

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

خردایش سنگ و کنترل پیامدهای ناشی از انفجار

تصنیف

دکتر حسن مومیوند

گروه مهندسی معدن دانشگاه ارومیه

خرداد ماه ۱۴۰۰

سرشناسه	:	مومیوند، حسن، ۱۳۴۰ -
عنوان و نام پدیدآور	:	خردایش سنگ و کنترل پیامدهای ناشی از انفجار / تصنیف حسن مومیوند.
مشخصات نشر	:	ارومیه: دانشگاه ارومیه، ۱۴۰۰.
مشخصات ظاهری	:	۵۷۲ ص.
فروست	:	انتشارات دانشگاه ارومیه؛ ۳۰۰.
شابک	:	978-600-8681-90-8
وضعیت فهرست نویسی	:	فیپا
موضوع	:	آتش کاری (Blasting)
موضوع	:	مواد منفجره (Explosives)
موضوع	:	سنگ معدن - آماده سازی (Ore-dressing)
موضوع	:	مهندسی معدن (Mining Engineering)
شناسه افزوده	:	دانشگاه ارومیه
شناسه افزوده	:	Urmia University
رده بندی کنگره	:	TN۲۷۹
رده بندی دیویی	:	۶۲۲/۲۳
شماره کتابشناسی ملی	:	۸۳۰۷۴۶۵

مرکز انتشارات دانشگاه ارومیه

ارومیه، کیلومتر ۱۱ جاده سرو، صندوق تلفن: ۳۱۹۴۲۲۷۴ - ۳۲۷۷۹۹۳۰ - ۰۴۴،
دورنگار ۳۲۷۷۹۹۳۰

عنوان: خردایش سنگ و کنترل پیامدهای ناشی از انفجار

تصنیف: حسن مومیوند

ناشر: انتشارات دانشگاه ارومیه

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: قم، نشر هم میهن ۰۹۱۰۲۸۰۷۰۲۱

نوبت چاپ: اول

سال چاپ: ۱۴۰۰

شمارگان: ۲۰۰ نسخه

قیمت پشت جلد: ۱۵۰ هزار تومان

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۸۶۸۱-۹۰-۸

تقدیر و تشکر

با درود به روان پاک پدر و مادرم که یادشان آرام‌بخش زندگی است. از همسر گرامی که همواره همراهم بوده و فرزندان عزیزم مهندس حسام‌الدین، مهندس کیوان و مهندس سارا برای همراهی و شکیبایی که در تصنیف این کتاب از خود نشان داده‌اند، صمیمانه قدردانی می‌نمایم و برایشان عمر با عزت و شادی آرزومندم.

لازم می‌دانم از ویراستار ادبی محترم آقای دکتر رحیم کوشش شبستری برای بهبود و شیوایی متون کتاب سپاسگزاری نمایم. همچنین از ویراستار علمی محترم آقای دکتر سیف‌الدین موسی‌زاده برای مطرح نمودن نکات سازنده تشکر و قدردانی می‌نمایم. در نهایت از پژوهشگران خلاق که نوآوری‌های ارزشمند آنها به‌ویژه مراجع مورد استفاده در زمینه خردایش سنگ و کنترل پیامدهای ناشی از انفجار که الهام بخش کتاب بوده، قدردانی می‌شود.

پیشگفتار

خداوند حکیم را شاکرم که پس از سال‌ها تلاش، نوآوری‌های بنیادی و کاربردی حاصل از پژوهش‌های میدانی را در زمینه خردایش سنگ ناشی از انفجار در عرصه جهانی و ملی منتشر و تصنیف کتاب را با موفقیت تکمیل نمودم.

توده‌های سنگ ناهمگن، ناهمسان‌گرد و دارای انواع ناپیوستگی‌ها، بر اثر تنش‌های دینامیکی ناشی از انفجار خرد شده و رفتار پیچیده‌ای در فرایند خردایش از خود نشان می‌دهند. به طوری که درک موضوع خردایش سنگ در فرایند مکانیزم انفجار نیازمند یک نگرش همه-جانبه است. تلاش‌های بالارزشی در ابعاد مختلف فناوری خردایش سنگ در گذشته انجام گرفته و توسعه موضوع در دهه‌های اخیر ضمن مصادف شدن با عصر فناوری اطلاعات بسیار سریع‌تر شده است. همچنین راهکارهای ارائه شده بیشتر با محک تجربه، طراحی و اجرا ارزیابی شده و روش‌های کارآمد بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. با وجود این، معضلات فراوانی در راهکارهای ارائه شده وجود داشته و نویسنده نیز در ارائه روش‌های حاصل از پژوهش‌های بزرگ مقیاس در راستای نیازهای طراحی خردایش سنگ در عرصه جهانی و ملی سهمیم بوده است. پیشرفت‌های چشمگیری که در موضوعاتی نظیر خردایش سنگ به عنوان موضوع مهم عصر حاضر به عمل آمده در کتاب‌های آتش‌کاری بین‌المللی به خوبی مطرح نشده است. فراز و نشیب‌های فراوانی در ارائه روش‌ها، روشنگری و نحوه ارتباط سودمند آنها وجود دارد. این نیازمند یک بازنگری جدی است که با خلاقیت و معماری جدیدی، پیکره کارامدی از دانش فنی به‌روز شده ارائه شود.

