Archi

مجله علوم و فنون هسته‌ای، جلد ۹۲، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹

Journal of Nuclear Science and Technology
Vol. 92, No. 2, 2020

استفاده از باطله‌های استخراج شده و آب‌های زهکشی شده معادن اورانیم در پرکردن معدن زیرزمینی اورانیم ساغند با نگرش کاهش آلودگی‌های زیست محیطی

محمدرضا نیک‌گفتار*[۱]، محمد عطایی[۱]، رضا خالوکاکایی[۱]، محمدرضا رضوانیان‌زاده[۲]

۱. دانشکده‌ی مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، صندوق پستی: ۳۶۱۹۹-۹۵۱۶۱، شاهرود - ایران

۲. پژوهشکده‌ی پلاسما و گداخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی، صندوق پستی: ۱۴۳۹۹-۵۱۱۱۳، تهران - ایران

مقاله‌ی فنی

تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۹/۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۳/۸

چکیده

در معادن اورانیم بخشی از باطله‌های استخراجی دارای عیاری کم‌تر از عیار حد می‌باشند و به‌عنوان باطله در سطح زمین دپو می‌شوند، لذا این احتمال وجود دارد که در طول زمان با توجه به فرسایش و بارندگی‌های صورت گرفته، بخشی از این مواد اورانیم‌دار در آب‌های جاری حل شده و در سطح زمین و محیط زیست پخش گردند. باطله‌های استخراجی و دپو شده در سطح زمین و هم‌چنین آب‌های زهکشی‌شده از حفریات زیرزمین را می‌توان مجدداً در اختلاط پرکننده‌های بتنی مورد استفاده قرار داد. در این تحقیق از باطله‌های معادن روباز و زیرزمینی اورانیم ساغند نمونه‌هایی تهیه شد و در طرح اختلاط پرکننده‌های بتنی مورد استفاده قرار گرفت. با بررسی‌ها و تحلیل‌های صورت گرفته مشخص شد که می‌توان بخش عظیمی از باطله‌های دپو شده و آب زهکشی‌شده را در اختلاط پرکننده‌های بتنی برای پرکردن کارگاه‌های استخراج معدن زیرزمینی اورانیم ساغند، مورد استفاده قرار داد که این امر علاوه بر کاهش هزینه‌های معدن‌کاری و افزایش ایمنی معدن، باعث کاهش آلودگی‌های زیست محیطی نیز می‌شود.

کلیدواژه‌ها: عیار حد، باطله معادن اورانیم ساغند، آلودگی زیست محیطی، پرکننده بتنی

Utilization of extracted wastes and drained waters from uranium mines to backfill Saghand underground uranium mine aiming at reducing environmental hazards

M.R. Nikgoftar*[1], M. Ataei[1], R. Kakaie[1], M.R. Rezvanianzadeh[2]

1. Faculty of Mining, Petrozeum Geophysics Engineering, Shahrood University Technology, P.O.Box: 36199-95161, Shahrood – Iran
2. Reactor and Nuclear Safety Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O.Box: 14155-1339, Tehran – Iran

Technical Paper

Received 30.11.2018, Accepted 29.5.2019

Abstract

In uranium mines, the excavated waste has a lower grade than the threshold grade and is dumped on the surface as waste material. Due to erosion and rainfall over time, it is very likely that part of the uranium content is washed out of waste dump and leaked into surface and subsurface water resources and cause severe environmental hazards. The excavated waste during mining, as well as water collected during the drainage process of underground excavations, can be reused in the preparation of concrete fillers. In this study, samples of concrete backfill material were prepared by using waste material excavated from Saghand open pit and underground mines. Based on conducted testing and analyses, it was found that a large proportion of deposed waste and drained water can be used to prepare concrete fillers to fill stopes in Saghand underground mine. This process leads to a major reduction in mining costs, increased safety of mining operations, and significant improvements in reducing environmental pollutions.

Keywords: Cut-off grade, Uranium mines waste, Environmental pollution, Concrete fillers

*Email: mnikgoftar@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

واژه پرکردن برای موادی به‌کار برده می‌شود که برای پرکردن حفرات (کارگاه‌های خالی) ناشی از فعالیت‌های معدنی مورد استفاده قرار می‌گیرند. دلایل متعددی برای پرکردن فضاهای زیرزمینی ایجاد شده از معدن‌کاری وجود دارد که در محدوده وسیعی از قبیل فراهم‌کردن یک نگه‌دارنده منطقه‌ای تا دفن باطله متغیر است. مطالعات آماری انجام شده نشان می‌دهد که بهبود پایداری کمربالا و افزایش ضریب بازیابی ماده معدنی مهم‌ترین دلایل برای کاربرد سیستم پرکردن در معادن است [۱]. از دیگر اهداف قابل ذکر و مهم می‌توان به کنترل ترقیق و نگه‌داری منطقه اشاره نمود. علاوه بر این مواردی نظیر بهبود تهویه، کنترل آتش‌سوزی (در معادن مستعد آتش‌سوزی)، محافظت از محیط زیست و غیره را می‌توان از سایر اهداف استفاده از مواد پرکننده دانست [۱].

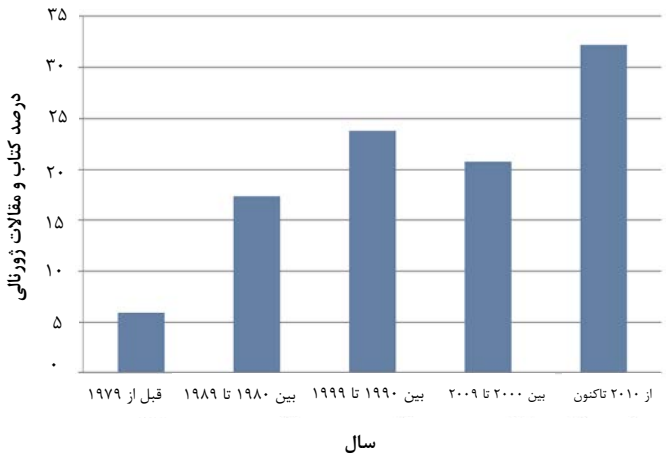
روش‌های پرکردن مکانیزه و نوین کارگاه‌های استخراج معادن زیرزمینی و فضاهای استخراج شده، مبحثی می‌باشد که در این دهه مورد توجه قرار گرفته است. دلیل این امر نیز به خاطر مشکلاتی بوده است که در معادن به خاطر عدم توجه به این مقوله رخ داده است. در سال‌های اخیر کارهای پژوهشی و مقالات زیادی در خصوص روش‌های پرکردن معادن زیرزمینی و فضاهای استخراجی و ترکیب مصالح مورد استفاده در پرکننده‌ها، صورت گرفته است که در شکل ۱ درصد کارهای پژوهشی در دهه‌های مختلف ارایه شده است [۱].

