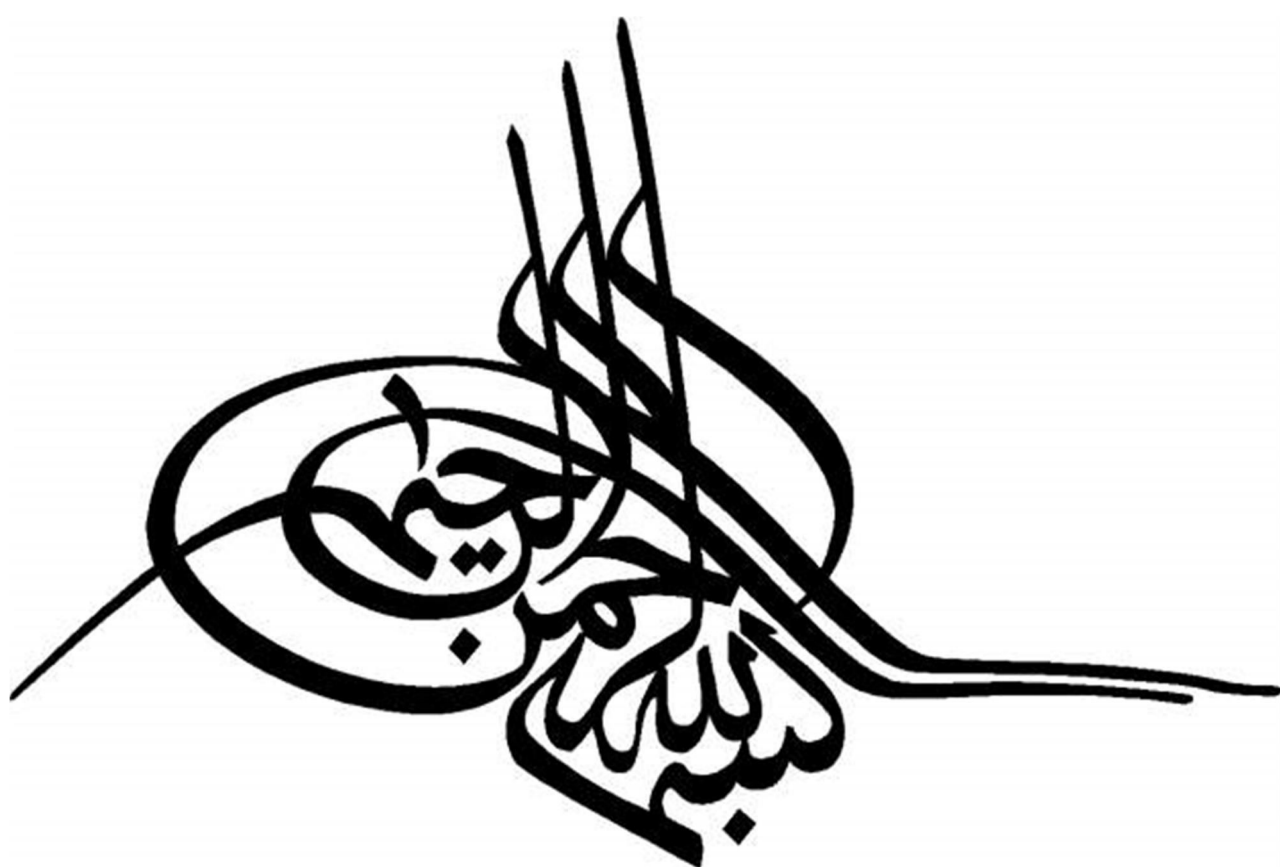






پردیس بین‌المللی خوارزمی

رساله دکتری استخراج مواد معدنی

ارائه طرح اختلاط مناسب پرکننده هیدرولیکی بتنی در معادن زیرزمینی
اورانیوم

نگارنده: محمدرضا نیک‌گفتار

اساتید راهنما

دکتر محمد عطایی

دکتر رضا خالوکاکایی

استاد مشاور

دکتر محمدرضا رضوانیان‌زاده

تیر ۱۳۹۷

شماره: ۳۰۴۵ / ۲۲ - م - الف

تاریخ: ۲۸ / ۵ / ۱۳۹۷

ویرایش:

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره ۱۲: صورت جلسه نهایی دفاع از رساله دکتری (Ph.D)
(ویژه دانشجویان ورودی های ۹۴ و ما قبل)

بدینوسیله گواهی می شود آقای محمدرضا نیک گفتار دانشجوی دکتری رشته مهندسی معدن - استخراج مواد معدنی به شماره دانشجویی ۹۴۰۱۲۵۵ ورودی مهرماه سال ۱۳۹۴ در تاریخ ۱۳۹۷/۹/۲۷ از رساله نظری ☒ / عملی ☐ خود با عنوان: ارائه طرح اختلاط مناسب پرکننده هیدرولیکی پستی درمعدان زیرزمینی لورانیوم دفاع و با اخذ نمره ۱۹ به درجه عالی نائل گردید.

☒ الف) درجه عالی: نمره ۱۹-۲۰	☐ ب) درجه بسیار خوب: نمره ۱۸/۹۹-۱۷
☐ ج) درجه خوب: نمره ۱۶/۹۹-۱۵	☐ د) غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد
☐ ه) رساله نیاز به اصلاحات دارد	

ردیف	هیئت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
	دکتر محمد عطایی - دکتر رضا کاکایی	اساتید راهنما	استاد	
	دکتر محمدرضا رضوانیان زاده	مشاور	استادیار	
	دکتر سید هادی حسینی	استاد مدعو خارجی	استادیار	
	دکتر فرهنگ سرشکی	استاد مدعو داخلی	دانشیار	
	دکتر رامین رفیعی	استاد مدعو داخلی	استادیار	
	دکتر سعید گلپای	سرپرست (نماینده) تحصیلات تکمیلی دانشگاه		

مدیر محترم تحصیلات تکمیلی دانشگاه:

ضمن تأیید مراتب فوق مقرر فرمائید اقدامات لازم در خصوص انجام مراحل دانش آموختگی آقای/خانم محمدرضا نیک گفتار بعمل آید.

نام و نام خانوادگی: رئیس دانشکده:

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:



تقدیم ہے:

روح پاک پدر و مادرم

تقدیر و تشکر:

در اینجا لازم می‌دانم از اساتید راهنما و مشاور، دوستان و همکاران خودم که در تهیه این رساله به من کمک کرده‌اند، تشکر کنم. همچنین از آقای مهندس محمود شریفی که در انجام آزمایش‌ها و نمونه‌گیری از انواع مصالح سنگی و پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی مرا یاری داده‌اند، قدردانی نمایم.

در خاتمه از همسر بسیار سپاسگزارم که بدون ترغیب شادمانه ایشان این امر امکان پذیر نبوده و همچنین از فرزندان عزیزم پارسا و پویان که بخش زیادی از زمان اختصاصی به آنها به این امر تعلّق گرفت.

تعهدنامه

اینجانب امین محمد رضا نیک گفتار دانشجوی دوره دکتری رشته استخراج مواد معدنی دانشکده پردیس بین‌المللی خوارزمی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه "ارائه طرح اختلاط مناسب پرکننده هیدرولیکی بتنی در معادن زیرزمینی اورانیوم" تحت راهنمایی آقایان دکتر محمد عطایی و دکتر رضا خالوکاکایی متعهد می‌شوم :

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « **Shahrood University of Technology** » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه‌های رایانه‌ای ، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده:

برای بازیابی حداکثری ذخایر معدنی زیرزمینی اورانیوم، کاهش میزان اشعه جذبی کارگران معدن، کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی و کاهش هزینه‌های معدنکاری می‌بایست تمهیدات ویژه‌ای اندیشیده شود. یکی از این تمهیدات، پرکردن فضاهای استخراجی با پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی به خصوص در روش استخراج کندن و پرکردن تونلی می‌باشد. پرکننده عبارت است از ماده یا موادی که جهت پرکردن فضاهای خالی حاصل از کارگاه‌های استخراج معادن زیرزمینی به منظور تأمین ایمنی یا انجام عملیات استخراج مورد استفاده قرار می‌گیرد. در پرکردن بتنی هیدرولیکی معادن زیرزمینی اورانیوم علاوه بر افزایش میزان بازیابی ذخایر معدنی برجا و افزایش ایمنی معدن، می‌توان میزان تشعشع حاصله از کانسنگ اورانیوم و اشعه جذبی کارگران معدن در حفاریات زیرزمینی را نیز کاهش داد.

آزمایش‌ها و برداشت‌های میزان تشعشع برای طرح‌های اختلاط بتنی هیدرولیکی ساخته شده از مصالح سنگی گوناگون برای ضخامت‌های مختلف پرکننده بتنی انجام شده است که نشان دهنده کاهش شدید میزان تشعشع و دز جذبی اشعه با افزایش ضخامت و وزن مخصوص پرکننده بتنی هیدرولیکی می‌باشد. این امر نیز اثبات شد که می‌توان باطله‌های استخراجی و آب زهکشی شده از معادن اورانیوم را که آلوده به مواد رادیواکتیو می‌باشند، در اختلاط پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی برای پرکردن معادن زیرزمینی اورانیوم در راستای کاهش آلودگی‌های زیست محیطی و کاهش هزینه‌های پرکردن مورد استفاده قرار داد. همچنین هزینه تمام شده ساخت یک مترمکعب از هر اختلاط بتنی محاسبه گردید، که با توجه تحلیل‌های ژئومکانیکی اختلاط‌هایی که مقاومت فشاری تک محوری ۲۸ روزه آن‌ها بالای ۵ مگاپاسکال باشد می‌تواند در محدوده طرح اختلاط‌های قابل قبول از نظر پایداری قرار گیرد. در نهایت طرح‌های اختلاطی که از نظر مقاومت فشاری و جذب اشعه بالاتر بوده و از نظر

اقتصادی هزینه پایین‌تری داشته‌اند، در اولویت انتخاب برای پرکننده معادن زیرزمینی اورانیوم قرار گرفته‌اند.

واژگان کلیدی: باطله معادن اورانیوم، پرکردن بتنی هیدرولیکی، تشعشع، مسائل اقتصادی، آلودگی زیست محیطی، طرح اختلاط

لیست مقالات مستخرج از رساله

الف) مقالات علمی - پژوهشی

۱- استفاده از باطله‌های استخراج شده و آب‌های زهکشی شده معادن اورانیوم در پرکردن معدن زیرزمینی اورانیوم ساغند با نگرش کاهش آلودگی‌های زیست محیطی - مجله علوم و فنون هسته ای - سازمان انرژی اتمی ایران - اردیبهشت ۱۳۹۷

۲- مطالعه آزمایشگاهی میزان پرتوزائی کانسنگ اورانیوم در حضور پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی برای استفاده در معادن زیرزمینی اورانیوم- مجله مهندسی منابع معدنی- دانشگاه بین المللی امام خمینی- خرداد ۱۳۹۷

۳- ارائه طرح اختلاط مناسب پرکننده بتنی هیدرولیکی در پرکردن معادن اورانیوم- مجله تحقیقات بتن- دانشگاه گیلان- تیر ۱۳۹۷

ب) مقالات کنفرانسی

۱- تاثیر مصالح سنگی پرکننده‌های بتنی بر کاهش تشعشع در معادن اورانیوم- کنفرانس ملی مهندسی مواد، متالورژی و معدن ایران- اسفند ۱۳۹۶

۲- مقایسه فنی- اقتصادی بین روش پرکردن با مصالح سنگی توده ای و پرکردن بتنی هیدرولیکی در معادن زیرزمینی اورانیوم- کنفرانس ملی مهندسی مواد، متالورژی و معدن ایران- اسفند ۱۳۹۶

۳- ارائه طرح اختلاط مناسب پرکننده بتنی هیدرولیکی در پرکردن معادن زیرزمینی اورانیوم (با نگرش اقتصادی و ایمنی)- دومین کنفرانس ملی فناوری‌های نوین بتن- بهمن ۱۳۹۶

۴- کاهش آلودگی‌های زیست محیطی با استفاده مجدد باطله‌ها و آب زهکشی‌شده معادن اورانیوم در پرکننده‌های بتنی چهارمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی محیط زیست و توسعه پایدار- خرداد ۱۳۹۷

فهرست مطالب

۱	۱- فصل اول: کلیات
۲	۱-۱- مقدمه
۵	۱-۲- سوالهای اصلی تحقیق
۶	۱-۳- ضرورت انجام تحقیق
۷	۱-۴- اهداف تحقیق
۸	۱-۵- نوآوری تحقیق
۹	۱-۶- ساختار رساله
۱۱	۲- فصل دوم: مبانی نظری و بررسی سابقه‌ی علمی موضوع
۱۲	۲-۱- مقدمه
۱۳	۲-۲- روش‌های استخراج معادن اورانیوم
۱۳	۲-۲-۱- معدنکاری روباز
۱۶	۲-۲-۲- معدنکاری زیرزمینی
۱۸	۲-۲-۳- فروشویی برجا
۱۸	۲-۳- سهم روش‌های معدنکاری در استخراج ذخایر اورانیوم دنیا
۱۹	۲-۴- روشهای مرسوم استخراج زیرزمینی معادن اورانیوم
۲۰	۲-۴-۱- روش استخراج دوبلی همراه با پرکردن
۲۲	۲-۴-۲- روش استخراج چال واریزی
۲۴	۲-۴-۳- روش استخراج با جت آب
۲۶	۲-۴-۴- روش استخراج ستونی
۲۸	۲-۴-۵- روش استخراج تونلی و پرکردن
۳۱	۲-۵- تاریخچه پرکردن
۳۱	۲-۵-۱- تاریخچه پرکردن در معادن استرالیا
۳۳	۲-۵-۲- تاریخچه پرکردن در معادن کانادا
۳۶	۲-۵-۳- تاریخچه پرکردن در ایران
۳۷	۲-۵-۴- آینده پرکردن در ایران
۳۷	۲-۶- تحقیقات و پژوهش‌های انجام شده
۴۶	۲-۷- نقد و بررسی مطالعات گذشته
۴۸	۲-۸- جمع بندی
۵۱	۳- فصل سوم: کلیاتی در مورد معادن ساغند (معادن مورد مطالعه رساله)
۵۲	۳-۱- کلیاتی در مورد معدن زیرزمینی ساغند
۵۲	۳-۱-۱- موقعیت جغرافیایی و شرایط آب و هوایی
۵۲	۳-۱-۲- زمین شناسی منطقه
۵۳	۳-۱-۳- بازکردن و شبکه معدن
۵۶	۳-۱-۴- روشهای استخراج زیرزمینی معدن
۵۸	۳-۲- کلیاتی در مورد معدن روباز ساغند

۶۱	فصل چهارم: ارائه انواع طرح‌های اختلاط پرکننده بتنی هیدرولیکی
۶۲	۱-۴- مقدمه
۶۲	۲-۴- امکان سنجی بتن‌های مختلف به عنوان پرکننده کارگاه‌های زیرزمینی
۶۳	۳-۴- طرح اختلاط پرکننده بتنی هیدرولیکی
۶۴	۴-۴- مبانی تعیین نسبت‌های اختلاط پرکننده بتنی
۶۵	۵-۴- مشخصات مصالح مصرفی در طرح‌های اختلاط بتن پرکننده
۶۵	۱-۵-۴- مصالح سنگی (سنگدانه‌ها)
۶۸	۱-۵-۴- نمونه برداری از محل‌های ذخیره مصالح سنگی
۷۰	۱-۵-۴- آزمایش‌های مصالح سنگی
۷۲	۲-۵-۴- سیمان
۷۴	۳-۵-۴- مواد جایگزین سیمان
۷۵	۳-۵-۴- سرباره کوره آهن‌گدازی (سرباره کوره ذوب)
۷۵	۲-۳-۵-۴- سیمان پوزولانی
۷۶	۳-۵-۴- آهک
۷۶	۴-۳-۵-۴- مشکلات استفاده از سیمان
۷۷	۴-۵-۴- آب
۷۸	۵-۵-۴- مواد افزودنی بتن
۸۰	۶-۴- ویژگی‌های پرکننده بتنی
۸۰	۱-۶-۴- مقاومت مشخصه پرکننده بتنی
۸۲	۲-۶-۴- وزن مخصوص بتن پرکننده
۸۳	۳-۶-۴- کارایی بتن پرکننده
۸۴	۴-۶-۴- پایداری بتن پرکننده
۸۵	۵-۶-۴- رده بتن
۸۵	۷-۴- نمونه‌گیری پرکننده بتنی
۸۹	۸-۴- اندازه‌گیری مقاومت فشاری بتن پرکننده
۹۲	۹-۴- اندازه‌گیری وزن مخصوص پرکننده بتنی
۹۲	۱۰-۴- آزمایش اسلامپ
۹۷	۱۱-۴- امکان سنجی آزمایشگاهی ساخت بتن سنگین
۹۹	۱۲-۴- مطالعات اقتصادی
۹۹	۱-۱۲-۴- تأمین مصالح سنگی
۱۰۱	۲-۱۲-۴- تأمین سیمان
۱۰۲	۳-۱۲-۴- تهیه آب مصرفی
۱۰۳	۱۳-۴- داده‌ها و روش تحقیق
۱۰۴	۱-۱۳-۴- طرح اختلاط پرکننده بتنی ساخته شده با باطله معدن روباز
۱۰۴	۱-۱-۱۳-۴- نمودار دانه بندی باطله معدن روباز
۱۰۵	۲-۱-۱۳-۴- نتایج حاصل از طرح‌های اختلاط ساخته شده با باطله معدن روباز
۱۰۷	۳-۱-۱۳-۴- نتایج حاصل از آزمایش پرتوایی
۱۱۲	۴-۱-۱۳-۴- محاسبات اقتصادی ساخت پرکننده بتنی با استفاده از باطله معدن روباز

۱۱۳	۴-۱۳-۲- طرح‌های اختلاط پرکننده بتنی ساخته شده با باطله های معدن زیرزمینی
۱۱۳	۴-۱۳-۲-۱- نمودار دانه بندی باطله معدن زیرزمینی
۱۱۴	۴-۱۳-۲-۲- نتایج حاصل از طرح های اختلاط پرکننده بتنی ساخته شده با باطله های معدن زیرزمینی
۱۱۷	۴-۱۳-۲-۳- نتایج حاصل از آزمایش پرتوزایی
۱۲۰	۴-۱۳-۲-۴- محاسبات اقتصادی ساخت پرکننده بتنی هیدرولیکی با باطله معدن زیرزمینی
۱۲۱	۴-۱۳-۳- طرح‌های اختلاط پرکننده بتنی هیدرولیکی با استفاده از ماسه رودخانه‌ای
۱۲۱	۴-۱۳-۳-۱- نمودار دانه بندی ماسه رودخانه‌ای
۱۲۲	۴-۱۳-۳-۲- نتایج حاصل از طرح‌های اختلاط پرکننده بتنی ساخته شده با ماسه رودخانه‌ای
۱۲۵	۴-۱۳-۳-۳- نتایج آزمایش پرتوزایی در پرکننده بتنی ساخته شده با ماسه رودخانه‌ای
۱۲۹	۴-۱۳-۳-۴- محاسبات اقتصادی ساخت پرکننده بتنی با ماسه رودخانه‌ای
۱۳۲	۴-۱۳-۴- طرح اختلاط پرکننده بتنی هیدرولیکی ساخته شده با ماسه شسته شده
۱۳۲	۴-۱۳-۴-۱- نمودار دانه بندی ماسه شسته
۱۳۳	۴-۱۳-۴-۲- نتایج حاصل از طرح‌های اختلاط پرکننده بتنی ساخته شده با ماسه شسته
۱۳۶	۴-۱۳-۴-۳- نتایج آزمایش پرتوزایی پرکننده‌های بتنی ساخته شده با ماسه شسته
۱۳۹	۴-۱۳-۴-۴- محاسبات اقتصادی ساخت پرکننده بتنی با ماسه شسته شده
۱۴۰	۴-۱۳-۵- طرح اختلاط پرکننده بتنی هیدرولیکی ساخته شده با ماسه باریت
۱۴۰	۴-۱۳-۵-۱- نمودار دانه بندی ماسه باریت
۱۴۲	۴-۱۳-۵-۲- نتایج حاصل از طرح اختلاط پرکننده بتنی ساخته شده با ماسه باریت
۱۴۳	۴-۱۳-۵-۳- نتایج حاصل از آزمایش پرتوزایی
۱۴۵	۴-۱۳-۵-۴- محاسبات اقتصادی ساخت پرکننده بتنی با استفاده از مصالح سنگی باریت
۱۴۶	۴-۱۴- مقایسه فنی- اقتصادی روش پر کردن با مصالح سنگی توده‌های و پر کردن بتنی هیدرولیکی
۱۴۷	۴-۱۴-۱- پرکننده بتنی هیدرولیکی
۱۵۱	۴-۱۴-۲- پرکننده مصالح سنگی توده‌های
۱۵۴	۴-۱۵- تجزیه و تحلیل آزمایش‌ها
۱۵۴	۴-۱۵-۱- ارتباط میزان کاهش تشعشع با ضخامت پرکننده بتنی هیدرولیکی
۱۵۵	۴-۱۵-۲- ارتباط وزن مخصوص پرکننده بتنی با میزان تشعشع
۱۵۶	۴-۱۵-۳- به کارگیری کل باطله های معادن روباز و زیرزمینی در پرکننده های بتنی هیدرولیکی
۱۵۷	۴-۱۵-۴- ارتباط نوع مصالح سنگی مورد استفاده در پرکننده های بتنی با هزینه تمام شده آن
۱۵۹	۴-۱۶- جمع بندی
۱۶۱	۵. فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۱۶۲	۵-۱- نتیجه گیری
۱۶۵	۵-۲- پیشنهادات
۱۶۷	۶. منابع و مراجع

