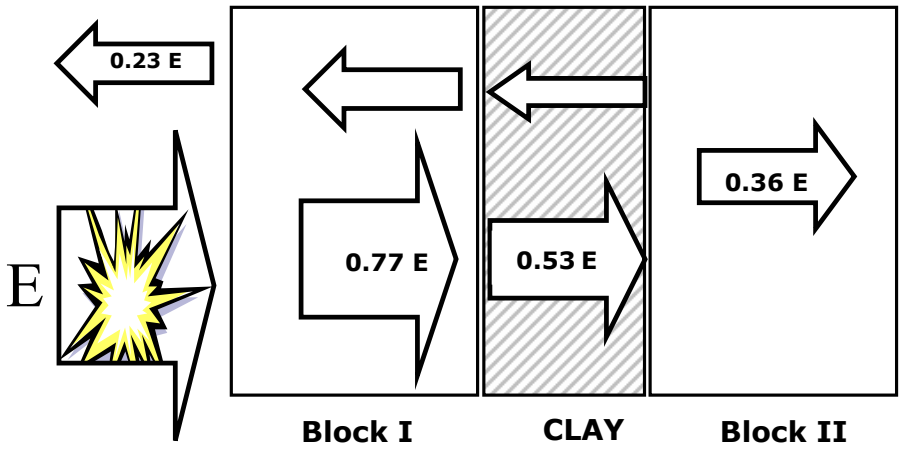
$$\eta_T = \eta_{1(SP)} . \eta_{T2} . \eta_{T2} = ٪۶۹ \times ٪۶۹ \times ٪۷۷ = ٪۳۶ \quad (\text{رس به سنگ})$$

لذا ٪۳۶ از کل انرژی تولیدی توسط آنفوی درون چال به بلوک دوم سنگ مونزونیتی در معدن سونگون میرسد(شکل۲).

۷- کیفیت انتقال انرژی در توده سنگ تراکیتی معدن مس سونگون

۷-۱ - ضریب امپدانس و جفت شدگی توده تراکیتی معدن سونگون

با توجه به رابطه (۳) و مطالب ذکر شده در بخش۵ ضریب امپدانس توده تراکیتی معدن سونگون مقدار ٪۵۹ بدست می آید.



شکل (۲)- انرژی منتقل شده به دومین بلوک مجاور چال در مونزونیت های معدن سونگون (حالت ج)

با در نظر گرفتن خرج گذاری فله ای و سمبه کاری و فشردگی قابل قبول خرج در چال ، در توده تراکیتی نیز همانند توده مونزونیتی می توان ($\Phi_h \cong \Phi_c$) در نظر گرفته و لذا ضریب جفت شدگی را برابر با یک دانست.

۷-۲- محاسبه میزان اتلاف انرژی در عبور از سطح درزه های توده تراکیتی

با توجه به محاسبات انجام شده برای توده مونزونیتی، کیفیت انتقال انرژی در توده سنگ تراکیتی معدن مس سونگون را نیز می توان در دو حالت بررسی نمود:

الف) درزه های باز که فضای بین دو بلوک از هوا پر شده است.

ب) درزه های جوش نخورده ای که پر کننده این درزه ها عموما لایه رسی فشرده شده می باشد.