در این تحقیق با توجه به همه مزایای پرکردن که ذکر شد، قرار است یک مزیت مهم دیگر به خصوص در معادن اورانیم که کمک قابل توجهی در حفظ محیط زیست می‌نماید، انجام شود و آن هم استفاده از باطله‌های استخراج شده و آب زه‌کشی شده از حفریات معادن اورانیم در اختلاط پرکننده‌های بتنی برای پرکردن کارگاه‌های استخراج معدن زیرزمینی ساغند می‌باشد.

۲. مشخصات کلی معدن زیرزمینی ساغند

معدن زیرزمینی ساغند در ۱۸۰ کیلومتری شمال شرق شهر یزد قرار گرفته است و گسترش ماده معدنی از عمق حدود ۱۷۰ متری تا ۳۵۰ متری سطح زمین می‌باشد. با توجه به پراکندگی توده‌های معدنی و تغییرات پی‌درپی در میزان شیب و ضخامت این توده‌ها می‌بایست ترکیبی از روش‌های استخراج زیرزمینی مرسوم از قبیل روش استخراج کندن و پرکردن اتاقی، کندن و پرکردن تونلی، جبهه کار طولانی و . . . جهت استخراج کانسنگ اورانیم استفاده نمود [۱].

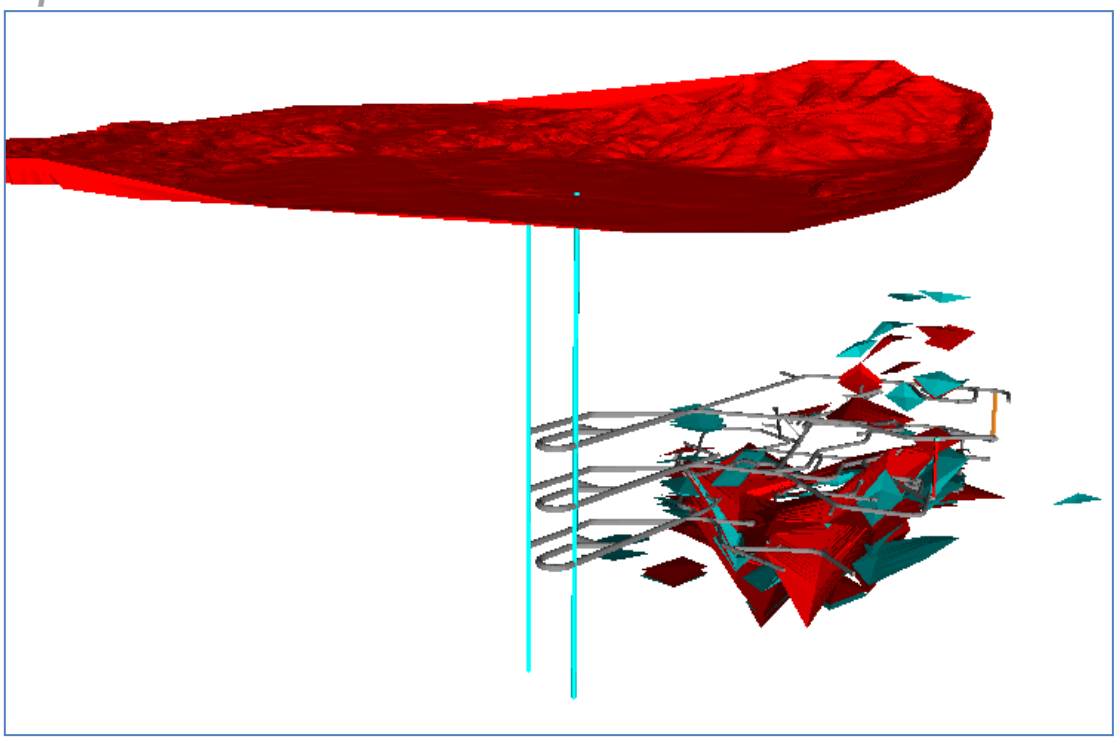
استخراج کانسنگ اورانیم در این معدن از طریق دو حلقه چاه و شبکه تونلی حفر شده در افق‌های مختلف صورت می‌گیرد. هر افق از تونل‌های به‌هم پیوسته‌ای تشکیل شده که با گسترش این تونل‌ها در توده‌های معدنی و ایجاد کارگاه‌های استخراجی، کانسنگ اورانیم استخراج شده و از طریق چاه شماره یک به سطح زمین منتقل می‌شود. کلیه نقل و انتقال نیروی انسانی و تجهیزات موردنیاز از طریق چاه شماره دو این معدن که به‌عنوان چاه ورود هوای تمیز می‌باشد، انجام می‌شود. در شکل ۲ نمایی سه‌بعدی از حفریات معدن زیرزمینی ساغند و در شکل ۳ نمایی سه‌بعدی از یکی از کارگاه‌های استخراج این معدن را نشان می‌دهد.



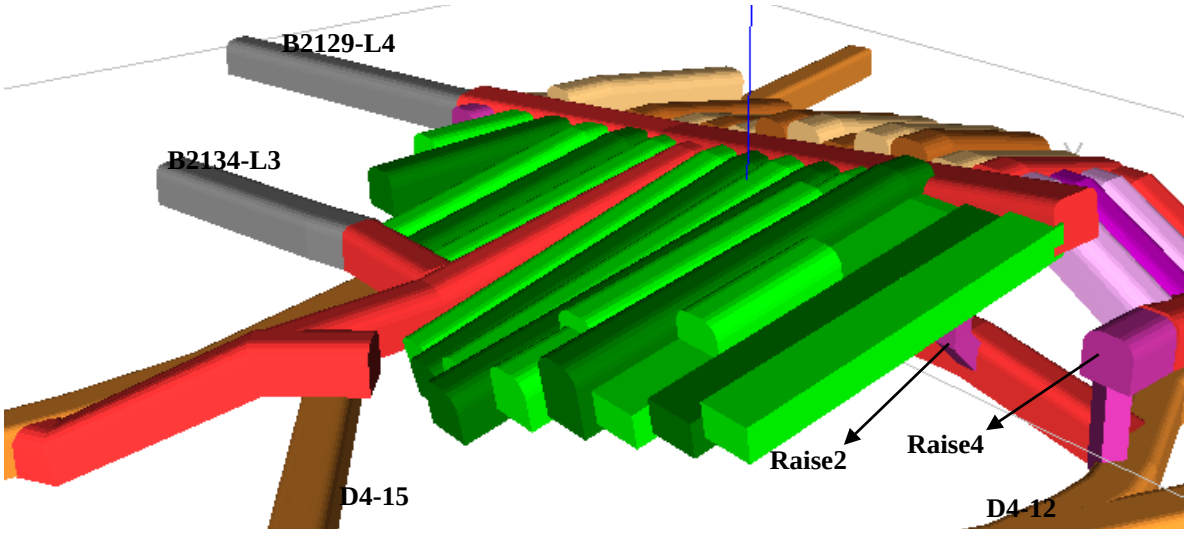
شکل ۱. درصد کتب و مقالات انتشار یافته در خصوص پرکردن فضاهای زیرزمینی در سال‌های مختلف [۱].