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۲- تصویری از یک معدن روباز----- ۱۶
- شکل ۲-۲- نمایی از معدن زیرزمینی----- ۱۷
- شکل ۳-۲- سهم هریک از روش‌های معدنکاری در استخراج ذخایر اورانیوم دنیا تا سال ۲۰۱۴----- ۱۹
- شکل ۴-۲- شماتیکی از مقطع عرضی روش استخراج دوپلی----- ۲۱
- شکل ۵-۲- شماتیکی از مقطع عرضی روش استخراج چال واریزی----- ۲۳
- شکل ۶-۲- شماتیکی از مقطع عمودی روش استخراج JBM----- ۲۵
- شکل ۷-۲- تصویری از کارگاه‌های روش استخراج ستونی----- ۲۸
- شکل ۸-۲- پلان و تصویر یکی از کارگاه‌های استخراج در روش استخراج تونلی و پرکردن----- ۲۹
- شکل ۹-۲- نمای سه بعدی از طرح بازکننده‌ها و کارگاه‌های استخراج در روش استخراج تونلی و پرکردن در یکی از بلوک‌های معدن زیرزمینی اورانیوم ساغند----- ۳۰
- شکل ۱۰-۲- درصد کتب و مقالات انتشار یافته در خصوص پرکردن فضاهای زیرزمینی در سال‌های مختلف----- ۳۹
- شکل ۱۱-۲- ارتباط میزان مقاومت فشاری تک محوری با میزان ذرات جامد در پرکننده‌های مختلف----- ۴۰
- شکل ۱۲-۲- تصویری از ساخت پرکننده بتنی در معدن کاسموس استرالیا----- ۴۲
- شکل ۱۳-۲- تفاوت مقاومتی پرکننده ساخته شده در آزمایشگاه و فضاهای زیرزمینی----- ۴۳
- شکل ۱۴-۲- نشست زمین در روش استخراج تخریبی زغال----- ۴۶
- شکل ۱-۳- نمایی از بازکننده‌های اصلی معدن----- ۵۳
- شکل ۲-۳- مدل سه بعدی اورانیوم نسبت به سطح زمین و حفاریات زیرزمینی----- ۵۴
- شکل ۳-۳- نمایی از توده‌های ماده معدنی در تراز +۱۱۲۰----- ۵۴
- شکل ۴-۳- طرح سه بعدی یکی از بلوکهای استخراجی معدن زیرزمینی ساغند به روش کندن و پرکردن تونلی----- ۵۷
- شکل ۵-۳- پیت طراحی شده به همراه توده‌های معدنی و سطح توپوگرافی معدن (مقطع شرقی- غربی)----- ۵۸
- شکل ۶-۳- نمای سه بعدی پیت طراحی شده با و بدون توده‌های معدنی----- ۵۸
- شکل ۱-۴- سری سرندهای مورد استفاده در آزمایش دانه بندی مصالح سنگی پرکننده بتنی----- ۷۰
- شکل ۲-۴- آماده سازی قالب های مکعبی برای تهیه نمونه های بتن----- ۸۴
- شکل ۳-۴- ریختن لایه ای بتن و زدن میله تراکم فلزی در هر لایه----- ۸۶
- شکل ۴-۴- زدن چکش لاستیکی در هر لایه از ضخامت بتن----- ۸۶
- شکل ۵-۴- عمل آوردن نمونه های بتنی ساخته شده در حوضچه آب----- ۸۷
- شکل ۶-۴- دستگاه جک بتن شکن برای انجام آزمایش مقاومت فشاری تک محوری----- ۸۹
- شکل ۷-۴- توزین نمونه های بتنی برای بدست آوردن وزن مخصوص نمونه ها----- ۹۰
- شکل ۸-۴- نمایش شماتیک مراحل انجام آزمایش اسلامپ----- ۹۳
- شکل ۹-۴- نمونه آزمایش اسلامپ انجام شده برای تعیین روانی پرکننده بتنی----- ۹۴
- شکل ۱۰-۴- تعیین میزان اسلامپ بتن پرکننده----- ۹۵

- شکل ۴-۱۱- نمودار دانه‌بندی ماسه حاصل از باطله معدن روباز ----- ۱۰۳
- شکل ۴-۱۲- نمودار ستونی مربوط به نتایج مقاومت فشاری طرح‌های اختلاط مختلف با استفاده از باطله معدن روباز ----- ۱۰۵
- شکل ۴-۱۳- شماتیکی از نحوه انجام آزمایش و اندازه‌گیری میزان تشعشع ----- ۱۰۶
- شکل ۴-۱۴- تصویری از انجام آزمایش پرتوزایی در سطح پرکننده بتنی هیدرولیکی ----- ۱۰۷
- شکل ۴-۱۵- نمودار تغییرات عیار کانسنگ اورانیوم نسبت به ضخامت پرکننده بتنی در مجاورت کانسنگ اورانیوم ----- ۱۰۸
- شکل ۴-۱۶- نمودار تغییرات عیار توریم نسبت به ضخامت پرکننده بتنی در مجاورت کانسنگ اورانیوم ----- ۱۰۹
- شکل ۴-۱۷- نمودار تغییرات میزان تشعشع کلی نسبت به ضخامت پرکننده بتنی ساخته شده با باطله معدن روباز ----- ۱۰۹
- شکل ۴-۱۸- نمودار دانه‌بندی ماسه حاصل از باطله معدن زیرزمینی ----- ۱۱۲
- شکل ۴-۱۹- نمودار ستونی مربوط به نتایج مقاومت فشاری طرح‌های اختلاط مختلف با استفاده از باطله معدن زیرزمینی ----- ۱۱۴
- شکل ۴-۲۰- نمودار تغییرات عیار کانسنگ اورانیوم در ارتباط با ضخامت پرکننده بتنی ----- ۱۱۶
- شکل ۴-۲۱- نمودار تغییرات عیار توریم در ارتباط با ضخامت پرکننده بتنی ----- ۱۱۷
- شکل ۴-۲۲- نمودار تغییرات میزان تشعشع کلی در ارتباط با ضخامت پرکننده بتنی با باطله معدن زیرزمینی ----- ۱۱۷
- شکل ۴-۲۳- نمودار دانه‌بندی ماسه حاصل از مصالح رودخانه‌ای ----- ۱۲۰
- شکل ۴-۲۴- نمودار ستونی مربوط به نتایج مقاومت فشاری طرح‌های اختلاط مختلف ساخته شده با ماسه رودخانه‌ای ----- ۱۲۲
- شکل ۴-۲۵- نمونه‌های گرفته شده از پرکننده بتنی هیدرولیکی ساخته شده با مصالح رودخانه‌ای ----- ۱۲۲
- شکل ۴-۲۶- آزمایش مقاومت فشاری نمونه مکعبی از پرکننده بتنی هیدرولیکی ساخته شده با ماسه رودخانه‌ای ----- ۱۲۳
- شکل ۴-۲۷- پرکننده بتنی هیدرولیکی ریخته شده در مجاور کانسنگ اورانیوم ----- ۱۲۴
- شکل ۴-۲۸- نمودار تغییرات عیار کانسنگ اورانیوم در ارتباط با ضخامت پرکننده بتنی ----- ۱۲۵
- شکل ۴-۲۹- نمودار تغییرات عیار توریم در ارتباط با ضخامت پرکننده بتنی ----- ۱۲۶
- شکل ۴-۳۰- نمودار تغییرات میزان تشعشع کلی در ارتباط با ضخامت پرکننده بتنی ساخته شده با ماسه رودخانه‌ای ----- ۱۲۶
- شکل ۴-۳۱- ارتباط مقاومت فشاری تک محوری پرکننده بتنی هیدرولیکی با میزان سیمان آن ----- ۱۲۹
- شکل ۴-۳۲- نمودار دانه‌بندی ماسه شسته شده ----- ۱۳۱
- شکل ۴-۳۳- نمودار ستونی مربوط به نتایج مقاومت فشاری اختلاط‌های مختلف پرکننده‌های بتنی ساخته شده با ماسه شسته شده ----- ۱۳۳
- شکل ۴-۳۴- نمودار تغییرات عیار کانسنگ اورانیوم در ارتباط با ضخامت پرکننده بتنی ساخته شده با ماسه شسته ----- ۱۳۵
- شکل ۴-۳۵- نمودار تغییرات عیار توریم در ارتباط با ضخامت پرکننده بتنی ساخته شده با ماسه شسته ----- ۱۳۶
- شکل ۴-۳۶- نمودار تغییرات میزان تشعشع کلی در ارتباط با ضخامت پرکننده بتنی ساخته شده با ماسه شسته ----- ۱۳۶
- شکل ۴-۳۷- مقادیر باریت باقی مانده روی هر سری از الک‌ها ----- ۱۳۹

- شکل ۴-۳۸- نمودار دانه بندی ماسه حاصل از مصالح باریت ----- ۱۳۹
- شکل ۴-۳۹- نمودار ستونی مربوط به نتیجه مقاومت فشاری طرح اختلاط پرکننده بتنی ساخته شده با مصالح سنگی باریت ----- ۱۴۰
- شکل ۴-۴۰- نمودار تغییرات عیار کانسنگ اورانیوم در ارتباط با ضخامت پرکننده بتنی ساخته شده با ماسه باریت ۱۴۲
- شکل ۴-۴۱- نمودار تغییرات عیار توریم در ارتباط با ضخامت پرکننده بتنی ساخته شده با ماسه باریت ----- ۱۴۲
- شکل ۴-۴۲- نمودار تغییرات میزان تشعشع کلی در ارتباط با ضخامت پرکننده بتنی ساخته شده با ماسه باریت - ۱۴۳
- شکل ۴-۴۳- تخلیه بتن به داخل فیدر توسط تراک میکسر ----- ۱۴۵
- شکل ۴-۴۴- دستگاه ترمی مورد استفاده جهت انتقال بتن در معدن ----- ۱۴۶
- شکل ۴-۴۵- خط لوله منشعب شده از پمپ بتن و نصب شده در تونل ها ----- ۱۴۶
- شکل ۴-۴۶- آماده سازی انجام شده در کارگاه استخراج جهت پرکردن کارگاه (لارده چینی) ----- ۱۴۷
- شکل ۴-۴۷- نمودار تغییرات میزان تشعشع کلی در ارتباط با ضخامت پرکننده بتنی ساخته شده با انواع مصالح سنگی ----- ۱۵۲
- شکل ۴-۴۸- ارتباط وزن مخصوص پرکننده بتنی و کاهش میزان تشعشع کلی ----- ۱۵۴

فهرست جداول

جدول ۱-۲ - مقالات و پژوهش های بررسی شده.....	۳۸
جدول ۲-۲ - ترکیب معمول پرکننده های معادن زیرزمینی در استرالیا (Saw et al., 2012).....	۴۰
جدول ۳-۲ - طرح های اختلاط بتن مورد استفاده در معدن نیکل کاسموس استرالیا (Saw et al., 2013).....	۴۱
جدول ۴-۲ - مقاومت فشاری نمونه های مختلف پرکننده سنگی -سیمانی در معدن کاسموس (Saw et al., 2013).....	۴۲
جدول ۵-۲ - ترکیب پرکننده های مورد استفاده در معدن تی شنسکی با استفاده از سیمان و سرباره آسیا شده (Krupnika et al., 2013).....	۴۴
جدول ۶-۲ - ترکیب پرکننده های مورد استفاده در معدن تی شنسکی با استفاده از سیمان (Krupnika et al., 2013).....	۴۵
جدول ۱-۴ - طبقه بندی انواع سنگدانه ها از نظر شکل ظاهری (شکرچی زاده، ۱۳۸۸).....	۶۶
جدول ۲-۴ - ترکیب شیمیایی نمونه معرف باطله معدن روباز.....	۶۷
جدول ۳-۴ - ترکیب شیمیایی نمونه معرف باطله معدن زیرزمینی.....	۶۸
جدول ۴-۴ - تعیین حداقل مقدار نمونه برای انجام آزمایش دانه بندی (طاحونی، ۱۳۷۶).....	۶۹
جدول ۵-۴ - وزن مخصوص مصالح سنگی مورد استفاده در ترکیب پرکننده بتنی هیدرولیکی.....	۷۱
جدول ۶-۴ - مواد اصلی تشکیل دهنده سیمان (ربیعیه گهر، ۱۳۸۰).....	۷۳
جدول ۷-۴ - نتایج تجزیه و تحلیل شیمیایی سرباره کوره ذوب آهن اصفهان (مخدوم، ۱۳۸۴).....	۷۵
جدول ۸-۴ - آنالیز شیمیایی آب زهکشی شدهی معدن.....	۷۸
جدول ۹-۴ - آنالیز شیمیایی آب مصرفی مجتمع معدنی.....	۷۸
جدول ۱۰-۴ - رده های مختلف بتن و کاربرد آن (شکرچی زاده، ۱۳۸۸).....	۸۵
جدول ۱۱-۴ - اطلاعات مربوط به تهیه یک متر مکعب ماسه حاصل از باطله معدن روباز.....	۱۰۰
جدول ۱۲-۴ - بهای واحد تهیه مصالح سنگی مصرفی در پرکننده بتنی هیدرولیکی.....	۱۰۱
جدول ۱۳-۴ - اطلاعات مربوط به تهیه یک تن سیمان.....	۱۰۱
جدول ۱۴-۴ - هزینه مواد چسباننده غیرسیمانی مورد استفاده در طرحهای اختلاط پرکننده بتنی هیدرولیکی.....	۱۰۲
جدول ۱۵-۴ - هزینه تأمین آب مصرفی مجتمع.....	۱۰۳
جدول ۱۶-۴ - دانه بندی مصالح سنگی حاصل از باطله های معدن روباز.....	۱۰۴
جدول ۱۷-۴ - مشخصات طرحهای اختلاط پرکننده بتنی ساخته شده با ماسه حاصل از باطله معدن روباز.....	۱۰۶
جدول ۱۸-۴ - طرح اختلاط استفاده شده برای انجام آزمایش پرتو زایی.....	۱۰۹
جدول ۱۹-۴ - اطلاعات حاصل از آزمایش پرتو زایی پرکنندهی بتنی ساخته شده با باطله های معدن روباز.....	۱۱۰
جدول ۲۰-۴ - هزینه هر مترمکعب پرکننده بتنی ساخته شده با مصالح حاصل از باطله معدن روباز.....	۱۱۲
جدول ۲۱-۴ - دانه بندی مصالح حاصل از باطله های معدن زیرزمینی.....	۱۱۳
جدول ۲۲-۴ - اطلاعات کلی حاصل از طرحهای اختلاط پرکننده بتنی هیدرولیکی ساخته شده با ماسه حاصل از باطله معدن زیرزمینی.....	۱۱۵

جدول ۴-۲۳- طرح اختلاط استفاده شده از پرکننده بتنی هیدرولیکی ساخته شده با باطله معدن زیرزمینی برای انجام آزمایش پرتوزایی.....	۱۱۷
جدول ۴-۲۴- اطلاعات حاصل از آزمایش پرتوزایی اختلاط پرکننده بتنی ساخته شده با باطله های معدن زیرزمینی.....	۱۱۸
جدول ۴-۲۵- هزینه هر مترمکعب پرکننده بتنی ساخته شده با ماسه حاصل از باطله معدن زیرزمینی.....	۱۲۰
جدول ۴-۲۶- دانه بندی مصالح حاصل از ماسه رودخانه ای.....	۱۲۱
جدول ۴-۲۷- اطلاعات حاصل از طرح های اختلاط پرکننده بتنی ساخته شده با ماسه رودخانه ای.....	۱۲۳
جدول ۴-۲۸- مشخصات طرح اختلاط پرکننده بتنی ساخته شده با ماسه رودخانه ای برای انجام آزمایش پرتوزایی.....	۱۲۶
جدول ۴-۲۹- اطلاعات حاصل از آزمایش پرتوزایی پرکننده بتنی ساخته شده با ماسه رودخانه ای.....	۱۲۷
جدول ۴-۳۰- هزینه هر مترمکعب پرکننده بتنی هیدرولیکی ساخته شده با ماسه رودخانه ای.....	۱۲۹
جدول ۴-۳۱- اطلاعات مربوط به دانه بندی مصالح سنگی ماسه شسته شده.....	۱۳۲
جدول ۴-۳۲- نتایج حاصل از طرح های اختلاط پرکننده بتنی هیدرولیکی ساخته شده با ماسه شسته شده.....	۱۳۴
جدول ۴-۳۳- مشخصات طرح اختلاط پرکننده بتنی ساخته شده با ماسه شسته برای انجام آزمایش پرتوزایی.....	۱۳۶
جدول ۴-۳۴- اطلاعات آزمایش پرتوزایی پرکننده بتنی هیدرولیکی ساخته شده با ماسه شسته شده.....	۱۳۷
جدول ۴-۳۵- هزینه ساخت هر مترمکعب پرکننده بتنی هیدرولیکی ساخته شده با ماسه شسته شده.....	۱۳۹
جدول ۴-۳۶- دانه بندی ماسه حاصل از مصالح سنگی باریت.....	۱۴۰
جدول ۴-۳۷- اطلاعات طرح اختلاط پرکننده بتنی هیدرولیکی ساخته شده با ماسه باریت و نتایج آن.....	۱۴۲
جدول ۴-۳۸- اطلاعات حاصل از آزمایش پرتوزایی اختلاط پرکننده بتنی ساخته شده با ماسه باریت.....	۱۴۳
جدول ۴-۳۹- هزینه هر متر مکعب بتن پر کننده ساخته شده با استفاده از مصالح سنگی باریت.....	۱۴۶
جدول ۴-۴۰- آنالیز بهای ۷۰ متر مکعب بتن ریزی در یک روز کاری.....	۱۵۰
جدول ۴-۴۱- خلاصه آنالیز بهای ۷۰ متر مکعب بتن ریزی در یک روز کاری.....	۱۵۰
جدول ۴-۴۲- خلاصه آنالیز بهای خردایش، انتقال و پرکردن ۷۰ متر مکعب مصالح باطله سنگی.....	۱۵۲
جدول ۴-۴۳- آنالیز بهای خردایش، انتقال و پرکردن ۷۰ متر مکعب مصالح باطله سنگی.....	۱۵۳
جدول ۴-۴۴- اطلاعات مربوط به وزن مخصوص پرکننده بتنی هیدرولیکی و میزان تشعشع کلی آنها.....	۱۵۵
جدول ۴-۴۵- اطلاعات مربوط به پرکننده های قابل اجرای ساخته شده با باطله های معادن اورانیوم.....	۱۵۷
جدول ۴-۴۶- اطلاعات مربوط به پرکننده های بهینه انتخاب شده و اولویت اجرایی نمودن آنها.....	۱۵۸

۱. فصل اول: کلیات

۱-۱- مقدمه

یکی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین پایه‌های اقتصاد هر کشوری منابع معدنی و ذخایر تحت الارضی آن کشور است. نقش معادن و منابع در رشد اقتصادی هر کشوری انکارناپذیر است. بدون تردید بهره‌برداری از معادن یک عامل کاملاً مثبت و مهم در رشد و توسعه اقتصادی هر کشور است. معدن مهم‌ترین بخشی است که دولت می‌تواند با حجم کم سرمایه و اعتبار به معدن‌کاران معتبر و سایر تسهیلات حمایتی، باعث توسعه‌ی ساختاری و اقتصادی و رفاه اجتماعی کشور شود. معادن تامین‌کننده‌ی مواد اولیه مورد نیاز بسیاری از صنایع بوده و در امر خودکفایی صنعتی، ایجاد اشتغال مولد و افزایش تولید ناخالص ملی و درآمد سرانه یک کشور نقش بسزایی دارند.

ایران با دارا بودن مواد معدنی متنوع، ذخایر کشف شده و ذخایر بالقوه در میان قدرت‌های معدنی جهان جای گرفته و یکی از کشورهای غنی از حیث دارایی‌های معدنی به حساب می‌آید و در بسیاری از ذخایر مواد معدنی در دنیا ثروتمند است. با توسعه روزافزون و افزایش جمعیت جهان که به تبع آن استفاده از انرژی را روز به روز افزایش می‌دهد، یافتن منابع و یا روش‌های جدید تولید انرژی را به امری حیاتی برای تمامی کشورهای دنیا مبدل ساخته است. از طرفی دیگر با کاهش ذخایر سوخت‌های فسیلی و همچنین آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از این نوع سوخت‌ها، جایگزین نمودن منبع مطمئن و پاک بجای این نوع سوخت از برنامه‌های اصلی دولت‌ها است.

انرژی حاصل از شکافت هسته اتم‌ها یکی از گزینه‌های برتر به عنوان تأمین نیازهای انرژی و نگرش‌های زیست محیطی حال و آینده است. انرژی عظیمی که از مقدار بسیار کم عناصر رادیواکتیو نظیر اورانیوم و توریوم حاصل می‌شود، یکی از منابع عمده انرژی نسل‌های آینده است که با تلاش دست اندرکاران کشور حاصل خواهد شد. برای تحقق این هدف، و با وجود فضای تحریم‌ها، یافتن ذخایر معدنی اورانیوم در ایران از مهم‌ترین برنامه دولت جمهوری اسلامی بوده که با استخراج و

بهره‌برداری بهینه و حداکثری از این منابع و تبدیل آن به کیک زرد، زمینه استفاده از توان بالقوه این انرژی عظیم خدادادی فراهم می‌شود.

کشور ایران از نظر ذخایر اورانیوم نیز دارای ذخایر معدنی بوده و در حال ادامه عملیات اکتشاف جامع برای دستیابی به ذخایر بیشتر است. در شرایط فعلی اقتصاد ایران و تحریم‌های گسترده اقتصادی، یکی از مهم‌ترین فرصت‌های موجود برای گذر از این بحران، توجه اساسی به منابع معدنی و پتانسیل‌های بالقوه اورانیوم و ذخایر غیر اورانیوم در داخل کشور است.

شرایط و قوانین برای معادن اورانیوم و تغلیظ آن نیاز به یک سری استانداردهای فراتر از آنچه که دولت درمورد سایر معادن وضع نموده است، دارد. روش‌های معدنکاری و فرآوری را طوری طراحی می‌نمایند که محدودیت تشعشع رادیواکتیو در معادن اورانیوم برآورده شود. حساسیت‌های سیاسی موجود در مورد انرژی هسته‌ای بطور مستقیم بر اندازه و تعداد تجهیزات و ساختمان‌های تولیدی تأثیر می‌گذارد.

ایمنی کارگران، سلامتی آنها و حفاظت از محیط زیست پارامترهای کلیدی در طراحی معادن اورانیوم می‌باشد. روش اتخاذ شده برای معدنکاری نه فقط باید ایمنی کارکنان و محیط زیست را تأمین نماید، بلکه باید بتواند در حد قابل قبول نگه دارد (سازمان انرژی اتمی، ۱۳۷۴).

