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

دوره اول، شماره ۱، سال ۱۳۸۵، صفحه ٤١ تا ٤٨
Vol. 1, No. 1, 2006, pp. 41-48

مدل سازی فیزیکی اثرات فاصله داری و پرکننده درزه ها بر راندمان چالزنی در معادن

سید هادی حسینی[1]، یاشار پوررحیمیان[2]، حمید آقابابایی[3]

۱- دانشکده مهندسی معدن و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود. همراه: ۰۹۱۴۳۱۶۱۶۸۸
۲- دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز. همراه:۰۹۱۴۴۲۱۱۳۶۲
۳- دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز. همراه: ۰۹۱۴۱۱۶۱۲۰۴

(دریافت ۳۰ مهر ۱۳۸٤ ، پذیرش ۵ آذر ۱۳۸۵)

چکیده

چالزنی در توده سنگ ها اولین عمل اجرایی در عملیات استخراج به شمار می رود. لذا شناخت صحیح پارامترهای دخیل در آن و بررسی کیفی و کمی هر یک از آنها تاثیر بسیار زیادی در بهبود شرایط فنی و اقتصادی استخراج و کاهش زمان چالزنی و استهلاک ماشین آلات خواهد داشت.

در تمامی مطالعات جهانی انجام گرفته در مورد چالزنی بیشتر پارامترهای مربوط به ماده سنگ از جمله سختی، بافت، دانه بندی، چگالی، ساینده‌گی و ... مورد توجه قرار گرفته است. لذا در مقاله حاضر بررسی شرایط توده سنگ بیشتر مورد هدف بوده است. در این راستا، جهت بررسی شرایط چالزنی درسنگ های درزه دار با فاصله داری و پر کننده های مختلف، توده سنگ های درزه دار با فاصله داری ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ سانتی متر با استفاده از بتن در آزمایشگاه مدل سازی فیزیکی گردیدند. در ادامه تمامی مدل های فیزیکی ساخته شده توسط دستگاه چالزنی مورد حفاری و زمان سنجی چالزنی قرار گرفتند. نتایج عددی حاصل از چالزنی مدل های فیزیکی مبین این مطلب است که با افزایش فاصله داری، زمان چالزنی به صورت نمایی کاهش یافته و با افزایش ابعاد پر کننده، زمان حفاری به صورت لگاریتمی کاهش می یابد.

کلمات کلیدی: چالزنی، توده سنگ، درزه داری، فاصله داری، پرکننده، راندمان چالزنی

۱- مقدمه

چالزنی و آتشکاری در معادن روباز یکی از پرهزینه‌ترین و زمان‌برترین مراحل چرخه معدنکاری به حساب می‌آید. در این میان چالزنی به‌عنوان فعالیت پایه در معدنکاری به‌طور مستقیم از خواص مکانیکی توده‌سنگها اثر می‌پذیرد و به همین علت به یکی از مهم‌ترین زمینه‌های مطالعاتی جهت بهینه‌سازی تبدیل گردیده است. ماشین‌آلات گران قیمت و حساس، هزینه عملیاتی بالا و استهلاک زیاد دلایلی است که بسیاری از محققان علم معدن را به مطالعه این شاخه از معدنکاری واداشته است.

در کنار شناخت کامل ماده سنگ عدم آگاهی از شرایط فضایی و فیزیکی ناپیوستگی‌ها، چالزنی در توده‌سنگها را با مشکلات پیچیده‌ای مواجه می‌سازد. مهم‌ترین ویژگی‌های درزه‌ها که در چالزنی حائز اهمیت می‌باشند عبارتند از فاصله‌داری، شیب، تداوم (پایایی)، نوع و ابعاد پرکننده، هوازدگی و زبری سطوح درزه. در این مقاله از میان پارامترهای فوق، هدف یافتن ارتباط ریاضی بین فاصله‌داری و ابعاد پرکننده درزه ها و سرعت چالزنی از طریق مدلسازی فیزیکی می‌باشد.

۲- مروری بر کارهای گذشته

تاکنون در جهان متخصصان بسیاری به روش‌های مختلف پارامترهای دخیل در چالزنی را مورد مطالعه و طبقه بندی قرار داده‌اند[۳]، [۵]، [۶]، [۷]، [۸]، [۹]، [۱۱]، [۱۲]، [۱۳]، [۱۴]، [۱۵]، [۱۶]، [۱۷]، [۱۹]، [۲۱]، [۲۲]. ویلبور به عنوان یکی از اولین ارائه دهندگان طبقه‌بندی در زمینه چالزنی، با اشاره به پارامترهای سختی، بافت، شکست و سازند سنگ‌ها آنها را از نظر چالزنی طبقه‌بندی نموده و بر این اساس سرعت حفاری را در پنج کلاس از کند تا سریع به‌طور کیفی پیش‌بینی نموده و برای توصیف توده سنگ از عبارات توده‌ای، ورقه‌ای، رگه‌ای و بلوکی استفاده کرده است[۹]. لوپز و همکارانش[۸]، پارامترهای دخیل در چالزنی را منشا سنگ‌ها، سختی، مقاومت فشاری، الاستیسیته، پلاستیسیته، ساینده‌گی، بافت و ساخت معرفی کردند.کهرمان و همکارانش پارامترهای موثر در چالزنی را به‌طور جامع تحت مطالعه قرار داده‌اند و بین اندیس قابلیت چالزنی سنگ‌ها و پارامترهای مقاومت فشاری، مقاومت کششی و بار نقطه‌ای، سختی چکش اشمیت، سرعت موج طولی، مدول الاستیسیته و چگالی، منحنی‌های مختلف و روابط ریاضی متعددی ارائه نموده‌اند[۱۱،۱۲].