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲. مدل سه‌بعدی کان‌سنگ اورانیم نسبت به سطح زمین و حفریات زیرزمینی [۴].



شکل ۳. نمایی سه‌بعدی یکی از بلوک‌های استخراجی معدن زیرزمینی ساغند [۴].

۳. مطالعات گذشته و نقدهای وارده

در اوایل سال ۱۹۳۳، در معدن مونت لیل[1] از پرکردن هیدرولیکی استفاده شد. از آن‌جا که این معدن در منطقه‌ایی کوهستانی واقع شده بود و دسترسی‌هایی برای زه‌کشی کارگاه استخراج موجود بود، در این معدن مشکل زه‌کشی و ظرفیت پمپ‌های زه‌کشی اصلاً بروز نکرد. در سال ۱۹۴۰ در بخش جنوبی معادن بروکن هیل پرکردن هیدرولیکی به‌عنوان روش اصلی مورد استفاده قرار گرفت. با گذشت حدود دو دهه از شروع پرکردن هیدرولیکی در معادن مونت‌لیل و بروکن‌هیل این دانش به سرعت گسترش پیدا کرد و در سرتاسر استرالیا و در هرجا که پرکردن مورد نیاز بوده، استفاده شد [۲]. کوولینگ[2] گزارش داد یکی از مشکلات اساسی پرکردن

1. Mount Lyell

2. Cowling

www.SID.ir

Archive of SID

هیدرولیکی، مسئله آب‌های اضافی بود که به داخل معدن پمپ می‌شد. در دهه ۱۹۵۰ پرکردن هیدرولیکی کاربرد وسیعی در معادن کانادا پیدا کرد، به ویژه در کانسارهای توده‌ای در ناحیه سادبوری[1] که در آن‌ها روش معدن‌کاری از روش کرسی‌چینی به روش کندن و پرکردن در حال تغییر بود. فاز بعدی تکامل پرکردن، در دهه ۱۹۶۰-۱۹۵۰ با تمرکز براضافه کردن ماده چسباننده (عمدتاً سیمان) به پرکردن هیدرولیکی شکل گرفت، به‌طوری‌که در سال ۱۹۶۰ استفاده از سیمان پرتلند برای پایدارسازی توده‌های پرکننده هیدرولیکی آغاز شد و پس از انجام تعدادی آزمایش پرهزینه، استفاده از این تکنیک به‌صورت عملی در معدن فرود[2] در سال ۱۹۶۲ آغاز شد [۲].

در پایان دهه ۱۹۸۰ و اوایل دهه ۱۹۹۰ صنعت معدن‌کاری در آمریکای شمالی با مخاطرات جدیدی روبه‌رو شد. استخراج معادن به سمت ذخایر عمیق سوق داده شده بود و ابعاد کارگاه‌ها برای غلبه بر مشکل پایداری کوچک شده بودند. از طرف دیگر تمایل به مکانیزاسیون و افزایش تولید وجود داشت و نیاز بود تا پایه‌هایی که شدیداً تحت تنش قرار دارند نیز بازیابی شوند. مقدار تولید بالا و احتیاج به برگشت سریع ماشین آلات به کارگاه‌ها در معادن باعث شد تا خصوصیات متفاوتی از مواد پرکننده مدنظر قرار گیرند. زمان عمل‌آوری کوتاه به عنوان یک ویژگی ضروری و برای کاهش و فشرده‌سازی زمان سیکل تولید استخراج در نظر گرفته شد و در این حال پرکننده‌های سیمانی دوغابی تولید شد [۳].

تحقیقات بر روی روش پرکردن خمیری در دهه ۱۹۸۰ انجام شد. اولین کاربرد این سیستم در اوایل دهه ۱۹۸۰ در معدن بدگروند[3] در کشور آلمان گزارش شده است و بلافاصله اولین کاربرد این روش در آمریکای شمالی در معدن لاکی فرایدی[4] گزارش شده است. اولین کارخانه تولید پرکننده‌های خمیری در کانادا در معدن گارسن راه‌اندازی شد. به دنبال موفقیت‌های حاصل شده در معدن گارسن[5]، این نوع پرکردن به سرعت با فعالیت‌های انجام شده در معادن زیادی نظیر چیمو[6]، لوپین[7] و لوویکورت[8] متناسب گردید [۳، ۴].

با توجه به کارهای تحقیقاتی و اجرایی ذکر شده در خصوص پرکردن معادن، به‌صورت جامع و کلی در بیش‌تر مطالعات و کارهای صورت گرفته از تمام جنبه‌ها به مزایا و اهداف پرکردن نگاه نشده است. در بیش‌تر پژوهش‌های صورت گرفته از پرکردن برای پایداری حفریات زیرزمینی و کارگاه‌های استخراج معادن ذکر شده است. در بعضی از مطالعات علاوه بر پایداری فضاهای زیرزمینی به افزایش بازیابی ماده معدنی نیز پرداخته شده است. در بعضی مقالات و کارهای انجام شده به بحث نشست اشاره شده است، زیرا با افزایش عمق ذخایر معدنی از قبیل زغال‌سنگ و افزایش بازدهی تولید و استفاده از روش‌های کم‌هزینه استخراج همانند روش‌های استخراج تخریبی، نشست زمین بعد از سال‌های زیاد اتفاق افتاده است که این امر محققین را به فکر استفاده از مواد پرکننده در فضاهای استخراج شده سوق داده است [۵، ۶، ۷].

