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

دوره اول، شماره ۱، سال ۱۳۸۵، صفحه ۱۱ تا ۲۰
Vol. 1, No. 1, 2006, pp. 11-20

بررسی عوامل مؤثر بر نرخ نفوذ، در چالزن‌های ضربه‌ای چکش بالا

حسین معماریان [۱] ; امیررضا قاسمی [۲] ; ابوالفضل مهین‌راد [۳]

۱- دانشگاه تهران ، دانشکدهٔ مهندسی معدن، دانشکدهٔ فنی، ۸۲۰۸۴۲۳۰ (۰۲۱); memarian@ut.ac.ir
۲- شرکت مهندسین مشاور اشتوکی پارس، ۷-۸۸۶۷۸۲۴۶ (۰۲۱); amirreza_ghasemi@yahoo.com
۳- شرکت مهندسین مشاور اشتوکی پارس، ۷-۸۸۶۷۸۲۴۶ (۰۲۱); amehinrad@stuckypars.com

(دریافت ۳۰ خرداد ۱۳۸۵ ، پذیرش ۲۰ آذر ۱۳۸۵)

چکیده

عوامل متعددی بر نرخ نفوذ که بخشی از مفهوم قابلیت چال‌خوری است، تأثیر می‌گذارند. از این رو در زمان بررسی نرخ نفوذ، باید تا حد امکان با ثابت نگاه‌داشتن عوامل مختلف، نقش یک یا دو متغیر را مطالعه کرد. در این مقاله، ۸۱ مورد دادهٔ نرخ نفوذ از ۱۲ عدد دستگاه واگن دریل در کنار ۱۴ داده از دو دستگاه روبولت به همراه برداشت‌های شرکت‌های سازندهٔ دستگاه‌ها در ساختگاه سدی در حال اجرا بر روی توده‌سنگ کنگلومرای بختیاری گردآوری شده و مقدار آن با عوامل متفاوت تجهیزات مورد بررسی قرار گرفته است. با تحلیل داده‌های گردآوری‌شده آشکار شد که قطر سرمته به همراه توان ضربهٔ دستگاه، از جمله موارد مربوط به اثر تجهیزات بر نرخ نفوذ هستند که البته میزان تأثیر آن‌ها یکسان نیست؛ به‌گونه‌ای که تأثیر توان چکش بر نرخ نفوذ سرمته‌ها به‌میزانی است که حتی تغییر در نوع دستگاه (واگن دریل، جامبو و یا روبولت) و یا نوع سنگ نیز نمی‌توانند تأثیر آن را کمرنگ کنند. تغییر نوع سرمته از گلوله‌ای به کروی اثر یکسانی بر نرخ نفوذ نداشته و تأثیر آن بستگی به نوع چکش دستگاه و طراحی آن دارد.

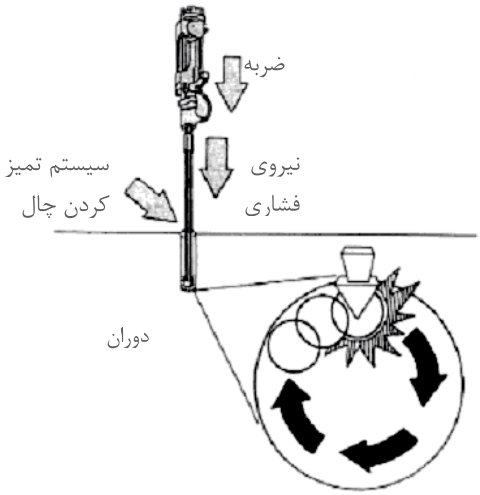
کلمات کلیدی

نرخ نفوذ، قابلیت چالخوری، چالزنی، واگن دریل، چالزن ضربه ای، توده سنگ، سرمته، آتشباری

۱- مقدمه

چال گودالی به شکل استوانه است که با قطر و طول معین و با هدف‌های گوناگون در سنگ حفر می‌شود. دستگاه‌های حفر چال از نظر نوع و نحوهٔ کار بسیار متنوع‌اند و به طور کلی با توجه به فرآیند کار به دو دسته چالزنی ضربه‌ای[۱] و چالزنی دورانی[۲] تقسیم می‌شوند. چالزنی ضربه‌ای بر اساس واسطهٔ انتقال انرژی و محل قرارگیری چکش چالزن خود به گونه‌های «چکش‌های هیدرولیک بالای چال[۳]»، «چکش‌های هوای فشرده[۴] بالای چال» و «چکش ته‌چال[۵]» *(D.T.H)* تقسیم‌بندی می‌گردد [۱]. چکش چالزن ضربه‌ای-دورانی[۶]، تلفیقی از چالزن دورانی و چالزن ضربه‌ای است [۶].

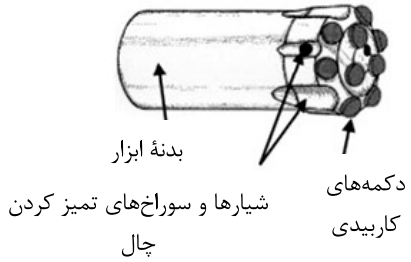
چهار جزء مهم در چالزنی ضربه‌ای سنگ وجود دارد که عبارتند از: نیروی پشت سرمته، دوران، ضربه و سیستم تمیز کردن چال [۱]. متغیرهای عملیاتی چالزن‌های چکش بالا در شکل ۱ نمایش داده شده است.



شکل ۱. چالزن چکش بالای چال و متغیرهای عملیات آن [۳]

نیروی پشت سرمته، چالزن را در برخورد و تماس با سنگ نگه می‌دارد. هدف از دوران در این روش، چرخش سرمتهٔ چالزنی برای دستیابی به سطحی جدید از سنگ، با هر بار دمیدن هوا و در نتیجه ایجاد حجم بزرگ‌تری از حفره در هر ضربه می‌باشد [۳].