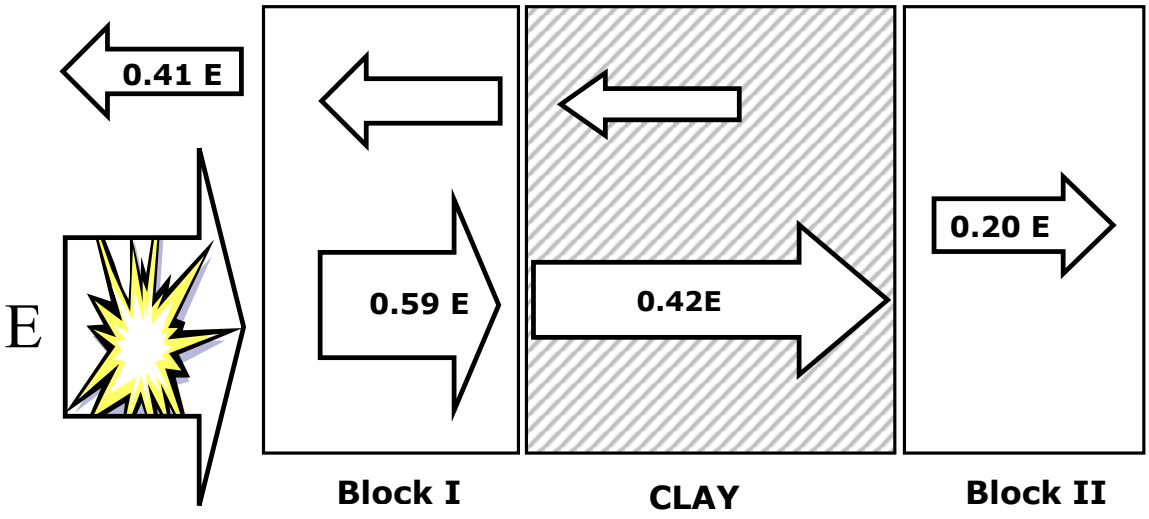
با توجه به مطالعات آزمایشگاهی انجام یافته در گذشته و نیز شبیه سازی شرایط توده سنگ در آزمایشگاه ،امپدانس لایه رسی فشرده بین سطوح درزه ها $۳/۶\times ۱۰^{۶}$ در نظر گرفته شده است.

در حالت (الف) با توجه به اینکه پرکننده درزه ها هوا می باشد لذا همچون محاسبات بخش ۵-۱ با در نظر گرفتن امپدانس هوا برابر $۰/۰۰۶\times ۱۰^{۶}$ ، میزان انرژی منتقل شده به پر کننده ٪۱ می باشد. در این حالت ٪۹۹ انرژی از سطح درزه به صورت کششی بازتاب شده و بعلت اینکه در محدوده نزدیکی چال محبوس می گردد، قادر به خردایش بلوک بعدی نخواهد بود و در این سطح درزه بعنوان سطح آزاد کاذب عمل نموده و راندمان آتشکاری را به شدت تحت تاثیر قرار می دهد.

در حالت (ب) با توجه به شرایط پر کننده ها و ضخامت قابل توجه آنها در بعضی درزه ها حرکت موج انرژی دچار پیچیدگی گردیده و طبق روابط توضیح داده شده دچار اتلاف ٪۲۹ می گردد. از آنجائیکه موج انرژی در عبور از لایه رسی ٪۳۰ انرژی خود را از دست می دهد و نیز طبق محاسبات بالا، انرژی در عبور از لایه رسی به توده تراکیتی مجاور نیز دچار اتلاف ٪۲۹ گشته و لذا کل انرژی منتقل شده از خرج به دومین بلوک مجاور برابر خواهد بود با:

$$\eta_{T(\text{تراکیت})} = ۵۹٪ \times ۷۱٪ \times ۷۰٪ \times ۷۱٪ = ۲۰٪$$

لذا ٪۲۰ از کل انرژی تولید شده توسط آنفو به دومین بلوک سنگ مونزونیتی در معدن سونگون میرسد (شکل۳).



شکل (۳)- انرژی منتقل شده به دومین بلوک مجاور چال در تراکیت های معدن سونگون (حالت ب)

۸- نتیجه گیری و پیشنهاد ات

۱) نتایج مطالعات صورت گرفته در مورد کیفیت انتقال انرژی در توده سنگهای مونزونیتی و تراکیتی معدن سونگون به شرح جدول (۳) می باشد.

جدول (۳)- کیفیت انتقال انرژی در توده سنگهای مونزونیتی و تراکیتی معدن سونگون

	مونزونیت	تراکیت
میزان انتقال انرژی از آنفو به سنگ	۷۷٪	۵۹٪
درصد انرژی رسیده به پر کننده رسی درزه ها	۵۳٪	۴۲٪
میزان اتلاف انرژی در پر کننده رسی درزه ها	۳۰٪	۳۰٪
درصد انرژی رسیده به دومین بلوک مجاور چال	۳۶٪	۲۰٪

۲) با توجه به مطالعات صورت گرفته در مورد وضعیت ناپیوستگی های معدن مس سونگون:

الف) در توده سنگ SP ناپیوستگی ها به سه صورت درزه های بسته (فاقد مواد پر کننده) ، درزه های باز (فضای بین درزه ها هوا) و درزه های باز (پر کننده لایه بسیار نازک مواد ناشی از آلتراسیون به همراه کمی رس) تشخیص داده شد که انرژی منتقل شده به بلوک دوم اطراف چال انفجاری در حالت اول ٪۱۰۰، در حالت دوم ٪۱ و در حالت سوم ٪۳۶ کل انرژی تولید شده از ماده منفجره می باشد.