در معادن زیرزمینی اورانیم دنیا به خصوص کشور کانادا با توجه به اینکه عیار ذخایر اورانیم بالا بوده و روش‌های استخراج، روش‌های بدون ورود به فضاهای زیرزمینی می‌باشد (از قبیل معادن اورانیم مک‌آرتور ریور و سیگارلیک)، در این معادن اورانیم اصلاً توجهی به کاهش خروج گاز رادون و دفن باطله‌ها، توسط مواد پرکننده و پرکردن بتنی هیدرولیکی پرداخته نشده است. در این معادن فقط با پرکردن به پایداری فضاهای زیرزمینی، کاهش میزان ترقیق ماده معدنی با سنگ باطله و افزایش بازیابی کانسنگ توجه شده است [۸، ۹].

علاوه براین در مطالعات گذشته، حفظ محیط زیست مورد توجه قرار نگرفته است. باطله‌های استخراجی از معادن، به خصوص کارگاه‌های استخراج تا حدی آلوده به مواد رادیواکتیو بوده و دپوی آن‌ها در سطح زمین ممکن است آلودگی‌های زیست محیطی به بار آورد. لذا می‌بایست تا حد امکان این باطله‌ها مجدداً در چرخه پرکردن به عنوان مصالح مواد پرکننده مورد استفاده قرار گیرند. بر این اساس در این تحقیق سعی شده است در ارایه طرح اختلاط پرکننده بتنی مسایل زیست محیطی مورد توجه قرار گیرد [۱۰، ۱۱، ۱۲].

1. Sudbury
2. Frood
3. BadGround
4. Luckky Friday
5. Garson
6. Chimo
7. Lupin
8. Louvicourt

www.SID.ir

Archive of SID

۴. داده‌ها و روش تحقیق

در این تحقیق، به‌جهت استفاده از باطله‌های معادن روباز و زیرزمینی ساغند برای پرکردن کارگاه‌های استخراج معدن زیرزمینی ساغند در راستای افزایش بازیابی ماده معدنی و کاهش آلودگی‌های زیست محیطی، نمونه‌هایی از دپوهای باطله معادن ساغند گرفته شد و به‌عنوان مصالح سنگی در طرح‌های اختلاط مختلفی از پرکننده بتنی هیدرولیکی با توجه به میزان سیمان و آب مورد استفاده قرار گرفت (شکل‌های ۴ و ۵).

شکل ۴. تصویر دپوی باطله معدن روباز ساغند [۱].

شکل ۵. تصویری از دپوی باطله معدن زیرزمینی ساغند و نمونه‌گیری مصالح سنگی برای ساخت پرکننده بتنی [۱].

با توجه به وجود دو دپوی باطله معدن روباز با جنس سنگی متفاوت، نمونه‌گیری از دو دپوی باطله موجود در معدن روباز انجام شده است. منظور از باطله نوع اول، ماسه حاصل از باطله معدن روباز با جنس ژیپس- دولومیت و سرپانتین و نوع دوم ماسه باطله معدن روباز با جنس تالک- سرپانتین- مگنتیت متاسوماتیت می‌باشد. با افزایش عمق معدن روباز (از عمق ۳۰ متر به پایین‌تر) از میزان سنگ‌های آهکی و گچی کم شده و به میزان سنگ‌های مگنتیتی اضافه می‌شود. ترکیب شیمیایی نمونه معرف دپوهای باطله معدن روباز ساغند در جدول ۱ ارایه شده است.

باطله‌های معدن زیرزمینی عمدتاً از تالک- سرپانتین و مگنتیت متاسوماتیت تشکیل شده است و باتوجه به این‌که کانی‌سازی اورانیم عمدتاً در مجاورت سنگ‌های مگنتیت‌دار اتفاق افتاده است، لذا سنگ‌های باطله استخراج شده از کارگاه‌های استخراج بیش‌تر از نوع سنگ‌های آهن‌دار بوده و میزان سنگ‌های تالک و سرپانتین پایین می‌باشد. در ضمن مصالح سنگی باطله معدن زیرزمینی مورد استفاده در پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی به‌صورت نمونه‌های معرف از کلیه ترکیبات سنگی تشکیل شده است. ترکیب شیمیایی نمونه معرف کل باطله‌های معدن زیرزمینی ساغند در جدول ۲ ارایه شده است.

براساس تحلیل‌های مکانیک سنگی و پایداری در کارگاه‌های استخراج و حفریات معدن به پرکننده‌ای با مقاومت فشاری بیش از ۵ مگاپاسکال مورد نیاز است [۵]، لذا طرح اختلاط بتن پرکننده باید به گونه‌ای ارایه شود که مقاومت ۲۸ روزه آن بیش از ۵ مگاپاسکال باشد. طرح‌های اختلاط مختلفی با هدف استفاده بیش‌تر از باطله‌های معدن در پرکننده بتنی هیدرولیکی ساخته شد و در ادامه نمونه‌هایی از طرح‌های اختلاط ساخته شده برای تست مقاومت فشاری ۳ روزه، ۷ روزه و ۲۸ روزه پرکننده بتنی هیدرولیکی گرفته شد (شکل ۶).

در ادامه تست‌های مقاومت فشاری تک محوره بر روی نمونه‌های گرفته شده از دپوهای باطله معدن روباز و دپوی باطله معدن زیرزمینی انجام شد که نتایج آزمایش‌ها به همراه جزییات طرح‌های اختلاط مدنظر برای باطله‌های معدن روباز در جدول ۳ ارایه شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. ترکیب شیمیایی نمونه معرف باطله معدن روباز

SiO_2 (٪)	Fe_2O_3 (٪)	Na_2O (٪)	Al_2O_3 (٪)	TiO_2 (٪)	MnO (٪)	CaO (٪)	MgO (٪)	P_2O_5 (٪)
۲۶٫۹۹	۲۳٫۲۲	۲٫۱۳	۵٫۸۳	۰٫۱۲۲	۰٫۰۴۱	۱۰٫۸۳	۲۰٫۸۹	۰٫۳۲۹
K_2O (٪)	U (ppm)	Th (ppm)	S (٪)	V (٪)	L.O.I (٪)	H_2O^+ (٪)	H_2O^- (٪)	Cu (٪)
۰٫۰۷	۳۱	۱۲	۲٫۴۹	۰٫۲۵	۵٫۰۳	۱٫۳۷	۰٫۴۰	۰

جدول ۲. ترکیب شیمیایی نمونه معرف باطله معدن زیرزمینی

SiO_2 (٪)	Fe_2O_3 (٪)	Na_2O (٪)	Al_2O_3 (٪)	TiO_2 (٪)	MnO (٪)	CaO (٪)	MgO (٪)	P_2O_5 (٪)
۲۷٫۷۴	۳۱٫۲۴	۲٫۴۷	۳٫۶۴	۰٫۲۴۲	۰٫۱۶۴	۵٫۲۵	۱۸٫۳۳	۰٫۴۳۴
K_2O (٪)	U (ppm)	Th (ppm)	S (٪)	V (٪)	L.O.I (٪)	H_2O^+ (٪)	H_2O^- (٪)	Cu (٪)
۱٫۵۴	۲۹	۸	۱٫۵۱	۰٫۴۷	۴٫۰۸	۲٫۶۹	۰٫۱۹	۰

شکل ۶. نمونه‌های گرفته شده از یک طرح اختلاط پرکننده ساخته شده با باطله معدن زیرزمینی ساغند [۱].