۳- اهمیت و ضرورت مدلسازی فیزیکی

به‌علت دخالت توأم و تغییر همزمان پارامترهای متعدد در چالزنی مطالعه اثرات هر یک از آنها بسیار مشکل و گاه غیر ممکن است. فرآیند چالزنی و روند شکستن و پودر شدن سنگ خود از پیچیدگی بسیار زیادی برخوردار است که مطالعه فرآیند چالزنی را دشوارتر می‌سازد. لذا جهت مطالعه هر یک از پارامترها و بررسی دقیق اثر آنها بر فرآیند چالزنی ناگزیر باید اثرات سایر پارامترها در حد یک مقدار طراحی شده ثابت نگه داشت تا بتوان به بهترین نحو ممکن حساسیت چالزنی نسبت به آن پارامتر را مورد تحلیل قرار داد. یکی از راههای مطالعه پارامترهای چالزنی به‌ویژه پارامترهای ساختاری مثل درزه‌ها، مدلسازی فیزیکی توده سنگ‌ها با مواد مصنوعی است. مدلسازی فیزیکی با خواص ثابت و از پیش تعیین شده، راه را برای مطالعه یک پارامتر متغیر خاص مثل فاصله‌داری و مواد پرکننده درزه هموار می‌سازد[۱۰].

۴- انتخاب مصالح و طراحی ترکیب مواد مدل

در مدلسازی فیزیکی در آزمایشگاه، مهم‌ترین مسئله انتخاب مصالح و تعیین خصوصیات آنها است. جهت دستیابی به مقاومت، دوام و خصوصیات فیزیکی نزدیک به سنگ در مدل‌ها، اطلاع از چگونگی شرایط و جنس مصالح اهمیت به‌سزایی دارد. به‌منظور مطالعه و مدلسازی توده سنگ درزه‌دار در آزمایشگاه ضروری بود که پارامترهای عمده توده مدل، به‌ویژه پارامترهای مربوط به ماده مدل و ماده سنگ بسیار شبیه به هم بوده و ثابت نگه داشته شوند. بر اساس مطالعات انجام یافته، پارامترهای چگالی، بافت (ابعا دانه ها)، مقاومت فشاری و سختی به‌عنوان پارامترهای ثابت در نظر گرفته شدند. با توجه به خصوصیات بتن به راحتی می‌توان در آزمایشگاه با تغییر نسبت اختلاط، مصالح سنگی، آب، سیمان و ابعاد ذرات به بتن‌های با مشخصات از پیش طراحی شده دست یافت. لذا با ذکر تمامی شرایط، بتن به‌عنوان بهترین ماده برای مدلسازی فیزیکی توده سنگ‌های درزه‌دار مورد نظر در این پروژه انتخاب گردید. در انجام تحقیق حاضر ابتدا جهت رسیدن به یک ترکیب مناسب برای بتن‌ها جهت مدلسازی، بر روی توده سنگ‌های معدن مس سونگون واقع در ۱۲۰ کیلومتری شمالغرب تبریز مطالعات صحرایی انجام گرفت و تعداد ۵۶ نمونه جهت انجام مطالعات آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. با انجام مطالعات سنگ‌شناسی و مکانیک سنگی

روی نمونه‌ها و بررسی کمی چهار پارامتر چگالی، بافت (ابعاد دانه‌ها)، مقاومت فشاری(UCS) و سختی، ویژگی‌های نهایی بتن جهت مدلسازی فیزیکی توده سنگ مورد نظر به شرح جدول ۱ تعیین گردیدند.

جدول ۱ : مشخصات فیزیکی بتن جهت مدلسازی فیزیکی.