سرمته‌های مورد استفاده در این دستگاه‌ها انواع گوناگونی دارند که می‌توان آن‌ها را به گونه‌های سرمتهٔ یک‌پر[۷]، سرمتهٔ چهارپر[۸] با مقطع صلیبی[۹] و ضربدری[۱۰]، سرمتهٔ دکمه‌ای[۱۱]، سرمتهٔ مخصوص چال‌های ریزشی و سرمته با سوراخ‌های تمیزکردن چال در بالا، تقسیم‌بندی نمود [۱]. از آن‌جا که در مطالعهٔ موردی ارایه شده، مطالعات نرخ نفوذ در سرمته‌های دکمه‌ای مورد بررسی قرار گرفته‌اند، نمایی از این نوع سرمته در شکل ۲ نشان داده شده است.

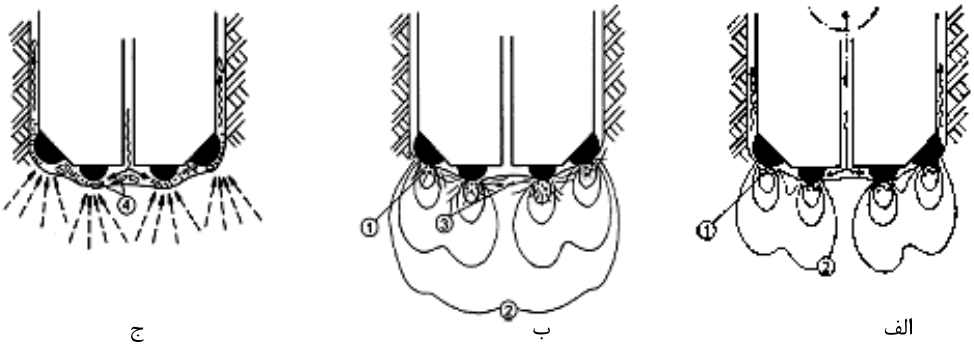


شکل ۲. نمایی از یک سرمتهٔ دکمه‌ای [۶]

۱-۱- مکانیزم خردایش در چالزن‌های ضربه‌ای

برای بررسی قابلیت چال‌خوری، درک مفهوم چگونگی خرد شدن سنگ توسط سرمته دارای اهمیت زیادی است. طرح‌های ارایه شده در شکل ۳، چگونگی اثر متقابل سرمتهٔ دکمه‌ای و توده‌سنگ را درهنگام چالزنی نشان می‌دهند. این تأثیر متقابل را می‌توان به سه زیر بخش تقسیم نمود:

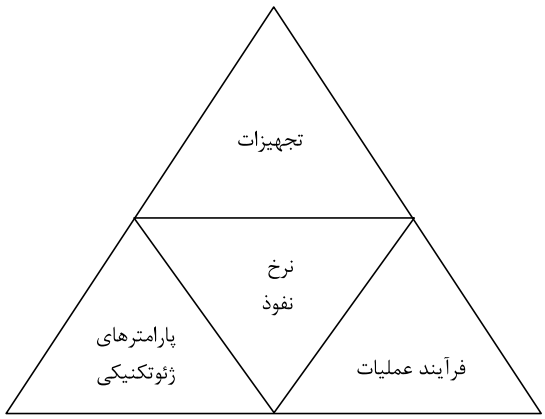
- **شروع ضربه:** دکمه‌های فلزیِ در حال دوران به توده سنگ ضربه می‌زنند (شکل۳/الف). به علت این عمل، تنش‌های موضعی فوق‌العاده زیادی ایجاد شده و بخش خرد شده‌ای (ناحیهٔ۱) را در زیر رأس دکمه‌ها به‌وجود می‌آورند و میدان‌های تنشی در سطوح پایین‌تر (ناحیهٔ ۲)، در جهت چالزنی به‌وجود می‌آیند.
- **ترک برداشتن:** تنش‌های در حال افزایش به مقدار مقاومت سنگ رسیده و ترک‌های آغازین (ناحیهٔ۳) در گوشهٔ نواحی خرد شده به وجود می‌آیند و از آن‌جا به درون سنگ توسعه می‌یابند (شکل۳/ب). ترک‌هایی که در همسایگی هم قرار دارند شروع به تأثیر متقابل کرده و تراشه‌ها را به وجود می‌آورند.
- **اتمام ضربه**: سرمته به عقب کشیده می‌شود و تنش‌ها آزاد می‌گردند (شکل۳/ج). به‌دلیل بازگشت ارتجاعی توده‌سنگ و همچنین وجود سیستم تمیزکردن چال، تراشه‌ها و مواد خرد شده (ناحیهٔ۴) از جلوی سرمته جدا شده و از طریق چال به بیرون انتقال داده می‌شوند [۴].



شکل ۳. نمایی از فرآیند خردایش سنگ در طی عملیات چالزنی ضربه‌ای-دورانی [۴]

۲- نرخ نفوذ

مطالعهٔ نرخ نفوذ بخش مهمی از تحقیقات مربوط به قابلیت چال‌خوری را دربرمی‌گیرد، به گونه‌ای که گاه به اشتباه، قابلیت چال‌خوری را معادل با نرخ نفوذ دانسته‌اند. عوامل عمدهٔ مؤثر بر نرخ نفوذ را می‌توان در سه دستهٔ عمدهٔ تجهیزات حفاری، پارامترهای ژئوتکنیکی و فرآیند عملیات طبقه‌بندی نمود (شکل ۴) [۶].



شکل ۴. قابلیت چال‌خوری و عوامل اصلی مؤثر بر آن [۶]

تجهیزات حفاری، که به عنوان پارامترهای قابل کنترل نیز شناخته می‌شوند، پارامترهای مختلف دستگاه و سرمته را شامل می‌شوند. در مقابل، پارامترهای ژئوتکنیکی به‌عنوان پارامترهای غیر قابل کنترل معرفی شده و شامل خواص مختلف سنگ بکر و توده‌سنگ می‌باشند [۵]. فرآیند عملیات نیز به معنای مدیریت مناسب عملیات، استفادهٔ صحیح و تعمیر و نگهداری مستمر تجهیزات وابزارها است، که به‌دلیل بدیهی بودن تأثیر آن بر کارکرد عملیات، از پرداختن به آن در این مقاله، پرهیز شده است.