جدول ۳. مشخصات طرح‌های اختلاط پرکننده بتنی ساخته شده با ماسه حاصل از باطله معدن روباز

شماره طرح اختلاط	طرح اختلاط	مصالح سنگی (کیلوگرم)	سیمان (کیلوگرم)	سایر مواد چسباننده (کیلوگرم)	آب (لیتر)	مقاومت (مگاپاسکال) ۳ روزه	۷ روزه	۲۸ روزه
۱	باطله روباز (نوع اول) + سیمان+ آب زه‌کشی شده‌ی معدن	۱۶۱۷	۳۸۱	۰	۵۳۳٫۷	۲٫۸۲	۳٫۲۱	۳٫۸۹
۲	باطله روباز (نوع دوم) + سیمان + آب معمولی	۱۶۱۷	۳۸۱	۰	۵۳۳٫۷	۳٫۵۱	۴٫۵۲	۶٫۴۴
۳	باطله روباز (نوع اول) + سیمان + آب معمولی	۱۶۱۷	۳۸۱	۰	۵۳۳٫۷	۲٫۶۵	۳٫۰۲	۳٫۶۰
۴	باطله روباز (نوع دوم) (۵۰٪)+ باطله معدن زیرزمینی (۵۰٪) + آهک (۲۵٪) + سیمان (۷۵٪) + آب زه‌کشی شده‌ی معدن	۱۶۱۷	۲۸۵٫۷۵	۹۵٫۲۵	۵۱۰	۳٫۰۳	۳٫۸۲	۵٫۱۷
۵	باطله روباز (نوع دوم) (۵۰٪) + باطله زیرزمینی (۵۰٪) + سیمان + آب معدن	۱۷۰۰	۲۵۰	۰	۳۹۶	-	۳٫۹۸	۵٫۱۹

www.SID.ir

Archive of SID

با انجام آزمایش‌ها و اندازه‌گیری مقاومت فشاری تک محوره ۲۸ روزه، مشخص می‌شود که پرکننده‌های بتنی ساخته شده با مصالح سنگی باطله‌های نوع اول معدن روباز که بیش‌تر از سنگ‌های آهکی و گچی تشکیل شده است، دارای مقاومت پایینی بوده و به تنهایی امکان استفاده در پرکننده‌ها را ندارد. پرکننده‌های ساخته شده با مصالح سنگی باطله‌های نوع دوم معدن روباز که بیش‌تر دارای سنگ‌های مگنتیتی بوده، داری مقاومت فشاری ۲۸ روزه بالاتر از ۵ مگاپاسکال بوده و لذا می‌توان از این مصالح سنگی در ترکیب پرکننده‌های بتنی برای پرکردن معدن زیرزمینی ساغند استفاده نمود [۱۳].

هم‌چنین در ساخت پرکننده‌های بتنی در راستای کاهش آلودگی‌های زیست محیطی و کاهش هزینه‌های معدن‌کاری از دو نوع آب شامل آب معمولی و آب زهکشی شده‌ی معدن استفاده شده است. آب معمولی، آب مصرفی سایت بوده و از سایت چاه نور در فاصله ۷۰ کیلومتری معدن تهیه و به سایت معدن منتقل می‌شود. آب معدن نیز آب زه‌کشی شده از حفریات معدن زیرزمینی ساغند می‌باشد.

از مقایسه طرح‌های اختلاط شماره ۱ و ۲ در جدول ۳ که میزان تمام مصالح تشکیل‌دهنده پرکننده بتنی یکسان بوده و فقط نوع آب‌های مورد استفاده متفاوت می‌باشد، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که پرکننده‌ی ساخته شده با آب زه‌کشی شده معدن تا حدی جزیی نسبت به پرکننده‌ی ساخته شده با آب معمولی، دارای مقاومت فشاری بالاتری بوده که دلیل این امر نیز به احتمال فراوان به‌خاطر وجود املاح معدنی بالاتر از قبیل سدیم، منیزیم و پتاسیم در آب زه‌کشی شده معدن و سختی بالای آن نسبت به آب معمولی می‌باشد که تأثیر مثبتی در مقاومت فشاری پرکننده بتنی داشته است. نتایج آنالیز شیمیایی آب‌های مورد استفاده در جدول ۴ و جدول ۵ ارایه شده است.

هم‌چنین از مقایسه طرح‌های اختلاط شماره ۴ و ۵ جدول ۳ مشخص است که استفاده از آهک در پرکننده‌های بتنی تأثیر منفی بر مقاومت فشاری تک محوره آن دارد، لذا می‌بایست تا حد امکان از استفاده‌ی مصالح سنگی آهکی در ترکیب پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی خودداری شود.

در جدول ۶ طرح اختلاط‌های مختلف پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی ساخته شده با باطله‌های معدن زیرزمینی همراه با مقاومت‌های فشاری تک محوری ارایه شده است. دلیل ارایه تعداد زیاد طرح اختلاط‌ها برای باطله‌های معدن زیرزمینی با میزان سیمان متغیر و جای‌گزینی سایر مواد چسباننده به جای سیمان، علاوه بر مدنظر قراردادن ملاحظات زیست محیطی، پارامتر کاهش هزینه‌های پرکردن و معدن‌کاری نیز مدنظر بوده است که در خصوص هزینه‌های ساخت و اجرای پرکننده‌ها بتنی در این مقاله بحث نخواهد شد.