یکی از روش‌های معمول در معادن عیار بالای اورانیوم، آماده‌سازی و توسعه فضاهای معدنی در کمربالا یا کمربائین ماده معدنی بوده تا کارگران به اندازه کافی از ماده معدنی دور باشند. مدیریت باطله‌های معدن و باطله‌های کارخانه فرآوری نیز باید صورت پذیرد تا مشکلات زیست محیطی به بهترین نحو مرتفع شود.

یکی از روش‌های دیگر برای غلبه بر تشعشع و کاهش خروج گاز رادون، که در این رساله بطور مفصل به آن پرداخته خواهد شد، استفاده از مواد پرکننده سیمانی یا بتنی هیدرولیکی با میزان تخلخل و

منافذ پایین در کارگاه‌های استخراج می‌باشد، تاکنون در این زمینه گزارشی در دنیا مشاهده نشده است. با پرکردن اتاق‌های استخراجی و ایجاد سقف مصنوعی بتنی در بلوک‌های ضخیم معدنی، عملاً سطح آزاد دیواره‌های معدنی اورانیوم‌دار کاهش یافته و در هنگام بازیابی اتاق‌های میانی باقیمانده، پرسنل در مجاورت دیواره‌های معدنی اورانیوم‌دار قرار نمی‌گیرند و لذا سطح تماس افراد با مواد رادیواکتیو به حداقل می‌رسد. علاوه بر این مواد پرکننده‌ای که دارای تخلخل پایینی باشد، مانع خروج گاز رادون از داخل کانسنگ اورانیوم و دیواره‌های معدنی به فضاهای زیرزمینی می‌شود. جهت راستی آزمایشی و نتیجه‌گیری عملیاتی از این پرکننده‌ها، می‌توان با برداشتهای مداوم میزان گاز رادون در واحد حجم هوای حفاریات و همچنین میزان دز جذبی تشعشع در واحد زمان در کارگاه‌های استخراج با دیواره‌های پر شده و پر نشده به این اهداف دست یافت.

لذا با توجه به موارد فوق، نیاز است عملیاتی در معدنکاری مورد استفاده قرار گیرد که بتواند با توجه به کمبود منابع اورانیوم کشور حداکثر بازیابی از این ذخایر وجود داشته باشد. زیرا با توجه به تحریم‌های صورت گرفته علیه کشور ایران و عدم امکان خرید اورانیوم و کیک زرد از کشورهای دیگر، می‌بایست به گونه‌ای برنامه‌ریزی گردد که به لحاظ استراتژیک نیز کشور به خود متکی بوده و حداکثر استفاده و بازیابی ماده معدنی از ذخایر اورانیوم داخل کشور وجود داشته باشد. در این راستا یکی از عملیات و مباحث مهمی که بتواند نیازهای فوق را برآورده نماید استفاده از مواد پرکننده مناسب و روش پرکردن می‌باشد که با ایجاد پایه‌های بتنی با مواد پرکننده، نیاز به برجا گذاشتن پایه‌های نگهدارنده از ماده معدنی نمی‌باشد.

در این تحقیق سعی خواهد شد با توجه به وجود ذخایر زیرزمینی اورانیوم در داخل کشور، برای حداکثر بازیابی این ذخایر، پایداری کارگاه‌های استخراج و فضاهای زیرزمینی (مدنظر قرار دادن مقاومت فشاری تک محوره ۲۸ روزه پرکننده)، محافظت پرسنل در برابر تشعشع و کاهش خروج گاز رادون از دیواره‌ها و سینه کارهای معدنی، محافظت از محیط زیست، کنترل رقیق شدگی، ایجاد سقف

مصنوعی ایمن برای کارگاه‌های استخراج در ترازهای پایین‌تر، کنترل نشست، بازیابی پایه‌ها و بهبود تهویه، کاهش در هزینه‌های بازسازی معادن، کمک به جلوگیری از پدیده انفجار سنگ و، ماده پرکننده‌ای مناسب طراحی و تولید گردد که با حداقل هزینه تمام مواد فوق را بصورت کامل نیز برآورده نماید.

۱-۲- سوال‌های اصلی تحقیق

به طور کلی مهم‌ترین سوال‌های این تحقیق را می‌توان این گونه بیان کرد:

- چگونه می‌توان با ارزانترین ترکیب پرکننده بتنی هیدرولیکی، به مقاومت پایداری مدّ نظر در تأمین نگهداری فضاهای زیرزمینی و کارگاه‌های استخراج پرشده دست یافت؟
- با چه دانه‌بندی از مصالح سنگی در ترکیب پرکننده بتنی هیدرولیکی می‌توان سریعترین روش انتقال را از محل تولید پرکننده تا محل اجرا در فضاهای زیرزمینی در دستور کار قرار داد؟
- با چه اختلاطی از پرکننده بتنی هیدرولیکی، میتوان میزان تشعشع در کارگاه‌های استخراج و اشعه جذبی پرسنل و کارگران معادن زیرزمینی اورانیوم را کاهش داد؟
- مواد باطله استخراجی و آب‌های زهکشی شده از معادن روباز و زیرزمینی اورانیوم به چه نحوی در ترکیب پرکننده بتنی هیدرولیکی استفاده شود تا از پخش شدن این مواد آلوده به اورانیوم در سطح زمین جلوگیری شده و ضمن محافظت از محیط زیست، هزینه تمام شده‌ی ساخت پرکننده بتنی هیدرولیکی به حداقل برسد؟
- از چه نوع مصالح سنگی در پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی استفاده شود تا علاوه بر کاهش هزینه‌های پرکردن و معدنکاری، کاهش میزان تشعشع با افزایش ضخامت پرکننده‌های بتنی نیز با شدت بیشتری اتفاق بیفتد؟

- با چه طرح اختلاطی از پرکننده بتنی هیدرولیکی می توان با درنظرگیری مقاومت ۲۸ روزه مدّنظر، میزان سیمان کمتری را نیز در ترکیب پرکننده به کار برد یا بخشی از سیمان به وسیله‌ی سایر مواد چسباننده ارزان قیمت از قبیل پوزولان، سرباره کوره ذوب و... جایگزین شود؟

۱-۳- ضرورت انجام تحقیق

در بسیاری از معادن زیرزمینی، معمولاً فضای خالی شده ناشی از استخراج ماده معدنی در کارگاه‌ها توسط مواد مختلفی پر می‌شود. مواد مورد استفاده برای پر کردن غالباً از جنس و یا نوع مواد در دسترس بوده که با استفاده از روش‌های مختلفی از قبیل دستی، مکانیکی، پنوماتیکی و هیدرولیکی در داخل فضای خالی کارگاه جانمایی می‌شود. دلایل متعددی برای پر کردن فضاهای زیرزمینی ایجاد شده ناشی از معدنکاری وجود دارد که در محدوده وسیعی از قبیل فراهم کردن یک نگهدارنده منطقه‌ای تا دفن باطله‌ها متغیر است. مهمترین وظایف ماده پرکننده در کارگاه‌های استخراج شامل نگهداری سنگ دیواره و پایه‌ها، فراهم کردن سکوی کار در روش کندن و پر کردن، افزایش ضریب بازیابی از طریق بازیابی پایه‌ها، فراهم نمودن شرایط استخراج انتخابی بیشتر، جلوگیری از جابجایی، تغییر شکل و شکستگی و یا به طور کلی نشست سطح زمین، کنترل بهتر جریان تهویه و آتش‌سوزی در معادن، کمک به جلوگیری از پدیده انفجار سنگ، ابزار ضروری برای کمک به نگهداری ناپایداری‌های ساختاری و کاهش در هزینه‌های بازسازی معادن است. مطالعات آماری انجام شده نشان می‌دهد که بهبود پایداری کمربالا و افزایش ضریب بازیابی ماده معدنی مهم‌ترین دلایل برای کاربرد سیستم پر کردن در معادن است. کاهش سطح تماس پرسنل و معدنکاران با دیواره‌های معدنی دارای تشعشع و نیز جلوگیری از نشست و ترک خوردگی کارگاه‌های مجاور هم از دیگر علل پر کردن کارگاه‌های استخراج می‌باشد.

در کشور ایران با توجه به وجود ذخایر اورانیوم محدود، نیاز است که حداکثر بازیابی و بهره‌برداری از این ذخایر انجام شود. همچنین با توجه به عمق زیاد بعضی از ذخایر معدنی و هزینه‌های بالای آماده‌سازی معادن، ضروری است با توجه به هزینه‌های سرمایه‌ای انجام شده، کمترین افت ماده معدنی در کارگاه‌های استخراج وجود داشته و علاوه بر این بیشترین ایمنی از نظر میزان پرتوگیری و دز جذبی، استنشاق گاز رادون و پایداری فضاها و حفار شده وجود داشته باشد. لذا برای دستیابی به موارد فوق لازم است ترکیب مناسبی از پرکننده بتنی هیدرولیکی از نظر ایمنی، پایداری و اقتصادی طراحی، تولید و اجرا گردد که هدف اصلی این رساله نیز این امر می‌باشد که با تحقق و نتیجه‌گیری مناسب از این تحقیق، کمک بزرگی در راستای بازیابی حداکثری ذخایر اورانیوم (از ۶۰ درصد در طرح اولیه معدن به ۹۵ درصد در طرح استفاده از پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی)، کاهش هزینه‌های پرکردن فضاها و استخراجی (حدود ۵۰ درصد نسبت به پرکردن با مصالح سنگی خشک و توده‌ای)، کاهش آلودگی‌های زیست محیطی با استفاده مجدد از باطله‌های معدن در اختلاط مواد پرکننده (این مواد باطله با توجه به این که در سطح زمین دپو شده و دارای آلودگی رادیواکتیو بوده، در اثر بارندگی یا وزش باد امکان پخش آن در محیط اطراف وجود دارد) و محافظت پرسنل در برابر تشعشع صورت خواهد گرفت.

۴-۱- اهداف تحقیق

هدف کلی و نهایی این تحقیق ارائه طرح اختلاط مناسب در پرکردن بتنی هیدرولیکی کارگاه‌های استخراج معادن اورانیوم می‌باشد که بتواند کلیه اهداف مدنظر را که قبلاً بطور مفصل راجع به آنها صحبت شده است را برآورده نماید.

برای این منظور در این پژوهش موارد زیر دنبال می‌شود:

- بررسی انواع روش‌های پرکردن با نگاه به خروجی‌های مدنظر

- ایجاد طرح اختلاط مناسب پرکننده بتنی هیدرولیکی برای ایجاد سقف مصنوعی بتنی در رگه‌های ضخیم ماده معدنی که در چند برش باید استخراج گردد، که این امر به شدت هزینه‌های تحکیم را در استخراج برش‌های پایینی کاهش خواهد داد.
- پرکردن فضاهای زیرزمینی با هدف کاهش سطح تماس پرسنل و کارگران معدن با دیواره‌های معدنی رادیواکتیو و اشعه زا
- طراحی طرح اختلاط مناسب پرکردن بتنی با دیدگاه کاهش هزینه‌های معدنکاری و افزایش راندمان تولید
- ترویج روش پرکردن در کشور ایران در راستای افزایش بازیابی ذخایر معدنی به خصوص ذخایر استراتژیک اورانیوم
- افزایش ایمنی و ملاحظات زیست محیطی با استفاده از باطله‌های استخراجی معادن اورانیوم در ترکیب پرکننده بتنی هیدرولیکی
- تعیین طرح اختلاط مناسب در راستای کاهش میزان تشعشع و خروج گاز رادون از سینه کارها و دیواره‌های معدنی
- ارائه اختلاط مناسب پرکننده بتنی هیدرولیکی در راستای استفاده از آب‌های زهکشی شده‌ی معادن زیرزمینی اورانیوم در ترکیب پرکننده‌ها با نگرش ملاحظات زیست محیطی و کاهش هزینه‌های معدنکاری

۵-۱- نوآوری تحقیق

نوآوری تحقیق را می‌توان از دیدگاه بنیادی، محتوایی و کاربردی به صورت زیر بیان کرد:

- استخراج بالای ۹۵٪ ذخایر معدنی برجای اورانیوم با به‌کارگیری پرکردن بتنی هیدرولیکی در کارگاه‌های استخراج معادن زیرزمینی (افزایش بازیابی از ۶۰ درصد به بالای ۹۳ درصد ذخیره معدنی برجا)

- کاهش هزینه‌های معدنکاری (کاهش هزینه‌های پرکردن با این روش به ۵۰ درصد هزینه‌های روش پرکردن با مصالح سنگی خشک)
- کاهش آلودگی‌های زیست محیطی با استفاده از باطله‌های استخراجی معادن اورانیوم و آب‌های زهکشی شده در ترکیب پرکننده بتنی هیدرولیکی
- کاهش میزان تشعشع کلی و اشعه جذبی کارگران معدن با کاهش سطح تماس دیواره‌های معدنی اشعه‌زا با به‌کارگیری مواد پرکننده بتنی هیدرولیکی

۱-۶- ساختار رساله

این رساله مشتمل بر ۵ فصل می باشد:

فصل اول شامل کلیات می باشد که در این فصل بیان مسأله، سوالات اصلی تحقیق، ضرورت و اهمیت تحقیق، اهداف و نوآوری‌های تحقیق بیان شده است.

فصل دوم شامل مبانی نظری و سابقه علمی موضوع می باشد که عناوین اصلی این فصل مشتمل بر روش‌های اصلی استخراج ذخایر اورانیوم با نگاهی به روش‌های استخراج زیرزمینی همراه با پرکردن و سابقه‌ی علمی موضوع می باشد.

در فصل سوم به کلیاتی در مورد معادن روباز و زیرزمینی اورانیوم ساغند و روش‌های استخراج این معادن پرداخته شده است.

فصل چهارم شامل کارهای اصلی انجام شده در این تحقیق از قبیل ساخت انواع طرح‌های اختلاط پرکردن بتنی هیدرولیکی، انجام آزمایش‌های پرتوگیری برای انواع پرکننده‌های بتنی با ضخامت‌های مختلف، آزمایش مقاومت فشاری تک محوره ۲۸ روزه برای انواع پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی ساخته شده و محاسبات اقتصادی برای پرکننده‌ها می باشد. تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از آزمایش‌های

مقاومت فشاری تک محوری و کاهش میزان تشعشع برای انواع پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی نیز در انتهای این فصل ارائه شده است.

در فصل پنجم جمع‌بندی نتایج بدست آمده از آزمایش‌ها، نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادها آمده است.

۲. فصل دوم: مبانی نظری و

بررسی سابقه‌ی علمی موضوع

۲-۱- مقدمه

در برخی از روش‌های استخراج زیرزمینی، بخشی از ماده معدنی به عنوان لنگه برجا گذاشته شده و منجر به ایجاد فضاهای خالی با ابعاد مختلف می‌شود. یکی از چالش‌های استخراج زیرزمینی کاهش میزان ماده معدنی برجا (افزایش بازیابی) و نیز تأمین پایداری این حفاریات است. این مسأله با افزایش عمق استخراج و نیاز به تولید بیشتر، پیچیده‌تر می‌شود. برای مکانیزه کردن معادن با هدف افزایش تولید، نیاز به افزایش ابعاد تونل‌ها و دهانه‌های کارگاه‌های استخراج و به طور کلی کارهای معدنی است که باید پایداری این فضاها تأمین شود. به عبارت دیگر مکانیزاسیون و سرمایه‌گذاری جدید با پایداری این فضاها و افزایش بازیابی، نیاز به مدیریت موثر این فضاها دارد.

روش‌های مختلفی برای کنترل فضاهای خالی معدنی وجود دارد که پرکردن یکی از موثرترین روش‌ها است. این روش برای افزایش انعطاف‌پذیری استراتژی‌های معادن در استخراج، بهبود میزان بازیابی و افزایش کیفیت ماده معدنی استخراج شده (کاهش رقیق شدگی) به کار می‌رود. استفاده از سیستم پرکردن منجر به کاهش مسائل و مشکلات مربوط به نشست سطح زمین، بهبود شرایط زیست محیطی معادن، کاهش میزان در معرض تشعشع قرار گرفتن کارگران، کاهش خروج گاز رادون و پایداری حفاریات می‌شود.

پرکردن کارگاه‌های استخراج معادن زیرزمینی و فضاهای استخراج شده، مبحثی می‌باشد که در این دهه‌ی آخر توجه خیلی زیادی به آن شده است. دلیل این امر نیز به خاطر مشکلاتی بوده است که در معادن به دلیل عدم توجه به این مقوله رخ داده است. به همین دلیل در سال‌های اخیر به مقوله پرکردن حفاریات و کارگاه‌های استخراج اهمیت داده شده است.

۲-۲- روش‌های استخراج معادن اورانیوم

روش‌های معدنکاری بر اساس شکل، عمق و عیار اورانیوم به انضمام ترکیب آن، آب‌شناسی و اصول ژئوتکنیکی سنگ دربرگیرنده مشخص می‌شود. روش‌های معدنکاری روباز، زیرزمینی و لیچینگ برجا مرسوم‌ترین روش‌های استخراج معادن اورانیوم می‌باشند.

در مرحله تحلیل و ارزیابی نهائی، روش استخراج روباز در مقابل روش استخراج زیرزمینی بر اساس پارامترهای اقتصادی مقایسه می‌گردد. اگر هزینه‌های آماده‌سازی، استخراج و حمل به ازاء هر تن کانسنگ در یک روش استخراجی بیشتر از روش دیگر باشد، مطمئناً روش ارزانتر انتخاب می‌شود. عمق مشخصی برای حد معدنکاری روباز وجود ندارد و این عمق از روی نسبت باطله برداری، قیمت ماده معدنی، شیب پله‌کاری، حجم ذخیره و روش استخراج، عمر معدن و هزینه بازسازی معدن تعیین می‌شود. در خیلی از موارد، یک ذخیره معدنی تا عمق اقتصادی بودن با در نظر گرفتن عیارحد بصورت روباز استخراج می‌شود و از آن عمق به پایین روش استخراج زیرزمینی جایگزین روش استخراج روباز می‌شود (IAEA, 2000).

قبل از تصمیم‌گیری در مورد انتخاب روش معدنکاری باید تمام اطلاعات موجود مورد آنالیز قرار گیرند. محدودیت‌های زیست محیطی، جغرافیایی، نیروی انسانی و مالی هر کدام بر طراحی و روش معدنکاری تأثیر می‌گذارند. اگرچه که اغلب، سود از لحاظ اقتصادی ناملموس است ولی یک مهندس باید از روی احتیاط حتماً مزایای کاهش تأثیرات و محدودیت‌های محیط‌زیست را مورد مطالعه قرار دهد (IAEA, 2000).

۲-۲-۱- معدنکاری روباز

روش روباز یکی از روش‌های استخراج معادن سطحی است که ترجیحاً برای معادن فلزی و عمدتاً مس و آهن بکار برده می‌شود. در این روش استخراج به صورت پله‌پله و تا عمقی از ذخیره معدنی که

عملیات اقتصادی باشد، ادامه پیدا می‌کند. در این روش از سطح معدن آنقدر باطله‌برداری می‌شود تا به ماده معدنی دسترسی حاصل شود. باطله‌های روی ماده معدنی پس از برداشت باید عمدتاً به خارج از محدوده‌ی معدن منتقل شده و در آنجا انبار می‌شوند. تنها آن بخش از این باطله‌ها که ممکن است در امر جاده‌سازی، ترمیم جاده‌ها، پی‌سازی کارگاه‌ها و پر نمودن گودال مورداستفاده قرار گیرند در داخل محدوده‌ی معینی قرار می‌گیرند و برای مابقی حتماً باید در خارج از محدوده‌ی معدن، محلّ خاص در نظر گرفت و به شیوه معینی دمپ نمود (هارتمن، ۱۳۸۱).

روش معدنکاری روباز نسبت به سایر روش‌های معدنکاری دارای اهمیت می‌باشد، که در زیر آمده است:

روش روباز به دلیل استفاده از ماشین‌آلات بارگیری و حمل عظیم‌الجثه که از قدرت و ظرفیت زیاد برخوردارند و دارای تولید بالایی می‌باشد و برای معادن بزرگ که دارای شرایط ژئومکانیکی سخت و بسیار سخت است کاملاً مناسب بوده و مورداستفاده قرار می‌گیرد.

روش روباز در مقایسه با سایر روش‌های استخراج از هزینه اولیه زیادی برخوردار است اما تولید بالا و هزینه استخراج پائین به ازاء هر تن کانسنگ، از مزایای عمده این روش است.

امروزه ۷۰-۹۰ درصد آهن، مس، فسفات، آزبست، بوکسیت، منگنز و زغال سنگ قابل بهره‌برداری در معادن، به روش روباز استخراج می‌شوند.

در مورد ذخایر اورانیوم نیز سهم قابل ملاحظه‌ای به میزان ۲۵-۳۰ درصد از طریق فنون معدن‌کاری روباز قابل استخراج می‌باشند (IAEA, 2000).

بعد از طراحی معدن و انتخاب تجهیزات از آنجا که معدنکاری برای یک ماده رادیواکتیو می‌باشد، می‌بایست از تجهیزات کنترلی و مانیتورینگ و همچنین تجهیزات حفاظت در برابر اشعه استفاده نمود. برای کانسنگ‌های عیار بالا (بالای ۱۰٪ U_3O_8) معمولاً به تمهیدات و تجهیزات حفاظتی که بر روی

ماشین آلات بارگیری و باربری نصب می‌شود، نیاز می‌باشد تا اپراتورهای این ماشین آلات از تشعشعات بالای گاما محافظت شوند. همچنین ایستگاه‌های اندازه‌گیری و مانیتورینگ باید در نقاط مختلف داخل پیت^۱ معدن ایجاد شوند تا دُز گاما و گاز رادون در جاهائی که گرد و غبار برای مدت زیادی باقی می‌ماند، اندازه‌گیری شوند.

کنترل آب‌های ناشی از جریانات سطحی و سفره‌های آب زیرزمینی، نقش اساسی در طراحی و عملیات پیت معدن به خصوص در معدنکاری روباز اورانیوم را بازی می‌کنند. البته تصفیه کردن آب بازیافتی از معدن و سپس خارج کردن آن به محیط طبیعی دارای هزینه سرمایه‌ای بالایی است. در ضمن برای طراحی پیت یک سری تمهیداتی از جمله انحراف آب و قطع کردن مسیر آن برای جلوگیری از ورود آب به داخل پیت صورت می‌گیرد.