محتوای کتاب با رویکرد جدید و جامعی در فصول چندگانه مرتبط به یکدیگر سامان‌دهی و تلاش شده است مطالب به صورت عمیق، کلیدی، نظام‌مند و در عین حال کاربردی و روان ارائه شوند. همچنین نوع مطالب نیز طوری تنظیم شده‌اند که بتواند در رفع نیازهای مهندسان، دانشجویان و مدرسان و محققان که با خردایش سنگ بر اثر انفجار سروکار دارند، مفید واقع شود.

مطالب در ۸ فصل تنظیم شده‌اند. فصل اول در مورد تاریخچه سیر تحول فناوری، کاربردهای خردایش سنگ و آشنایی با محتوای کتاب است. از آنجای که عواملی همچون مواد منفجره، ویژگی‌های توده‌سنگ، مکانیزم انفجار، پارامترهای چال انفجار و خرج ویژه از ارکان موضوع

خردایش سنگ هستند، موضوع مواد منفجره صنعتی اصلی که یک مهندس آتش کار به صورت تخصصی به آن نیاز دارد، در فصل دوم ارائه شده است. در مدل‌های خردایشی که نقش ویژگی‌های توده‌سنگ در آنها بخوبی ملاحظه نشده تا ۱۵۲/۸ درصد با نتایج واقعی خطا نشان می‌دهند. به این منظور ویژگی‌های توده‌سنگ ضمن ارائه راهکارهای جدید و کاربردی برای اهداف خردایش سنگ بر اثر آتش‌کاری همراه با مکانیزم انفجار در فصل سوم مورد بحث واقع شده‌اند.

پارامترهای چال انفجار و خرج ویژه به روش‌های مختلف در فصل چهارم ارائه شده‌اند. با وجود روش‌های مختلف پیش‌بینی خردایش سنگ در عرصه جهانی، معضلات فراوانی وجود داشته که در نحوه تأثیر ویژگی‌های توده‌سنگ، چگونگی تأثیر پارامترهای چال انفجاری و زمان تأخیر ریشه داشته‌اند. خردایش سنگ بر اثر انفجار با رویکرد کاملاً جدیدی ضمن ارائه مدل‌های جهانی خردایش نویسنده و همکاران در فصل پنجم به صورت منسجم آمده است. موضوع قیمت تمام‌شده چال‌زنی و آتش‌کاری به روش نو، ساده و در عین حال کاربردی در فصل ششم ارائه شده است.

وضعیت توده‌سنگ باقی‌مانده پس از انفجار و مسائل زیست‌محیطی نظیر لرزش زمین و پرتاب سنگ از پیامدهای مهم خردایش سنگ بر اثر انفجار هستند. در این راستا در فصل هفتم به بیش‌شکست، شیب پله، عقب‌زدگی به شیوه‌ای نو و آتش‌کاری کنترل شده پرداخته شده است. پیامدهای زیست‌محیطی آتش‌کاری (لرزش زمین و پرتاب سنگ) در فصل هشتم آورده شده‌اند. محتوای فصول چندگانه کتاب در فصل مقدمه به صورت مبسوط تشریح شده است.

در تصنیف کتاب خردایش سنگ و پیامدهای ناشی از انفجار به سبکی نو و به صورت همه-جانبه به موضوعات گوناگون پرداخته شده است و کتاب خالی از ایراد نیست. موجب خرسندی و سپاس است چنانچه در ذکر ایرادها اینجانب را مورد لطف و عنایت خود قرار دهید. امید است این کتاب برای طالبان خردایش سنگ در اثر آتش‌کاری مفید واقع شود.



حسن مومیند

خرداد ماه ۱۴۰۰

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه..... ۱

- ۱-۱ معرفی خردایش سنگ به روش آتش کاری ۱
- ۲-۱ روند پیشرفت خردایش سنگ به روش آتش کاری ۱
- ۱-۲-۱ روند پیشرفت استفاده از مواد منفجره در خردایش سنگ ۳
- ۲-۲-۱ سیر تحول و توسعه دانش فنی خرج ویژه و خردایش سنگ مبتنی بر توده سنگ برجا و کنترل پیامدهای ناشی از انفجار ۹
- ۳-۱ جایگاه و کاربردهای آتش کاری در حفر سنگ ۱۵
- ۴-۱ محتوای کتاب ۲۰

فصل دوم: مواد منفجره صنعتی اصلی..... ۲۷

- ۱-۲ مقدمه..... ۲۷
- ۲-۲ برخی ویژگی های مواد منفجره ۳۰
- ۱-۲-۲ وزن حجمی..... ۳۱
- ۲-۲-۲ سرعت انفجار..... ۳۱
- ۳-۲-۲ فشار انفجار ۳۴
- ۴-۲-۲ قدرت ماده منفجره ۴۱
- ۵-۲-۲ مقاومت در مقابل آب ۴۴
- ۳-۲ انواع مواد منفجره صنعتی اصلی مورد استفاده خردایش سنگ..... ۴۵
- ۱-۳-۲ آنفو ۴۵
- ۲-۳-۲ مواد منفجره اسلاری ۵۵
- ۳-۳-۲ امولسیون ها ۵۶
- ۴-۳-۲ آنفوی سنگین ۵۷
- ۵-۳-۲ مواد منفجره دارای بنیان نیتروگلیسرین ۶۱

