Archive of SID

بررسی و مدل‌سازی تأثیر شیب‌داری درزه‌ها بر سرعت چالزنی در معادن روباز

نوشته: سید هادی حسینی*، حمید آقابابایی و یاشار پوررحیمیان****

* دانشکده مهندسی معدن و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران؛ ** دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی سهند،تبریز، ایران.

Investigation and Modeling of Joints Dipping Effects on Drilling Rate in Open Pit Mines

By: S.M.Hoseinie *H.Aghababaei **& Y. Pourrahimian**

*Faculty of Mining Engineering & Geophysics , Shahrood University of Technology ,Shahrood, Iran.

**Faculy of Mining Engineering , Sahand University of Technology, Tabriz, Iran .

تاریخ دریافت:۸۴/۰۸/۰۲ تاریخ پذیرش: ۸۵/۰۴/۲۴

چکیده

چالزنی به عنوان یکی از پرهزینه‌ترین مراحل معدن کاری روباز، از پیچیدگی بسیار زیادی برخوردار است. پارامترهای فراوانی به طور همزمان بر فرایند چالزنی تأثیر می‌گذارند که مطالعه هر پارامتر نیازمند شناخت تأثیر ویژگیهای ماده سنگ و توده سنگ است.

در مقاله حاضر، از میان پارامترهای ساختاری توده سنگ، شیب‌داری سامانه درزه‌ها مورد مطالعه قرار گرفته است. طی مطالعات ابتدا با تحلیل هندسی شرایط نفوذ و عبور مته از سطح درزه و شرایط مختلف شیب‌داری به صورت ریاضی مورد بررسی قرار گرفته و در ادامه با انجام مدل‌سازی فیزیکی هر یک از شرایط هندسی، آهنگ نفوذ مته چهار پره صلیبی با استفاده از روش دورانی اندازه‌گیری شده است. در پایان با توجه به نتایج عددی حاصل از آزمایشها، رابطه ریاضی بین زاویه شیب درزه نسبت به امتداد چالزنی وآهنگ نفوذ ارائه شده است. بر اساس رابطه ارائه شده، با کاهش زاویه بین سطح درزه و امتداد چالزنی، آهنگ نفوذ مته در توده سنگهای درزه‌دار به صورت خطی کاهش می‌یابد.

کلید واژه‌ها: چالزنی، توده سنگ، درزه، شیب‌داری، آهنگ نفوذ مته

Abstract

Drilling is one of the most expensive stages of open pit mining and has more complexity. In drilling process many parameters influence simultaneously, where studying each parameter requires recognition of the effects of the characteristics of the rock mass and its material.

In this paper, the main aim was directed to investigate the joints dipping among the structural parameters of the rock mass. In the course of study, geometrical condition of penetration and transition of drill bit from joint surface were analyzed and different conditions of dips considered mathematically. This was followed by physical modeling of each of the geometrical conditions and penetration rate of cross bit measured by using rotary drilling system. Based on the numerical results obtained from experiments, mathematical equation between angles of joint dip with respect to drilling prolongation and penetration rates was presented. Furthermore, in conformity with the presented equation, by decreasing relative angle of joints dip, penetration rate of drill bit in jointed rock masses decreases linearly.

Key words: Drilling, Rock mass, Joints, Dipping, Penetration rate of drill bit

مقدمه

در معدن کاری روباز، چالزنی به عنوان اولین مرحله عملیات استخراج نقش بسیار تعیین کننده‌ای بر دیگر مراحل استخراج دارد. با توجه به هزینه بالا و ماشین آلات گران، شناخت تمامی پارامترهای دخیل در چالزنی و تلاش جهت بهینه سازی آن، شرایط را برای استخراج بهینه فراهم می سازد. چالزنی اصولی در نهایت منجر به انفجار مناسب، خردشدگی مطلوب و کاهش مؤثر هزینه‌ها می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