یکی از روش‌های کنترل آب‌های ورودی به داخل پیت، ایجاد یک سری چاهک‌های حفاری در پیرامون سطحی پیت می‌باشد، تا آب‌های جمع شده در این چاه‌ها را قبل از تماس با کانی و کانسنگ اورانیوم بازیابی نموده و در مناطق دیگری تخلیه نمود.

محصور نمودن آب در بین سنگ‌های دربرگیرنده کانسنگ با استفاده از سیمان یا دوغاب‌های شیمیایی نیز یک روش مؤثر برای کنترل جریانات ورودی آب به داخل پیت می‌باشد. معدنکاری روباز احتیاج به ساختن یک دامپ بزرگ باطله برای انباشتن روباره و باطله معدن دارد. باطله معدن با مقدار کمی از کانسنگ اورانیوم آلوده است، برای همین می‌بایست باطله‌ها را در جاهای مخصوصی ذخیره نمود تا از انتشار آلودگی‌های زیست محیطی آنها جلوگیری شود (IAEA, 2000). در شکل ۱-۲ تصویری از یک معدن روباز مشاهده می‌شود.

1 pit



شکل ۲-۱- تصویری از یک معدن روباز (IAEA, 2000)

۲-۲-۲- معدنکاری زیرزمینی

روش‌های معدنکاری مرسوم زیرزمینی در صورتی می‌توانند برای استخراج اورانیوم استفاده شوند که بیشترین ایمنی را برای افراد و محیط زیست فراهم آورند. دُز مجاز اشعه در حال حاضر در حدود ۲۰ میکروسیورت در سال است که تا حدی تضمین ایمنی را برای نیروهائی که در یک محیط بسته و بدون محافظ کار می‌کنند، تأمین می‌کند. در اکثر طراحی‌های معادن اورانیوم، روش‌های استخراج به سمت روش‌های بدون ورود به فضاهای زیرزمینی می‌باشد تا با استفاده از عملیات کنترل از راه دور و به کمک ماشین آلات و دور از توده معدنی بتوان اقدام به معدنکاری و حمل مواد معدنی نمود. (IAEA, 2000).

طراحی سیستم تهویه مطلوب و کاهش دُز گاز رادون و دختران آن یک گام اساسی در معادن زیرزمینی اورانیوم می‌باشد. حجم زیادی از هوای تازه برای رقیق کردن گاز رادون نیاز است که لازم است از یک مسیر اختصاصی، هوای تازه به جبهه کار وارد شده و هوای آلوده سریعاً خارج گردد و دوباره عملیات به طور پیوسته تکرار شود. در طرح معدن می‌بایست تونل‌هایی با مقاطع بزرگ همراه با چندین خروجی به سطح زمین، برای دهش و مکش هوا مورد استفاده قرار گیرند (IAEA, 2000).

[illegible]

- 1 Grouting
- 2 Freezing

۲-۳-۲- فروشوی برجا

فروشوی برجا^۱ یک روش ترکیبی از معدنکاری و فناوری استحصال می‌باشد که بطور خاصی برای کانسنگ‌های اورانیومی که در تشکیلات ماسه سنگی به وجود آمده‌اند، به کار می‌رود. محلول فروشوی از طریق یک سری گمانه‌ها به داخل سازند دربرگیرنده اورانیوم تزریق می‌گردد. کانه‌های اورانیوم در این محلول حل شده و سپس برای عملیات فرآوری بعدی بازیابی می‌گردد (IAEA, 2001).

کاربرد این روش در مورد ذخیره‌های ماسه سنگی که دارای نفوذپذیری زیادی بوده و توسط لایه‌های رسی در بالا و پائین محصور شده باشند، محدود می‌شود. کنترل دقیقی باید صورت گیرد تا اطمینان حاصل شود که محلول فروشوی به درون لایه‌های کانسنگ تزریق شود. برای این کار یک سری گمانه‌های رفتارسنجی در پیرامون بالا و پائین ماده معدنی برای مشخص کردن هر گونه نشت و فرار محلول حامل ماده معدنی (لیچینگ) مورد نیاز می‌باشد. بعد از اتمام بازیابی باید وضعیت سفره آب زیرزمینی به شرایط قبلی بازگردد. این پروسه معمولاً می‌تواند تا چندین سال طول بکشد و هزینه‌های زیادی را تحمیل نماید (هزینه عملیاتی فروشوی برجا زیاد می‌باشد) (IAEA, 2001).

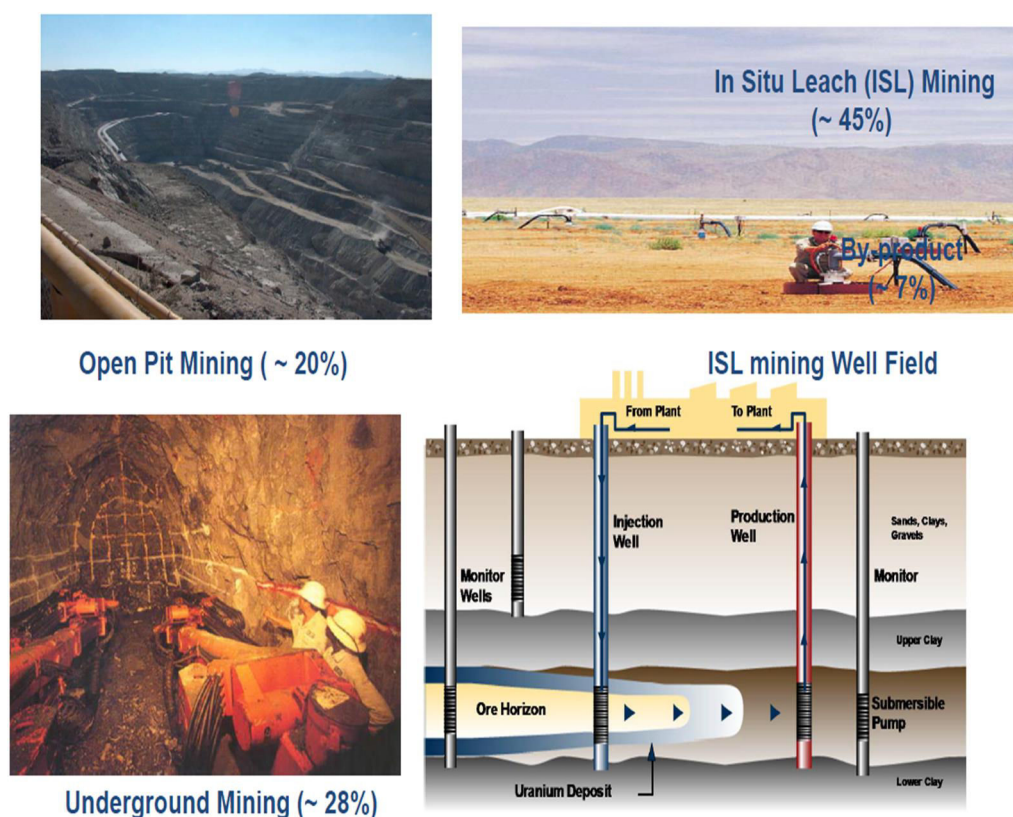
مزایای استفاده از این روش در کاهش چشم‌گیر میزان تشعشع مواد رادیواکتیو می‌باشد. روش فروشوی برجا با توجه به کاهش آلودگی‌های مواد رادیواکتیو و هزینه استخراج پایین کانسنگ یکی از بهترین روش‌ها برای استخراج ذخائر اورانیوم کم عیار می‌باشد.

۲-۳- سهم روش‌های معدنکاری در استخراج ذخایر اورانیوم دنیا

با بررسی‌های انجام شده تا پایان سال ۲۰۱۴ سهم هریک از روش‌های معدنکاری بصورت شکل ۲-۳ آمده است. براین اساس سهم روش‌های روباز، زیرزمینی و فروشوی برجا برای استخراج ذخایر اورانیوم ۲۰، ۲۸ و ۴۵ درصد بوده است. حدود ۷ درصد ذخایر اورانیوم نیز به عنوان محصول فرعی استخراج

¹ In Situ Leaching

می‌شود. از آنجائی‌که استخراج به روش فروشویی برجا کم هزینه بوده و به راحتی می‌توان از این روش در ذخایر نوع ماسه سنگی استفاده کرد، لذا در سال‌های اخیر سعی شده که به سمت این نوع ذخایر (ذخایر ماسه سنگی) و این نوع روش استخراج حرکت شود (IAEA, 2016).



شکل ۲-۳- سهم هریک از روش‌های معدنکاری در استخراج ذخایر اورانیوم دنیا تا سال ۲۰۱۴ (IAEA, 2016)

۲-۴- روش‌های مرسوم استخراج زیرزمینی معادن اورانیوم

در اکثر معادن زیرزمینی اورانیوم، روش‌های استخراج به سمت روش‌های بدون ورود به فضاها، زیرزمینی و یا پرکردن فضاها، استخراج شده با مواد پرکننده بتنی به دلیل بازیابی بالا، پایداری حفاریات زیرزمینی و کارگاه‌های استخراج، کاهش خروج گاز رادون و کاهش میزان تشعشع و اشعه جذبی توسط پرسنل و کارگران معدن می‌باشد. در زیر به برخی از روش‌های مرسوم استخراج زیرزمینی معادن اورانیوم اشاره می‌شود.

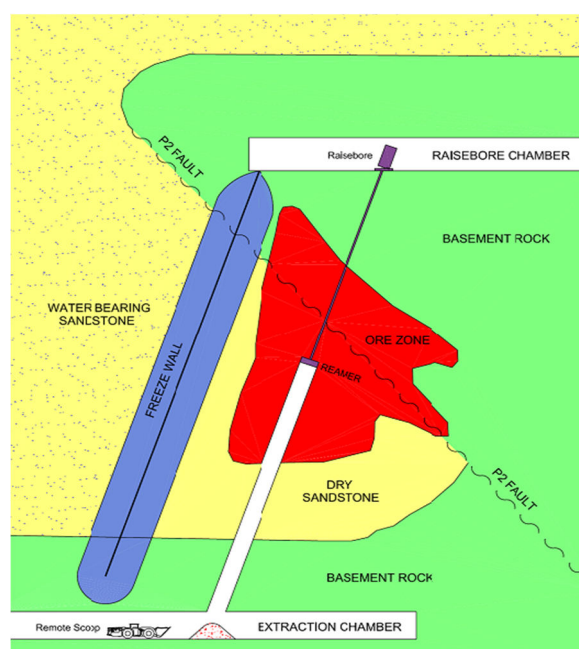
۲-۴-۱- روش استخراج دویلی همراه با پرکردن

روش استخراج دویلی برای نواحی توده‌ای عیار بالا مناسب است که در آن مسیرهای دسترسی در بالا و پایین توده معدنی حفر می‌شوند. در این روش یک اتاقک حفر دویل در بالای توده معدنی در درون سنگ باطله و یک اتاقک استخراج و بارگیری در پایین توده کانسنگ و در درون سنگ باطله ایجاد می‌شود.

سپس دستگاه حفر دویل و تجهیزات مربوطه در اتاقک حفر دویل نصب می‌شود. چال راهنما از اتاقک حفر دویل حفاری می‌شود تا به اتاقک استخراج در پایین زون معدنی دسترسی ایجاد شود، سپس تمام مصالح حفاری شده از درون اتاق حفر دویل جمع آوری و به بیرون ارسال می‌شود تا از آلودگی اتاقک حفر دویل جلوگیری شود. روش استخراج دویلی این امکان را می‌دهد که بتوان اتاقک‌های حفر دویل و استخراج تا فاصله ۱۲۰ متر از یکدیگر حفر شوند. باطله و کانسنگ به راحتی می‌توانند با اسکن کردن از یکدیگر تفکیک داده شده و جدا شوند. همچنین بازکننده‌های دویلی در توده‌سنگ‌های ضعیف نیز اثبات شده که از پایداری مطلوبی برخوردار می‌باشند. هنگامی که دسترسی بین اتاقک‌ها با موفقیت انجام شد، سرمه حفر دویل به انتهای لوله‌های حفاری وصل شده و عملیات حفر دویل و استخراج دویلی از پایین به بالا شروع می‌شود. حفر دویل از طریق باطله و درون ماده معدنی انجام می‌شود (Leslie et al., 2016). سنگ حفر شده بارگیری و به محل دپوهای مدّظر کانسنگ و باطله انتقال می‌یابد تا مسیر دویل مسدود نشود. همچنین ماده معدنی پرعیار حاصله از حفر دویل پس از اسکن شدن به سطح زمین منتقل می‌شود. حفاری دویل پس از عبور از داخل توده معدنی در مرز بالایی بین باطله و کانسنگ (پایین اتاقک حفر گمانه) متوقف می‌شود. سپس سرمه حفر دویل به پایین انتقال داده شده و پس از تمیز کردن و شستشو باز می‌شود، کلیه لوله‌های حفاری و متعلقات نیز از داخل دویل خارج شده تا برنامه‌ریزی برای حفر دویل بعدی در دستور کار قرار گیرد. وقتی که تخلیه دویل به صورت کامل انجام گرفت، عملیات پرکردن دویل می‌تواند شروع شود. این امر در سه

مرحله با استفاده از مواد پرکننده بتنی صورت می‌پذیرد. ابتدا دهانه پایین دویل با یک ظرف حاوی مواد پرکننده پوشیده شده و بخش اول مواد پرکننده با استفاده از پمپ بتن پرتابل به بخش پایینی دویل ریخته می‌شود بعد از اینکه بخش اول پر شد بخش دوم مواد پرکننده بتنی از اتاقک حفر دویل و از طریق چال راهنما ریخته می‌شود. هنگامی که بخش دوم مواد پرکننده تثبیت شد، برای پایداری بهتر این پرکننده‌ها از طریق بولت به یکدیگر متصل می‌شوند. بخش نهایی پرکننده نیز از اتاقک حفر دویل و از طریق چال راهنما صورت می‌گیرد تا دویل بصورت کامل پر شود. در شکل ۲-۴ شماتیکی از روش استخراج دویلی در یک مقطع ارائه شده است (Leslie et al., 2016).

معدن مک آرتور ریور^۱ در کانادا که در حال حاضر بزرگترین معدن اورانیوم جهان است به این روش استخراج می‌شود. این معدن در سال ۲۰۱۶ هفت هزار و ۵۲۰ تن اورانیوم تولید کرد که برابر با ۱۳ درصد از تولید جهانی بود. ذخایر قطعی و احتمالی این معدن تا آخرین تخمین ذخیره صورت گرفته (سال ۲۰۱۵) به حدود ۱/۰۶ میلیون تن با عیار ۱۷ درصد بالغ شد (Leslie et al., 2016).



شکل ۲-۴- شماتیکی از مقطع عرضی روش استخراج دویلی (Leslie et al., 2016)

1 McArthur River

۲-۴-۲- روش استخراج چال واریزی^۱

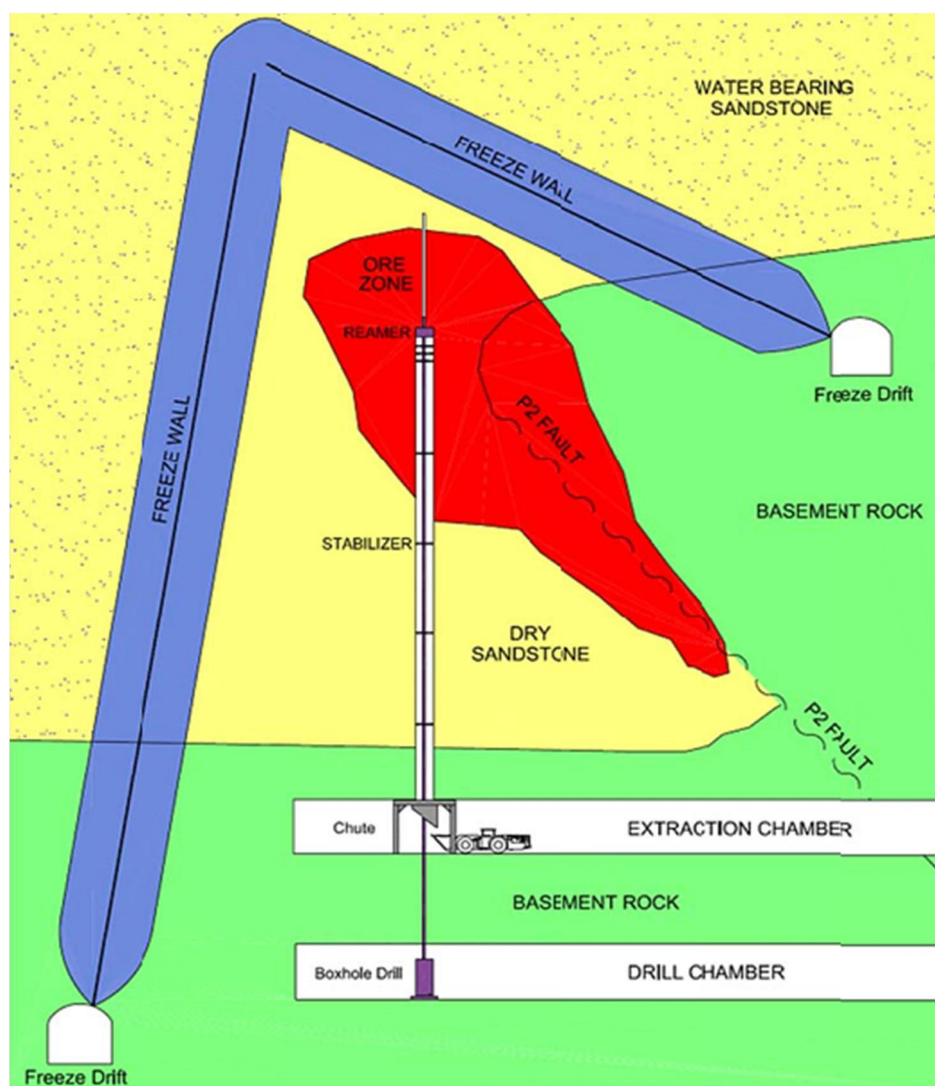
این روش استخراج در حال تست و آزمایش در معدن مک‌آرتورریور می‌باشد. این روش استخراج یک روش آماده‌سازی قائم می‌باشد که در تعداد خیلی کمی از معادن اورانیوم دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرد. اولین بکارگیری این روش در معدن اورانیوم بوده است. روش استخراج چال واریزی برای مناطقی مناسب می‌باشد که ایجاد فضاهای دسترسی در بالای توده معدنی امکان پذیر یا عملیاتی نباشد. این مناطق عمدتاً دارای میزان کانسنگ پرعیار کمی بوده و گسترش امتدادی و طولی آنها نیز کم می‌باشد. نسبت استخراج برای روش استخراج چال واریزی تقریباً نصف روش استخراج دویلی به خاطر قطر کوچکتر سرمته حفر دویل می‌باشد (۲/۱ متر قطر سرمته برای روش چال واریزی در مقابل قطر ۳ متری برای استخراج دویلی) (Leslie et al., 2016).

تجهیزات مورد استفاده در روش استخراج چال واریزی مشابه روش استخراج دویلی است. در این روش سیستم حفاری براساس فشار سرمته به سمت بالا بوده در حالیکه روش استخراج دویلی بصورت کششی می‌باشد. در هر دو روش اتاقک‌های حفاری و استخراج در پایین دست توده معدنی در داخل باطله قرار گرفته‌اند. اتاقک حفاری مستقیماً در زیر اتاقک استخراج واقع شده است که مابین این دو اتاقک پایه‌ای از سنگ باطله قرار گرفته است. دستگاه حفاری در اتاقک حفاری تنظیم و نصب می‌شود (برعکس حفاری در روش استخراج دویلی). سپس چال راهنما از اتاقک حفاری شروع و حفر شده تا به اتاقک استخراج برسد. پس از دسترسی به اتاقک استخراج عملیات حفر چال راهنما مجدداً از سقف اتاقک استخراج شروع شده تا به داخل ماده معدنی و به بخش بالایی مرز کانسنگ و باطله برسد، همزمان یک شوت تخلیه در اتاقک استخراج ایجاد می‌شود تا مواد حفاری شده از طریق این شوت به بیرون هدایت شود. میله‌های حفاری بعد از حفر چال راهنما از چال خارج و در اتاق استخراج قرار می‌گیرند. به دنبال آن سرمته حفاری دویل همراه با استینگر نصب می‌شود. حفاری دویل ابتدا در

1 Box Hole Mining

باطله و سپس در داخل توده معدنی اورانیوم ادامه می‌یابد. تعدادی تکیه‌گاه به رادهای حفاری در مکان‌های پیش‌بینی شده اتصال می‌یابند تا رادهای حفاری در مرکز دوپل قرار گیرند. عملیات حفاری دوپل و استخراج کانسنگ تا مرز بالایی توده معدنی ادامه پیدا می‌کند. وقتی دوپل‌ها بصورت کامل حفر شدند، سپس با بتن پر می‌شوند (Leslie et al., 2016).

در صورتی که قطر حفاری‌ها یکسان باشد، درصد بازیابی ماده معدنی و ترقیق با سیمان برای روش استخراج چال واریزی مشابه روش استخراج گمانه‌ای می‌باشد. یک تصویر شماتیکی از روش استخراج چال واریزی در شکل ۵-۲ نشان داده شده است.