جدول ۴. آنالیز شیمیایی آب زه‌کشی شده‌ی معدن

عنصر (واحد)	PH	TDS (g/l)	Cl (ppm)	Mn (ppm)	Na (ppm)	P (ppm)	K (ppm)	Mo (ppm)	V (ppm)	Fe (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)
مقدار	۶٫۱	۱۰۰	۲۸۹۲۵	ND	۱۴۸۴۴	۰٫۵	۵۳۱	ND	ND	۰٫۳	۸۳۳	۶۵۵

جدول ۵. آنالیز شیمیایی آب معمولی (آب مصرفی سایت)

عنصر (واحد)	PH	TDS (g/l)	Cl (ppm)	Mn (ppm)	Na (ppm)	P (ppm)	K (ppm)	Mo (ppm)	V (ppm)	Fe (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)
مقدار	۷٫۱	۰٫۶۵	۴۲۶	۰٫۳	۲۹۶	-	۱۰۰	ND	-	۰٫۷	۲٫۷	۴٫۱

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۶. مشخصات طرح‌های اختلاط پرکننده بتنی ساخته شده با ماسه حاصل از باطله معدن زیرزمینی

ردیف	طرح اختلاط پرکننده بتنی هیدرولیکی	مقدار آب (کیلوگرم)	مصالح سنگی (کیلوگرم)	مقدار سیمان (کیلوگرم)	سایر مواد چسباننده (کیلوگرم)	مقاومت فشاری (مگاپاسکال)		
						۳ روزه	۷روزه	۲۸روزه
۱	باطله معدن زیرزمینی + سیمان + آب معمولی	۴۱۹	۱۶۱۷	۳۸۱	-	۵/۹	۷/۱	۹/۴
۲	باطله معدن زیرزمینی+ سیمان +آب زه‌کشی شده‌ی معدن	۴۱۹	۱۶۱۷	۳۸۱	-	۶/۲	۷/۴	۹/۵۸
۳	باطله معدن زیرزمینی+ سیمان + ماسه بادی (۳۰٪) + آب زه‌کشی شده‌ی معدن	۴۰۰	۱۶۱۷	۲۶۷	۱۱۴ (ماسه بادی)	۳/۴۸	۴/۵۲	۵/۶۸
۴	باطله معدن زیرزمینی+ سیمان + آهک (۲۵٪) + آب زه‌کشی شده‌ی معدن	۴۷۶	۱۶۱۷	۲۸۶	۹۵ (آهک)	۲/۹	۳/۸۸	۴/۸۹
۵	باطله معدن زیرزمینی+ سیمان+ آب معدن	۴۱۸	۱۸۰۰	۲۰۰	-	۲/۰۴	۲/۴۸	۳/۱
۶	باطله معدن زیرزمینی (۵۰٪) + باطله روباز (۵۰٪) + سیمان + آهک + آب معدن	۴۹۲	۱۶۱۷	۲۸۶	۹۵ (آهک)	۳/۰۳	۳/۸۲	۵/۱۷
۷	باطله معدن زیرزمینی + سیمان + سرباره کوره مذاب (۳۰٪) + آب معمولی	۴۰۰	۱۶۱۷	۲۶۷	۱۱۴ (سرباره کوره مذاب)	۴/۲	۵/۷	۷/۲
۸	باطله معدن زیرزمینی + سیمان + آب معدن	۳۴۰	۱۷۰۰	۲۵۰	-	-	۵/۶	۷/۱۵
۹	باطله معدن زیرزمینی + سیمان + سرباره کوره مذاب + آب معدن	۳۹۰	۱۶۱۷	۱۹۰	۱۹۱ (سرباره کوره مذاب)	-	۲/۸۵	۴/۳
۱۰	باطله معرف معدن روباز (۵۰٪) + باطله معدن زیرزمینی (۵۰٪) + سیمان + آب معدن	۳۹۶	۱۷۰۰	۲۵۰	-	-	۳/۹۸	۵/۳۵

از جدول ۶ مشخص است که طرح اختلاط‌های ساخته شده با باطله‌های معدن زیرزمینی مقاومت فشاری بالاتری را از خود نشان داده‌اند که دلیل آن نیز میزان مگنتیت بالا در این باطله‌ها نسبت به باطله‌های معدن روباز می‌باشد. هم‌چنین مشخص است که با ترکیب باطله‌های معادن روباز و زیرزمینی در طرح اختلاط علاوه بر مصرف کل باطله‌ها و آب زه‌کشی‌شده معدن در راستای کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی، با کاهش میزان سیمان هزینه‌های پرکردن نیز به شدت کاهش می‌یابد. با توجه به تست‌های انجام شده و نتایج آزمایش‌ها می‌توان کلیه باطله‌های معادن یک و دو ساغند و آب‌های خروجی از معدن را با میزان سیمان حدود ۲۵۰ کیلوگرم در یک مترمکعب پرکننده‌ی بتنی برای پرکردن کارگاه‌های معدن زیرزمینی ساغند مورد استفاده قرار داد که این امر هزینه‌های پرکردن را به شدت کاهش می‌دهد.

نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که با به کارگیری مصالح سنگی باطله زیرزمینی در ترکیب پرکننده‌های بتنی، امکان کاهش سیمان و جای‌گزینی بخشی از آن با موادی نظیر سرباره کوره مذاب، پوزولان و ماسه بادی نیز وجود دارد. هم‌چنین نتیجه‌گیری شد که جای‌گزینی بخشی از سیمان با آهک تأثیر منفی روی مقاومت فشاری پرکننده بتنی هیدرولیکی دارد لذا بهتر است از آهک در ترکیب پرکننده بتنی هیدرولیکی استفاده نشود.

همان‌گونه که از نتایج پیداست، با توجه به این‌که جنس باطله معدن زیرزمینی ساغند بیش‌تر از سنگ‌های مگنتیت و سرپانتین می‌باشد و این سنگ‌ها نسبتاً دارای مقاومت مطلوبی بوده و وزن مخصوص بالایی نیز دارند، لذا استفاده از باطله‌های این معدن در طرح‌های اختلاط نتایج بهتری را از نظر مقاومت فشاری پرکننده‌ها داده است. طرح‌های اختلاط ردیف ۱ و ۲ در جدول ۶ گویای این حقیقت می‌باشد. از طرفی با توجه به این‌که کانی اورانیم بیش‌تر با مگنتیت‌ها همراه می‌باشد، لذا استفاده از این نوع باطله‌ها در اختلاط پرکننده‌های بتنی کمک زیادی در حفظ محیط زیست می‌نماید. تالک موجود در باطله‌های معدن زیرزمینی بیش‌تر پرکننده بین درز و شکاف‌ها بوده و حجم بالایی نمی‌باشد. به‌صورت کلی، استفاده از تالک به عنوان مصالح سنگی در پرکننده‌های بتنی تأثیر منفی بر مقاومت فشاری آن دارد. در ضمن نمونه مصالح سنگی مورد استفاده در پرکننده‌های بتنی ساخته شده از باطله معدن زیرزمینی، معرف کل باطله‌های معدن زیرزمینی بوده است.