۲-۱- تجهیزات چالزنی

پارامترها و عوامل تجهیزات چالزنی را می‌توان به دو دستهٔ دستگاه چالزن و نوع سرمته تقسیم‌بندی نمود. تأثیر این عامل بر نرخ نفوذ به گونه‌ای است که تنها پروژه‌های حفاری انجام شده با تجهیزات و وسایل مشابه می‌توانند برای مطالعات نرخ نفوذ مورد استفاده قرار گیرند [۶].

دستگاه چالزن: پارامترهای دستگاه چالزن، که بر کارکرد عملیات تأثیر عمده‌ای دارند، عبارتند از:

- توان چکش، یا انرژی ضربه‌ای ویژهٔ پیستون و تعداد ضربات پیستون در دقیقه
- نیروی فشاری پشت سرمته
- زاویهٔ چرخش و تعداد دورهای سرمته در دقیقه
- فشار هوای فشرده
- خروج ریزه‌های حفاری و ماده تمیزکنندهٔ ته چال
- اتلاف انرژی

در بین عوامل فوق، نرخ نفوذ به‌طور ویژه‌ای وابسته به توان ضربهٔ دستگاه بوده و این عامل در بین پارامترهای گوناگون دستگاه، بیش‌ترین تأثیر را بر نرخ نفوذ دارد. تورو (۱۹۹۷) در مطالعه‌ای موردی نشان داد که با تغییر توان دستگاه از ۷/۵ به ۲۰ کیلووات، بیش از ۵۰ درصد بر نرخ پیشروی افزوده شده است [۸].

نوع سرمته: نوع سرمته عامل مؤثر دیگری بر نرخ نفوذ است. در بین سرمته‌های مورد استفاده در ماشین‌های چالزن ضربه‌ای، سرمته‌های دکمه‌ای از جایگاه ویژه‌ای برخوردارند. در اغلب شرایط زمین‌شناسی، از سرمته‌های دکمه‌ای استفاده می‌شود. شکل دکمه و طراحی سرمته (هندسه و ترتیب قرارگیری دکمه‌ها، سوراخ‌های تمیز کردن چال و شیارهای زهکشی) تأثیر زیادی بر فرسایش سرمته و عملکرد چالزنی دارند. در شکل ۵

سه نوع اصلی از انواع دکمه‌ها یعنی دکمهٔ مخروطی *(Conical)* یا گلوله‌ای *(Ballistic)* ، دکمهٔ نیمه گلوله‌ای *(Semi-Ballistic)* و دکمهٔ کروی *(Spherical)* نشان داده شده است [۶].

دکمهٔ مخروطی (گلوله‌ای) | دکمهٔ (نیمه) گلوله‌ای | دکمهٔ کروی

شکل ۵. انواع دکمهٔ سرمتهٔ چالزنی ضربه‌ای-دورانی [۶]

۲-۲- پارامترهای ژئوتکنیکی

جدا از پارامترهای مربوط به تجهیزات چالزنی، پارامترهای ژئوتکنیکی و زمین‌شناسی نیز بر نرخ نفوذ تاثیر می‌گذارند [۵]. به‌طور کلی، خصوصیات سنگ در زمینهٔ نرخ نفوذ به چهار دستهٔ خصوصیات «بافتی»، «مکانیکی»، «ساختاری» و «هوازدگی» تقسیم می‌شوند، که می‌توان خصوصیات «ساختاری» و «هوازدگی» را در یک قالب و به‌عنوان مشخصات مربوط به «توده‌سنگ» در نظر گرفت. به همین دلیل، باید ۳ بعد از ویژگی‌های سنگ شناسایی شود [۶ و ۲]:

- ترکیب کانی‌شناسی و بافت سنگ
- سنگ بکر و رفتار مکانیکی آن
- توده‌سنگ، ساختمان و شرایط آن

شرایط ماده‌سنگ: تا به حال بیش‌ترین تحقیقات در مورد نرخ نفوذ در زمینهٔ شرایط سنگ بکر صورت گرفته است. محققان متعددی مطالعات تئوریک و تجربی فراوانی انجام داده و نرخ نفوذ را با خواص گوناگونی از سنگ ارتباط داده‌اند [۳]. این بررسی‌ها به دو دستهٔ اصلی قابل تقسیم‌بندی می‌باشند:

- تحقیقاتی که در آن‌ها سعی شده تا از طریق ارتباط دادن نرخ نفوذ با مشخصات متداول فیزیکی و مکانیکی سنگ، مانند تخلخل، مقاومت فشاری تک‌محوری و نظایر آن، نوع و میزان تأثیر آن‌ها بر نرخ نفوذ شناخته شود.
- تحقیقاتی که در آن‌ها از طریق شناخت مکانیزم شکست در چالزن‌های ضربه‌ای-دورانی، آزمایش‌های تجربی متنوعی مانند «آزمایش ضریب مقاومت سنگ[۱۲]» *(CRS)*، «شاخص نرخ چالزنی[۱۳]» *(DRI)* و مانند آن ارائه شده و ارتباط نرخ نفوذ با آن‌ها به‌دست آمده است.

شرایط توده سنگ: اگرچه پارامترهای زمین‌شناسی نقشی کلیدی بر خواص مکانیکی سنگ دارند، امّا معمولاً در اغلب پروژه‌ها به صورت کامل در نظر گرفته نمی‌شوند. در برخی موارد، تأثیر عوامل زمین‌شناسی بر شکستگی سنگ می‌تواند معنادارتر از خواص گوناگون ماده‌سنگ باشد [۵]. علاوه بر آن، باید توجه داشت که اگر توده‌سنگ از موادی ناهمگن و ناهمسانگرد تشکیل شده باشد، ارزش و اعتبار پارامترهای مکانیکی محدود خواهند شد. ناهمگنی و ناهمسان‌گردی، به وضوح دارای نقشی کلیدی در طی عملیات خردایش هستند [۷]. از این رو بهتر است مشخصات زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی توده‌سنگ، به اندازهٔ سایر پارامترهای ژئوتکنیکی مورد بررسی قرار گیرند. از جمله خصوصیات توده‌سنگ، که تأثیرشان بر نرخ نفوذ مورد بررسی قرار گرفته، می‌توان به اثر ناهمسان‌گردی، فاصله‌داری ناپیوستگی‌ها، تخلخل، سیمانه نشدن کامل و میزان هوازدگی اشاره نمود.