شکل ۵-۲- شماتیکی از مقطع عرضی روش استخراج چال واریزی (Leslie et al., 2016)

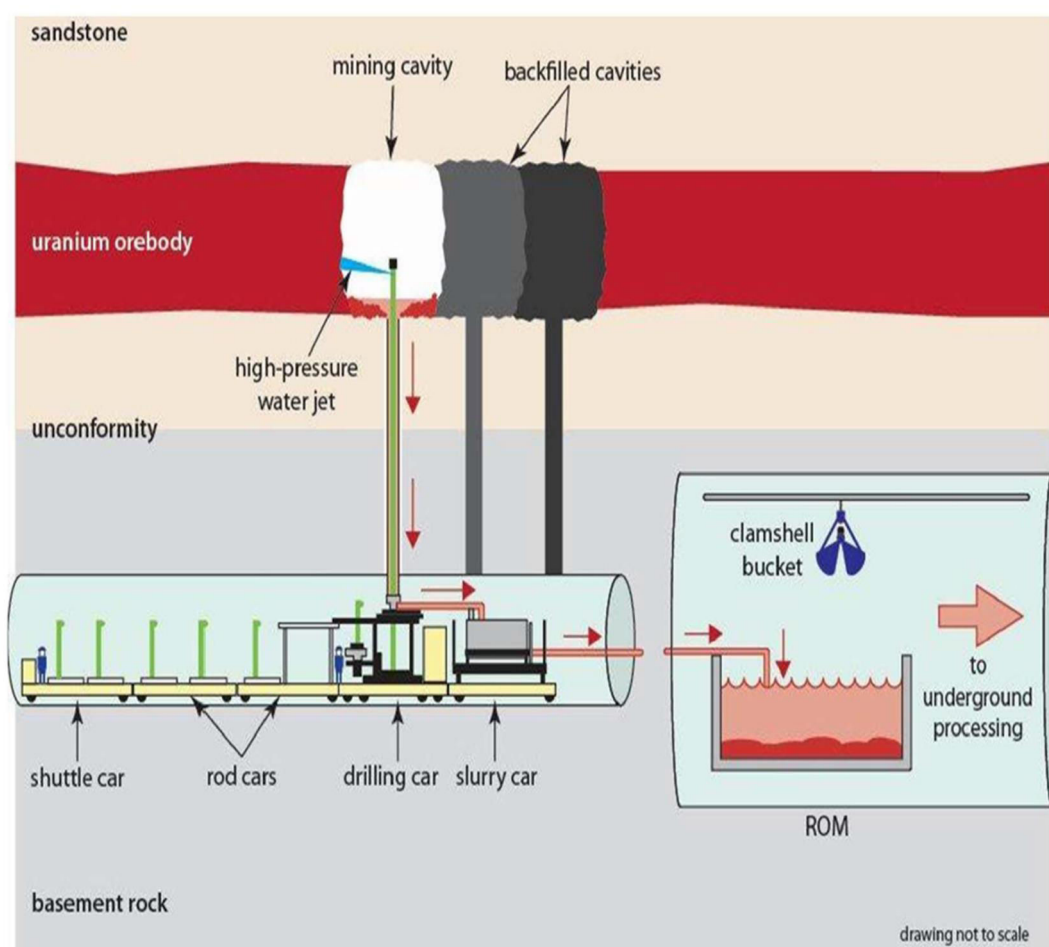
۲-۴-۳ - روش استخراج با جت آب^۱

در این روش برش‌های حفره‌وار از ماده معدنی به وسیله فشار بالایی از نازل‌های آبی ایجاد می‌شود. دسترسی به توده‌های معدنی از طریق حفر دوپل‌هایی صورت می‌گیرد که از داخل میان‌برهای دسترسی رو به بالا حفر شده و سپس از طریق این دوپل‌ها تجهیزات مربوط به نازل‌های آبی به درون کارگاه استخراج منتقل شده و به صورت افقی قرار می‌گیرد. نازل‌های آبی با فشار، بخش بالایی توده معدنی را شروع به حفر کرده و به صورت عمودی و رو به پایین، برش‌هایی از ماده معدنی را جدا می‌نماید که در نتیجه یک حفره استوانه‌ای شکلی به ارتفاع ضخامت ماده معدنی تا ۱۳/۵ متر و قطر ۴/۵ تا ۶ متر ایجاد می‌شود. در نهایت این حفره به طور کامل با بتن پر شده و سیکل استخراج توده مجاور تکرار می‌شود (Bronkhorst and Gregory., 2015).

مزایای استفاده از روش استخراج جت آب عبارتند از:

- ✓ این روش استخراج یک روش استخراج بدون ورود به کارگاه‌های استخراج می‌باشد و کارگران وارد زون‌های دارای تشعشع نشده و اپراتوری استخراج از راه دور انجام می‌شود. این خود یکی از موثرترین راه‌های کنترل پرتوگیری کارگران در معادن اورانیوم عیار بالا می‌باشد.
- ✓ ماده معدنی استخراج شده بر اثر فشار بالای آب به صورت اسلاری بوده که از طریق لوله به سطح زمین پمپ می‌شود. در نتیجه میزان آلودگی‌ها و پرتوگیری با این روش استخراج و انتقال مواد معدنی اورانیوم، به حداقل رسیده و همچنین انتقال مواد معدنی نیز با هزینه پایین انجام می‌شود.
- ✓ تولید گرد و غبار و ذرات هواپردی از زمان شروع برش کانسنگ و تا حمل آن بطور کامل حذف می‌شود. شماتیکی از روش استخراج با جت آب (JBM) در شکل ۲-۶ نشان داده شده است (Bronkhorst and Gregory., 2015).

1 Jet Boring Mining Method



شکل ۲-۶- شماتیکی از مقطع عمودی روش استخراج JBM (Bronkhorst and Gregory., 2015)

معدن اورانیوم سیگار لیک^۱ یکی از بزرگترین معادن اورانیوم دنیا می‌باشد که با این روش استخراج می‌شود. این معدن در شمال منطقه ساسکاچوان کانادا واقع شده است و عیار متوسط این معدن ۱۰۰ برابر میانگین عیار بقیه معادن اورانیوم جهان می‌باشد. شرکت کمکو^۲ استخراج این معدن را از سال ۲۰۰۲ در اختیار دارد. این معدن با توجه به مشکلات مهار آب‌های زیرزمینی که وجود داشت، نهایتاً در سال ۲۰۱۱ حفاریات اصلی و توسعه‌ای آن تکمیل و در سال ۲۰۱۳ اولین کارگاه استخراج آن ایجاد

1 Cigar Lake

2 Cameco

و بهره‌برداری شد. تأسیسات سطحی این معدن در ارتفاع ۴۹۰+ متری از سطح آزاد آب دریا واقع شده است (Bronkhorst and Gregory., 2015).

۲-۴-۴- روش استخراج ستونی

در این روش برش‌هایی از ماده معدنی به صورت افقی یا مایل استخراج می‌شوند و استخراج از پایین کارگاه به سمت بالا جلو می‌رود. برای کنترل سقف از ستون‌های چوبی به صورت عمود بر کمرهای کارگاه به طور سیستماتیک یا تصادفی استفاده می‌شود. این روش برای کنسارهای نازک، شیبدار با شیب متغیر، مسطح و سنگ‌های فراگیر نسبتاً ضعیف مناسب است.

وظایف پایه در این روش عبارتند از:

- تحمل بار وارد شده از ناحیه کمر بالا و انتقال آن به کمرپایین و در نتیجه ایجاد یک محل امن در حین عملیات استخراج و جلوگیری از نشست سقف
- تهیه یک سکو برای کارگران در حین کار و ایجاد حفاظ برای کنترل سنگ‌هایی که از بالا دست ریخته شده‌اند.
- گاهی در شرایط بد زمین از پایه‌های فولادی، جک‌ها و در شرایط بهتر از پیچ سنگ‌ها، تور سیمی، کابل‌های مهاری و بتن پاشی استفاده می‌شود.
- کارگاه‌هایی که با این روش استخراج می‌شوند، در نهایت ممکن است توسط مواد پرکننده پر شوند یا این که پرنشده باقی بمانند (عطایی، ۱۳۸۶).
- مشخصات کلی کارگاه‌های استخراج در یکی از معادن اورانیوم دنیا که با این روش استخراج می‌شود، بصورت زیر می‌باشد (نیک گفتار، ۱۳۹۱):

- فاصله بین دو دوپل متناوب، ۱۵۰ متر

- طول کارگاه استخراج، ۷۵ متر

- عرض کارگاه استخراج، ۳۰ متر
- ضخامت متوسط ماده معدنی، ۱ متر
- روش بهره‌برداری کانسنگ، حفاری و آتشیاری
- ابعاد پایه‌های دو طرف کارگاه استخراج، ۵×۵ متر
- فاصله بین پایه‌ها، ۲ متر
- نگهداری دائمی کارگاه‌های استخراج با استفاده از ستون‌های چوبی با قطر ۱۶ سانتی‌متر و فواصل ۲ متر
- فاصله بین ستون‌های چوبی در جهت طولی و عرضی، ۲ متر
- نگهداری موقت نزدیک سینه‌کار پیشروی با استفاده از جک‌های فلزی با قطر ۱۰ سانتی‌متر و فواصل ۲ متر

روش کار در کارگاه‌های استخراج بدین صورت می‌باشد که بعد از حفر چال‌های آتشیاری در سینه کار به طول ۱ متر (۳ چال در هر مترمربع) و در کل عرض کارگاه استخراج (عرض ۳۰ متر)، عملیات آتشیاری انجام شده و ماده معدنی خرد شده تحت شیب کارگاه استخراج که حدود ۴۵ درجه می‌باشد به داخل دویل‌ها و فیدرهای تخلیه و بارگیری، سرازیر می‌شود. تولید روزانه این معدن با توجه به وزن مخصوص ۳ تن بر مترمکعب ماده معدنی، حدود ۹۰ تن می‌باشد (نیک گفتار، ۱۳۹۱).

ماده منفجره مورد استفاده در کارگاه‌های استخراج از نوع Megamite و ماده منفجره مورد استفاده در پیشروی تونل‌های دسترسی از نوع خاص آنفو ژله‌ای می‌باشد. این ماده منفجره ترکیبی از دو نوع ماده شیمیایی کاملاً ایمن بوده و در هنگام پمپ به داخل چال آتشیاری، این دوماده شیمیایی با هم ترکیب شده و تشکیل ماده منفجره را می‌دهند.

تصاویری از کارگاه استخراج با روش استخراج ستونی در شکل ۷-۲ نشان داده شده است. معادن اورانیوم ریتکویل^۱ و دومینیون^۲ در کشور آفریقای جنوبی با این روش استخراج می‌شوند.



شکل ۷-۲- تصاویری از کارگاه‌های روش استخراج ستونی (نیک گفتار، ۱۳۹۱)

۲-۴-۵- روش استخراج تونلی و پرکردن^۳

این روش برای استخراج مواد معدنی عریض (عرض بیش از ۶ متر) که دارای مقاومت متوسط تا ضعیف هستند، مناسب است. در این روش بلوک ماده معدنی به مجموعه‌ای از اتاق‌های موازی با دیوارهای قائم تقسیم می‌شود. سپس اتاق استخراج شده با مواد پرکننده بتنی پر می‌شود، که این مواد پرکننده به عنوان سیستم نگهدارنده اتاق بعدی خواهد بود.

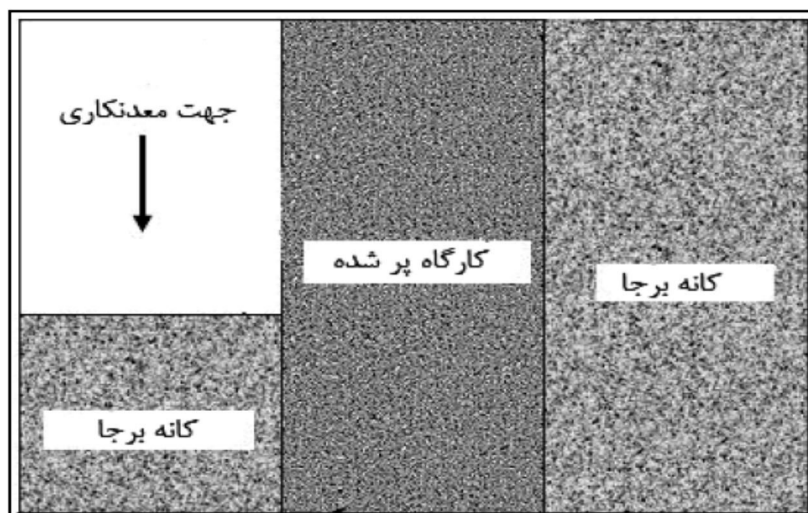
این روش استخراج یکی از پرکاربردترین روش استخراج برای ذخایر اورانیوم رگه‌ای می‌باشد. در این روش بسته به ضخامت ماده معدنی، کارگاه‌های استخراج می‌توانند در یک طبقه یا چندین طبقه احداث شوند. به گونه‌ای که ابتدا اتاق‌های استخراجی بصورت متوالی استخراج و با بتن پر شده و در

1 Rietkuil

2 Dominion

3 Drift & Fill Stopping

ادامه پایه‌های باقی‌مانده در بین اتاق‌های پر شده، بازیابی می‌شوند (عطایی، ۱۳۸۶). در شکل ۸-۲ شماتیکی از توالی استخراج این روش نشان شده است.



شکل ۸-۲- پلان و تصویر یکی از کارگاه‌های استخراج در روش استخراج تونلی و پرکردن (وزارت صنعت معدن و تجارت، ۱۳۹۴)

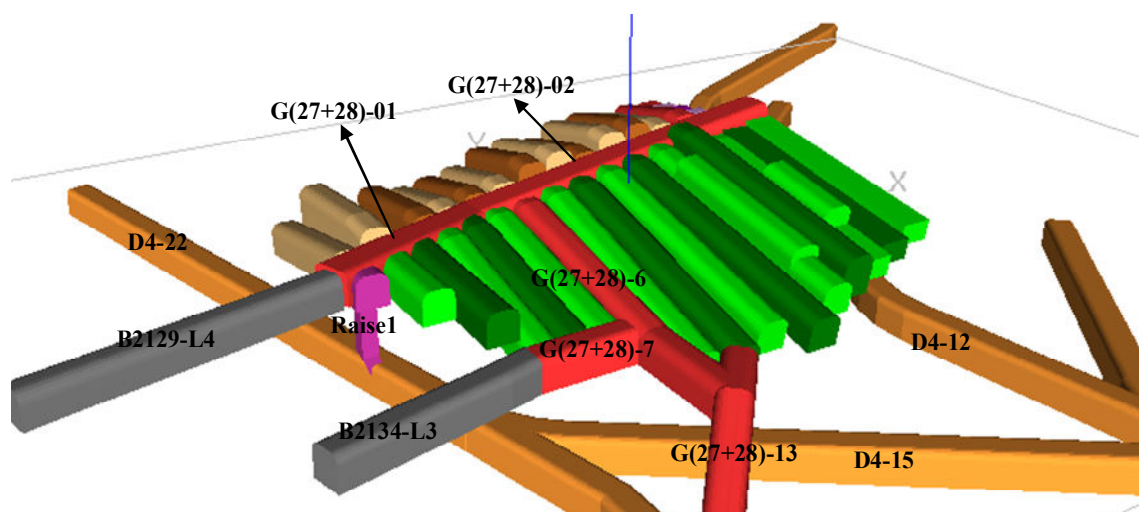
در رگه‌ها و لنزهایی که ضخامت ماده معدنی زیاد بوده و می‌بایست در دو طبقه و یا بیشتر استخراج شود، روش استخراج می‌تواند در طبقات از پایین به بالا و یا از بالا به پایین باشد. که در حالت بالا به پایین با توجه به اینکه سقف مصنوعی بتنی ایجاد شده (با مواد پرکننده) و هزینه‌های تحکیم کاهش می‌یابد، نسبت به روش پایین به بالا ارجحیت دارد (مرتضوی، ۱۳۹۱).

با توجه به وضعیت هندسی ذخایر اورانیوم ایران، این روش برای استخراج ذخایر زیرزمینی اورانیوم ایران، از جمله معدن زیرزمینی ساغند کاربرد زیادی دارد. در شکل ۹-۲ نمای سه بعدی از طرح یکی از بلوک‌های استخراجی معدن ساغند نشان داده شده است (نیک گفتار، ۱۳۹۴).

برآوردهای اولیه نشان می‌دهد که جهت نگهداری اولیه اتاق‌ها می‌توان از قاب فولادی بهره جست. بعد از اتمام حفاری اتاق‌ها، قاب‌های فولادی بازیابی شده و اتاق مطابق طرح، با ماده پرکننده پر خواهد شد.

مزایای این روش عبارت است از (نیک گفتار، ۱۳۹۴):

- سادگی روش.
- ایمنی بالا.
- انعطاف‌پذیری بالای روش نسبت به تغییرات عیار و تغییرات ضخامت ماده معدنی
- امکان نمونه‌گیری مداوم و انجام عملیات اکتشاف حین استخراج و ایجاد تغییرات در طرح استخراجی نظیر باقی گذاشتن پایه در صورت مغایرت عیارها در این مرحله.
- آشنایی نسبتاً کامل پرسنل اجرایی با روش استخراج.
- کنترل بهتر کمر بالا.
- تهیه مطلوب کارگاه‌های استخراج.
- امکان افزایش تعداد سینه‌کارها و افزایش تولید وجود دارد (تولید بالاتر).
- ترابری در داخل هر یک از اتاق‌ها، به سادگی و به صورت ثقلی یا به کمک یک دستگاه اسکرپر صورت می‌گیرد. در شرایطی که شیب کارگاه کافی نباشد می‌توان با استقرار یک دستگاه اسکرپر عملیات باربری در کارگاه را تسریع کرد.
- عملیات پرکردن مستقل از عملیات استخراج ماده معدنی است. لذا تداخلی در عملیات استخراج ایجاد نخواهد شد.



شکل ۲-۹- نمای سه بعدی از طرح بازکننده‌ها و کارگاه‌های استخراج در روش استخراج تونلی و پرکردن در یکی از بلوک‌های معدن زیرزمینی اورانیوم ساغند (نیک گفتار، ۱۳۹۴)

۲-۵- تاریخچه پرکردن

آگریکولا^۱ اشاره می‌کند که سنگ‌های باطله به فضاهای زیرزمینی برده می‌شدند و در حفاصل ستون‌های چوبی تخلیه می‌شدند. البته مطابق بررسی‌های ایشان هدف از این کار نگهداری فضاهای زیرزمینی نبوده بلکه این کار به منظور دفن مواد باطله انجام می‌شده است. آد^۲ بیان می‌کند که استفاده از مواد باطله برای پرکردن فضاهای زیرزمینی و همچنین نگهداری، به صدها سال قبل برمی‌گردد. مطابق نظر ایشان در معادن نقره قدیمی یونان در منطقه لائوریون^۳ ستون‌هایی از سنگ برای نگهداری قسمت عقب کارگاه ساخته می‌شد (Potvin et al., 2005).

۲-۵-۱- تاریخچه پرکردن در معادن استرالیا

با توجه به بررسی‌های انجام شده توسط مک لود^۴ در سال ۱۹۹۲، استفاده از مواد پرکننده در داخل کارگاه‌های استخراج زیرزمینی به عنوان یک استراتژی و یا برای پایدار کردن یک ناحیه در معادن استرالیا تا قرن ۱۹ مرسوم نبوده است. ایشان گزارش داد که در اوایل دهه ۱۹۰۰، جایگزینی مواد پرکننده به صورت خشک در معادن استرالیا به عنوان یکی از راه‌کارهای جلوگیری یا به حداقل رسانی نشست سطح زمین و برای محافظت از ساختمان‌های سطحی معدن و کارخانه‌های سطحی، مورد توجه قرار گرفت.

برای بیان یک نمونه از خسارات ناشی از نشست زمین در معادن استرالیا می‌توان به معادن مرکزی بروکن هیل^۵ اشاره کرد که در این معادن در اثر نشست ناشی از فعالیت‌های معدنکاری، دو حلقه چاه، دفاتر، انبار و کارخانه ذوب در سال ۱۹۰۵ و کارخانه کانه آرایی در سال ۱۹۰۶ تخریب شدند (Grice, 1998).

1 Agricola

2 Udd

3 Laureion

4 Mcleod

5 Broken Hill

مک لود گزارش می‌دهد که در سال ۱۹۲۹ برای اولین بار از پرکردن هیدرولیکی در معدن بروکن‌هیل استفاده شد. ایشان بنا بر نظر آرنولد‌بلاک^۱ اظهار داشت که آزمایش فوق موفقیت آمیز بود ولی کار عملاً تا زمانی که ظرفیت پمپ‌های معدنکاری موجود افزایش پیدا نکرد، متوقف شد. در دهه ۱۹۴۰ با جایگزینی باطله آسیاب‌های کارخانه کانه‌آرایی که به صورت هیدرولیکی حمل و نقل می‌شدند، بسیاری از مشکلات پرکردن خشک، مخصوصاً در بخش حمل و نقل حل شد (Grice, 1998).

در اوایل سال ۱۹۳۳، در معدن مونت لیل^۲ از پرکردن هیدرولیکی استفاده شد. از آنجا که این معدن در منطقه‌ای 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 بروکن‌هیل پرکردن هیدرولیکی به عنوان روش اصلی مورد استفاده قرار گرفت. با گذشت حدود دو دهه از شروع پرکردن هیدرولیکی در معادن مونت لیل و بروکن‌هیل این دانش به سرعت گسترش پیدا کرد و در سرتاسر استرالیا و در هر جا که پرکردن مورد نیاز بود، استفاده شد. کولینگ^۳ گزارش داد یکی از مشکلات اساسی پرکردن هیدرولیکی، مسئله آبهای اضافی بود که به داخل معدن پمپ می‌شد (Grice, 1998).

در اوایل دهه ۸۰، استرالیایی‌ها تلاش کردند تا سیستم پرکردن خمیری را در معدن الورا^۴ راه اندازی نمایند. البته در این معدن بخشی از مشکلات تکنیکی هرگز حل نشد، در نتیجه کارخانه تولید مواد پرکننده خمیری با انجام تغییرات و اصلاحاتی در فرایند کار به تولید مواد پرکننده هیدرولیکی تبدیل شد. این تجربه ناموفق باعث شد توسعه‌ی این تکنولوژی روند نسبتاً آرامی را در استرالیا طی نماید تا

1 Arnold Black

2 Mount Lyell

3 Cowling

4 Elura

اینکه اولین کارخانه تولید تمام اتوماتیک در سال ۱۹۹۷ در معدن طلای هنتی^۱ مجوز فعالیت دریافت نمود (دهقان، ۱۳۹۱).

۲-۵-۲- تاریخچه پرکردن در معادن کانادا

بررسی‌ها نشان می‌دهد که پرکردن در معادن کانادا قدمتی ۱۰۰ ساله دارد و بکارگیری تکنولوژی پرکردن معادن در دهه ۱۹۸۰ با رشد مناسبی همراه بوده است. به طور کلی تکنولوژی پرکردن ارتباط نزدیکی با روش‌های جدید معدنکاری دارد. انتقال هیدرولیکی باطله‌ها و همچنین وجود مواد پرکننده رسوبی در دهه ۱۹۵۰ امکان استفاده از روش کندن و پرکردن را فراهم نمود که در آن از مواد پرکننده برای پرکردن کارگاه استفاده می‌شد. در آغاز دهه ۱۹۶۰ پرکننده‌های هیدرولیکی سیمانی به کار گرفته شدند و به دنبال آن روش‌های استخراج کندن و پرکردن پایین رو، چال‌های انفجاری و استخراج پسرو گسترش یافتند.