۶۲..... ۲-۴ مقایسه مواد منفجره

۶۸..... ۲-۵ نتیجه گیری

فصل سوم: ویژگی های توده سنگ و مکانیزم انفجار ۷۱

۷۱..... ۳-۱ مقدمه

۷۳..... ۳-۲ ویژگی های فیزیکی، ناپیوستگی ها و اندازه بلوک سنگ

۷۳..... ۳-۲-۱ سنگ سالم و توده سنگ

۷۵..... ۳-۲-۲ وزن حجمی و تخلخل

۷۵..... ۳-۲-۲-۱ وزن حجمی

۸۰..... ۳-۲-۲-۲ تخلخل

۸۳..... ۳-۲-۳ ویژگی های ناپیوستگی ها و اندازه بلوک

۸۴..... ۳-۲-۳-۱ جهت یافتگی ناپیوستگی ها

۸۶..... ۳-۲-۳-۲ فاصله ناپیوستگی ها و اندازه بلوک

۸۶..... ۳-۲-۳-۲-۱ فاصله ناپیوستگی ها

۹۴..... ۳-۲-۳-۲-۲ حجم بلوک

۹۶..... ۳-۲-۳-۲-۳ رویکرد جدید تعیین فاصله ناپیوستگی ها و اندازه بلوک

۹۶..... ۳-۲-۳-۲-۳-۱ مدل فیزیکی تعیین فاصله ناپیوستگی ها و اندازه بلوک

۱۰۳..... ۳-۲-۳-۲-۳-۲ آنالیز تصویری توده سنگ برجا

۱۱۳..... ۳-۲-۳-۲-۳ اندازه دهانه و مواد پرکننده

۱۱۴..... ۳-۲-۴ ویژگی های مکانیکی سنگ مورد استفاده در آتش کاری و خردایش سنگ

۱۱۵..... ۳-۲-۴-۱ مقاومت فشاری یک محوری سنگ سالم

۱۱۶..... ۳-۲-۴-۱-۱ تعیین مقاومت فشاری یک محوری به صورت مستقیم و عوامل مؤثر بر آن

۱۱۹..... ۳-۲-۴-۱-۲ تعیین مقاومت فشاری یک محوری به صورت غیرمستقیم

۱۲۰..... ۳-۲-۴-۱-۲-۱ آزمایش سختی اشمیت

۱۲۳..... ۳-۲-۴-۱-۲-۲ برآورد مقاومت فشاری یک محوری

۱۲۸.....	۲-۴-۲-۳ مقاومت کششی سنگ
۱۳۰.....	۳-۴-۲-۳ ضریب ارتجاعی سنگ
۱۳۳.....	۴-۴-۲-۳ سرعت امواج و ویژگی‌های دینامیکی الاستیک سنگ
۱۳۳.....	۱-۴-۴-۲-۳ امواج فراصوتی
۱۳۶.....	۲-۴-۴-۲-۳ اندازه‌گیری سرعت موج در سنگ
۱۳۸.....	۳-۴-۴-۲-۳ رابطه بین سرعت امواج و ثابت‌های ارتجاعی پویای سنگ
۱۴۶.....	۴-۴-۴-۲-۳ عوامل مؤثر بر سرعت موج در سنگ
۱۴۷.....	۱-۴-۴-۴-۲-۳ ناهمسان‌گردی سرعت امواج
۱۵۶.....	۲-۴-۴-۴-۲-۳ تأثیر جهت‌یافتگی ناپیوستگی‌ها در سرعت موج فشاری
۱۶۴.....	۵-۴-۴-۲-۳ کاربردهای سرعت عبور موج به منظور آتش‌کاری و خردایش سنگ
۱۶۵.....	۶-۴-۴-۲-۳ عبور و انعکاس امواج در محیط‌های دارای امپدانس متفاوت
۱۶۶.....	۳-۳ مکانیزم انفجار در سنگ
۱۸۲.....	۴-۳ تأثیر ناپیوستگی‌ها در شکست توده‌سنگ بر اثر انفجار
۱۸۸.....	۵-۳ نتیجه‌گیری

فصل چهارم: پارامترهای چال انفجار و خرج ویژه ۱۹۷

۱۹۷.....	۴ - ۱ مقدمه
۱۹۸.....	۲-۴ پارامترهای چال انفجار
۱۹۹.....	۴-۲-۱ قطر چال
۲۰۱.....	۴-۲-۲ بار سنگ
۲۰۲.....	۴-۲-۳ فاصله چال‌ها
۲۰۴.....	۴-۲-۴ طول چال
۲۰۵.....	۴-۲-۵ اضافه حفر چال
۲۰۵.....	۴-۲-۶ زاویه حفر چال
۲۰۵.....	۴-۲-۷ ارتفاع پله