چالزنی همانند دیگر مراحل استخراج به طور مستقیم با توده سنگ در ارتباط تنگاتنگ بوده و از خصوصیات ژئومکانیکی ماده سنگ و عوارض ساختاری توده سنگ اثر می‌پذیرد. لذا شناخت محیط حفاری و ویژگیهای توده سنگ برجاکمک بسیار زیادی به انتخاب نوع روش چالزنی، تعداد ماشین آلات و توان تولید معدن خواهدکرد. در بحث از توده سنگ، ناپیوستگیها به عنوان مهم‌ترین عوارض ساختاری نقش بسیارتعیین کننده‌ای بر رفتار کلی توده سنگ بویژه از نظر چالزنی دارند. در کنار پارامترهای مربوط به ماده سنگ همچون بافت، دانه‌بندی، چگالی، سختی، مقاومت فشاری، پارامترهایی همچون فاصله‌داری، نوع و میزان پرکننده، شیب‌داری، پایایی(تداوم) و زبری از جمله ویژگیهای سامانه درزه‌ها هستندکه رفتار توده سنگ را از نظر چالزنی تحت تأثیر قرار می‌دهند. با این حال در مطالعات جهانی پیرامون حفاری به ویژگیها و اثرات چشمگیر درزه‌ها درچالزنی کمتر پرداخته شده است.

تاکنون در جهان متخصصان زیادی به روشهای مختلف، پارامترهای دخیل در چالزنی را مطالعه و طبقه‌بندی کرده‌اند ازجمله: Singh, 1990 ; Zhu, 1988 ; Wilbur & Lyman, 1982) Kaiser & McCreath, 1994 ; Wijk ,1991; Drake, 2004 ; Ersoy & Waller , 1995 ; Jung et al. , 1994 ; Jimeno & Carcedo, 1995; Kahraman et al., 2000 ; .(Kahraman ,1999; Singh et al., 1998

در کلیه کتابها و مقالات چاپ شده پارامترها عموماً به دو بخش مربوط به ویژگیهای ماده سنگ و مشخصات ساختاری توده سنگ تقسیم شده‌اند.

Wilbur & Lyman (1982) در روش طبقه‌بندی خویش، به ساخت توده سنگ اشاره کیفی کرده‌اند. در این روش از عبارات توده‌ای، ورقه‌ای، رگه‌ای و بلوکی برای توصیف توده سنگها استفاده شده و هیچ اشاره‌ای به ویژگی سامانه درزه‌ها نشده است. Jimeno & Carcedo (1995) ضمن اشاره به پارامترهای ذاتی سنگ از اثرات ناپیوستگی از جمله درزه‌ها، شکافها، گسلها و لایه‌های ضعیف به اختصار بحث کرده‌اند و به رغم اینکه تا حدودی به اثر فاصله‌داری درزه‌ها اشاره شده اما بحثی از اثر شیب‌داری درزه‌ها بر فرایند چالزنی به چشم نمی‌خورد. Singh et al.(1998) در بررسی عوامل دخیل در میزان انحراف چالهای آتشکاری، عملکرد پارامترهای مختلفی از توده سنگ از جمله مقاومت سنگ، ناهمسانگردی، لایه‌بندی و مشخصات درزه‌ها بویژه شیب‌داری درزه‌ها را مورد تأکید قرار داده‌اند. Kahraman et al. (2000) با اشاره به پارامترهای ذاتی متعدد سنگها و اثر ویژگیهای ماده‌سنگ هیچ گونه بحثی ازاثرات سامانه درزه‌ها بویژه شیب‌داری انجام نداده‌اند.

اثرات درزه‌داری بر چالزنی معادن روباز

سطح مشترک بین لایه‌ها، وجود درزه‌های متعدد در توده سنگ و وجود گسلها نقاط ضعفی هستند که به شکستن سنگ کمک می‌کنند و با استفاده از این نقاط ضعف می‌توان در بعضی موارد شکستن سنگ را راحت‌تر صورت داد. چالزنی در سنگهای درز و شکاف‌دار به مراتب مشکل‌تر از سنگهای بدون درز و شکاف است (استوار، ۱۳۸۰).

در شرایطی‌که سامانه درزه‌ها چال را قطع می‌کند، شرایط بسیار بحرانی برای چالزنی رخ می‌دهد. شیب‌داری درزه‌ها باعث افت بار مؤثر پشت مته و نیز ریزش مواد پرکننده درزه‌ها در چال و باعث کاهش آهنگ نفوذ و گاهی قفل‌شدگی مته می‌شود. همچنین وجود درزه‌های شیب‌دار بویژه با شیب زیاد باعث انحراف چال و افزایش حفاری ویژه می‌شود.