بافت	پورفیری
حداکثر ابعاد دانه ها (mm)	۴/۷۶ (الک ۴)
چگالی (gr/cm^3)	۲/۶
مقاومت فشاری (Mpa)	۷۵ –۸۰
سختی (مقیاس موس)	۴
مدول یانگ (Gpa)	۴/۹

۵- طراحی فاصله داری و مدلسازی فیزیکی آن

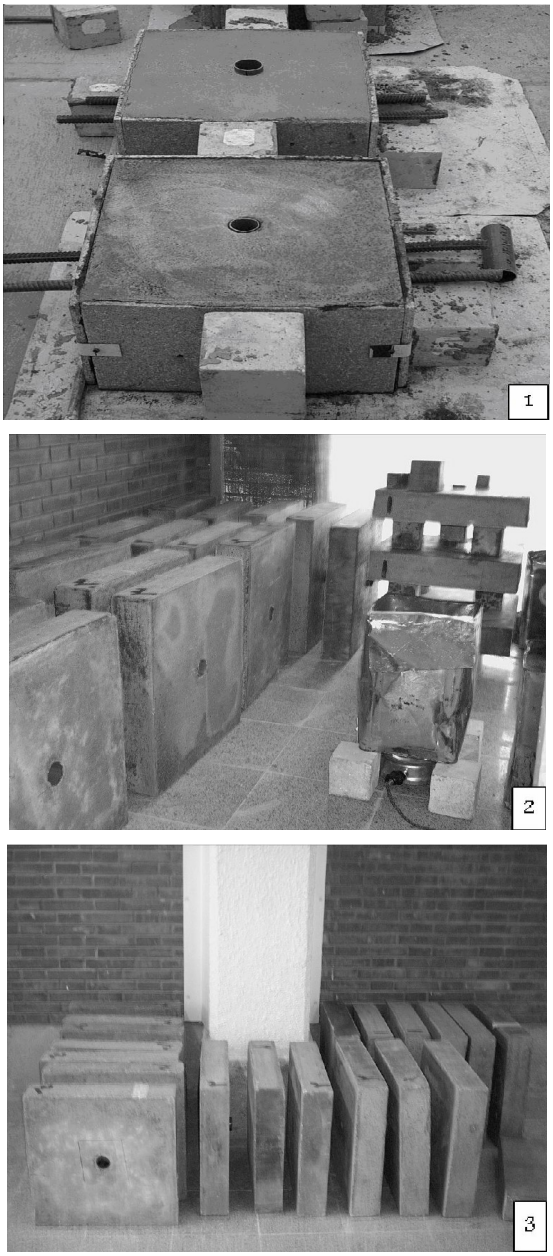
چالزنی در توده سنگ‌های درزه‌دار به مراتب مشکل‌تر از چالزنی در نواحی بدون درزه است و قابلیت حفاری و نفوذپذیری توده سنگ به فاصله‌داری درزه بستگی دارد[۱]. بررسی‌های انجام گرفته در حین عملیات چالزنی نشان می‌دهد که بیشترین مشکلات حفاری در معادن روباز در نواحی با درزه‌داری کمتر از یک متر و به‌ویژه در نواحی درزه‌دار با فاصله‌داری کمتر از نیم متر می‌باشد[۱۸]، در انجام مطالعات تأثیر فاصله‌داری بر زمان حفاری توده سنگ‌ها، درزه‌هایی با فاصله‌داری ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتیمتر مورد بررسی قرار گرفتند. جهت مدلسازی فیزیکی درزه‌داری‌های مذکور ۳۰ بلوک بتنی با ترکیب ثابت جدول ۱ تهیه گردید که تعداد، حجم و وزن هر سری از بلوک‌ها با جزئیات در جدول ۲ ذکر شده است.

جدول ۲ : تعداد، ابعاد و وزن بلوکهای مدلسازی شده.

وزن نهایی هر بلوک (Kg)	ابعاد (Cm)	تعداد بلوک‌ها	فاصله‌داری (Cm)
۶۵	۵۰*۵۰*۱۰	۲۰	۱۰
۱۳۰	۵۰*۵۰*۲۰	۵	۲۰
۱۹۵	۵۰*۵۰*۳۰	۳	۳۰
۳۲۵	۵۰*۵۰*۵۰	۲	۵۰

در مجموع با توجه به اطلاعات جدول ۲ وزن نهایی توده‌های مدل‌سازی شده چیزی بالغ بر ۳۱۰۰ کیلوگرم بوده است. کلیه بلوک‌های بتنی ۲۴ ساعت پس از قالبگیری به اتاق بخار منتقل گردیدند و در آنجا به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۴۰ درجه و رطوبت خالص ۴ درصد مورد عمل‌آوری قرار گرفتند (شکل۱).

پس از اتمام عملیات قالب‌گیری و عمل‌آوری، تمام نمونه‌ها مورد آزمایش مقاومت فشاری، چگالی و سختی قرار گرفتند و نتایج آزمایش‌ها بیانگر این موضوع بود که ۹۰٪ نمونه‌ها از نظر عملی با طراحی‌های تئوری (طرح اختلاط بتن جهت دستیابی به اعداد جدول ۱) مطابقت کامل دارند.