۳- معرفی ساختگاه مورد بررسی

عوامل مؤثر بر نرخ نفوذ، که پیش‌تر به آن‌ها اشاره شد، خود به بخش‌های متعدد کوچک‌تری تقسیم می‌شوند که هر کدام دارای تأثیری مستقل هستند. به همین دلیل و برای به‌دست آوردن تأثیر هر کدام از آن‌ها، بهتر است تا حد امکان، پارامترها را ثابت نگاه داشت و با تغییر یکی از آن‌ها، تفاوت ایجاد شده در نرخ نفوذ را محاسبه نمود. برای دستیابی به هدف فوق در تحقیق حاضر تمامی بررسی‌ها تنها در یک نوع سنگ و یک ساختگاه، یعنی کنگلومرای سازند بختیاری و در ساختگاه یک سد، متمرکز شده‌اند. به این ترتیب می‌توان عوامل ژئوتکنیکی را ثابت فرض کرد و در نتیجه تأثیر پارامترهای مرتبط با تجهیزات را در شرایطی یکسان، با یکدیگر مقایسه نمود.

ساختگاه سد مورد بررسی بر روی دو سازند آغاجاری و بختیاری قرار گرفته است. سازند آغاجاری شامل ماسه‌سنگ، لای‌سنگ و گِل‌سنگ بوده و در زیر سازند بختیاری قرار دارد. سازند بختیاری که واحد اصلی آن کنگلومرا است، دارای میان‌لایه‌هایی از گِل‌سنگ و ماسه‌سنگ می‌باشد. علاوه بر این سازندها، یک میان‌سازند نیز بین سازندهای بختیاری و آغاجاری وجود دارد که آن را «زون تغییرات تدریجی» نام نهاده‌اند.

بخش عمدهٔ حفاری‌های این ساختگاه در کنگلومرای سازند بختیاری می‌باشد. این حفاری‌ها را می‌توان به دو دستهٔ روباز و زیرزمینی تقسیم نمود. حفاری‌های روباز عمدتاً مربوط به

سنگ‌برداری‌های سرریز و بدنهٔ سد می‌باشند. حجم حفریات روباز مربوط به عملیات سنگ‌برداری بدنه و سرریز، در حدود ۲۳ میلیون مترمکعب می‌باشد که از این مقدار، حدود ۱۸ میلیون مترمکعب آن مربوط به سنگ‌برداری‌های سرریز و حدود ۵ میلیون مترمکعب در رابطه با سنگ‌برداری‌های بدنهٔ سد است. مطالعات نرخ نفوذ در حفریات روباز مربوط به دستگاه‌های در حال کار در سرریز سد می‌باشد. قطر چال‌های انفجاری در سرریز، mm ۷۶، ۸۹ و ۱۰۲ و زاویهٔ حفاری چال‌ها در حدود ۱۰ درجه است.

مطالعات نرخ نفوذ در حفریات زیرزمینی این ساختگاه مربوط به چهار حلقه تونل آب‌رسان می‌باشد. جنس سنگ تونل‌های آب‌رسان از نوع کنگلومرا با سیمان شدگی قوی است. چال های حفر شده در این تونل‌ها، معمولاً دارای قطر mm ۴۸ و ۵۱ بوده و گاهی از قطر mm ۴۵ نیز استفاده شده است. زاویهٔ حفاری تقریباً ۹۰ درجه است. در تونل‌های آب‌رسان، از دستگاه‌های روبولت برای نصب بولت‌های نگهداری استفاده می‌شود. قطر سرمته‌های مورد استفاده در این دستگاه‌ها، mm ۴۱ و ۴۳ است. این چال‌ها با اختلاف زاویهٔ ۲۲/۵ درجه نسبت به یکدیگر از دیواره تا سقف حفر شده‌اند و امکان تفکیک اطلاعات آن‌ها وجود ندارد که بایستی به هنگام استفاده از نتایج به این موضوع توجه داشت.

۳-۱- مشخصات دستگاه‌ها و ابزار به‌کاررفته

در این ساختگاه دستگاه‌های متنوعی از واگن دریل‌ها و جامبوهای زیرزمینی، در کنار دستگاه‌های روبولت وجود دارند. نکتهٔ قابل توجه در مورد تجهیزات چالزنی به‌کار رفته، آن است که تقریباً تمامی آن‌ها کاملاً نو و مکانیزه بوده و از نوع هیدرولیکی چکش بالای چال هستند. همچنین سرمته‌های مورد استفاده در دستگاه‌ها از شناخته‌شده‌ترین مارک‌های موجود در دنیا می‌باشند. نکتهٔ مثبت دیگر نظارت کامل تکنسین‌های دستگاه‌ها بر نحوهٔ کارکرد و تعمیر و نگهداری آن‌ها می‌باشد. این عوامل، در کنار ثابت بودن سنگ مورد حفاری، و در نتیجه ثابت بودن تقریبی پارامترهای ژئوتکنیکی، باعث شده تا این ساختگاه برای مطالعات مربوط به قابلیت چال‌خوری مناسب تشخیص داده شده و نتایج گردآوری‌شده از آن از درجهٔ اطمینان بالایی برخوردار باشد. جدول ۱ مشخصات دستگاه‌های چالزن به‌کار برده شده در ساختگاه مورد بررسی را ارایه می‌کند.