در آغاز دهه ۱۹۹۰ مواد پرکننده جدیدی مانند باطله‌های متراکم و پرکننده‌های خمیری استفاده شدند و تعدادی از معادن به طور موفقیت آمیزی از آنها در عملیات خود استفاده کردند (De Souza et al., 2003).

در دهه ۱۹۵۰ پرکردن هیدرولیکی کاربرد وسیعی در معادن کانادا پیدا کرد، به ویژه در کانسارهای توده‌ای در ناحیه سادبوری^۲ 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 برافاضه کردن ماده چسباننده (عمدتاً سیمان) به پرکردن هیدرولیکی شکل گرفت، به طوری که در سال ۱۹۶۰ استفاده از سیمان پرتلند برای پایدارسازی توده‌های پرکننده هیدرولیکی آغاز شد و پس از انجام

1 Henty
2 Sudbury

تعدادی آزمایش پرهزینه، استفاده از این تکنیک به صورت عملی در معدن فرود^۱ در سال ۱۹۶۲ آغاز شد.

در پایان دهه ۱۹۸۰ و اوایل دهه ۱۹۹۰ صنعت معدنکاری در آمریکای شمالی با مخاطرات جدیدی روبرو 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 فشردن‌سازی زمان سیکل تولید استخراج در نظر گرفته شد و در این حال پرکننده‌های سیمانی دوغابی تولید شد (Saw and Villaescusa, 2012).

تحقیقات بر روی روش پرکردن خمیری در دهه ۱۹۸۰ انجام شد. اولین کاربرد این سیستم در اوایل دهه ۱۹۸۰ در معدن بدگروند^۲ در کشور آلمان گزارش شده است و بلافاصله اولین کاربرد این روش در آمریکای شمالی در معدن لاکی فرایدی^۳ گزارش شده است.

اولین کارخانه تولید پرکننده‌های خمیری در کانادا در معدن گارسن راه اندازی شد. به دنبال موفقیت‌های حاصل شده در معدن گارسن، این نوع پرکردن به سرعت با فعالیت‌های انجام شده در معادن زیادی نظیر چیمو^۴، لوپین^۵ و لوویکورت^۶ استفاده شد (Saw and Villaescusa, 2012).

دسوزا^۱ و همکاران در مطالعه موردی که بر روی سیستم‌های رایج پرکردن در معادن کانادا انجام دادند به نتایج زیر رسیدند (برگرفته از دهقان، ۱۳۹۱):

1 Frood

2 Bad Ground

3 Luckky Friday

4 Chimo

5 Lupin

6 Louvicourt

- مقدار تولید مواد پرکننده از حدود ۴۰۰ تن در روز تا ۶۳۰۰ تن در روز متغیر است.
- باطله‌های معدنکاری (رو باز، زیرزمینی و کانه آرایه) و سنگ‌های باطله مرسوم‌ترین موادی هستند که در تولید توده‌های پرکننده مورد استفاده قرار می‌گیرند.
- سیمان پرتلند در ۶۰٪ معادن مورد بررسی به عنوان ماده چسباننده مورد استفاده قرار می‌گیرد. بررسی‌ها نشان می‌دهد خاکستر ترکیب شده با سیمان پرتلند، مرسوم‌ترین گزینه برای جایگزینی سیمان است.
- درصد وزنی خاکستر برای ترکیب با سیمان بین ۲/۵-۳/۵٪ تغییر می‌کند.
- پرکردن هیدرولیکی و پرکردن خمیری به ترتیب دارای ۶۴-۷۰٪ و ۷۸-۸۳٪ درصد وزنی ذرات جامد و 1890 Kg/m^3 و 2600 Kg/m^3 دانسیته سیال است.
- محدوده نشست پرکننده‌های خمیری در آزمایش اسلامپ بین ۱۶-۱۴ سانتی‌متر تغییر می‌کند.
- ۸۳٪ معادن مورد بررسی از سیستم ثقلی برای حمل مواد پرکننده استفاده می‌کنند.
- قطر لوله‌های حمل و نقل مواد در محدوده ۲۰-۵ سانتی‌متر است.
- قطر گمانه‌های مورد استفاده در پرکردن هیدرولیکی در محدوده ۹۶-۲۱۵ میلی‌متر و در پرکردن خمیری در محدوده ۱۸۰۰-۳۰۰ میلی‌متر متغیر است.
- محدوده‌ی تغییرات هزینه پرکردن در محدوده ۲-۲۶٪ هزینه‌های کلی معدنکاری می‌باشد.
- هزینه سیمان مصرفی به ازای هر تن توده پرکننده به طور میانگین ۴۲٪ هزینه‌های کل پرکردن می‌باشد.
- فشار معمول خطوط لوله بین ۵۵۰۰-۲۰۰۰ کیلوپاسکال و ماکزیمم فشار مجاز در محدوده ۱۳۰۰۰-۳۵۰۰ کیلوپاسکال تغییر می‌کند.

۲-۵-۳- تاریخچه پرکردن در ایران

معادن زیرزمینی ایران را به طور کلی می‌توان به دو دسته معادن زغالسنگ و غیرزغال سنگ تقسیم کرد. در معادن زغال سنگ برای نگهداری قسمت پشت کارگاه از دو روش خاکریز و تخریب سقف استفاده می‌شود که در روش خاکریز، مصالح به صورت دستی به قسمت پشت کارگاه تخلیه می‌شود. در معادن زغال سنگ حوزه زغالی کرمان (معادن باب نیزو و هجدک) نیز از خاکریز به عنوان نگهدارنده دیواره و نیز سکوی کار (با توجه به ماهیت روش استخراج) برای برش‌های بعدی استفاده می‌شود.

در معادن زیرزمینی غیرزغالی فعال کشور تنها به معدن منگنز و نارچ قم و معدن سرب و روی نخلک اشاره نمود که از روش کندن و پرکردن در استخراج ماده معدنی استفاده می‌کنند. در این معادن، مواد پرکننده برای ایجاد سکوی کار در کارگاه استخراج استفاده می‌شوند.

با بررسی وضعیت استخراج در سایر معادن زیرزمینی و با توجه به موارد فوق می‌توان این‌گونه استنباط نمود که پرکردن به شکل و با فناوری که امروزه در دنیا به کار می‌رود، در ایران کاربرد پیدا نکرده است و معادن زیرزمینی ایران یا از این تکنیک استفاده نمی‌کنند و یا به شکل کاملاً ابتدایی و سنتی، البته آن هم به طور ناقص اجرا می‌کنند.

از مهمترین دلایل این امر می‌توان به مسائل و مشکلات فنی و پایین بودن فناوری استخراج، کوچک بودن معادن و پایین بودن تناژ استخراج و حاکم بودن تفکر غیرتخصصی در مدیریت فنی معادن کشور به ویژه معادن زیرزمینی اشاره کرد (نیک گفتار، ۱۳۸۲).

۲-۵-۴- آینده پرکردن در ایران

با توجه به عمیق‌تر شدن معادن زیرزمینی کشور و افزایش مشکلات ناشی از نگهداری کارگاه‌های استخراج، افزایش بی سابقه قیمت مواد معدنی در دنیا، افت بالای ماده معدنی به عنوان پایه‌های برجا مانده و نشست زمین، تعدادی از معادن کشور در نظر دارند برای استخراج افق‌ها و طبقات پایین‌تر و یا بازیابی لنگه‌ها از روش پرکردن هیدرولیکی و یا خمیری سیمانی استفاده کنند که از آن جمله می‌توان به معادن منگنز و نارچ، معدن سرب و روی انگوران و معدن زیرزمینی ساغند اشاره نمود.

۲-۶- تحقیقات و پژوهش‌های انجام شده

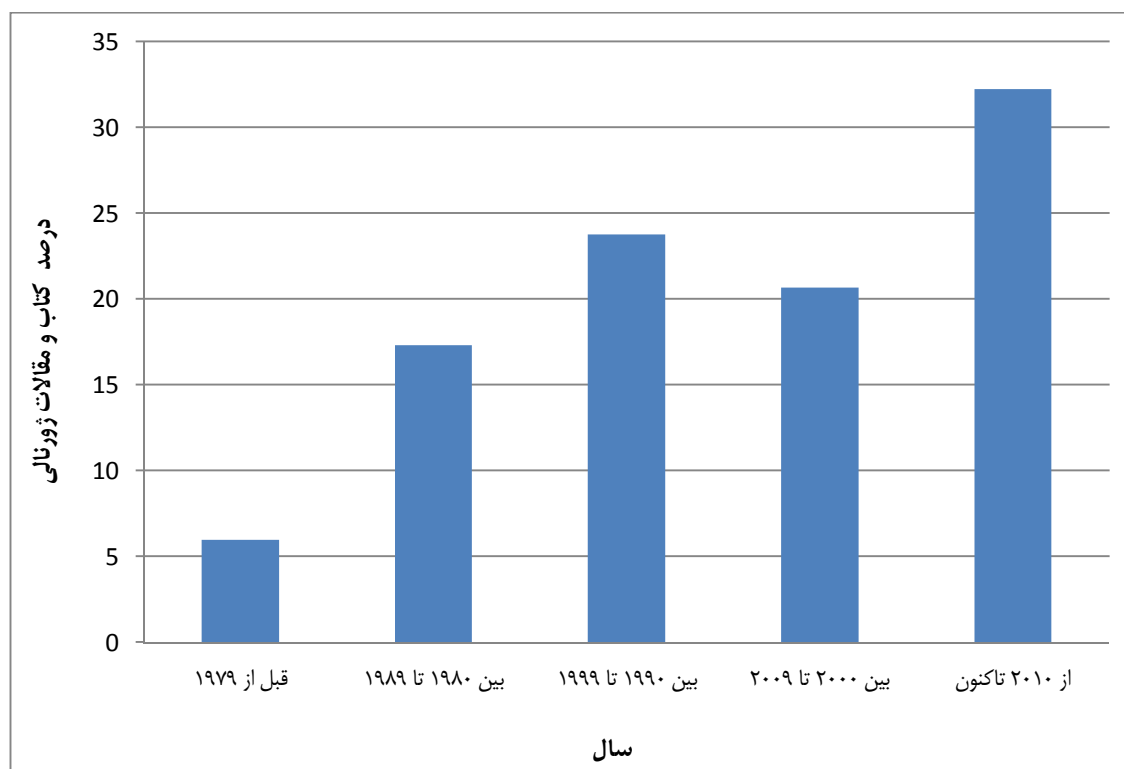
در سال‌های اخیر کارهای پژوهشی و مقالات زیادی در خصوص روش‌های پرکردن معادن زیرزمینی و فضا‌های استخراجی و ترکیب مصالح مورد استفاده در پرکننده‌ها، صورت گرفته است که در جدول ۱-۲ عناوین کلی مقالات مهم ارائه شده است و در ادامه در شکل ۲-۱۰ درصد کارهای پژوهشی در دهه‌های مختلف ارائه شده است.

جدول ۱-۲ - مقالات و پژوهش‌های بررسی شده

عنوان مقاله یا پژوهش	ارائه دهنده	سال انتشار
توسعه پرکردن در معادن زیرزمینی استرالیا	Grice	1998
یک سیستم پشتیبانی یکپارچه تصمیم‌گیری برای طراحی پرکننده‌ها	Huang	1994
پرکردن معادن	and Hassani Archibald	1998
طراحی سیستم‌های پرکردن هیدرولیکی در معادن زیرزمینی	Cooke	2001
اقتصاد و چشم انداز فعالیت‌های پرکردن زیرزمینی در معدنکاری کانادا	De Souza et al.	2003
بازبینی مواد چسباننده مورد استفاده در تثبیت پرکننده‌های مصالح سنگی خشک	Petrolito and Anderson	2005
هندبوک پرکردن معدن، مرکز مطالعات ژئومکانیک و ژئوتکنیک استرالیا	Thomas Potvin and	2005
نفوذپذیری پرکننده‌های هیدرولیکی و موانع آجری	Nagaratnam et al.	2006
خصوصیات ژئوتکنیکی پرکننده‌های حاوی خاکستر برای پرکردن حفره‌های معدنی	Mishra and Karanam	2006
ویژگی‌های ژئوتکنیکی پرکننده‌های هیدرولیکی اجرا شده در تعدادی از معادن استرالیا	Rankine et al.	2006
طراحی و اجرای فناوری پرکردن خمیری در معادن زیرزمینی	Mostafa Tikove and	2008
روش‌های پرکردن و مواد مورد استفاده در پرکننده‌ها برای پرکردن حفریات زیرزمینی	David and Dixon	2008
عملکرد مهندسی چسباننده‌های شیشه‌ای در پرکردن معادن زیرزمینی	De Souza et al.	2009
فناوری پرکردن در معدنکاری مجدد رگه‌های ضخیم زغال سنگ که قبلاً توسط حفرات کوچک معدنکاری شده تحت تأثیر قرار گرفته‌اند	ZHU Jian-ming et al.	2011
آنالیز پایداری پرکننده خمیری به عنوان پایه در کارگاه استخراج با استفاده از روش تحلیلی و مدل سازی عددی در معدن طلای زیرزمینی کنسانا	Razak Karim et al.	2012
عملیات پرکردن در روش معدنکاری، استخراج از طبقات فرعی	Muhammad Zaka E mad	2012
خواص ژئوتکنیکی پرکننده های معدن	Saw and Villaescusa	2012
تحقیق بر روی فناوری پرکردن و پرکننده‌ها در معادن زیرزمینی کشور قزاقستان	Krupnik et al.	2013
انتخاب مواد پرکننده برای معدن ذغال سنگ زیرزمینی Barapukuria، در کشور بنگلادش	Farhad Howladar	2014
استفاده از روش پرکردن در معادن زغال سنگ	Xiaowei et al.	2015
پرکردن معادن زیرزمینی استرالیا توسط مواد پرکننده خمیری و هیدرولیکی	Nagaratnam et al.	2015
خصوصیات مواد پرکننده سیمانی - سنگی برای پرکردن معدن نیکل کاسموس در استرالیا غربی	Saw et al.	2015
گزارش فنی معدن اورانیوم سیگارلیک کانادا	Bronkhorst et al.	2015

ادامه جدول ۲-۳- مقالات و پژوهش‌های بررسی شده

عنوان مقاله یا پژوهش	ارائه دهنده	سال انتشار
گزارش فنی معدن اورانیوم مک‌آرتور ریور کانادا	Leslie et al.	2016
خواص پرکننده‌های خمیری سیمانی در معادن	Ghirian and Fall	2017



شکل ۲-۱۰- درصد کتب و مقالات انتشار یافته در خصوص پرکردن فضاهای زیرزمینی در سال‌های مختلف

این مقالات مواد پرکننده و پرکردن را از جنبه‌های مختلف مورد بحث قرار داده‌اند. ساو^۱ در سال ۲۰۱۲ بر روی خواص ژئوتکنیکی پرکننده‌های معدن که در ده سال اخیر در معادن کشور استرالیا مورد استفاده قرار می‌گیرند، بحث نموده است. که یک نمونه از طرح اختلاط تیپیک این مواد پرکننده در معادن استرالیا بصورت جدول ۲-۲ آمده است (Saw et al., 2013).

1. Saw

همچنین در شکل ۲-۱۱ میزان مقاومت فشاری تک‌محوری پرکننده‌های مختلف با توجه به میزان مواد جامد داخل آن ارائه شده است.

جدول ۲-۲- ترکیب معمول پرکننده‌های معادن زیرزمینی در استرالیا (Saw et al., 2012)

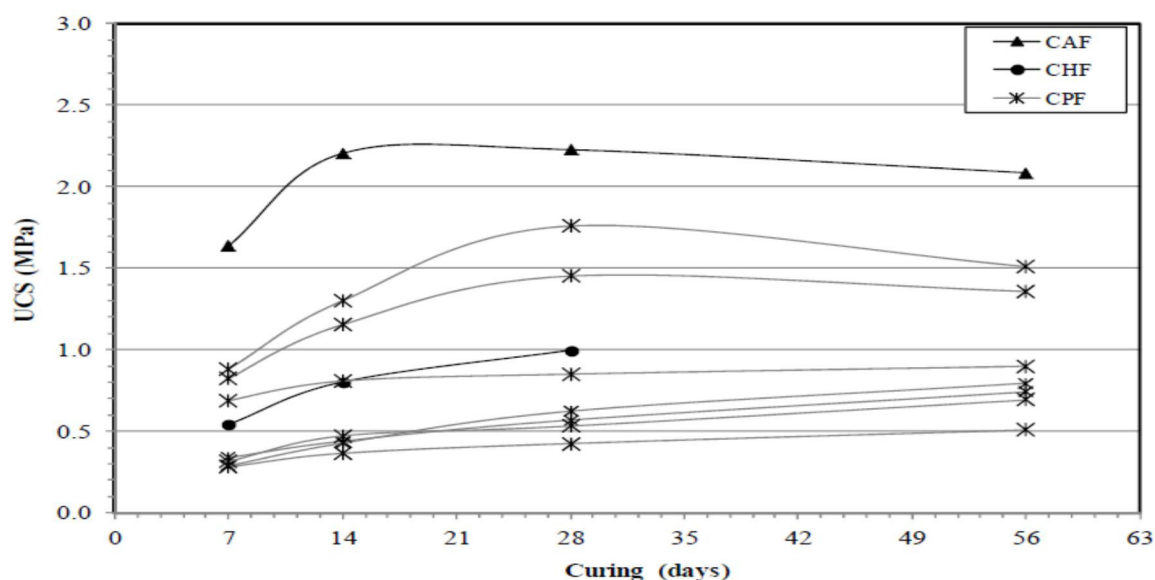
توصیف	CPF	CHF	CAF	CRF
باطله (%)	۹۶	۹۴	-	-
سنگ باطله با قطر بین ۲ تا ۳۰۰ میلیمتر (کیلوگرم بر مترمکعب)	-	-	-	۲۰۱۷
مصالح درشت دانه با قطر بین ۱۰ تا ۴۰ میلیمتر (%)	-	-	۸۶	-
شن (%)	-	-	۱۰	-
سیمان (%)	۴	۶	۴	۵
مصالح سنگی (%)	۷۰	۷۶	-	-
نسبت آب به سیمان	۱۰	۵	۲	۲

CPF=Cemented paste fill

CAF=Cemented aggregate fill

CRF=Cemented rock fill

CHF=Cemented hydraulic fill



شکل ۲-۱۱- ارتباط میزان مقاومت فشاری تک‌محوری با میزان ذرات جامد در پرکننده‌های مختلف (Saw et al.,

2012)

در معدن نیکل کاسموس^۱ استرالیا برای پرکردن کارگاه‌های استخراج معدن از روش پرکننده سنگی سیمانی (CRF) استفاده می‌شود. نمونه‌هایی از طرح اختلاط مورد استفاده در معدن در جدول ۳-۲ ارائه شده است. یکی از معایب اصلی این روش غیرمکانیزه بودن روش از نظر انتقال و توزیع در کارگاه‌های استخراج می‌باشد که زمان و هزینه بالایی به خود اختصاص می‌دهد. همچنین در شکل ۱۲-۲ نحوه ساخت پرکننده بتنی و آزمایش‌های مربوطه در آزمایشگاه را نشان می‌دهد (Saw et al., 2013).

جدول ۳-۲- طرح‌های اختلاط بتن مورد استفاده در معدن نیکل کاسموس استرالیا (Saw et al., 2013)

مشخصات اختلاط	CN-1	CN-2	CN-3
ابعاد مصالح	بین ۲ تا ۱۰۰ میلی‌متر	بین ۲ تا ۹۰ میلی‌متر	بین ۲ تا ۱۲۰ میلی‌متر
درصد وزنی سیمان (درصد حجمی)	۴ (۲)	۴ (۲)	۴ (۲)
وزن مصالح در یک مترمکعب CRF (کیلوگرم)	۱۹۹۵	۲۱۰۴	۲۱۵۶
وزن سیمان در یک مترمکعب CRF (کیلوگرم)	۷۹/۸۱	۸۴/۱۶	۸۶/۲۳
میزان آب در یک مترمکعب CRF (کیلوگرم)	۱۵۹/۶۱	۱۶۸/۳۳	۱۷۲/۴۵
دانسیته CRF (کیلوگرم بر متر مکعب)	۲۲۳۵	۲۳۵۷	۲۴۱۴

CRF=Cemented rock fill

1 . Cosmos



شکل ۲-۱۲- تصویری از ساخت پرکننده بتنی در معدن کاسموس استرالیا (Saw et al., 2013)

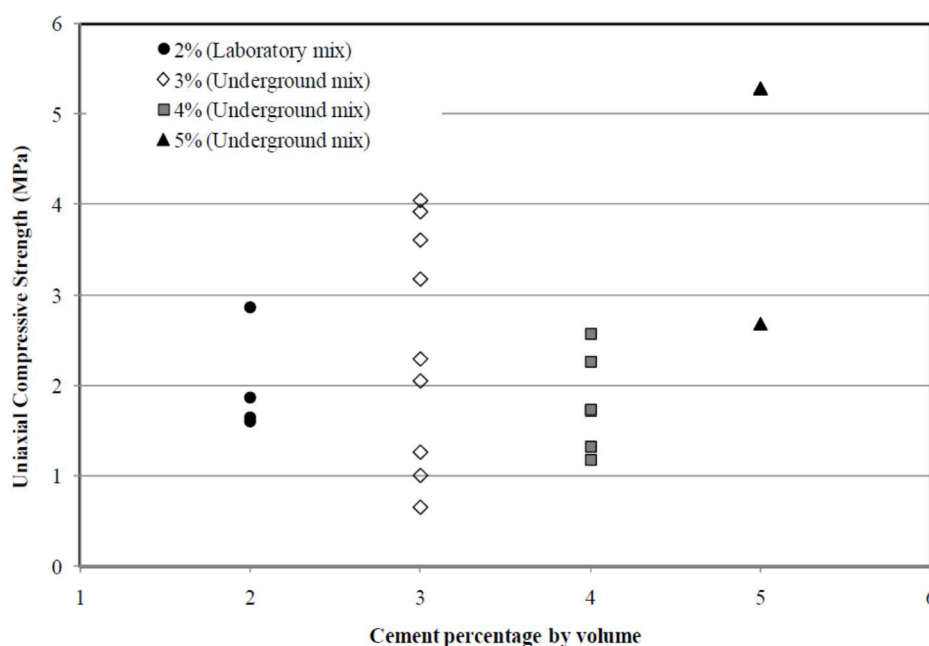
همچنین در جدول ۲-۴ خلاصه‌ای از مقاومت فشاری تک محوری پرکننده سنگی- سیمانی معدن کاسموس که در محل اجرا ساخته شده، ارائه شده است. در شکل ۲-۱۳ تفاوت مقاومتی پرکننده ساخته شده در آزمایشگاه و محل اجرا نشان داده شده است.