شکل ۱ : مراحل مختلف مدل‌سازی فیزیکی در آزمایشگاه.
۱) قالب‌گیری ۲) عمل‌آوری در اتاق بخار ۳) تعدادی از بلوک‌های نهایی

۶- انتخاب مواد پرکننده جهت استفاده در توده مدلسازی شده

پرکننده‌ها به‌عنوان یکی از مشخصات درزه‌ها تأثیر بسزایی در نرخ نفوذ سیستم‌های چالزنی دارند. ویژگی‌های پرکننده‌ها از جمله نوع، میزان تراکم، ابعاد و ضخامت، فرآیند چالزنی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. در بدو ورود سرمته به فضای درزه‌های با پرکننده خاکی سرعت چالزنی به شدت افزایش می‌یابد. در درزه‌های با پرکننده‌های سنگی به‌ویژه خرده سنگ‌های برشی (زون‌های گسله) هنگام ورود سیستم چالزنی به پرکننده سرمته به حالت ناپایدار در آمده و لغزش خرده سنگ‌های پرکننده زیر سرمته باعث کاهش انتقال انرژی از سرمته به محیط چالزنی می‌گردد. از دیگر عوارض پرکننده‌های سنگی می‌توان به خروج ناخواسته و سریع هوای فلاشینگ از محیط حفاری اشاره نمود. فضای بین خرده سنگهای موجود باعث اتلاف هوا شده و نهایتاً تمیز کردن چال با مشکل مواجه می‌نماید.

در تحقیق حاضر، جهت بررسی تأثیر ابعاد پرکننده بر روی نرخ نفوذ سیستم چالزنی، فضای موجود در درزه‌های مصنوعی در چهار وضعیت مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است. تمامی پرکننده‌ها طبق جدول ۳ و با توجه به استاندارد دانه‌بندی U.B.S و الک‌های ویژه انتخاب شده‌اند. کلیه خرده سنگ‌های مورد استفاده، پس از سرند کردن ماسه سنگهای سیلیسی‌دار اطراف تبریز انتخاب گردیدند.

جدول ۳ : ابعاد و دانه بندی پرکننده مدل های فیزیکی.

نوع مواد	توصیف	ابعاد (mm)
درشت دانه	عبورکرده از الک یک اینچ و مانده روی الک سه چهارم	۱۹/۱-۲۵/۴
متوسط دانه	عبورکرده از الک نیم اینچ و مانده روی الک سه هشتم	۹/۵۴-۱۲/۷
ریزدانه	مانده روی الک نمره ۴	۴/۷۶-۶/۳۵

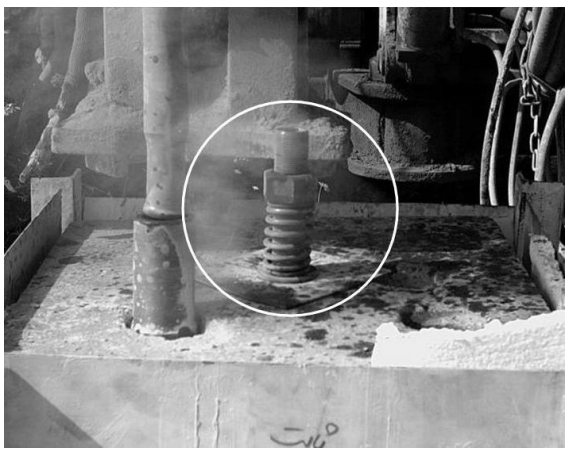
۷- مراحل چالزنی و مطالعات زمان‌سنجی مدل‌های فیزیکی

با توجه به حجم، انعطاف‌پذیری و میزان بار وارده بر مدل‌های فیزیکی تهیه شده، دستگاه حفاری AtlasCopco 512 HC با سیستم چالزنی دورانی جهت انجام مطالعات انتخاب گردید. با توجه به اینکه در زون‌های درزه‌دار و خرد شده در معادن روباز، بهترین سیستم کاربردی چالزنی، سیستم دورانی است[۲]، [۱]، [۸]. لذا با توجه به فاصله‌داری کم توده‌های مدل‌سازی شده سیستم دورانی برای مطالعه زمان‌سنجی انتخاب گردید. در مطالعه تاثیر فاصله‌داری و پرکننده بر میزان نرخ نفوذ توده سنگ‌ها، زمان چالزنی یک متر بتن بکر، مبنای مقایسه و محاسبه راندمان بوده است. قبل از شروع چالزنی مدل‌های بتنی، ابتدا زمان حفر یک متر بتن ثبت گردید، سپس با جایگذاری بلوک‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متری در قالب‌های فلزی، زمان حفر یک متر چال در هر یک از شرایط فوق تا دقت ثانیه ثبت شد (شکل ۲ و شکل ۳).

شکل ۲ : جاگذاری بلوک‌های بتنی در قالب‌های فلزی.

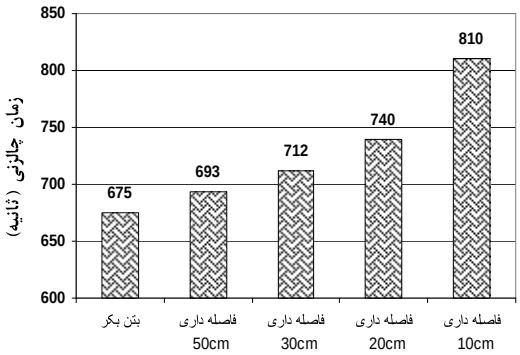
شکل ۳ : انجام چالزنی در قالب نهایی.