ب) در تراکیت ها ناپیوستگی ها عمدتا به صورت درزه های باز (پر شده با هوا) و درزه های جوش نخورده (پر شده از مواد رسی) می باشد. انرژی منتقل شده به بلوک دوم اطراف چال انفجاری در حالت اول ٪۱ و در حالت دوم ٪۲۰ می باشد که اعداد حاصله برای این توده سنگ با جداول عملی ارئه شده در منابع معتبر آتشکاری انطباق کامل دارد.

۳) تمامی اعداد بدست آمده از بند ۲ نشان می دهد که میزان بسیار زیادی از انرژی ماده منفجره در معدن مس سونگون به هدر می رود که جهت استفاده بهینه تر از انرژی ماده منفجره موارد زیر پیشنهاد می گردد:

الف) در انفجارات معدن مس سونگون به خصوص در تراکیت های این معدن بایستی حتی الامکان از مواد منفجره ای با سرعت انفجار و چگالی بالاتر استفاده نمود. برای این منظور می توان از ماده منفجره ضد آب (اسلاری) موسوم به رئولیت با وزن مخصوص ۱۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و سرعت انفجار ۵۰۰۰ متر بر ثانیه استفاده نمود. البته در این زمینه انجام بررسی های اقتصادی به علت بالا بودن قیمت این ماده منفجره ضروری می نماید.

ب) در صورت استفاده از اسلاری ضریب آمپدانس اسلاری در توده سنگ مونزونیتی ٪۹۹/۷ و در تراکیت های معدن ٪۹۲/۷ می گردد.

ج) ترکیب داده های بدست آمده از میزان انرژی انتقالی به سنگ و فاصله داری ناپیوستگی ها جهت طراحی پارامترهای آتشباری از جمله بارسنگ و فاصله ردیفی چالها بسیار ضروری می نماید که در تحقیقات آتی می تواند مد نظر قرار گیرد.

د) در تراکیت های معدن با توجه به آنکه اکثر درزه ها باز می باشند میزان بسیار زیادی از آنفوی مصرفی در این درزه ها پراکنده شده و انرژی ناشی از آن به هدر می رود. لذا پیشنهاد می گردد در صورت عدم استفاده از اسلاری، خرج گذاری آنفو در درون رول های پلاستیکی تهیه شده با قطری معادل قطر چال صورت پذیرد. استفاده از پرایمر های قوی و تاخیرهای کم می تواند انرژی مناسب تری را به سنگ منتقل نماید.

تقدیر وتشکر

در پایان بر خود وظیفه میدانیم از همکاری و مساعدت مدیریت و کارکنان معدن مس سونگون، جناب آقای دکتر حمید آقابابایی (ریاست دانشکده مهندسی معدن - دانشگاه صنعتی سهند) و تمامی عزیزانی که ما را در ارائه مقاله حاضر یاری نمودند تقدیر و تشکر نمائیم.

منابع

[۱] نصیر نژاد ، علی، ۱۳۸۳، "طراحی پارامترهای آتشکاری در معدن مس سونگون " ، مرکز اسناد معدن مس سونگون.

[۲] استوار ،رحمت الله ، ۱۳۸۰ ،" آتشکاری در معادن " ،جلد دوم ،چاپ سوم ، انتشارات جهاد دانشگاهی صنعتی امیر کبیر.

[3] Agne Rustan., 1995 , “Rock Blasting Terms And Symbols”, .A.A.Balkema.

[۴] فهیمی فر ، احمد ، ۱۳۸۰ ، "آزمایش های مکانیک سنگ " جلد اول ، انتشارات شرکت سهامی آزمایشگاه های فنی و
مکانیک خاک.

[۵] حسینی ، سید هادی، ۸۳ ۱۳ ، " گزارش آزمایش های مکانیک سنگی سنگ های معدن مس سونگون " ، دانشگاه
صنعتی سهند.

[۶] شرکت پارچین ، ۱۳۸۰، " کاتالوگ و دفترچه مشخصات فنی آنفوی مصرفی در معدن مس سونگون "