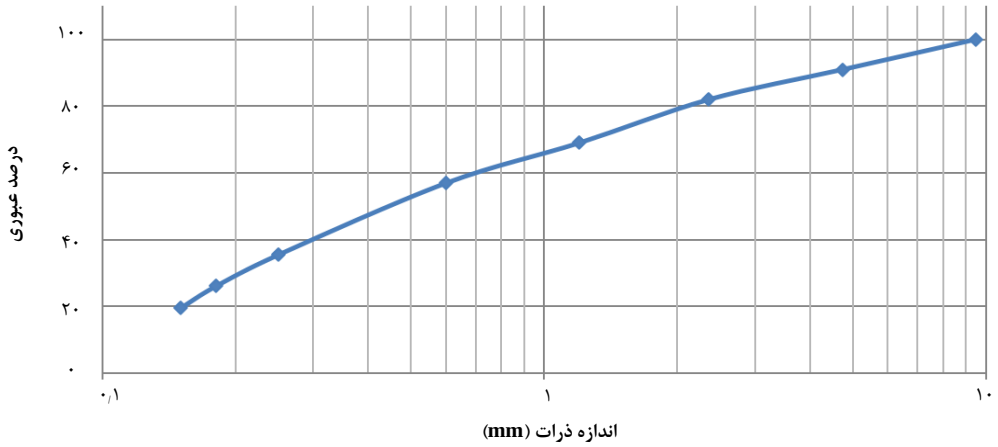
بخش زیادی از باطله‌های معدن روباز نیز که از مگنتیت تشکیل شده است، با به کار بردن در پرکننده‌های بتنی نتایج

www.SID.ir

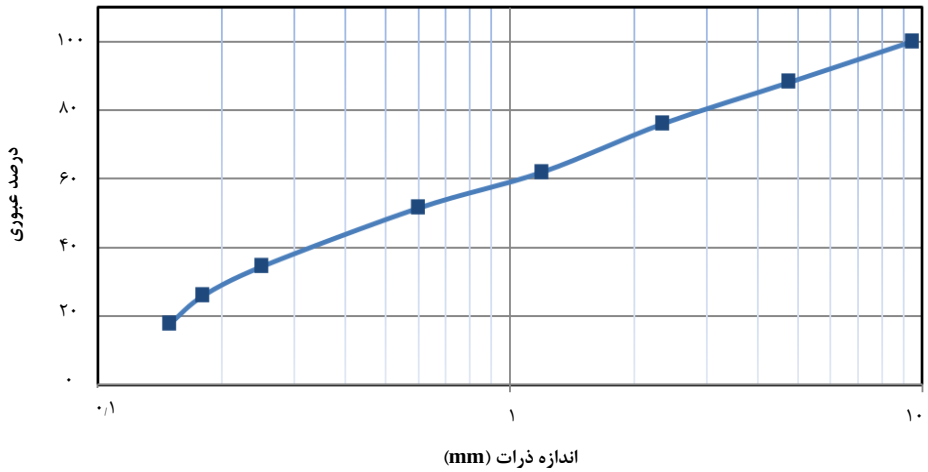
Archive of SID

مطلوبی از نظر مقاومت فشاری داده است. فقط بخشی از باطله روباز که از سنگ‌های گچ و آهکی تشکیل شده است، در مقاومت تأثیر منفی دارند که در صورت استفاده ترکیبی از این باطله با باطله‌های معدن زیرزمینی ساغند و با میزان سیمان حدود ۳۰۰ کیلوگرم در یک مترمکعب پرکننده، این مواد باطله نیز به صورت کامل در ترکیب پرکننده‌ها مورد استفاده قرار خواهند گرفت.

برای اجرای مطلوب، انتقال و پمپ مکانیزه پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی به داخل حفریات معدنی و کارگاه‌های استخراج از طریق لوله‌های مربوطه، محدودیت ابعاد دانه‌بندی مصالح سنگی وجود دارد که برای این امر می‌بایست ابعاد مصالح سنگی مورد استفاده زیر ۱۰ میلی‌متر باشد و توزیع دانه‌بندی به گونه‌ای باشد که مواد ریزدانه نیز همراه مصالح سنگی جهت پمپ بهتر پرکننده وجود داشته باشد، در غیر این‌صورت میزان سیمان مواد پرکننده باید افزایش پیدا کند، که این امر توجیه اقتصادی ندارد. با توجه به آزمایش دانه‌بندی باطله معدن روباز و زیرزمینی مشخص است که توزیع دانه‌بندی از یکنواختی و پیوستگی مطلوبی برخوردار است. به‌طور کلی، مقاومت فشاری بتن با افزایش ابعاد مصالح سنگی افزایش می‌یابد. در شکل‌های ۷ و ۸، نمودار دانه‌بندی باطله‌های معدن روباز و معدن زیرزمینی مورد استفاده در پرکننده‌های بتنی ارایه شده است.



شکل ۷. نمودار دانه‌بندی ماسه حاصل از باطله معدن روباز ساغند.



شکل ۸. نمودار دانه‌بندی ماسه حاصل از باطله معدن زیرزمینی ساغند.

www.SID.ir

Archive of SID

در تمامی آزمایش‌های طرح اختلاط کارگاهی انجام شده برای پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی کارگاه‌های استخراج زیرزمینی، از یک مقدار اسلامپ و روانی مشاهده‌ای استفاده شده است و مقدار آب مورد نیاز برای طرح‌های اختلاط نیز براین اساس تعیین شده است. در تمامی طرح‌های اختلاط انجام شده برای انتقال پرکننده بتنی در لوله‌های انتقال بتن، اسلامپ بتن دارای مقداری تقریباً بین ۲۰-۲۴ سانتی‌متر و دارای افت ریزشی می‌باشد. از اطلاعات طرح اختلاط‌های پرکننده‌ها مشخص است که وجود سنگ‌های آهکی و گچی باعث افزایش میزان مصرف آب در یک مترمکعب پرکننده بتنی شده و وجود مصالح سنگی مگنتیتی و با وزن مخصوص بالا باعث مصرف کم‌تر آب جهت رسیدن به روانی مدنظر می‌باشد. این امر نشان می‌دهد که طرح‌های اختلاط ساخته شده با باطله‌های معدن روباز نسبت به باطله‌های زیرزمینی مصرف آب بالاتری را به خود اختصاص می‌دهند. در شکل‌های ۹ و ۱۰ انجام آزمایش اسلامپ پرکننده بتنی هیدرولیکی نشان داده شده است.