۲۰۶.....	۴-۲-۸ طول گل گذاری
۲۰۶.....	۴-۲-۹ طول خرج
۲۰۶.....	۴-۲-۱۰ حجم سنگ به ازای یک چال
۲۰۶.....	۴-۲-۱۱ خرج ته چال یا پرایمر
۲۰۷.....	۴-۲-۱۲ خرج میان چال یا خرج اصلی
۲۰۷.....	۴-۲-۱۳ کل خرج چال
۲۰۸.....	۴-۳-۳ خرج ویژه
۲۰۹.....	۴-۳-۱ روش های مختلف برآورد خرج ویژه و الگوی چال های انفجار
۲۱۰.....	۴-۳-۱-۱ برآورد خرج ویژه با استفاده از جداول تجربی برای بعضی از سنگ ها
۲۱۳.....	۴-۳-۱-۲ برآورد خرج ویژه با استفاده از فرمول های انتقال انرژی از ماده منفجره به سنگ و مقدار انرژی جهت خردایش سنگ
۲۱۸.....	۴-۳-۱-۳ برآورد نسبت B/ϕ_h با استفاده از فرمول های تجربی
۲۲۲.....	۴-۳-۱-۴ برآورد خرج ویژه بر اساس ویژگی های توده سنگ، پارامترهای چال انفجاری و اندازه خردایش سنگ
۲۲۲.....	۴-۳-۱-۴-۱ مقدمه
۲۲۳.....	۴-۳-۱-۴-۲ تأثیر ویژگی های توده سنگ در خرج ویژه
۲۲۸.....	۴-۳-۱-۴-۳ طبقه بندی های توده سنگ به منظور خرج ویژه و خردایش سنگ
۲۳۶.....	۴-۳-۱-۴-۴ برآورد خرج ویژه با استفاده از شاخص قابلیت انفجار، پارامترهای چال انفجاری و اندازه خردایش سنگ
۲۴۱.....	۴-۳-۱-۴-۵ برآورد خرج ویژه و الگوی چال های انفجار به صورت میدانی با حداقل نمودن قیمت تمام شده مجموع انفجار اصلی و خردایش ثانویه
۲۴۱.....	۴-۴ استفاده از پاوردک در آتش کاری
۲۴۳.....	۴-۵ نتیجه گیری

فصل پنجم: خردایش سنگ بر اثر انفجار..... ۲۴۹

- ۱-۵ مقدمه ۲۴۹
- ۲-۵ تعیین دانه‌بندی خردایش تل سنگ پس از آتش‌کاری ۲۵۱
- ۱-۲-۵ روش آنالیز سرنندی..... ۲۵۱
- ۲-۲-۵ روش آنالیز مشاهد‌های..... ۲۵۴
- ۳-۲-۵ شمارش دانه‌های بزرگ ۲۵۴
- ۴-۲-۵ میزان مصرف مواد منفجره در انفجار ثانویه..... ۲۵۴
- ۵-۲-۵ روش سرعت بارگیری شاول ۲۵۴
- ۶-۲-۵ میزان به تأخیر افتادن سنگ شکن..... ۲۵۵
- ۷-۲-۵ روش آنالیز تصویری دیجیتالی ۲۵۵
- ۱-۷-۲-۵ اصول کار در روش آنالیز تصویری..... ۲۵۶
- ۲-۷-۲-۵ مراحل انجام آنالیز تصویری ۲۵۷
- ۱-۲-۷-۲-۵ نمونه‌گیری ۲۵۷
- ۲-۲-۷-۲-۵ تصویربرداری ۲۵۸
- ۳-۲-۷-۲-۵ آنالیز تصویری ۲۶۰
- ۳-۷-۲-۵ خطاهای موجود در روش آنالیز تصویری ۲۶۰
- ۱-۳-۷-۲-۵ خطاهای ذاتی روش آنالیز تصویری..... ۲۶۱
- ۲-۳-۷-۲-۵ خطاهای عکس‌برداری ۲۶۳
- ۴-۷-۲-۵ مزایای روش آنالیز تصویری..... ۲۶۷
- ۵-۷-۲-۵ معرفی نرم‌افزارهای مختلف در روش آنالیز تصویری..... ۲۶۷
- ۱-۵-۷-۲-۵ نرم‌افزار وینفرگ ۲۶۸
- ۲-۵-۷-۲-۵ سیستم آنالیز تصویری دانشگاه صنعتی کلوستال (توکیز)..... ۲۶۸
- ۳-۵-۷-۲-۵ نرم‌افزار گلدسایز..... ۲۶۹
- ۴-۵-۷-۲-۵ نرم‌افزار اسپلیت ۲۷۰

۲۷۱.....	۵-۲-۷-۵-۱ نرم افزار اسپلیت دسکتاپ
۲۸۳.....	۵-۲-۷-۵-۲ نرم افزار اسپلیت آنلاین
۲۸۴.....	۵-۲-۸ استفاده از ترکیب دو روش آنالیز سرنبدی تفکیک خوراک اولیه سنگشکنی و آنالیز تصویری
۲۸۸.....	۵-۳ مدل های خردایش سنگ
۲۸۸.....	۵-۳-۱ مدل های تجربی خردایش سنگ
۲۸۹..	۵-۳-۱-۱ مدل های که کمتر ویژگی های سنگ در آنها ملاحظه شده و مدل چونگ و کاتسابانیس
۲۸۹.....	۵-۳-۱-۱-۱ مدل بنیاد تحقیقاتی انفجار سوئد (سوئدیفو)
۲۹۰.....	۵-۳-۱-۱-۲ مدل کو و روستن
۲۹۰.....	۵-۳-۱-۱-۳ مدل کوزنتسوف
۲۹۱.....	۵-۳-۱-۱-۴ مدل چونگ و کاتسابانیس
۲۹۴.....	۵-۳-۱-۲ مدل های کوز-رام و اصلاح شده آن
۳۰۶.....	۵-۳-۱-۳ مدل توزیع دانه بندی آزاد انفجار سنچیدریان و اچترلونی
۳۱۷.....	۵-۳-۱-۴ مدل مومیوند و وندیوسفی
۳۳۳.....	۵-۳-۱-۵ مدل عزیزی و مومیوند
۳۴۹.....	۵-۳-۲ روش های تحلیلی چندمتغیره و هوش مصنوعی
۳۵۰.....	۵-۳-۲-۱ بررسی میزان خردایش سنگ با استفاده از شبکه عصبی
۳۵۵.....	۵-۳-۲-۲ بررسی میزان خردایش سنگ با استفاده از روش چندمتغیره MLR و الگوریتم GEP
۳۵۹.....	۵-۳-۳ تأثیر زمان تأخیر در خردایش سنگ
۳۵۹.....	۵-۳-۳-۱ نتایج پژوهش های حاصل از تأثیر زمان تأخیر در مقدار X_{50}
۳۶۳.....	۵-۳-۳-۲ تأثیر زمان تأخیر در مدل خردایش سنگ
۳۷۰.....	۵-۴ نتیجه گیری