جدول ۲-۴- مقاومت فشاری نمونه‌های مختلف پرکننده سنگی-سیمانی در معدن کاسموس (Saw et al., 2013)

تاریخ تست	درصد حجمی سیمان (%)	زمان بارگذاری (روز)	حداکثر نیروی وارده (کیلو نیوتن)	مقاومت فشاری تک محوره (مگا پاسکال)
۲ ژانویه ۲۰۱۰	۳	۳۴	۲۴۹/۸۰	۱/۲۶
۲۴ می ۲۰۱۰	۳	بیشتر از ۲۸	۱۹۷/۳۸	۱/۰۱
۲۵ می ۲۰۱۰	۳	بیشتر از ۲۸	۶۲۳/۲۰	۳/۱۷
۲۶ می ۲۰۱۰	۳	بیشتر از ۲۸	۴۰۲/۳۳	۲/۰۵
۲۶ می ۲۰۱۰	۳	بیشتر از ۲۸	۷۶۹/۱۱	۳/۹۲
۲۸ می ۲۰۱۰	۳	بیشتر از ۲۸	۷۰۷/۸۲	۳/۶۰
۳۱ می ۲۰۱۰	۳	بیشتر از ۲۸	۴۴۹/۸۲	۲/۲۹
۳۱ می ۲۰۱۰	۳	بیشتر از ۲۸	۱۲۸/۴۶	۰/۶۵
۱۶ ژوئن ۲۰۱۰	۳	بیشتر از ۲۸	۷۹۳/۸۱	۴/۰۴
۴ فبریه ۲۰۱۰	۳	۳۲	۵۰۳/۲۰	۲/۵۶
۱۶ فبریه ۲۰۱۰	۳	۴۴	۳۳۷/۶۰	۱/۷۲
۱۸ فبریه ۲۰۱۰	۳	۲۶	۲۶۰/۱۵	۱/۳۲
۴ مارس ۲۰۱۰	۳	۲۸	۴۴۴/۶۷	۲/۲۶

ادامه جدول ۲-۴ - مقاومت فشاری نمونه‌های مختلف پرکننده سنگی-سیمانی در معدن کاسموس (Saw et al., 2013)

تاریخ تست	درصد حجمی سیمان (%)	زمان بارگذاری (روز)	حداکثر نیروی وارد (کیلو نیوتن)	مقاومت فشاری تک محوره (مگا پاسکال)
۱۱ مارس ۲۰۱۰	۳	۳۴	۳۴۰/۰۹	۱/۷۳
۱۲ مارس ۲۰۱۰	۳	۳۵	۲۳۲/۰۷	۱/۱۸
۲۰ ژانویه ۲۰۱۰	۳	۳۰	۵۲۷/۰۰	۲/۶۸
۳۰ ژانویه ۲۰۱۰	۳	بیشتر از ۲۸	۱۰۳۷/۰۰	۵/۲۸
۱ ژوئیه ۲۰۱۰	۳	بیشتر از ۲۸	۱۰۳۸/۶۰	۵/۲۹



شکل ۲-۱۳ - تفاوت مقاومتی پرکننده ساخته شده در آزمایشگاه و فضاهای زیرزمینی (Saw et al., 2013)

از شکل پیداست که با افزایش میزان سیمان پرکننده‌های بتنی، مقاومت فشاری آن افزایش پیدا می‌کند. همچنین پرکننده‌های ساخته شده در آزمایشگاه تا حدودی نسبت به پرکننده‌های ساخته شده در فضاهای زیرزمینی نتایج بالاتری نشان داده است. بیشتر معادن قزاقستان هر دو روش پرکردن

هیدرولیکی و پرکردن سنگی را به کار می‌گیرند. در معدن مالوسکی^۱ از مخلوط پرکننده سفت برای پرکردن کارگاه‌های استخراج استفاده می‌شود و طرح اختلاط کلی آن به صورت زیر است: سیمان 60 Kg/m^3 ، خاکستر دانه ریز با ابعاد زیر $0/08$ میلی‌متر حدود 120 Kg/m^3 ، خاکستر دانه ریز با ابعاد بالای $0/08$ میلی‌متر حدود 120 Kg/m^3 ، سنگ‌های باطله با ابعاد بالای $2/5$ میلی‌متر حدود 470 Kg/m^3 ، مواد سبک با سایز بالای $2/5$ میلی‌متر حدود 705 Kg/m^3 و میزان آب 460 Kg/m^3 . که با استفاده از سرپاره‌های کوره ذوب در طرح اختلاط، میزان مصرف سیمان حدود 50% کاهش می‌یابد.

در معدن تی‌شنسکی^۲ قزاقستان، مواد پرکننده با ظرفیت 120 مترمکعب در ساعت در سطح زمین آماده می‌شود. چسباننده اصلی سیمان و سرپاره کوره ذوب آسیا شده، می‌باشد که در جدول ۲-۵ و جدول ۲-۶ طرح اختلاط‌هایی که بصورت رایج در این معدن بکار می‌رود، آمده است (Krupnika et al., 2013).

جدول ۲-۵- ترکیب پرکننده‌های مورد استفاده در معدن تی‌شنسکی با استفاده از سیمان و سرپاره آسیا شده (Krupnika et al., 2013)

دانشیته (کیلوگرم بر مترمکعب)	میزان مصالح مورد استفاده در طرح اختلاط پرکننده (کیلوگرم بر مترمکعب)					طرح اختلاط
	میزان آب (لیتر بر مترمکعب)	مصالح سنگی و ریزدانه	میزان چسباننده			
			سرپاره آسیا شده	سیمان	کل	
۱۹۲۰	۴۶۵	۱۱۸۰	۲۲۰	۵۵	۲۷۵	M20
۱۹۲۰	۴۷۵	۱۱۹۵	۲۴۰	۶۰	۳۰۰	M25
۱۹۰۰	۴۷۵	۱۱۰۰	۲۶۰	۶۵	۳۲۵	M30
۱۹۰۵	۴۷۵	۱۰۸۰	۲۸۰	۷۰	۳۵۰	M35
۱۹۱۵	۴۸۵	۱۰۳۰	۳۲۰	۸۰	۴۰۰	M40
۱۸۸۰	۵۰۰	۹۱۰	۳۸۰	۹۰	۴۵۰	M45

1 . Maleevsky

2 . Tishensky

جدول ۲-۶- ترکیب پرکننده های مورد استفاده در معدن تی شنسکی با استفاده از سیمان (Krupnika et al., 2013)

دانشیته (کیلوگرم بر مترمکعب)	میزان مصالح مورد استفاده در طرح اختلاط پرکننده (کیلوگرم بر مترمکعب)				طرح اختلاط
	میزان آب (لیتر بر مترمکعب)	مصالح پرکننده سنگی و ریزدانه		سیمان	
		باطله سنگی	پرکننده های سبک		
۲۰۱۵	۴۰۰	۸۷۵	۶۰۰	۱۴۰	M20
۲۰۱۵	۴۰۰	۸۶۰	۶۰۰	۱۵۵	M25
۲۰۱۰	۴۰۰	۸۴۰	۶۰۰	۱۷۰	M30
۲۰۱۰	۴۰۰	۸۲۰	۶۰۰	۱۹۰	M35
۲۰۱۰	۴۰۰	۸۰۰	۶۰۰	۲۱۰	M40
۲۰۱۵	۴۰۵	۷۹۰	۶۰۰	۲۲۰	M45

معدن ریدر سوکولسکی^۱ ترکیب پرکننده ای را که مورد استفاده قرار می‌دهد شامل سیمان پرتلند 140 Kg/m^3 ، میزان باطله 1195 Kg/m^3 و آب حدود 510 Kg/m^3 می‌باشد.

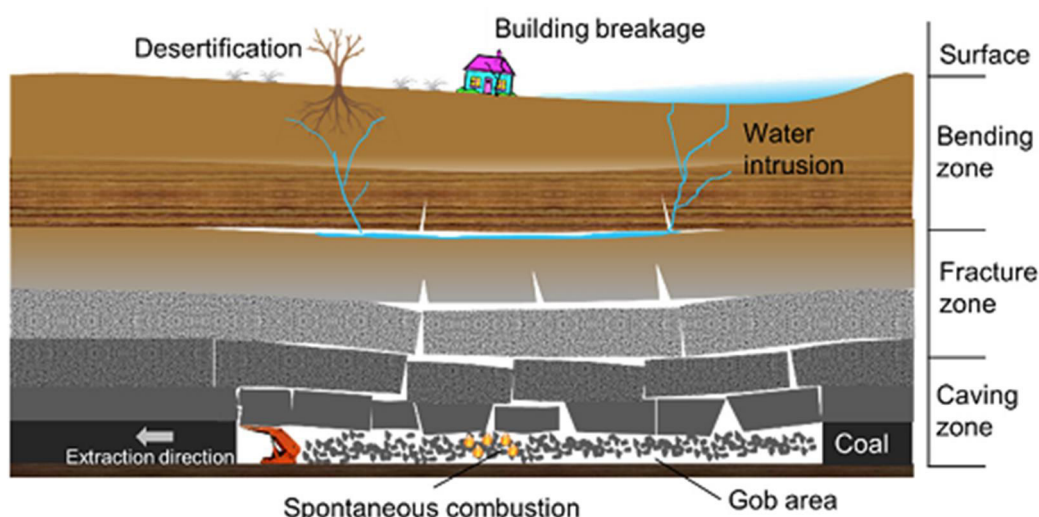
فنگ^۲ و نانگ زانگ^۳ در سال ۲۰۱۵ با توجه به پدیده نشست در معادن زیرزمینی زغال سنگ کشور چین، بحث پرکردن خمیری را مطرح نمودند. چون از معادن زغال سنگ در کشور چین به عنوان طلای سیاه نام برده می‌شود و تلاش براین است که حداکثر بازیابی از این طلای سیاه صورت پذیرد. کشور چین تقریباً حدود ۴۶ درصد کل زغال سنگ استخراجی دنیا را به خود اختصاص می‌دهد، لذا با روش‌های پرکردن به خصوص پرکردن خمیری و هیدرولیکی هم می‌توان پدیده نشست زمین در معادن زیرزمینی را حذف نمود و هم حداکثر بازیابی از ذخایر برجا را انجام داد. شکل ۲-۱۴ پدیده

1 . Ridder Sokolsky

2 . Feng

3 . Nong Zhang

نشست زمین را بطور شماتیک در یکی از معادن زغال سنگ کشور چین که به روش تخریبی استخراج می‌شود، نشان می‌دهد (Xiaowei et al., 2015).



شکل ۲-۱۴- نشست زمین در روش استخراج تخریبی زغال (Xiaowei et al., 2015)

ناگاراتنم^۱ و همکاران در سال ۲۰۱۵، کاربرد پرکننده‌های هیدرولیکی سیمانی و خمیری را در پرکردن حفرات بزرگ در معادن زیرزمینی استرالیا، تأکید نموده‌اند و این امر بیشتر با هدف پایداری فضاهای زیرزمینی و کارگاه‌های استخراج بوده است. (Nagaratnam et al, 2015).

۲-۷- نقد و بررسی مطالعات گذشته

در زمینه پرکردن فضاهای زیرزمینی، انواع پرکننده‌ها و مصالح مورد استفاده در پرکننده‌ها، مطالعات و تحقیقات خوبی در دنیا صورت گرفته است. اما بصورت جامع و کلی در اکثر مطالعات و کارهای انجام شده از تمام جنبه‌ها به مزایا و اهداف پرکردن نگاه نشده است. در اکثر پژوهش‌های صورت گرفته از پرکردن برای پایداری حفریات زیرزمینی و کارگاه‌های استخراج معادن ذکر شده است. در بعضی از

1 . Nagaratnam

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 راندمان تولید و استفاده از روش‌های کم هزینه استخراج همانند روش‌های استخراج تخریبی، نشست زمین بعد از طی سال‌های زیاد اتفاق افتاده است که این امر محققین را به فکر استفاده از مواد پرکننده در فضا‌های استخراج شده سوق داده است.

در معادن زیرزمینی اورانیوم دنیا به خصوص کشور کانادا با توجه به اینکه عیار ذخایر اورانیوم بالا بوده و روش‌های استخراج، روش‌های بدون ورود به فضا‌های زیرزمینی می‌باشد (از قبیل معادن اورانیوم مک آرتور ریور و سیگارلیک)، در این معادن اورانیوم اصلاً توجهی به مهار بخشی از خروج گاز رادون و کاهش میزان دز جذبی اشعه پرسنل، توسط مواد پرکننده و پرکردن 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 (Howladar et al., 2013).

در کشور ایران که عیار ذخایر اورانیوم متوسط تا پایین بوده و برای استخراج آن می‌بایست پرسنل و کارگران با ورود به کارگاه‌های استخراج، عملیات استخراج ماده معدنی اورانیوم را انجام دهند، محافظت در برابر تشعشع و استنشاق کمتر گاز رادون یکی از موارد ایمنی مهمی است که باید مدنظر قرار داد. که این امر با تهویه و تا حدی با پرکردن هیدرولیکی سیمانی محقق می‌شود.

یکی از نقدهای مهم دیگری که به پژوهش‌های صورت گرفته قبلی وارد است، بحث هزینه‌های پرکردن و مکانیزه نمودن روش‌های انتقال و توزیع پرکننده‌ها در فضا‌های زیرزمینی می‌باشد. که در مطالعات گذشته کمتر به این امر توجه شده است. البته در بعضی از معادن و تحقیق‌های صورت گرفته تا حدودی سعی نموده‌اند هزینه‌های پرکردن را با حذف بخشی از سیمان مورد استفاده در روش‌های پرکردن سیمانی و جایگزینی آن با خاکستر و سرباره کوره‌های ذوب جبران نمایند، ولی این امر هنوز هم جای بحث دارد.

یکی دیگر از نقدهایی که به مطالعات گذشته وارد است، توجه کمتر به حفظ محیط زیست می‌باشد. زیرا باطله‌های استخراجی از معادن، به خصوص کارگاه‌های استخراج تا حدودی آلوده به مواد رادیواکتیو بوده و دپوی آنها در سطح زمین ممکن است آلودگی‌های زیست محیطی به بار آورد. لذا می‌بایست حتی الامکان این باطله‌ها مجدداً در چرخه پرکردن به عنوان مصالح مواد پرکننده مورد استفاده قرار گیرند.

بطور کلی نقدهایی که به مطالعات گذشته در زمینه روش‌های پرکردن و طرح اختلاط مواد پرکننده مورد استفاده وارد است، بصورت زیر ارائه می‌گردد.

- اهداف پرکردن و ترکیب پرکننده‌ها بصورت جامع و فراگیر در نظر گرفته نشده است. در هریک از مطالعات فقط به یک جنبه و هدف توجه شده است.
- در معادن اورانیوم به مقوله کاهش دز جذبی تشعشع به کمک مواد پرکننده و به دنبال آن کاهش خروج گاز رادون، با ارائه طرح اختلاط مناسب اصلاً توجهی نشده است.
- کمتر به مباحث اقتصادی پرکردن توجه شده است. در به‌کارگیری پارامترهایی که در کاهش هزینه‌های مواد پرکننده نقش دارند، توجهی نشده است (از قبیل کاهش میزان سیمان در طرح اختلاط و جایگزینی با مصالح طبیعی موجود همانند ماسه بادی یا مصالح رودخانه‌ای مجاور معادن).
- عدم توجه به ملاحظات زیست محیطی و آلودگی‌های سطحی مواد باطله آلوده به اورانیوم و آب‌های زهکشی شده از معادن اورانیوم

۸-۲- جمع بندی

در زمینه پرکردن فضاها، زیرزمینی، انواع پرکننده‌ها و مصالح مورد استفاده در پرکننده‌ها، مطالعات و تحقیقات خوبی در دنیا صورت گرفته است. اما بصورت جامع و کلی در اکثر مطالعات و کارهای انجام شده از تمام جنبه‌ها به مزایا و اهداف پرکردن نگاه نشده است. در اکثر پژوهش‌های صورت گرفته از

پرکردن برای پایداری حفریات زیرزمینی، افزایش بازیابی ماده معدنی و کاهش نشست زمین پرداخته شده است.

در معادن زیرزمینی اورانیوم دنیا از پرکردن حفریات در راستای پایداری این حفریات و کارگاههای استخراج و افزایش بازیابی ماده معدنی پرداخته شده است. در معادن اورانیوم توجهی به کاهش میزان تشعشع و کاهش آلودگی‌های زیست محیطی نشده است. در این تحقیق علاوه بر مطالعه پایداری حفریات و کاهش هزینه‌های پرکردن و معدنکاری، به بحث کاهش تشعشع حاصله از کانسنگ اورانیوم و کاهش آلودگی‌های زیست محیطی با به کارگیری مصالح سنگی باطله‌های معادن روباز، باطله‌های معدن زیرزمینی و آب زهکشی شده‌ی معدن اورانیوم ساغند در اختلاط پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی پرداخته شده است.

۳. فصل سوم: کلیاتی در مورد

معادن ساغند (معادن مورد مطالعه

رساله)

۳-۱- کلیاتی در مورد معدن زیرزمینی ساغند

۳-۱-۱- موقعیت جغرافیایی و شرایط آب و هوایی

ناحیه اورانیوم دار ساغند در شمال شرقی استان یزد و به فاصله ۱۸۵ کیلومتر از شهرستان یزد قرار دارد و دارای مختصات جغرافیایی به طول 30° ، 25° ، 55° و به عرض 30° ، 30° ، 32° و در کویر ایران مرکزی قرار گرفته است. آب و هوای ناحیه، خشک قاره‌ای بوده و میزان رطوبت ناچیز و میزان بارندگی سالیانه کم است. منطقه دارای تابستان‌های گرم و زمستان‌های سرد است. حداکثر گرما در تابستان به 45° درجه سانتی‌گراد و در زمستان به 15° - درجه سانتی‌گراد می‌رسد و در تمام فصول سال اجرای عملیات معدنی امکان‌پذیر می‌باشد (سازمان انرژی اتمی ایران، ۱۳۷۲).

۳-۱-۲- زمین شناسی منطقه

کانسار ساغند از نظر زمین‌شناسی متعلق به اواخر پروتروزوئیک می‌باشد و بر اساس مطالعات زمین‌شناسی به سه واحد سنگ‌شناسی بزرگ تقسیم می‌شود، که شامل تشکیلات تحتانی (سنگ‌های آواری)، تشکیلات فوقانی (سنگ‌های کربناته) و تشکیلات انتقالی می‌باشند.

کانی‌سازی اورانیوم در سنگ‌های سرپانتین، تالک، مگنتیت متاسوماتیت مابین سنگ‌های ولکانیکی اسیدی تخریبی و آلتره و مجموعه‌ای از ماسه سنگ دگرگونی و اسلیت قرار دارد.

منشأ سنگ‌های سرپانتین، تالک و متاسوماتیت را مجموعه‌ای از سنگ‌های حد واسط و مرمر تشکیل می‌دهد. این سنگ‌ها از نظر ترکیب، غنی از کربنات، کانی‌های آهن‌دار، توف‌های اسیدی و بازی است. گسترش عمقی ماده معدنی در این معدن تقریباً بین ۱۷۰ تا ۳۲۰ متری می‌باشد (سازمان انرژی اتمی ایران، ۱۳۷۲).

۳-۱-۳- بازکردن و شبکه معدن

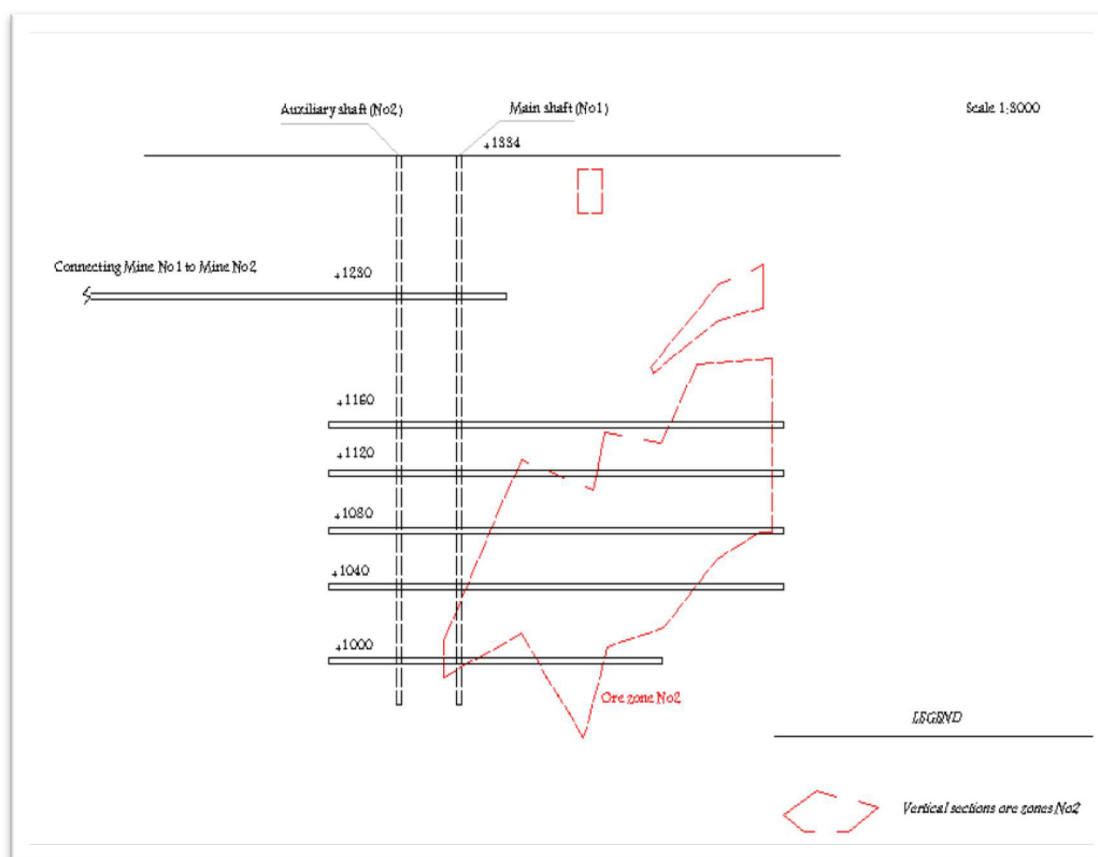
بازکردن معدن با تونل افقی باتوجه به وضعیت توپوگرافی منطقه، امکان پذیر نیست. لذا برای بازکردن معدن، چاه‌های قائم در نظر گرفته شده است. ظرفیت استخراج معدن زیرزمینی در حدود ۱۲۰،۰۰۰ تن در سال تعیین شده است و لذا چاه انتخابی باید بیش از ۵۰۰ تن در روز ظرفیت باربری داشته باشد. باتوجه به مقررات تهویه، عبور و مرور افراد از چاهی که به هوای خروجی اختصاص داده می‌شود مجاز نیست. لذا برای معدن باید دو راه دستیابی جداگانه در نظر گرفته شود که یکی مخصوص باربری کانسنگ و دیگری جهت عبور و مرور افراد و هوای ورودی بوده و در عین حال می‌تواند جهت حمل و نقل وسایل و احتمالاً حمل باطله حاصل از حفاری تونل‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

با در نظر گرفتن دستورالعمل‌های تهویه، سطح مقطع هر یک از حفاری‌های بازکننده باید حداقل ۱۲ مترمربع باشد.