کلیه بلوک‌های واقع در قالب‌های فلـزی از چهـار طـرف بـا ورق فولادی کنترل و محصور شدند. بـه منظـور کنتـرل جابجـایی و دوران بلوک‌ها به هنگام چالزنی، جهت اعمـال تـنش نرمـال بـه توده سنگ‌های مدل، درقسمت بالای بلوک یک سیـستم فنـری تعبیه شد که در کل باری معادل ۸۰۰ نیوتن به بلوک‌های بتنـی وارد می کرد (شکل۴).



شکل۴: سیستم فنری اعمال کننده بار نرمال بر روی بلوکهای مدل

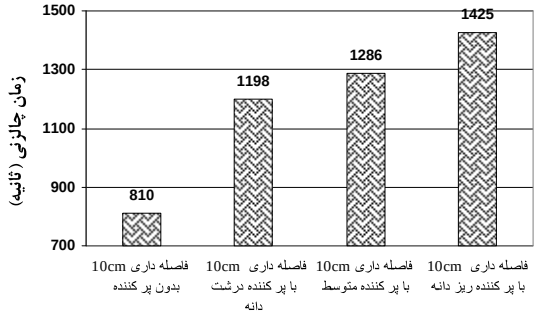
نتایج حاصل از زمان‌سنجی چالزنی یـک متـر چـال در مـدل بـا فاصله‌داری مختلف در نمودار ستونی شـکل ۵ نـشان داده شـده است. پس از اتمام مطالعه تأثیر فاصـله‌داری درزه‌هـا بـر سـرعت حفاری، که همگی با درزه‌هـای خـالی بـا بازشـدگی متوسـط دو میلی‌متر انجام گرفت، به‌منظور مطالعه تـاثیر ابعـاد پرکننـده‌هـا، تمامی درزه‌های با فاصـله‌داری۱۰ سـانتی‌متـر بـا پرکننـده‌هـای مختلف ذکر شده در جدول ۳ پر شدند(شکل۶).



شکل ۵ : نتایج حاصل از زمان‌سنجی چالزنی یک متر چال درمدل با فاصله‌داری مختلف و بدون پرکننده.

شکل ۶ : استفاده از پرکننده با ابعاد مختلف به ضخامت cm ۲.

پس از مطالعه تأثیر فاصله‌داری بر زمان حفاری، زمان حفر یک متر چال در مدل‌های با سه نوع پرکننده مجـزا ثبـت گردیـد. نمودار ستونی شکل ۷ نشان دهنده زمان حفـاری بـا پرکننـده مختلف به ضخامت دو سانتی‌متر را نشان می‌دهد.

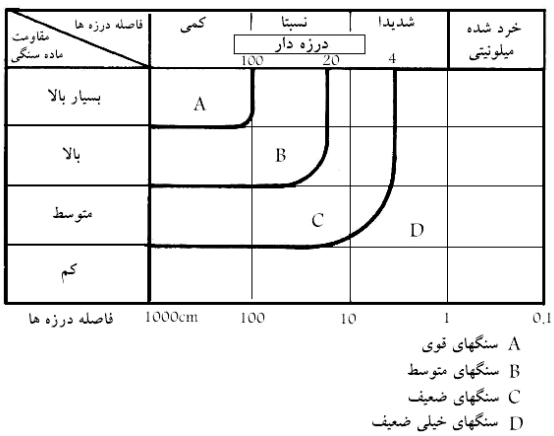


شکل ۷: نتایج حاصل از چالزنی یک متر چال در مدل با فاصله‌داری ۱۰ سانتی‌متر با پرکننده‌های مختلف.

۸- بحث و تحلیل نتایج

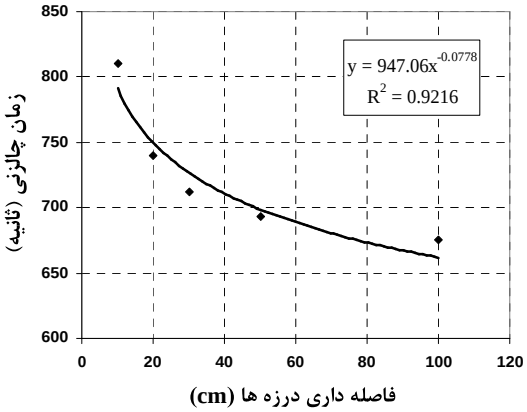
چنانچه قبلا ذکر گردید تمامی مطالعات گذشته پیرامون پارامترهای چالزنی عموما بر ماده سنگ متکی بوده‌اند و در چند مورد هم که به ساخت توده سنگ توجه شده است، هیچ‌گونه اشاره‌ای به تأثیر عوارض ساختاری بر نرخ نفوذ سیستم چالزنی و راندمان آن نشده است.