فصل ششم: قیمت تمام شده چال زنی و آتش کاری..... ۳۷۹

۶- ۱ مقدمه ۳۷۹

۶-۲ برآورد قیمت تمام شده به صورت میدانی در فرایند چال زنی و آتش کاری ۳۸۱

۶-۲-۱ بر آورد قیمت تمام شده انفجار اصلی و ثانویه و مقایسه هزینه ها ۳۸۲

۶-۲-۱-۱ محاسبه هزینه های چال زنی و آتش کاری انفجار اصلی ۳۸۵

۶-۲-۱-۲ محاسبه هزینه های خردایش ثانویه ۳۸۸

۶-۲-۱-۳ قیمت تمام شده کل انفجار اصلی و ثانویه ۳۹۳

۶-۲-۲ برآورد خرج ویژه و نسبت بار سنگ به قطر چال بهینه با استفاده از قیمت

تمام شده حداقل چال زنی و آتش کاری ۳۹۴

۶-۲-۲-۱ پارامترهای چال های انفجار و مشخصات خرج گذاری در مرحله اول ۳۹۴

۶-۲-۲-۲ هزینه های فرایند خردایش در مرحله اول ۳۹۷

۶-۲-۲-۲-۱ محاسبه هزینه های مرحله اول ۳۹۷

۶-۲-۲-۲-۲ هزینه های فرایند خردایش در مرحله اول، مراحل دوم، سوم و چهارم چال زنی

و آتش کاری ۴۰۱

۶-۳ مقایسه روش های آتش کاری استفاده از فتیله انفجاری، چاشنی الکتریکی و سیستم نائل ۴۰۴

۶-۳-۱ تعیین فتیله ویژه، چاشنی ویژه و قیمت تمام شده ۴۰۵

۶-۳-۲ پارامترهای مؤثر در فتیله ویژه، چاشنی ویژه و قیمت تمام شده فتیله انفجاری،

چاشنی الکتریکی و نائل ۴۰۹

۶- ۴ برآورد قیمت تمام شده با استفاده از ویژگی های توده سنگ، میزان خردایش و

پارامترهای چال انفجار ۴۱۶

۶-۵ تغییر روش حفر از آتش کاری به مکانیکی بر اساس ویژگی های توده سنگ و

قیمت تمام شده ۴۲۶

۶-۵-۱ تغییر روش حفر بر اساس ویژگی های توده سنگ ۴۲۶

۶-۵-۲ تعیین ویژگی های توده سنگ، شاخص قابلیت انفجار، شاخص خردایش سنگ	۴۲۹
و خرج ویژه حاصل از آنها	۴۳۱
۶-۵-۳ چال زنی و آتش کاری و برآورد قیمت تمام شده	۴۳۷
۶-۵-۴ حفر به روش مکانیکی با استفاده از بولدوزر و برآورد قیمت تمام شده	۴۳۹
۶-۶ نتیجه گیری	

فصل هفتم: بیش شکست، شیب پله، عقب زدگی و آتش کاری کنترل شده..... ۴۴۳

۱-۷ مقدمه	۴۴۳
۲-۷ ناحیه خرد شده (بیش شکست) و عقب زدگی در پشت آخرین ردیف چال ها	۴۴۷
۳-۷ آتش کاری کنترل شده	۴۶۴
۱-۳-۷ فاصله چال ها	۴۶۵
۲-۳-۷ خرج گذاری	۴۶۶
۳-۳-۷ روش های آتش کاری کنترل شده	۴۶۷
۱-۳-۳-۷ آتش کاری آرام	۴۶۸
۱-۱-۳-۳-۷ چال های آتش کاری آرام	۴۷۵
۲-۱-۳-۲-۷ خرج گذاری آتش کاری آرام	۴۷۶
۲-۳-۳-۷ آتش کاری بالشتکی	۴۷۶
۳-۳-۳-۷ چال زنی خطی	۴۸۰
۴-۳-۳-۷ آتش کاری پیش شکافی	۴۸۲
۱-۴-۳-۳-۷ مکانیزم ایجاد شکاف در آتش کاری پیش شکافی	۴۸۷
۲-۴-۳-۳-۷ محدودیت های روش پیشش کافی	۴۹۰
۴-۳-۷ ارزیابی سطح باقی مانده حاصل از آتش کاری	۴۹۱
۴-۷ نتیجه گیری	۴۹۳