اثر درزه‌های شیب‌دار در کاهش بار پشت مته

بار پشت مته یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر سرعت حفاری روشهای دورانی و دورانی- ضربه‌ای است. ازجمله پارامترهای مهم در میزان بار پشت مته می‌توان به الف) نوع سیستم حفاری ب) اندازه قطرمته ج) میزان تیزی تیغه مته و د) ساخت و مقاومت سنگ اشاره کرد (اصانلو،۱۳۷۵). وجود درزه‌های شیب‌دار به عنوان یک عامل ساختاری (عامل د) میزان بار پشت مته و در نهایت سرعت چالزنی را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد.

در مقاله حاضر برای بررسی تأثیر شیب‌داری بر آهنگ نفوذ حفاری، زاویه میان سطح درزه و محور حفاری ملاک مطالعه قرارگرفته است. چنانچه در شکل۱ نشان داده شده، در سطح درزه‌های شیب‌دار بار پشت مته F به صورت تابعی از زاویه (a) به دو مؤلفه موازی سطح درزه (F_x) و عمود بر سطح درزه (F_y) تجزیه می‌شود. مؤلفه F_x مهم‌ترین دلیل انحراف چال وکاهش بار پشت مته است. باکاهش زاویه (a) مقدار $F_x = F\cos(a)$ افزایش یافته و عامل انحراف چال و کاهش نفوذ مته تقویت می‌شود.

بررسی حجم بحرانی در زون سطحی درزه‌ها

در این مقاله برای بررسی شرایط نفوذپذیری سطح درزه‌های شیب‌دار، به منظور انتخاب‌یک‌کمیت عملی برای مقایسه شرایط مختلف، حجم درگیر با نوک مته پیش از نفوذ کامل آن در بلوک زیرین سطح درزه به عنوان حجم بحرانی معرفی می‌شود. در هنگام رسیدن مته به سطح درزه، اعم از تخت یا شیب‌دار، شرایط نفوذ مته در سنگ دقیقاً شبیه حالت شروع اولیه چالزنی می‌گردد. در این حالت، مدت زمان مکان‌یابی و جانمایی مته در سطح درزه یکی از عوامل تأخیر نفوذ سیستم حفاری در سنگ و سطح درزه است. هر چه شیب نسبی سطح درزه (a) کمترشود، حجم بحرانی افزایش یافته و به نسبت همین حجم، زمان حفاری زیادتر گردیده و آهنگ نفوذ مته در درزه‌کاهش می‌یابد. در شکل ۲ شرایط هندسی نفوذ مته در سطح درزه‌ها با شیبهای مختلف و در شکل ۳ حجم بحرانی تقریبی در شیبهای مختلف برای قطر چالزنی سه اینچ نشان داده شده است. در این شکل به منظور تعیین

www.SID.ir

Archive of SID

احجام بحرانی تقریبی، فضای حفر شده توسط مته به صورت یک منشور با قاعده ذوزنقه و ارتفاع سه اینچ در نظر گرفته شده و محاسبات انجام پذیرفته است.

شایان ذکر است در حین کاهش زاویه (a)، افزایش حجم بحرانی و کاهش بار پشت مته مهم‌ترین عوامل کاهش آهنگ نفوذ مته در سطح درزه‌های شیب دار هستند.

پس از معرفی وکاربرد حجم بحرانی در تحلیل‌حفاری درزه‌های شیب‌دار، به منظور بررسی‌کمی و برداشت نتایج عددی مربوط به هریک از شرایط هندسی شکل۲ ، تمامی وضعیتهای ذکرشده توسط بتن مدل‌سازی فیزیکی شدند.