در سیستم طبقه‌بندی پیشنهادی ویلبور[۹]، گر چه به ساخت سنگ تحت عبارات توده‌ای، ورقه‌ای، رگه‌ای و بلوکی اشاره شده است، با این وجود به‌علت کیفی بودن این طبقه‌بندی، نیاز به کمیت و اعداد می‌باشد که در این سیستم ارضا نمی‌گردد. لوپز نیز با استفاده از شکل ۸ به درزه‌داری توده سنگ اشاره کرده است با این حال هیچ‌گونه نتیجه کمی و عددی جهت هر کلاس ارائه نگردیده است[۸].



شکل ۸ : طبقه‌بندی توده سنگ‌ها از نظر چالزنی [۸].

کهرمان [۱۲]، در تعریف قابلیت چالزنی کلاً به ساختار و توده سنگ و نقش درزه‌داری در نفوذپذیری چه به‌صورت کیفی و چه به‌صورت عددی نپرداخته است. لذا با توجه به فقدان بررسی کمی در مطالعات گذشته پیرامون اثرات فاصله‌داری و ابعاد پرکننده، با تحلیل نتایج عددی حاصل از مدلسازی، جنبه‌های تازه‌ای از رفتار توده سنگ در فرآیند چالزنی مشخص می‌گردد. با دقت در نمودار ستونی شکل ۵ یک منحنی به‌صورت شکل ۹ حاصل می‌شود.



شکل ۹ : رابطه بین فاصله‌داری زیر یک متر و زمان چالزنی.

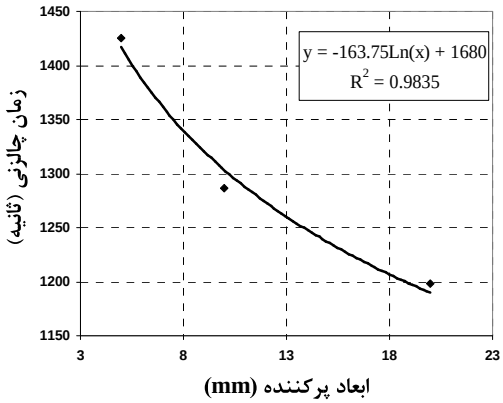
رابطه ریاضی به‌دست آمده نشان می‌دهد که در فاصله‌داری‌های زیر یک متر با افزایش میزان فاصله‌داری زمان حفاری بطور نمایی کاهش یافته و راندمان چالزنی بهبود می‌یابد. علت این امر را چنین می‌توان تفسیر نمود که با کاهش فاصله‌داری درزه‌ها، پیوستگی محیط چالزنی کاهش می‌یابد. در نتیجه، محیط چالزنی به طور متوالی از بلوک سنگی (بتنی) به سطح درزه و بالعکس تغییر می‌کند. به محض رسیدن سرمته به سطح بلوک زیرین درزه، زمانی در حدود ۱۶/۵ ثانیه (جدول ۵) صرف مکان‌یابی مجدد و نفوذ سرمته در بلوک زیرین می‌گردد. با کاهش فاصله‌داری، تعداد دفعات تغییرات محیط افزایش یافته و متناسب با آن زمان حفاری افزایش می‌یابد.

با توجه به زمان‌های به‌دست آمده از چالزنی مدل‌های فیزیکی ساخته شده، با تغییر شرایط هندسی بلوک‌های بتنی مورد آزمایش از نظر فاصله‌داری و ابعاد پرکننده، راندمان زمانی چالزنی دچار تغییرات چشمگیری می‌شود. با در نظر گرفتن زمان حفاری یک متر چال در بتن بدون درزه، به‌عنوان بهترین راندمان در زمان‌سنجی، میزان کاهش راندمان در شرایط مختلف به شرح جدول ۴ می‌باشد.

جدول ۴ : کاهش راندمان با توجه به شرایط مختلف توده سنگ.

شرایط	کاهش راندمان نسبت به مدل بدون درزه (٪)
درزه‌داری با فاصله‌داری ۵۰ cm بدون پرکننده	۲
درزه‌داری با فاصله‌داری ۳۰ cm بدون پرکننده	۵/۴
درزه‌داری با فاصله‌داری ۲۰ cm بدون پرکننده	۹/۶
درزه‌داری با فاصله داری ۱۰ cm بدون پر کننده	۱۹
درزه داری با فاصله‌داری ۱۰ cm پرکننده درشت	۷۷
درزه‌داری با فاصله‌داری ۱۰ cm پرکننده متوسط	۹۰
درزه‌داری با فاصله‌داری ۱۰cm پرکننده ریز	۱۱۱ (بیش از دوبرابر)

در صورت برازش منحنی بین ابعاد پرکننده و زمان حفاری، منحنی‌ای مطابق با شکل ۹ حاصل می‌گردد. رابطه ریاضی حاصل نشان می‌دهد که با افزایش ابعاد پرکننده، زمان حفر یک متر چال به‌طور لگاریتمی کاهش می‌یابد. همچنین با دقت در اعداد جدول ۴ مشاهده می‌شود با افزایش ابعاد پرکننده راندمان چالزنی بهبود نسبی می‌یابد و هر چقدر ابعاد پرکننده



شکل ۱۰ : رابطه بین ابعاد پرکننده و زمان حفاری.