۴- گردآوری داده‌های نرخ نفوذ

برای اطلاع از نرخ نفوذ دستگاه‌های مختلف، اقدام به برداشت زمان چالزنی آن‌ها شد. باید توجه داشت، زمان ثبت شده، زمان خالص چالزنی دستگاه بوده و زمان‌های مربوط به تعویض میله مته، جابه‌جایی دستگاه و سایر موارد مشابه در آن‌ها منظور نشده است.

۴-۱- حفریات روباز

اطلاعات حفریات روباز با حضور در محل و پیمایش مستقیم و همچنین استفاده از اطلاعات مربوط به شرکت‌های سازندهٔ دستگاه‌های حفاری تهیه شده است. در هنگام جمع‌آوری مستقیم اطلاعات، سعی شده تا حد امکان گسترهٔ وسیعی از حفریات با قطرهای متفاوت، و انجام شده با دستگاه‌های مختلف در کنگلومرای بختیاری، گردآوری شوند. داده‌ها از مناطق سالم و تقریباً بکر سنگ فراهم آمده است، تا بتوان تأثیر پارامترهای زمین‌شناسی و ناپیوستگی‌ها بر آن‌ها را حذف شده فرض نمود. در مجموع، نرخ نفوذ مربوط به ۸۱ میله‌مته ثبت شده است که از این میان تعداد ۶ مورد حذف شدند. دلیل این امر، افزایش غیرطبیعی زمان حفاری بر اثر درزدار بودن و شکستگی‌های موجود در آن عمق خاص از محل عملیات بوده است، به‌طوری که در برخی از موارد، زمان حفاری به بیش از ۱۰ برابر حالت عادی افزایش پیدا کرده است. این امر تأثیر بسیار زیاد پارامترهای توده‌سنگ را بر نرخ نفوذ نشان می‌دهد. در جدول ۲، خلاصه‌ای از اطلاعات گردآوری شده از حفاری‌های روباز، نشان داده شده است.

همان‌گونه که پیش‌تر گفته شد، به‌دلیل مکانیزه و نو بودن دستگاه‌های مورد استفاده در این ساختگاه، شرکت‌های سازنده دستگاه‌ها بر کارکرد آن‌ها نظارت کامل داشته و برای بهینه‌کردن فعالیت آن‌ها اقدام به برداشت اطلاعات مختلفی کرده‌اند. در جدول‌های ۳ و ۴، نرخ نفوذ در دستگاه‌های واگن دریل A و B که توسط این شرکت‌ها صورت گرفته، ارایه شده است.

۴-۲- حفریات زیرزمینی

در حفریات زیرزمینی، اقدام به برداشت زمان حفاری دستگاه روبولت شده که اطلاعات آن در جدول ۵ نشان داده شده است. از آن‌جا که این برداشت‌ها صرفاً از یک دستگاه صورت گرفته، امکان مقایسه آن با سایر دستگاه‌های زیرزمینی موجود در کارگاه سد وجود ندارد.

جدول ۱: مشخصات دستگاه‌های چالزن به کار رفته در ساختگاه سد [۹]

	نوع دستگاه چال زن	حداکثر توان چکش (*kW*)	محدودهٔ قطر چال(*mm*)	قطرهای حفاری شده در ساختگاه سد ***(mm)***	نرخ ضربه (*Hz*)	نیروی فشاری پشت سرمته (*KN*)	گشتاور، حداکثر(*Nm*)	نوع غالب سرمتهٔ به‌کار برده شده
حفریات روباز	واگن دریل ***A***	۱۵/۵	۸۹-۵۱	۷۶ و ۸۹	۶۰	۲۰	۶۸۰	گلوله‌ای
	واگن دریل ***B***	۱۸	۱۰۲-۶۴	۸۹ و ۱۰۲	۴۸-۳۸	۲۰	۹۸۰	کروی
	واگن دریل ***C***	۲۵	۱۴۰-۸۹	۸۹ و ۱۰۲	۳۵-۳۳	۳۶	۱۶۹۰	گلوله‌ای
حفریات زیرزمینی	جامبو ***D***	۱۵	-	۴۵ و ۴۸ و ۵۱	۶۰-۴۰	-	۵۰۰	کروی
	جامبو ***E***	۲۰	-	(۴۵) و ۴۸ و۵۱	۶۰-۴۰	۲۰	۵۰۰	گلوله‌ای
	روبولت	۱۴	-	۴۱ و ۴۳ و(۴۵)	۶۰	-	۶۵۰	کروی

جدول ۲: نتایج به‌دست آمده از برداشت‌های شخصی در مورد نرخ نفوذ در حفریات روباز

	دستگاه چالزن			
	واگن دریل ***A***	واگن دریل ***B***		واگن دریل ***C***
نوع سرمته	گلوله‌ای	کروی		گلوله‌ای
قطر سرمته ***(mm)***	۸۹	۸۹	۱۰۲	مجموع	۱۰۲
قطر و نوع راد ***(mm)***	***T45***	***T45***	***T51***	***T45 , T51***	***T51***
عمق چال ***(m)***	۷ و ۲۱	۷	۲۱	۷ و ۲۱	۲۱
تعداد داده‌ها	۱۳	۱۴	۲۴	۳۸	۲۴
میانگین حسابی نرخ نفوذ ***(m/min)***	۱/۹۲	۳/۰۲	۲/۲۴	۲/۴۸	۲/۵۷
انحراف استاندارد	۰/۲۶	۰/۹۳	۰/۵۸	۰/۸۴	۰/۴۶
ضریب تغییرات ***(%)***	۱۴	۳۱	۲۶	۲۶	۱۸

جدول ۳: نتایج به‌دست آمده توسط شرکت سازندهٔ دستگاه در مورد نرخ نفوذ دستگاه واگن دریل A