مدل‌سازی فیزیکی (انتخاب مصالح و طراحی بتن برای مدل‌سازی)

با توجه به تأثیر همزمان پارامترهای متعدد مربوط به ماده و توده سنگ در فرایند چالزنی، مطالعه آزمایشگاهی تأثیر یک پارامتر بر روی کیفیت چالخوری نمونه‌های سنگی و معدنی با خطاهای زیادی همراه خواهد بود. لذا بهترین راهکار برای مطالعه یک پارامتر بدون تأثیر دیگر پارامترها، مدل‌سازی فیزیکی توده سنگها با مواد مصنوعی همچون بتن است. از آنجا که در مدل‌سازی فیزیکی توده سنگها هم ماده سنگ و هم ساختار توده‌ای آن مهم هستند، لذا برای مطالعه تأثیر ویژگیهای درزه‌ها برآهنگ نفوذ مدلهای ساخته شده، ثابت نگه داشتن ویژگیهای فیزیکی ماده سنگ (مدل) الزامی است. با توجه به ویژگیهای بتن، به آسانی می‌توان در آزمایشگاه با تغییر نسبت اختلاط مصالح سنگی، آب، سیمان و ابعاد ذرات، به بتنهایی با ویژگیهای از پیش طراحی شده دست یافت. بنابراین با ذکر همه شرایط و با توجه به خاصیت قالب‌گیری و شکل‌پذیری، بتن بهترین ماده برای مدل‌سازی فیزیکی توده سنگهای درزه‌دار خواهد بود.

در این پروژه، چنانچه ذکر شد با توجه به شرایط و امکانات آزمایشگاهی، به منظور مطالعه و مدل‌سازی شیب‌داری درزه‌ها ضروری بود که پارامترهای عمده مربوط به ماده بتن آماده شده جهت مدلها ثابت نگه داشته شوند. با توجه به پارامترهای مربوط به ماده سنگ دخیل در چالزنی، در مدل‌سازی فیزیکی با بتن، چگالی، بافت (ابعاد دانه‌ها)، مقاومت فشاری تک محوری و سختی به عنوان پارامترهای ثابت در نظر گرفته شدند . جدول ۲ ویژگیهای فیزیکی بتن به کار برده شده در مدل سازی فیزیکی را نشان می‌دهد .

در مجموع در پروژه حاضر پنج بلوک بتنی با ابعاد ۵۰×۵۰×۱۰ سانتی‌متر مدل‌سازی شدند(شکل۴). مجموع وزن قالبهای مدل‌سازی شده به بیش از ۳۲۰ کیلوگرم می‌رسد. تمامی پنج نمونه بتنی ساخته شده ۲۴ ساعت پس از قالب‌گیری در اتاق بخار به مدت ۷۲ ساعت و رطوبت خالص ۴٪ مورد عمل‌آوری قرار گرفتند. پس از عمل‌آوری، به منظور تطبیق بتنهای مدل شده و ویژگیهای طراحی شده قبلی، نمونه‌ها از نظر مقاومت فشاری، چگالی و سختی آزمایش شدند که نتایج بیانگر تطابقت بسیار خوب مدلها با ترکیب طراحی شده بود.

مراحل چالزنی و مطالعات زمان‌سنجی مدلها

تمامی پنج بلوک بتنی مدل‌سازی شده پس از طی مراحل قالب‌ریزی و عمل‌آوری درآزمایشگاه، توسط دستگاه حفاری AtlasCopco (512HC) (شکل۵)و با استفاده از مته‌تیغه‌ای‌چهار پر(Cross type Bit با علامت (+)) مورد حفاری قرار گرفتند. برای این کار پنج زاویه نسبی بین سطح درزه و امتداد چال با مقادیر ۹۰، ۷۰، ۵۵، ۳۵ و ۲۰ درجه انتخاب شد و سپس مدلهای فیزیکی تهیه شده برمبنای ورود لبه تیغه به اندازه ۵ میلی‌متر در سطح درزه مورد زمان‌سنجی حفاری قرار گرفتند (زمان ثبت شده برای هر حالت برابر بود با زمان شروع حفاری تا ورود ۵ میلی‌متر کامل از مته در سطح درزه شیب‌دار) (شکل۶).