فصل هشتم: پیامدهای زیست‌محیطی لرزش زمین و پرتاب سنگ ۴۹۹

۱-۸	مقدمه	۴۹۹
۲-۸	لرزش زمین و نحوه تأثیر آن بر محیط اطراف انفجار	۵۰۰
۱-۲-۸	لرزش زمین	۵۰۰
۲-۲-۸	پیش‌بینی لرزش زمین	۵۰۳
۲-۲-۸	فاصله مقیاس‌شده	۵۰۴
۱-۲-۲-۸	ریشه دوم فاصله مقیاس‌شده	۵۰۵
۲-۲-۲-۸	ریشه سوم فاصله مقیاس‌شده	۵۰۵
۳-۲-۸	تأخیرهای انفجار	۵۰۵
۴-۲-۸	پیش‌بینی سرعت ذره‌ای حداکثر	۵۰۶
۵-۲-۸	آنالیز رگراسیونی	۵۰۸
۶-۲-۸	پیش‌بینی فاصله ایمن برای لرزش زمین	۵۱۶
۷-۲-۸	مشخصه‌های ساختگاه	۵۱۷
۸-۲-۸	مشخصه‌های سازه	۵۲۰
۹-۲-۸	تأثیر لرزش زمین بر سازه‌ها	۵۲۲
۳-۸	پرتاب سنگ	۵۲۴
۱-۳-۸	تأثیر پارامترهای چال‌های انفجار در حداکثر فاصله پرتاب سنگ	۵۲۴
۲-۳-۸	برآورد فاصله پرتاب سنگ	۵۲۷
۱-۲-۳-۸	روش سوئدی برآورد فاصله پرتاب سنگ	۵۲۷
۲-۲-۳-۸	روش پکروفسکی فیودورف برآورد فاصله پرتاب سنگ	۵۲۸
۳-۲-۳-۸	روش مومیوند	۵۳۰
۳-۳-۸	آتش‌کاری در نزدیک ساختمان‌ها	۵۳۲

مراجع ۵۳۷

الف- مراجع انگلیسی	۵۳۷
ب- مراجع فارسی	۵۵۲

سخن چون برابر شود با خرد روان سراننده را بش برد

(حکیم ابوالقاسم فردوسی)

فصل اول

مقدمه

۱-۱ معرفی خردایش سنگ به روش آتش کاری

در خردایش سنگ بر اثر آتش کاری به چگونگی مکانیزم خرد شدن توده سنگ برجا در رابطه با پارامترهای چال انفجار، استفاده مفید از انرژی مواد منفجره و کنترل عواقب ناشی از آن پرداخته می شود. توده سنگ یک جسم جامد ناهمگن، ناهمسان گرد و مستحکمی است که خردایش و جابجا نمودن آن یکی از چالش برانگیزترین بخش های معدنکاری است. حفر سنگ به روش آتش کاری بخش مهمی از وظایف یک مهندس معدن است و یکی از موضوعات تخصصی است که در این پیشه معمولاً بیشتر با آن روبرو می شود.

۲-۱ روند پیشرفت خردایش سنگ به روش آتش کاری

تشریح روند پیشرفت حفر و خردایش سنگ به روش آتش کاری نه تنها باعث می شود که جایگاه موضوع و مسیر تحولات مشخص شود بلکه دانستن معضلات فنی و کلیدی می تواند برای مهندسان آتش کار راهگشا باشد. روند توسعه حفر سنگ به روش آتش کاری در ابتدا با توسعه استفاده از مواد منفجره همراه بوده است. چنین

روندی به تدریج از به کارگیری باروت شروع شد و با اختراع دینامیت تداوم یافت. سپس با استفاده از مواد منفجره بسیار ارزان قیمتی نظیر آنفو^۱ و برخی مواد منفجره مقاوم در مقابل آب همچون اسلاری^۲ (دوغابی) و امولسیون^۳ به عنوان جایگزین آنفو در شرایط آبدار، استفاده از سیستم‌های آتش‌کاری نظیر فتیله اطمینان^۴ و انفجاری^۵، نازل^۶، چاشنی‌های الکتریکی^۷ و در نهایت الکترونیکی^۸ پیشرفت رو به رشدی داشته است. همچنین ارائه فرمولاسیون خرج ویژه، خرج ویژه مبتنی بر ویژگی‌های توده‌سنگ برجا، خردایش سنگ و روش‌های ارزیابی آن و موضوع تأثیر زمان تأخیر^۹ در میزان خردایش به ویژه با توسعه چاشنی‌های الکترونیکی از مراحل مهم توسعه حفر سنگ به روش آتش‌کاری بوده‌اند. به طوری که موضوع خردایش سنگ به‌ویژه در دو دهه اخیر بیشتر مورد توجه قرار گرفته است، اما در بیشتر کتاب‌های درسی انگلیسی دهه‌های پیش، موضوع خردایش به‌ویژه مبتنی بر توده-سنگ برجا به‌خوبی مطرح نشده است (اُچترلونی و سنچیدریان^{۱۰} ۲۰۱۹). همچنین در موازات پیشرفت حفر و خردایش سنگ به روش آتش‌کاری، در مورد پیامدهای ناشی از انفجار نظیر هندسه و کیفیت پله باقیمانده پس از انفجار، عقب‌زدگی، لرزش زمین، پرتاب سنگ و چگونگی مقابله با آنها با استفاده از آتش‌کاری کنترل شده و سایر روش‌های ارائه شده پیشرفت‌های قابل توجهی حاصل شده است. ابتدا روند پیشرفت استفاده از مواد منفجره و آتش‌کاری تشریح می‌شود و سپس به سیر تحول توسعه دانش فنی موضوعات خرج ویژه، خردایش سنگ و طراحی خردایش مبتنی بر ویژگی‌های توده‌سنگ برجا و همچنین کنترل پیامدهای ناشی انفجار پرداخته می‌شود.