در شکل ۱۱ تصویری از انجام آزمایش مقاومت فشاری تک محوره یکی از نمونه‌های نشان داده شده است.

شکل ۹. نمونه آزمایش اسلامپ انجام شده برای تعیین روانی پرکننده بتنی.

شکل ۱۰. تعیین میزان اسلامپ پرکننده بتنی هیدرولیکی.

شکل ۱۱. تصویری از نحوه اندازه‌گیری مقاومت فشاری ۲۸ روزه یکی از نمونه‌های پرکننده بتنی هیدرولیکی [۱].

۵. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

با توجه به تحقیقات، آزمایش‌ها و تجزیه و تحلیل‌های صورت گرفته در این مقاله، می‌توان به صورت زیر نتیجه‌گیری نمود:

- پرکردن بتنی هیدرولیکی باعث افزایش بازیابی ماده معدنی اورانیم در معادن زیرزمینی اورانیم می‌شود، به‌گونه‌ای که بازیابی ماده معدنی از ۶۰ درصد در حالت با روش‌های استخراج بدون پرکردن به حدود ۹۲ درصد در حالت با روش‌های استخراج با پرکردن بتنی هیدرولیکی می‌رسد.
- کل باطله‌های استخراجی از معادن روباز و زیرزمینی اورانیم را می‌توان به‌عنوان مصالح سنگی در پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی مجدداً در پرکردن فضاها و کارگاه‌های استخراجی معدن زیرزمینی ساغند مورد استفاده قرار داد

www.SID.ir

Archive of SID

که این امر کمک بسیار زیادی به جلوگیری از پخش شدن باطله آلوده به اورانیم نموده و توسعه پایدار معادن و ملاحظات زیست محیطی منطقه را مدّنظر قرار می‌دهد.

- باطله‌های معدن زیرزمینی به دلیل داشتن مقاومت و وزن مخصوص بالاتر که عمدتاً از مگنتیت تشکیل شده است، باعث بالاتر رفتن مقاومت پرکننده بتنی می‌شود.
- در معدن روباز با افزایش عمق معدن، باطله‌های با جنس مگنتیت افزایش یافته و این امر کمک زیادی به استفاده از آن‌ها در پرکننده‌ها و افزایش مقاومت پرکننده‌های بتنی می‌شود.
- نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری نشان داد که استفاده از آب زه‌کشی شده‌ی آلوده به مواد رادیواکتیو از حفریات زیرزمینی معدن در پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی علاوه بر حذف آلودگی‌های زیست محیطی سطحی (در اثر رها شدن این آب‌ها در سطح زمین) تأثیر مطلوبی هم در مقاومت فشاری پرکننده‌های بتنی داشته است.
- استفاده از آب زه‌کشی شده معدن نسبت به آب شرب مصرفی در پرکننده بتنی هیدرولیکی، هزینه تمام شده پرکننده بتنی را به شدت کاهش می‌دهد.
- انجام آزمایش‌ها نشان داد که امکان جای‌گزینی بخشی از سیمان پرکننده‌های بتنی با مصالحی هم‌چون پوزولان، سرباره کوره ذوب و ماسه بادی وجود دارد. ولی استفاده از آهک به عنوان بخشی از سیمان در پرکننده‌های بتنی هیدرلیکی تأثیر منفی داشته و توصیه می‌شود از آهک و گچ در ترکیب پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی استفاده نشود.
- استفاده از باطله‌های معادن روباز و زیرزمینی اورانیم به عنوان مصالح سنگی در پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی نسبت به پرکننده‌های ساخته شده با ماسه شسته شده، هزینه تمام شده پرکننده بتنی هیدرولیکی را کاهش می‌دهند.
- با بررسی کلیه طرح‌های اختلاط انجام شده با باطله‌های معادن روباز و زیرزمینی ساغند و نتایج حاصله از مقاومت فشاری، می‌توان مناسب‌ترین طرح اختلاط را طرح اختلاط ردیف ۱۰ جدول ۶ در نظر گرفت (باطله معدن روباز (۵۰٪) + باطله معدن زیرزمینی (۵۰٪) + سیمان + آب زهکشی شده‌ی معدن). در این طرح اختلاط، علاوه بر مصرف کل باطله‌ها و آب زه‌کشی شده‌ی معادن در پرکننده‌های بتنی، هزینه تمام شده آن نیز به دلیل مصرف کم‌تر سیمان نسبت به سایر طرح اختلاط‌ها پایین می‌باشد.

مراجع

1. M.R. Nikgoftar, *Presentation of the mixing plan for hydraulic concrete filler in underground uranium mine*, Shahrood university technology, (Iran, 2017).
2. S. Dehghan, *Numerical analysis and modeling of the behavior of cement pillars in stope and pillar method mining*, Science and Research branch of Islamic Azad University, (Iran, 2012).
3. J. Petrolito, R.M. Anderson, *Review of binder materials used in stabilized backfill*, CIM Bulletin, (2005).
4. S. Saw, M. Villaescusa, *Characterization of cemented rock fill materials for the Cosmos*, Nickel mine, (Western Australia, 2013).
5. M. Ataei, *Underground mining methods*, Shahrood university technology, (Iran, 2007).
6. M. Bronkhorst, G. Alain, D. Gregory, *Technical report*, Cigar Lake Operation, (Northern Saskatchewan, Canada, 2015).
7. D. Leslie, G. Alain, D. Gregory, *Technical Report*, McArthure River Operation, (Northern Saskatchewan, Canada, 2016).
8. M.R. Nikgoftar, *Detailed design of Saghand underground mine*, 27+28 block, (Iran, 2007).
9. *Instructions for filling underground mining stopes*, Publication of mining engineering, Ministry of industry and mines, (Iran, 2009).
10. E. De Souza, J. Archibald, A. Dirige, *Economics and perspective of underground backfill practices in Canadian mining*, *105th Annual General Meeting of the Canadian Institute of Mining*, Metallurgy and Petroleum. (Montreal, CIM, 2003).
11. T. Grice, *Underground mining fill development in Australia*, *Proceedings of the 7th International Mining and Metallurgy*, (Montreal, Que, 1998).
12. X. Feng, N. Zhang, L. Gong, *Application of a backfilling method in coal mining to realize an ecologically sensitive "Black Gold" Industry*, Energies, (2015).
13. A. Mortazavi, *Stability analysis and geomechanical design of the main excavations in saghand underground mine*, Emka Co, (Iran, 2006).

www.SID.ir