درزه‌ها و بلوک‌های خرد شده به قطر حفاری نزدیک و یا بیشتر از آن باشد راندمان بهبود می‌یابد، زیرا با افزایش ابعاد پرکننده رفتار ماده پرکننده به رفتار ماده سنگ نزدیک می‌شود و عمل خردایش و پودر شدن سنگ به راحتی صورت می‌پذیرد. با کاهش ابعاد پرکننده تا حد ذرات فلاشینگ، باقی ماندن ذرات حفاری در فضای بین سر مته و سنگ باعث اتلاف انرژی و کاهش نرخ نفوذ می‌گردد. این اتفاق مشابه پدیده‌ای است که در اثر وجود سنگ‌های خرد شده بین دیسک و ماده سنگ در حفاری مکانیزه تونل‌ها با TBM اتفاق می‌افتد.

با توجه به شرح شکل ۹، وجود پرکننده سنگی در فضای بین درزه، ناپیوستگی محیط حاصل از درزه‌داری را تشدید می‌کند. در این حالت زمان لازم برای مکان یابی مجدد سرمته در فضای بین درزه نسبت به حالت بدون پرکننده افزایش می‌یابد (جدول ۵). در بررسی عددی تأثیر فاصله‌داری و پرکننده درزه‌ها بر نرخ نفوذ سیستم چالزنی، می‌توان زمان عبور سیستم چالزنی دورانی از فضای بین دو سطوح درزه در بلوک‌های بتنی را به‌صورت جدول ۵ ارائه کرد.

جدول ۵ : زمان عبور سیستم چالزنی دورانی از فضای درزه در بلوک‌های بتنی.

شرایط درزه	زمان عبور (ثانیه)
درزه خالی (با بازشدگی ۲ میلی‌متر)	۱۶/۳۵
درزه با پرکننده درشت دانه	۵۸/۱۱
درزه با پرکننده متوسط	۶۷/۸۸
درزه با پرکننده ریزدانه	۸۳/۳۲

۹- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به مدلسازی‌های فیزیکی انجام شده و نتایج حاصل از آن، موارد زیر را می‌توان به عنوان شاخص‌ترین نتایج این تحقیق مورد تأکید قرار داد:

۱) وجود ناپیوستگی‌ها به‌ویژه درزه‌ها مهم‌ترین عامل ساختاری کنترل کننده رفتار توده سنگ تحت فرآیند چالزنی است که عدم توجه به این عامل در کنار خصوصیات ماده سنگ، رفتار توده سنگ را غیر قابل پیش‌بینی می‌سازد.

۲) با توجه به نتایج حاصله از مدل‌سازی‌های انجام شده به وضوح مشخص می‌گردد که با افزایش میزان فاصله‌داری، زمان حفاری به طور نمایی کاهش یافته و به همان نسبت راندمان چالزنی بهبود می‌یابد.

۳) بحرانی‌ترین شرایط از نظر فاصله‌داری در درزه‌های با فاصله‌داری ۱۰ سانتی‌متر و کمتر از آن اتفاق می‌افتد. این وضعیت را می‌توان مدل مناسبی برای بررسی رفتار زون‌های خرد شده(RQD بسیار پائین) توده سنگ‌های واقعی معادن در نظر گرفت. در معادن روباز با دانستن میزان فاصله‌داری میانگین درزه‌ها می‌توان یک دید اولیه نسبت به کاهش سرعت چالزنی به‌دست آورد.

۴) با دقت در اطلاعات عددی به‌دست آمده نتیجه می‌شود که با افزایش ابعاد پرکننده زمان چالزنی به‌طور لگاریتمی کاهش و راندمان افزایش می‌یابد. بحرانی‌ترین شرایط زمانی رخ می‌دهد که ابعاد پرکننده به ذرات مرزی حاصل از فلاشینگ نزدیک‌باشد.

از نتایج حاصل از این تحقیق می‌توان به منظور امتیازدهی به ویژگی‌های درزه‌ها و رفتار آنها در فرآیند چالزنی استفاده نموده و با بررسی‌های جامع و پیاده نمودن روابط ارائه شده در معادن مختلف کشور به یک مدل (فرمول) تجربی جامع دست یافت.

در پایان پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی، تأثیرات کمی پرکننده‌های خاکی بسیار ریز دانه و همچنین وجود دو یا سه دسته درزه در نتایج چالزنی توده سنگ‌ها بیشتر مورد مطالعه و مدلسازی قرار گیرد.