1 - Ammonium nitrate-fuel oil (ANFO)

2 - Slurry

3 - Emulsion

4 - Safety fuse

5 - Detonating cord

6 - Non-electric detonator (Nonel)

7 - Electric detonator

8 - Electronics detonator

9 - Delay time

10 - Ouchterlony and Sanchidrián

۱-۲-۱ روند پیشرفت استفاده از مواد منفجره در خردایش سنگ

انسان از زمان ظهورش در کره زمین در طبیعت دخل تصرف نموده و از امکانات آن بهره جسته است. به طوری که تاریخ تمدن بر اساس میزان استفاده از موادی که در طبیعت واقع شده‌اند، تدوین شده است. معدن‌کاری یکی از اساسی‌ترین روش‌های بهره‌برداری از طبیعت بوده و بخشی از حیات انسان از قبل از تاریخ تاکنون را در بر می‌گیرد (گرگوری^۱ ۱۹۸۰). سنگ‌ها عموماً به حدی مستحکم هستند که حفر آنها در بیشتر شرایط به روش غیر انفجاری امکان‌پذیر نبوده یا بسیار کند است. در جهان باستان حفر سنگ با ابزار ابتدایی امکان‌پذیر نبود. ایجاد شکاف در سنگ توسط انبساط و انقباض ناشی از گرم و سرد شدن ناگهانی با فرو ریختن آتش و ریختن آب به صورت سریع از قدیمی‌ترین روش‌های شکستن سنگ‌ها در حدود ۵۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح در مصر باستان بوده است (توماس^۲ ۱۹۷۸). فناوری معدن‌کاری و در کنار آن حفر سنگ همانند سایر صنایع در طول قرون وسطی دچار رکود بوده است.

حفر سنگ به روش‌های اولیه کاری بسیار دشوار بوده است. شکستن سنگ با استفاده از مواد منفجره از ابتدای قرن هفدهم هم‌زمان با ساخت باروت برای این هدف، شروع شد. اما کاربرد بزرگ مقیاس مواد منفجره برای حفر سنگ به روش آتش‌کاری، تاریخی حدود ۱۷۰ ساله داشته همچنان‌که نیاز به مواد معدنی در نیمه دوم قرن هجدهم هم‌زمان با انقلاب صنعتی تحول قابل توجهی داشته است. توسعه مواد منفجره صنعتی را می‌توان به سه دوره شامل عهد باروت (۱۶۲۷-۱۸۷۰)، عهد دینامیت (۱۸۷۰-۱۹۵۰) و عهد عوامل انفجار^۳ نظیر مواد منفجره آنفو به عنوان ماده منفجره بسیار ارزان قیمت، اسلاری و امولسیون به عنوان جایگزین آنفو در شرایط آبدار (۱۹۵۰ - تا کنون) تقسیم نمود.

1 - Gregory

2 - Thomas

3 - Blasting agents

الف - عهد باروت (۱۶۲۷-۱۸۷۰)

پودر سیاه^۱ یا خرج تفنگ^۲ معروف به باروت به صورت ترکیب نیترات پتاسیم (شوره^۳) بعلاوه گرد زغال و گوگرد ($2KNO_3 + S + 3C$)، ماده منفجره خفیفی است. خاستگاه مواد منفجره، کشف باروت بود. گرچه در مورد کشف باروت در منابع مختلف، تاریخ یکسانی گزارش نشده است اما در بررسی‌هایی که اخیراً به عمل آمده چنین گزارش شده است که باروت در قرن نهم میلادی توسط چینی‌ها اختراع شد و در انتهای قرن سیزدهم به آسیا و اروپا گسترش یافت (بوچانان^۴ ۲۰۰۶). باروت ابتدا توسط تائوایست‌ها^۵ برای اهداف پزشکی ارائه شد و شروع استفاده از آن برای جنگ حدود ۱۰۰۰ سال پیش بوده است (آندرد^۶ ۲۰۱۶). نحوه ساخت باروت به صورت مخلوطی از نیترات پتاسیم، گرد زغال و گوگرد در نوشته‌های راجربیکن^۷ راهب انگلیسی در سال ۱۳۲۶ در مورد آتش‌بازی شرح داده شده است (نیدهام^۸ ۱۹۸۶). پس از شناخت باروت در اروپا، از آن بیشتر برای جنگ در آن دوران استفاده می‌شد و وسیله‌ای برای خرج سلاح‌های نظامی مخرب در مقایسه با ابزار جنگی پیشین بود، تا این که معدنکاری به نام مارتین ویگل^۹ در سال ۱۶۱۳ باروت را برای به‌کارگیری در شکستن سنگ پیشنهاد نمود اما مورد توجه واقع نشد. کاسپر ویندل^{۱۰} برای اولین بار در معدن رویال شِمنتز^{۱۱} در اَبرِ بیبرسولن^{۱۲} واقع در مجارستان در فوریه سال ۱۶۲۷ از باروت برای انفجار سنگ استفاده نمود. تا سال ۱۶۸۹ باروت در معادن کَرِنوال^{۱۳} انگلستان مورد استفاده قرار می‌گرفت و آمریکایی‌ها نیز خیلی پیش به ساخت باروت پرداختند و آسیای پودر نمودن آن را در میلتن

1 - Black powder

2 - Gunpowder

3 - Saltpetre

4 - Buchanan

5 - Taoists

6 - Andrade

7 - Roger Bacon

8 - Needham

9 - Martin Weigel

10 - Kasper Weindle

11 - Royal Schemnitz

12 - Ober-Bibersollen

13 - Cornwall

مساچوست^۱ حدود ۶ مایلی بُسْتَن^۲ احداث نمودند (تورمن^۳ ۲۰۱۱). در سال ۱۳۶۵ یک آلمانی نیز از باروت در معدن نقره استفاده کرد. کارخانه‌های متعددی برای ساخت باروت در اروپا و آمریکا تأسیس شدند تا این که لاموت دوپونت^۴ آمریکایی فرانسوی الاصل در سال ۱۸۵۷ برای ساخت باروت از نیترات سدیم به جای نیترات پتاسیم استفاده نمود که باعث ارزان‌تر شدن قیمت تمام شده آن گردید. تا اختراع دینامیت توسط آلفرد نوبل^۵ در سال ۱۸۶۶ از باروت نه تنها در خرد شدن سنگ بلکه در کانال‌سازی، راه‌سازی و کشاورزی نیز استفاد می‌شد.