نمودار ستونی شکل۷ زمان نفوذ مته در سطح شیب‌دار درزه‌های مدل‌سازی شده را با توجه به پنج حالت نشان داده شده در شکل ۴ نشان می‌دهد. چنانچه از نمودار ستونی بر می‌آید با افزایش a ، حجم بحرانی سطح درزه کاهش یافته و زمان نفوذ مته در سطح شیب‌دار درزه نیز همگام با آن کاهش می‌یابد. با توجه به منحنی ایجاد شده برروی نتایج عددی مدل‌سازیهای فیزیکی انجام شده در شکل ۸ و با عنایت به $R^2 = 0.99$، بر اساس رابطه به دست آمده به وضوح آشکار می‌شود که با افزایش زاویه a (زاویه بین سطح درزه و امتداد چالزنی) زمان عبور مته از سطح درزه به طور خطی کاهش یافته و آهنگ نفوذ نیز به شکل خطی افزایش می‌یابد . میزان R^2 بسیار بالای به دست آمده از رگرسیون داده‌ها، حاکی از کنترل مناسب پارامترهای فیزیکی بتنهای ساخته شده در آزمایشگاه و نیز کنترل دقیق رفتار دستگاه چالزنی از جمله سرعت دوران، فشار پشت مته، فشار روغن و وضعیت هیدرولیکی آن در طی انجام پروژه است. کنترل دقیق عوامل فوق باعث کمینه شدن دخالت و تأثیر متغیرها و پارامترهای دیگر در نتایج تحقیق می‌شود.

نتیجه‌گیری

چنانچه در بخشهای قبل نیز گفته شد، شیب‌داری درزه‌های توده سنگ یکی از مهم‌ترین ویژگیهای سامانه درزه‌هاست که فرایند چالزنی را به طور بارز تحت تأثیر قرار می‌دهد. وجود درزه‌های شیب‌دار در مسیر چالزنی باعث تجزیه بار پشت مته شده و در نتیجه سرعت و توان پیشروی سیستم حفاری را به طور بارزی کاهش می‌دهد.

در این مقاله، کمیت معرفی شده به نام حجم بحرانی، شاخص بسیار مناسبی در تحلیل هندسی و ریاضی آهنگ نفوذ مته در سطح درزه ارائه می‌کند.

www.SID.ir

Archive of SID

حجم بحرانی به حجمی از سنگ گفته می‌شود که مته پیش از ورود کامل به بلوک زیرین درزه از سطح درزه می‌تراشد.

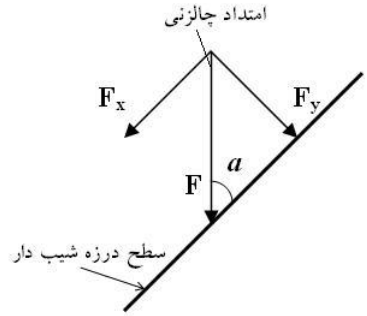
اطلاعات حاصل از چالزنی مدلهای فیزیکی ساخته شده نشان می‌دهد که هر چه زاویه بین سطح درزه و امتداد چالزنی به ۹۰ درجه نزدیک‌تر باشد، سرعت چالزنی بیشتر شده و شرایط حفاری بهبود می‌یابد. لذا در معادن روباز که عملیات چالزنی بیشتر به صورت قائم انجام می‌شود، باید شیب‌داری درزه‌ها و جهت آنها نسبت به امتداد چالزنی به منظور انتخاب و تعیین شیب چالها و محل چالزنی تا جایی که امکانات و قابلیتهای دستگاه چالزنی اجازه می‌دهد، مد نظر و ارزیابی خاص قرار گیرد. در مناطق درزه‌دار بهترین حالت و بالاترین سرعت چالزنی زمانی اتفاق می‌افتد که درزه‌ها عمدتاً افقی یا بسیار کم شیب باشند.

نتایج حاصل از مدل‌سازی فیزیکی درزه‌های شیب‌دار گویای این واقعیت است که در چالزنی دورانی، با کاهش زاویه نسبی میان سطح درزه و امتداد چالزنی (افزایش شیب درزه)، آهنگ نفوذ مته به طور خطی کاهش و زمان عبور از درزه به طور خطی افزایش می‌یابد.