دستگاه چالزن	قطر و نوع راد ***(mm)***	قطر سرمته ***(mm)***	نوع سرمته	فشار ضربه ***(bar)***	دوران ***(rpm)***	فشار دوران	نرخ نفوذ ***(m/min)***	نرخ نفوذ سرمته پس از ۱۰۰۰ متر کارکرد ***(m/min)***
واگن دریل ***A***	***T45***	۸۹ ***Retrack***	کروی	۱۱۰-۱۰۰	۱۲۰-۱۱۰	۶۰-۵۰	۱/۲۹	-
		۸۹	کروی	۱۱۰-۱۰۰	۱۳۰-۱۲۰	۶۰-۵۰	۱/۶۵	-
		۸۹	گلوله‌ای	۱۱۰-۱۰۰	۱۳۰-۱۲۰	۶۰-۵۰	۲/۴۴	۲/۱۷

جدول ۴: نتایج به‌دست آمده توسط شرکت سازندهٔ دستگاه در مورد نرخ نفوذ دستگاه واگن دریل B

دستگاه چالزن	قطر و نوع راد ***(mm)***	قطر سرمته ***(mm)***	نوع سرمته	تعداد داده‌ها	میانگین حسابی نرخ نفوذ ***(m/min)***	انحراف استاندارد	ضریب تغییرات ***(%)***
واگن دریل ***B***	***T45***	۷۶	گلوله‌ای	۱	۲/۸	-	-
		۸۹	گلوله‌ای	۵	۲/۱۷	۰/۳۵	۱۶
			کروی	۳	۲/۳۰	۰/۳	۱۳
			مجموع	۸	۲/۲۲	۰/۳۲	۱۴

جدول ۵: نتایج به‌دست آمده از برداشت‌های شخصی در مورد نرخ نفوذ دستگاه روبولت

دستگاه چالزن	محل عملیات	قطر سرمته *(mm)*	نوع سرمته	عمق چال *(m)*	تعداد برداشت‌ها	میانگین حسابی نرخ نفوذ *(m/min)*	انحراف استاندارد	ضریب تغییرات (٪)
روبولت	تونل آب‌رسان (متراژ ۲۰۰+۰)	۴۳	کروی	۵	۱۴	۲/۰۸	۰/۳۰	۱۴/۳۷

۵- تحلیل داده‌ها

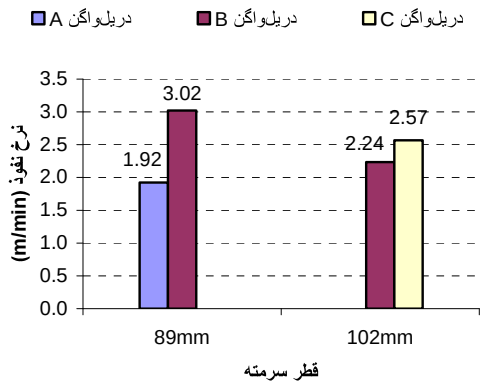
بررسی و تحلیل داده های گردآوری شده را در دو گروه حفاری‌های روباز و زیرزمینی به طور جداگانه مورد بررسی قرار می‌دهیم.

۵-۱- حفریات روباز

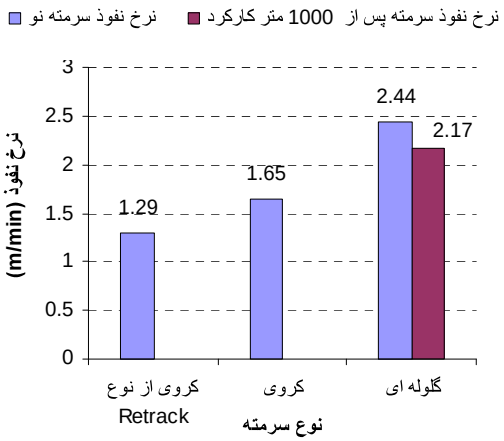
با استفاده از اطلاعات برداشت‌های مستقیم از حفاری‌های روباز ساختگاه مورد بررسی (جدول ۲)، نمودار شکل ۶ رسم شده است. برای کنترل و مقایسهٔ صحت نتایج به‌دست آمده، با استفاده از داده‌های شرکت‌های سازندهٔ دستگاه‌ها (جدول‌های۳ و ۴) نمودارهای شکل‌های ۷ و ۸ نیز رسم شده‌اند.

همان‌گونه که از نمودارها پیداست، در یک قطر معین، استفاده از دستگاهی قوی‌تر (با توان ضربهٔ بالاتر) نرخ نفوذ را افزایش می‌دهد. مورد قابل توجه دیگر، تأثیر قطر حفاری بر میزان نرخ نفوذ دستگاه‌هاست، به‌گونه‌ای که افزایش قطر سرمته باعث کاهش نرخ نفوذ شده است. نکتهٔ بسیارمهمی که در مورد نقش توان چکش بر دستگاه‌ها باید مد نظر قرار گیرد، آن است که در دستگاه‌های اشاره شده، با وجود ثابت بودن قطر سرمته، نوع سر مته‌ها از نظر گلوله‌ای و کروی بودن متفاوت است، که این عامل همان‌گونه که در شکل‌های ۷ و ۸ قابل مشاهده است، از موارد تأثیرگذار بر نرخ نفوذ می‌باشد. به همین‌دلیل به‌راحتی نمی‌توان نتایج به‌دست آمده در مورد افزایش و یا کاهش نرخ نفوذ را به‌طور کامل مورد قبول دانست، لذا بهتر است تنها مواردی با هم مقایسه شوند که در آنها تمامی پارامترها یکسان بوده و تنها یک عامل متغیر باشد(جدول ۶).