ب - عهد دینامیت (۱۸۷۰-۱۹۵۰)

اسکانیو^۶ شیمیدان ایتالیایی در سال ۱۸۴۶ نیتروگلیسرین را کشف نمود که نسبت به ضربه خیلی حساس بود. آلفرد نوبل سوئدی (شکل ۱-۱) تمام وقت خود را به تحقیق درباره مواد منفجره، به‌ویژه ایمن‌سازی و استفاده بهتر از نیتروگلیسرین پرداخت. در پی آزمایش‌های گوناگون، چندین انفجار در کارخانه‌ای که خانواده‌اش خریده بودند به وقوع پیوست که در پی یکی از انفجارها در سال ۱۸۶۴ برادر کوچک آلفرد نوبل و چند نفر از کارگران کشته شدند. در نهایت نوبل در سال ۱۸۶۶ نیتروگلیسرین را با حدود ۲۵ درصد وزنی مواد جذب‌کننده‌ای چون خاک رس دیاتومه‌دار^۷، مخلوط نمود و جسم جامد خمیری به نام «گور دینامیت»^۸ اختراع نمود که دارای حساسیت کمتر و ایمنی بیشتر برای حمل و کار نسبت به نیتروگلیسرین بود. اختراع دینامیت در سال ۱۸۶۷ به ثبت رسید. دینامیت برگرفته از کلمه یونانی دینامو^۹ به معنی نیرو است. همچنین نوبل در سال ۱۸۷۵ مخلوط

1- Milton Massachusetts

2- Boston

3- Thurman

4 - Lammont du pont

5 - Alfred Nobel

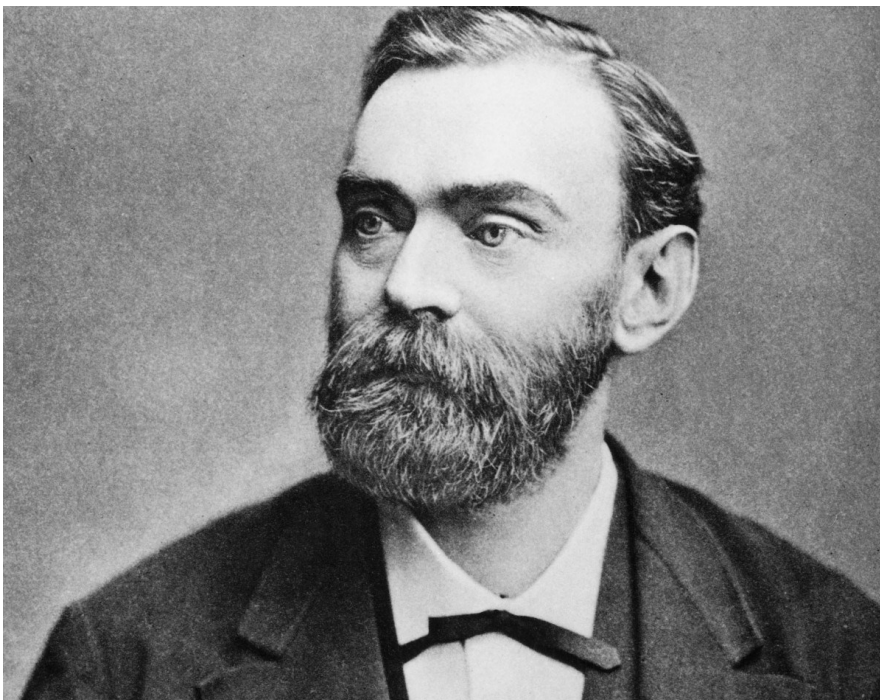
6- Asconio

7 - Kieselguhr

8 - Guhr dynamite

9 - Dynamis

ژلاتینی متشکل از ۹۲٪ نیتروگلیسرین و ۸٪ نیتروسلولز ساخت که دینامیت ژلاتینی^۱ یا «ژلاتین انفجاری»^۲ نامیده شد. از آنجای که سرعت انفجار و در نتیجه قدرت دینامیت خیلی بیشتر از باروت بود و در خردایش سنگ خیلی مؤثرتر واقع می‌شد، بلافاصله جایگزین باروت شد و در بازار مواد منفجره مورد توجه قرار گرفت. به گونه‌ای که نقش بارزی در انفجار سنگ ایفا نمود. نوبل حدود ۸۰ اختراع داشت اما شهرت او بیشتر به خاطر اختراع دینامیت است.



شکل ۱-۱ آلفرد نوبل ۱۸۳۳/۱۰/۲۱-۱۸۹۶/۱۲/۱۰، دانشمند مهندسی شیمی سوئدی، مخترع، تاجر،

خیر و معروف به مخترع دینامیت

1 - Gelatine dynamite

2 - Blasting gelatine