تقدیر و تشکر

تحقیق حاضر با همکاری همه جانبه معدن سنگ آهک کارخانه سیمان صوفیان و واحد اکتشافات و زمین‌شناسی معدن مس سونگون انجام شده است. لذا بر خود وظیفه می‌دانیم از زحمات کلیه این عزیزان کمال تشکر را داشته باشیم.

همچنین از راهنمایی و مساعدت آقایان دکتر حسن افشین (استادیار دانشکده مهندسی عمران)، مهندس محرم‌پور (ریاست محترم امور معادن سیمان صوفیان) و همکاری صمیمانه آقایان جعفر کرباسی، حمید محمدزاده و به‌ویژه مهندس سهراب غیبی کمال قدرانی و امتنان را داریم.

منابع و مراجع

[۱] استوار، رحمت الله؛ (۱۳۸۰)؛ **آتشکاری در معادن**؛ جلد۱؛ ص ۲۹۰ تا ۲۹۵.

[۲] اصانلو، مرتضی؛ (۱۳۷۵)؛ **روشهای حفاری**؛ مرکز نشر صدرا؛ ص ۱۹ تا ۴۱ و ص ۵۸ تا ۶۵.

[3] Akun, M. E., Karpuz, C., 2005; *"Drillability studies of surface-set diamond drilling in Zonguldak region sandstones from Turkey"*, International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 42, pp. 473-479.

[4] Bickel, J. O., kuesel, T. R.; 1982**;** *Tunnel Engineering Handbook***.** A publication of van Norstrand Reinhold Company, pp. 67- 81.

[5] Ersoy, A., Waller, M. D.; 1995; *Textural characterization of rocks.* Engineering Geology, Volume 39, Issues 3-4, June, pp 123-136.

[6] Funy, R.; 1981; *Drilling (*Surface cool mining Technology). NDC Publishers.

[7] Jung, S. J., Prisbrey K., Wu. G.; 1994; *Prediction of rock hardness and drillability using acoustic emission signatures during indentation.* International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts, Volume 31, Issue 5, October, pp. 561-567.

[8] Jimeno, C. L., Jimeno. E. L., Carcedo, F. J. A.; 1995**;** drilling *and blasting of rocks*, Balkema.Pages 1-14.

[9] Wilbur, yman, D.;1982; *Rock Tunnel Engineering Handbook*, Edited by BickeL and kuesel, A publication of van Norstrand Reinhold company, pp. 123-207.

[10] Hoseinie, S. H., Pourrahimian, Y., Aghababaei, H., 2006*; "Analyzing and physical modeling of joints dipping effects on penetration rate of rotary drilling in open pit mines"***,** 15th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection (MPES2006).Torino, Italy. pp. 1007-1013.

[11] Kahraman. S.; 1999; *Rotary and percussive drilling prediction using regression analysis*, International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 36, pp. 981-989.

[12] Kahraman. S., Balci, C, Yazici, S., Bilgin, N.; 2000; *Prediction of the penetration rate of rotary blast hole drilling using a new drillability index*, International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 37, pp. 729-743.

[13] Kaiser, P. K., McCreath, D. R.; 1994; *Rock mechanics considerations for drilled or bored excavations in hard rock.* Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 9, Issue 4, October, pp. 425-437.

[14] Li, X., Rupert, G., Summers, D. A., Santi, P., Liu, D., 2000; *"Analysis of impact hammer rebound to estimate rock drillability"*, Journal of Rock Mech. Rock Eng., 33 (1), pp. 1-13.

[15] Singh, T. N., Gupta, A. R., Sain, R., 2006; *"A comparative analysis of cognitive system for the prediction of drillability of rocks and wear factor"*, Geotechnical and Geological Engineering, 24: pp. 299-312.

[16] Singh S. P.; 1990; *"Rock drillability comparison by different methods"***,** Proc 2nd International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, Calgary, 7–9 November, Publ Rotterdam, A A Balkema. pp. 489–494.

[17] Zhu, S.T**.;** 1988**;** *"Experimental study of drillability for rotary rock bits"***,** Proc International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, Calgary, 3–4 November, Publ Rotterdam: A A Balkema. pp 375–381.

[18] Singh S. P, Ladouceur. M , Rouhi. F.; 1998; *"Sources, implication and control of blasthole deviation*",International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection.. A.A Balkema, Pub Rotterdam, pp. 391-397. .

[19] Tanaino, A. S., 2005; "*Rock classification by drillability. Part 1: Analysis of the available classification*", Journal of Mining Science, Vol. 41, No. 6, pp. 541-549.

[20] Wijk G.; 1991**;** *Rotary drilling prediction***,** International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, Volume 28, Issue 1, January, pp. 35-42.

[21] Vozdvizhensky, B. Golubinstev, O., Novozgilov, A.; 1982; *Exploratory Drilling*, Mir Publisher.

This document was created with Win2PDF available at http://www.daneprairie.com.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.