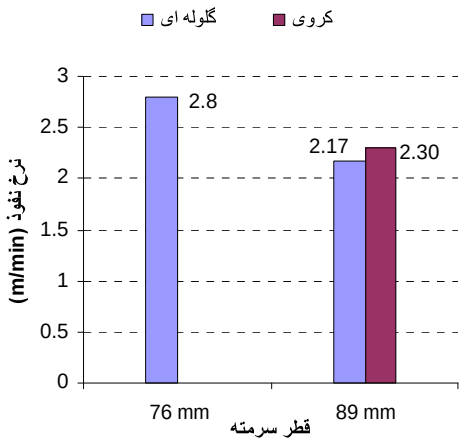
با استفاده از نتایج به‌دست آمده، می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش قطر سرمته، نرخ نفوذ به‌طور محسوسی کاهش می‌یابد. همچنین با دقت در جدول ۶، معلوم می‌شود که در دستگاه واگن دریل B ، سرمته‌های نوع کروی، نسبت به نوع گلوله‌ای، دارای نرخ نفوذ بالاتری هستند که این موضوع در واگن دریل‌های A معکوس است. دلیل این امر، تفاوت در طراحی چکش‌های این دستگاه‌هاست. زیرا در دستگاه‌های واگن دریل B به علت فشار ضربهٔ بالای چکش (۱۵۰ و ۲۰۰ bar)، در صورت استفاده از سرمتهٔ گلوله‌ای، دکمه‌ها بیش از حد در سنگ نفوذ کرده و باعث گیرکردن و چرخش سخت سرمته خواهند شد. به همین دلیل، نمی‌توان از تغییر نوع سرمته نتیجه‌ای یکسان بر نرخ نفوذ انتظار داشت و این عامل بستگی به عوامل طراحی دستگاه و نوع چکش آن دارد.



شکل ۶. مقایسهٔ نرخ نفوذ با قطر سرمته و نوع دستگاه با استفاده از برداشت‌های انجام شده در حفریات روباز



شکل ۷. مقایسهٔ نرخ نفوذ با نوع سرمته با استفاده از اطلاعات شرکت سازندهٔ دستگاه واگن دریل A



شکل ۸. مقایسهٔ نرخ نفوذ با نوع و قطر سرمته با استفاده از اطلاعات شرکت سازندهٔ دستگاه واگن دریل B

نکتهٔ حائز اهمیت دیگری که از شکل ۷ می‌توان به‌دست آورد، کاهش نرخ نفوذ به‌میزان ۱۲ درصد پس از ۱۰۰۰ متر کارکرد سرمته است (از *m/min* ۲/۴۴ به ۲/۱۷). این موضوع، اهمیت از دست دادن شکل اولیهٔ دکمه‌ها و تأثیر آن بر نرخ نفوذ را، به‌ویژه در سرمته‌های گلوله‌ای، نشان داده و لزوم تیزکردن به‌موقع سرمته برای کسب نرخ نفوذ مطلوب را آشکار می‌سازد.

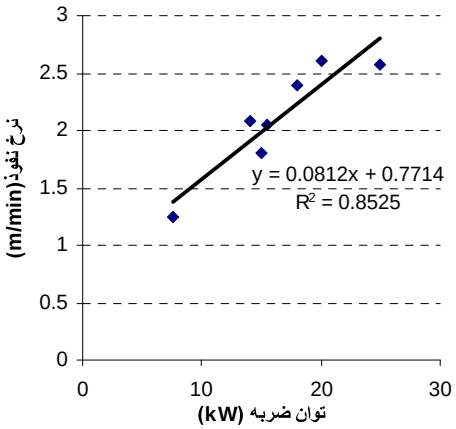
۵-۲- حفریات زیرزمینی

با توجه به مطالبی که پیشتر ذکر شد، امکان برداشت نرخ نفوذ در دستگاه‌های جامبوی زیرزمینی میسر نشده است. با این وجود اطلاعات مربوط به نرخ نفوذ دستگاه روبولت، که وظیفهٔ نصب بولت در تونل‌های آب‌رسان را بر عهده دارد، ثبت شده است. در ادامه، مقادیر مختلف نرخ نفوذ از دستگاه‌های جامبو، که در کوارتز- فیلیت کار کرده‌اند، و توسط تورو (۱۹۹۷) گزارش شده‌اند، به مقادیر فوق اضافه شده‌اند[۸]. جدول ۷، مقادیر نرخ نفوذ و توان ضربهٔ دستگاه‌های به‌کار برده شده در کوارتز–فیلیت را نشان می‌دهد.

جدول ۷: مقادیر نرخ نفوذ در دستگاه‌های متفاوت در کوارتز- فیلیت [۸]

توان چکش ***(kW)***	۷/۵	۱۵	۲۰
نرخ نفوذ ***(m/min)***	۱/۲۵	۱/۸	۲/۶

شکل ۱۱ از تلفیق داده‌های جدول ۷ با مقادیر به‌دست‌آمده در ساختگاه مورد بررسی، ترسیم شده است. همان‌طور که از شکل پیداست، ارتباطی مناسب به‌دست آمده است. این بررسی‌ها نشان می‌دهند که توان چکش عاملی اساسی بر نرخ نفوذ است، به‌گونه‌ای که حتی تغییر در نوع دستگاه و یا سنگ نیز نمی‌توانند تأثیر آن را کمرنگ کنند.



شکل ۱۱. ارتباط نرخ نفوذ با توان چکش در کنگلومرا و کوارتز- فیلیت

جدول ۶: تأثیر پارامترهای مختلف بر نرخ نفوذ در حفریات روباز

پارامتر			میزان تأثیر
قطر سرمته	نوع سرمته	دستگاه چالزن	
متغیر (از ***mm*** ۸۹ به ۱۰۲)	ثابت (کروی)	ثابت (واگن دریل ***B***)	با افزایش قطر سرمته از ***mm*** ۸۹ به ۱۰۲، نرخ نفوذ به‌میزان ۳۵ درصد کاهش یافته است (شکل ۶).
ثابت (۸۹ ***mm***)	متغیر	ثابت (واگن دریل ***B***)	با تغییر نوع سرمته از گلوله‌ای به کروی، نرخ نفوذ به میزان ۶ درصد افزایش پیدا کرده است (شکل ۷).
متغیر (از ***mm*** ۷۶ به ۸۹)	ثابت (گلوله‌ای)	ثابت (واگن دریل ***B***)	با افزایش قطر سرمته از ***mm*** ۷۶ به ۸۹، نرخ نفوذ به‌میزان ۳۰ درصد کاهش یافته است (شکل ۷).
ثابت (۸۹ ***mm***)	متغیر	ثابت (واگن دریل ***A***)	با تغییر نوع سرمته از گلوله‌ای به کروی، نرخ نفوذ به میزان ۴۸ درصد کاهش یافته است (شکل ۸).