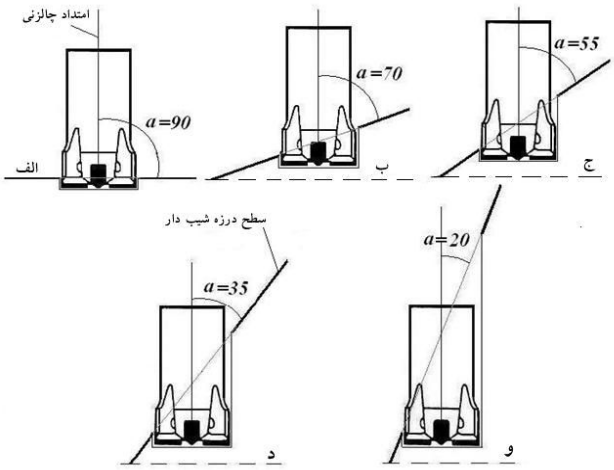
سپاسگزاری

تحقیق حاضر با همکاری همه جانبه دانشکده مهندسی عمران (آزمایشگاه بتن و ژئوتکنیک) و کارخانجات سیمان صوفیان 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 نوری (مدیریت محترم امور معادن سیمان صوفیان)، مهندس محرم پور(ریاست محترم عملیات معادن سیمان صوفیان) و به ویژه همکاری صمیمانه و زحمات آقایان جعفر کرباسی، حمید محمد زاده و مهندس سهراب غیبی کمال قدردانی و امتنان را داریم.



شکل ۱- توزیع بار پشت مته در سطح درزه‌های شیب‌دار



شکل ۲- شرایط هندسی نفوذ مته در سطح درزه با شیبهای مختلف مورد آزمایش

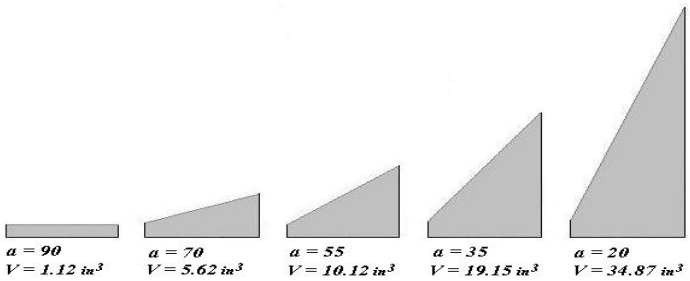
الف) امتداد چالزنی عمود بر سطح درزه (بهترین حالت) $F_x= 0$

ب) زاویه بین سطح درزه و امتداد چال ۷۰ درجه ($F_x= 0.34F$)

ج) زاویه بین سطح درزه و امتداد چال ۵۵ درجه ($F_x= 0.57F$)

د) زاویه بین سطح درزه و امتداد چال ۳۵ درجه ($F_x= 0.81F$)

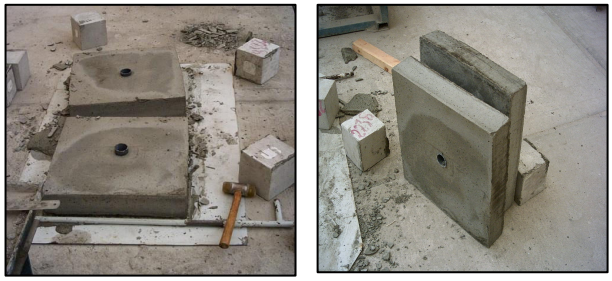
و) زاویه بین سطح درزه و امتداد چال ۲۰ درجه ($Fx= 0.93F$)