۶- نتیجه‌گیری

قابلیت چال‌خوری، تلفیقی از مطالعات نرخ نفوذ، همراه با فرسایش سرمته‌ها، است. عوامل بسیاری بر قابلیت چال‌خوری مؤثرند که می‌توان به‌طور کلی آن‌ها را در سه گروه تجهیزات، پارامترهای ژئوتکنیکی و فرآیند عملیات تقسیم‌بندی نمود. بخش مربوط به تجهیزات، پارامترهای مرتبط با دستگاه چالزن و سرمتهٔ مصرفی را شامل شده و پارامترهای ژئوتکنیکی را می توان به سه زمینه کانی‌شناسی، سنگ بکر و توده‌سنگ تقسیم‌بندی نمود.

در بررسی‌های مربوط به قابلیت چال‌خوری، بهترین روش برای درک میزان تأثیر هر کدام از پارامترها، ثابت نگاه داشتن سایر عوامل است، تا تنها با تغییر یک عامل بتوان میزان تغییرات در نرخ نفوذ و فرسایش سرمته‌ها را به‌دست آورد. قطر و نوع سرمته، به همراه توان ضربهٔ دستگاه چالزن، از جمله موارد مربوط به اثر تجهیزات بر نرخ نفوذ در دستگاه‌های چالزن ضربه‌ای هستند. تأثیر موارد فوق بر نرخ نفوذ سرمته‌ها، یکسان نیست. با مطالعه و تحلیل برداشت‌های صحرایی صورت گرفته در حفاری‌های روباز و زیرزمینی توده‌سنگ کنگلومرای بختیاری و همچنین استفاده از اطلاعات شرکت‌های سازندهٔ دستگاه، نتایج زیر به دست آمد:

۱- توان چکش دارای بیشترین تأثیر بر نرخ نفوذ سرمته‌ها بوده و کم‌ترین تأثیر مربوط به نوع سرمته است.

۲- در قطر mm ۸۹ ، افزایش توان ضربهٔ دستگاه چالزن از kW ۱۵/۵ به ۱۸ ، باعث افزایش۵۷ درصدی در مقادیر نرخ نفوذ و در قطر mm ۱۰۲، افزایش آن از kW ۱۸ به ۲۵ ، باعث افزایش ۱۵ درصدی می‌شود.

۳- در دستگاه واگن دریل B و سرمتهٔ کروی، افزایش قطر سرمته از mm ۸۹ به ۱۰۲ باعث کاهش نرخ نفوذ به میزان ۳۵ درصد و در دستگاه واگن دریل A و سرمتهٔ گلوله‌ای، افزایش قطر سرمته mm از ۷۶ به ۸۹ ، باعث کاهش نرخ نفوذ به میزان ۳۰ درصد می‌شود.

۴- تغییر نوع سرمته از گلوله‌ای به کروی اثر یکسانی بر نرخ نفوذ نداشته و تأثیر آن بستگی به نوع چکش دستگاه و طراحی آن دارد. این تغییر در قطر ثابت mm ۸۹ ، در دستگاه واگن دریل B باعث افزایش ۶ درصدی نرخ نفوذ و در دستگاه واگن دریل A باعث کاهش ۴۸ درصدی نرخ نفوذ می‌شود.

توان ضربهٔ دستگاه، عاملی اساسی بر نرخ نفوذ دستگاه‌های چالزنی ضربه‌ای است، به‌گونه‌ای که حتی در دستگاه‌هایی که از نظر کاربرد متفاوتند (واگن دریل، جامبو و روبولت) تأثیر خود را نشان می‌دهد.

۷- مراجع

[۱] استوار، رحمت‌الله، (۱۳۷۵)، **"آتش‌کاری در معادن"**-جلد اول، انتشارات جهاد دانشگاهی صنعتی امیرکبیر.

[2] Ersoy A. and Waller M.D., 1995, "*Textural characterization of rocks*", Engineering Geology, 39, 123-136.

[3] Kahraman S., Bilgin N. and Feridunoglu C., 2003, "*Dominant rock properties affecting the penetration rate of percussive drills*", International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 40, 711–723.

[4] Plinninger R.J., Spaun G. and Thuro K., 2002, "*Prediction and classification of tool wear in drill and blast tunnelling*", Proceeding of 9th Congress of the International Association for Engineering Geology and the Environment, Durban, South Africa, 2226-2236.

[5] Plinninger R.J., Spaun G. and Thuro K., 2002, "*Drilling, Blasting and Cutting–Is it possible to quantify geological parameters relating to excavatability?*", Proceedings of 9th Congress of the International Association for Engineering Geology and the Environment, Durban, South Africa, 2853-2862.

[6] Thuro K., 1997, "*Drillability prediction: geological influences in hard rock drill and blast tunneling*", Geol Rundsch, 86, 426–438.

[7] Thuro K. and Plinninger R.J., 2003, "*Hard rock tunnel boring, cutting, drilling and blasting: rock parameters for excavatability*", ISRM-Technology roadmap for rock mechanics, South African Institute of Mining and Metallurgy, 7p.

[8] Thuro K., 1997, "*Prediction of drillability in hard rock tunneling by drilling and blasting*", Tunnels for people, A.A.Balkema, Rotterdam, 103-108.

[۹] کاتالوگ‌ها و بروشورهای شرکت‌های سازندهٔ دستگاه‌ها *(Atlas Copco Group, Tamrock)*

[1] *Percussion*
[2] *Rotary*
[3] *Top Hammer*
[4] *Pneumatic*

[5] *Down The Hole*
[6] *Rotary-Percussive*
[7] *Insert Drill steel*
[8] *Multiple Drill steel*
[9] *Cross Bit*
[10] *X-Bit*
[11] *Button Bit*
[12] *Coefficient of Rock strength*
[13] *Drilling Rate Index*

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.