شکل۳- حجمهای بحرانی در شیبهای مورد آزمایش برای چالزنی با قطر سه اینچ

www.SID.ir

Archive of SID

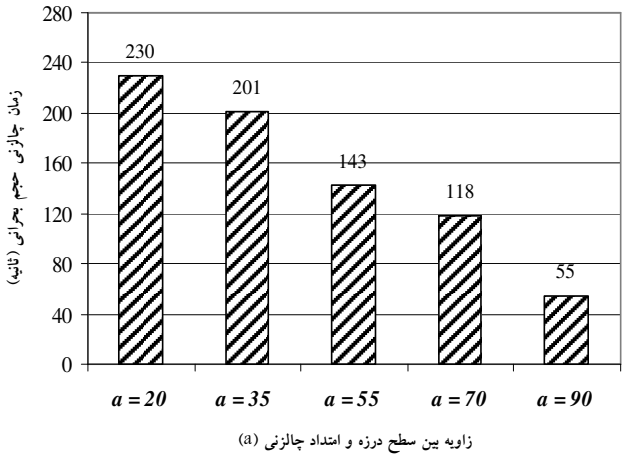


شکل ۴- نمونه‌ای از بلوکهای مدل‌سازی شده در آزمایشگاه

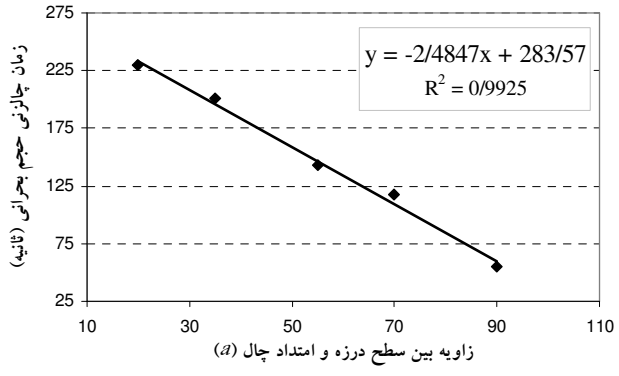
شکل ۵- دستگاه چالزنی مورد استفاده در آزمایشهای زمان‌سنجی

الف ب ج

شکل ۶- مراحل مختلف نفوذ سر مته در سطح درزه‌های شیب‌دار مدل‌سازی شده
الف) لحظات اولیه ورود مته به سطح بلوکهای مدل‌سازی شده ب) مته در حال حفر سنگ
ج) اتمام حفاری و ثبت زمان مربوطه در مطالعات زمان‌سنجی (ورود ۵ میلی‌متر از مته در مدل)



شکل۷- زمان نفوذ مته در سطح شیب‌دار درزه‌های مدل‌سازی شده با شیبهای مختلف



۸-رابطه بین شیبداری درزه وزمان نفوذ مته

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۱- مقادیر F_x به ازای(a) های مختلف

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	a
1F	0.98F	0.93F	0.86F	0.7F	0.64F	0.5F	0.34F	0.17F	0F	F_x

جدول ۲- ویژگیهای فیزیکی بتن برای مدل‌سازی فیزیکی

بافت	پورفیری
بیشینه ابعاد دانه‌ها	۴/۷۶ میلی‌متر (الک ۴)
چگالی	۲/۶
مقاومت فشاری	۸۰ – ۷۵ مگاپاسکال
سختی	۴

کتابنگاری

استوار، ر.، ۱۳۸۰- آتشکاری در معادن، جلد۱، صفحات ۲۹۵- ۲۹۰

اصانلو، م.، ۱۳۷۵- روشهای حفاری، مرکز نشر صدرا، صفحات ۱۹-۴۱ و ۵۸-۶۵

Refrences

Ersoy, A. & Waller., M.D., 1995 - Textural characterization of rocks. Engineering Geology, Volume 39, Issues 3-4, June, Pages123-136

Jimeno, C. L., Jimeno, E.L. & Carcedo, F.J.A., 1995- Drilling and blasting of rocks,Balkema. Pages 1-14

Kaiser, P.K. & McCreath, D.R., 1994- Rock mechanics considerations for drilled or bored excavations in hard rock. Tunneling and Underground Space Technology,Volume 9, Issue 4, October, Pages 425-437

Singh, S.P., 1990- Rock drillability comparison by different methods, Proc 2nd International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, Calgary, 7–9 November, A.A Balkema, Publ Rotterdam, Pages 489–494

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, Publ Rotterdam, Pages 391-397

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, Volume 31, Issue 5, October, Pages 561-567

Kahraman, S., Balci, C., Yazici, S. & Bilgin, N., 2000- Prediction of the penetration rate of rotary blasthole drilling using a new drillability index, International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 37, Pages 729-743

Kahraman, S., 1999- Rotary and percussive drilling prediction using regression analysis, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 36, Pages 981-989.

Drake, R., 2004- Bench drilling techniques and equipment selection manual, Pages 1-40.

Wijk, G., 1991- Rotary drilling prediction, International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, Volume 28, Issue 1, January, Pages 35-42

Wilbur, Lyman, D., 1982- Rock Tunnel Engineering Handbook, Edited by BickeL and Kuesel, A publication of van Norstrand Reinhold company , Pages 123-207

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 1988, A A Balkema, Publ Rotterdam, Pages 375–381.

www.SID.ir