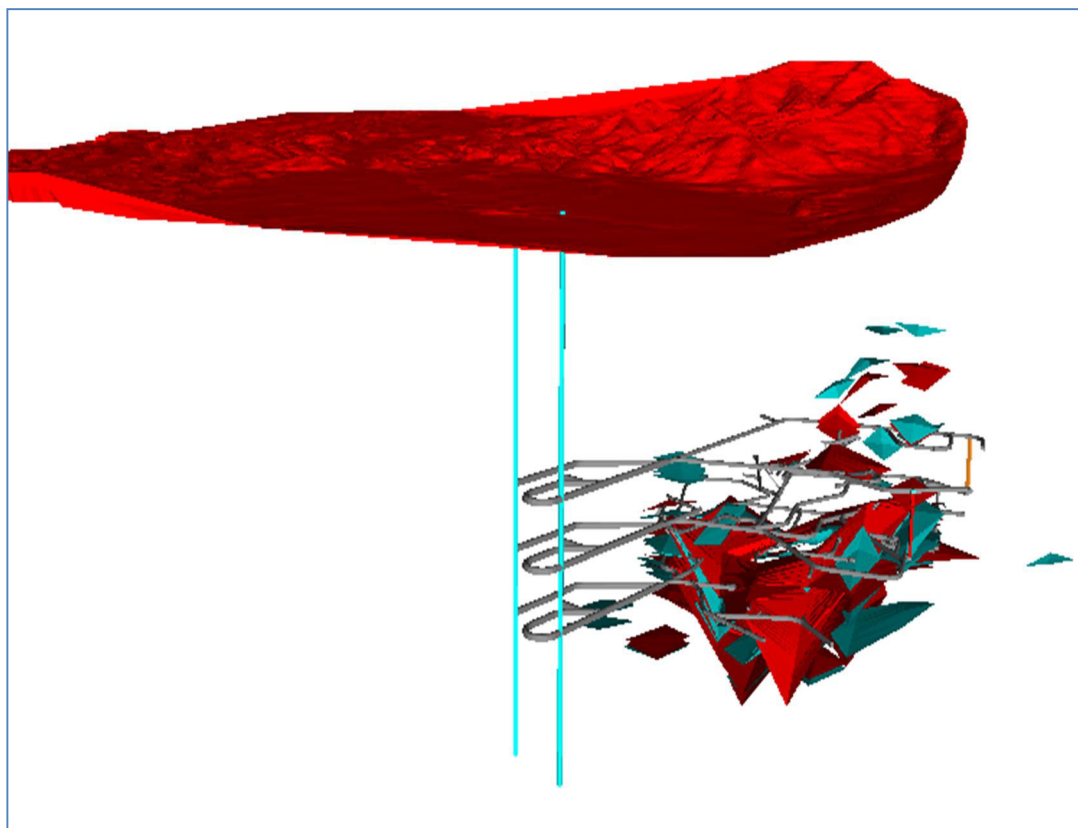
عمق نهایی معدن در حدود ۳۵۰ متر بوده و ارتفاع طبقات معدن باتوجه به روش‌های استخراج ۴۰ متر تعیین می‌شود. طبقات اصلی معدن در ترازهای ۱۱۲۰+، ۱۰۸۰+، ۱۰۴۰+ و ۱۰۰۰+ متر می‌باشند. در ترازهای هر طبقه علاوه بر تونل‌های پذیرگاه، یک تونل اصلی باربری احداث شده که از آن تونل‌های امتدادی جمع‌کننده کارگاه‌های استخراج منشعب می‌شوند.

دراین حالت دو چاه قائم با سطح مقطع دایره‌ای به قطر مفید ۴ متر تا تراز ۱۰۰۰+ متر حفر می‌شود که عمق کلی آنها در حدود ۳۵۰ تا ۳۶۰ متر می‌باشد. علت انتخاب سطح مقطع دایره‌ای به دلیل ناپایداری سنگ‌های منطقه بوده و به علاوه یک پوشش بتنی به ضخامت حداقل ۳۰ سانتیمتر در نظر گرفته می‌شود. بدین لحاظ قطر حفاری هر چاه حداقل ۴/۶ متر می‌باشد. نمایی از بازکننده‌های معدن و توده‌های معدنی در شکل ۱-۳ و شکل ۲-۳ نشان داده شده است.

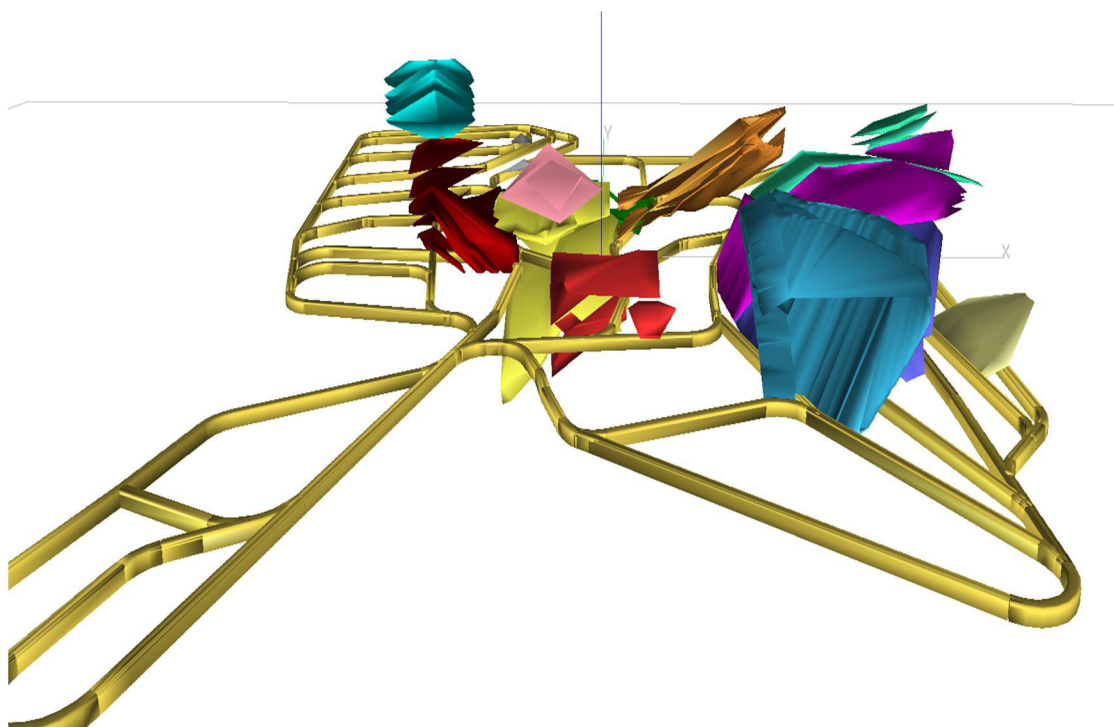
برای باربری از واگن‌های ۱/۲ مترمکعبی استفاده می‌شود. بالای چاه اصلی مجهز به یک قفس متناسب با ابعاد این واگن می‌باشد. قفس چاه تهویه (چاه فرعی) برای حمل واگن‌های ۰/۸ مترمکعبی در نظر گرفته شده است. در هر یک از چاه‌ها پلکان اضطراری و سرویس نصب می‌شود. لوله‌های آب و هوای فشرده و کابل‌ها را می‌توان در هر یک از چاه‌ها نصب نمود. برای ورود و خروج واگن در تراز هر طبقه و در سطح زمین از پوشش الکتریکی استفاده می‌شود. محل اتصال چاه با دهانه تونل در تراز هر طبقه تا فاصله کمی با بتن مسلح ساخته می‌شود، بطوری که با پوشش بتنی چاه به صورت یکپارچه باشد. کانال تهویه به چاه تهویه اتصال می‌یابد و محل اتصال پایین‌تر از گلوگاه چاه می‌باشد (سازمان انرژی اتمی ایران، ۱۳۷۲). نمایی از بازکننده‌های معدن به همراه توده‌های معدنی در تراز ۱۱۲۰+ در شکل ۳-۳ آمده است.



شکل ۳-۱- نمایی از بازکننده‌های اصلی معدن (سازمان انرژی اتمی ایران، ۱۳۷۴)



شکل ۳-۲- مدل سه بعدی اورانیوم نسبت به سطح زمین و حفاریات زیرزمینی (سازمان انرژی اتمی ایران، ۱۳۷۴)



شکل ۳-۳- نمایی از توده‌های ماده معدنی در تراز +۱۱۲۰ (نیک گفتار، ۱۳۹۴)

۳-۱-۴- روش‌های استخراج زیرزمینی معدن

یکی از مهم‌ترین موارد در طراحی کارگاه‌های استخراج، انتخاب روش استخراج مناسب می‌باشد. به طور کلی برای انتخاب روش استخراج ماده معدنی، روش‌ها و رویکردهای مختلفی ارائه شده است که در اینجا از پرداختن به آنها خودداری می‌شود.

روش استخراج ماده معدنی از آن جهت که بر فعالیت‌هایی از قبیل نوع و حجم کارهای بازکننده و آماده‌سازی کارگاه، سیستم بارگیری و باربری داخل کارگاه، ضریب بازیابی، سیستم نگهداری و برنامه‌ریزی تولید کارگاه موثر می‌باشد، دارای اهمیت است. این مساله از آنجا اهمیت می‌یابد که سایر عوامل و پارامترهای طراحی از قبیل طرح سیستم نگهداری، انتخاب تجهیزات حفاری و ترابری، طرح تهویه و امثالهم متأثر از روش استخراج انتخابی می‌باشد.

مهم‌ترین عوامل موثر بر طراحی روش استخراج عبارتند از:

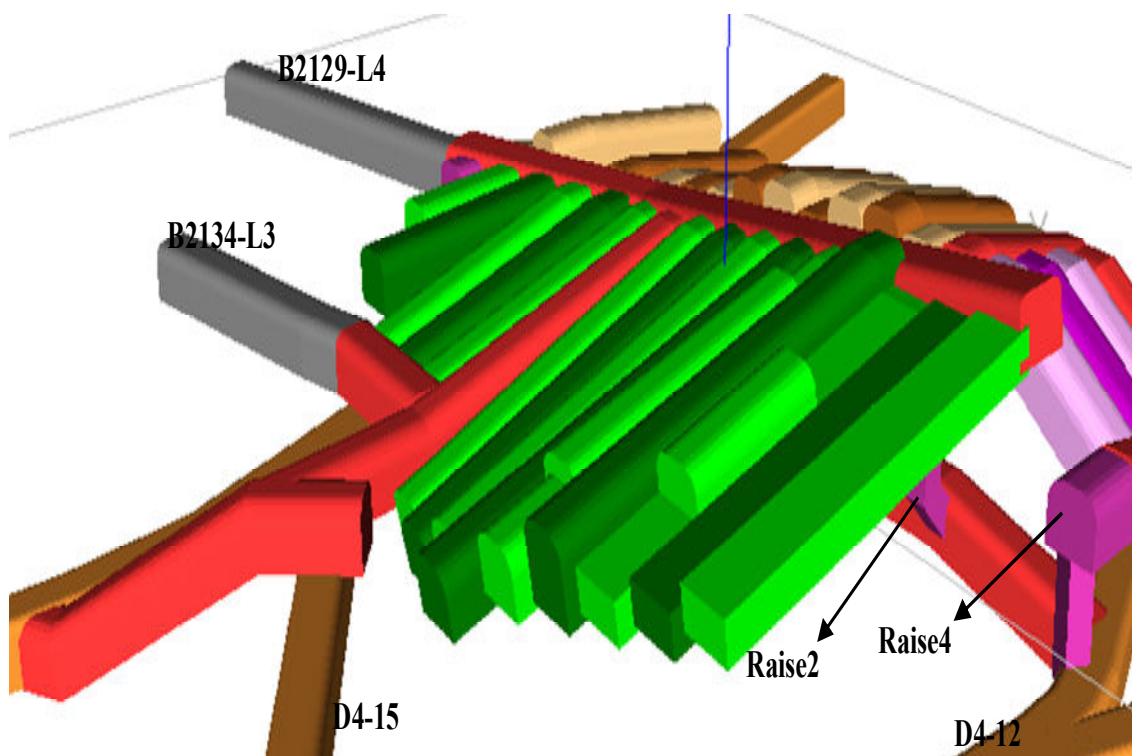
- سادگی طرح.
- بازیابی حداکثری ماده معدنی.
- جلوگیری از رقت ماده معدنی.
- ایمنی کارگاه استخراج.
- استخراج ماده معدنی همزمان با آماده‌سازی کارگاه.
- کمترین حفاری در سنگ‌های باطله در برگیرنده ماده معدنی.

از طرفی، تأمین شرایط ایمن در سینه‌کارها و محیط کارگاه، حداکثر بازیابی و حداقل کردن افت ماده معدنی، تابعی از روش استخراج انتخاب شده هستند. با توجه به شرایط خاص معدن ساغند و اهمیت تولید ماده معدنی مورد نظر در کشور، استخراج حداکثری ماده معدنی (درصد بازیابی حداکثر) دارای اهمیت بسیار زیادی بوده و باید در کلیه مراحل طراحی کارگاه‌های استخراج مدنظر قرار می‌گیرد (نیک‌گفتار، ۱۳۹۴).

از نگاهی دیگر می‌توان پارامترهای موثر در طراحی روش استخراج یک کارگاه را به شرح ذیل عنوان کرد:

- شکل ماده معدنی.
- شیب ماده معدنی.
- تغییرات شیب توده‌های معدنی
- پراکندگی توده‌های ماده معدنی
- ضخامت ماده معدنی.
- توزیع عیار ماده معدنی.
- وضعیت استحکام ماده معدنی.
- وضعیت استحکام توده سنگ در برگیرنده ماده معدنی (کمر بالا و کمر پایین ماده معدنی اورانیوم).

با توجه به موارد بالا و هندسه توده‌های معدنی، هر دو روش استخراج کنند و پرکردن تونلی و روش استخراج جبهه کار طولانی با پرکردن در بلوک‌های استخراجی این معدن قابلیت اجرایی دارند. اما روش کنند و پرکردن تونلی نسبت به روش استخراج جبهه کار طولانی همراه با پرکردن با توجه به وضعیت نامطلوب سنگهای دربرگیرنده از نظر پایداری و تجربه بالای پرسنل معدن در زمینه حفر تونل در اولویت اول روش‌های استخراج قرار گرفته است. در شکل ۳-۴ طرح سه بعدی یکی از بلوک‌های استخراجی این معدن به روش کنند و پرکردن تونلی ارائه شده است.

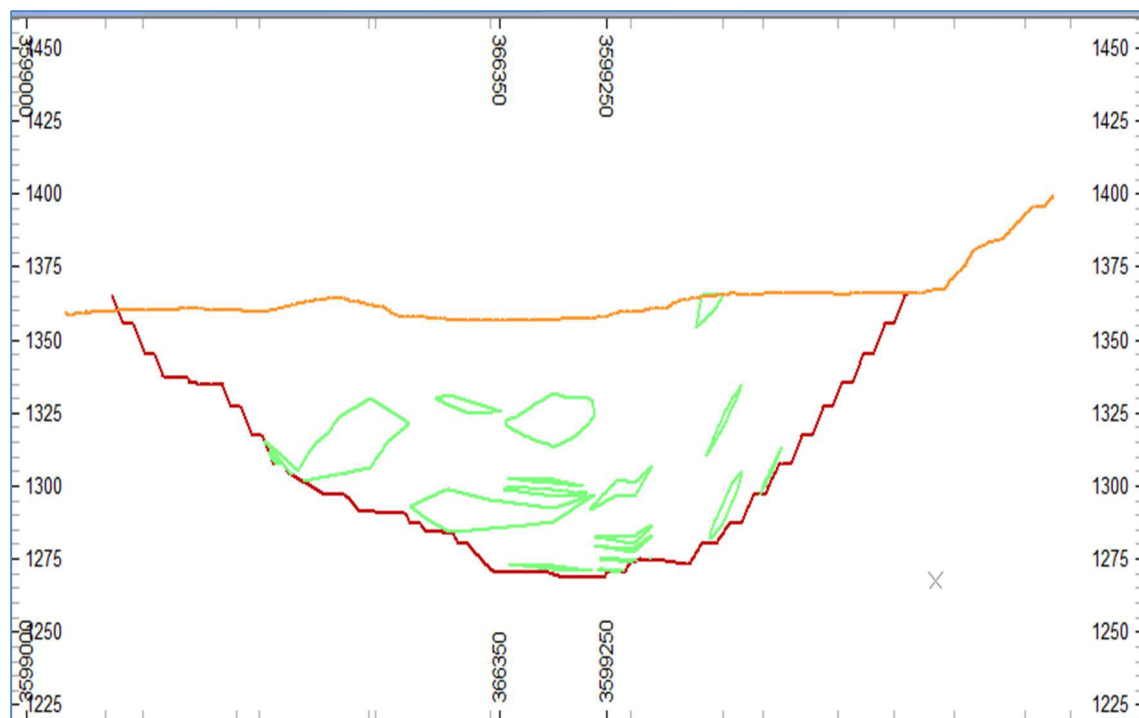


شکل ۳-۴- طرح سه بعدی یکی از بلوک‌های استخراجی معدن زیرزمینی ساغند به روش کندن و پرکردن تونلی (نیک گفتار، ۱۳۹۴)

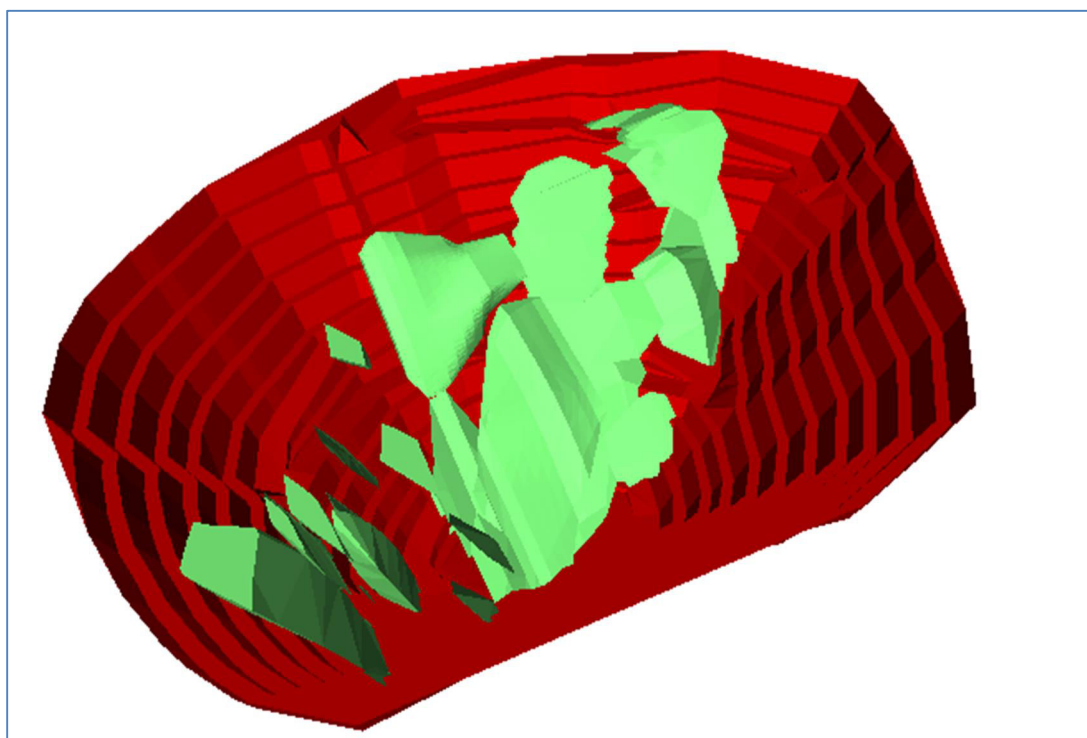
۳-۲- کلیاتی در مورد معدن روباز ساغند

این معدن دارای گسترش طولی معادل ۲۰۰ متر و عرضی برابر ۳۰۰ متر با ضخامت حداکثر ۱۶۰ متر است. در این بلوک معدنی فعالیت‌های تکتونیکی موجب قطع شدگی زون‌های منیرالیزه شده، بطوری که مگنتیت، تالک، سرپانتین و متاسوماتیت غنی از اورانیوم ثانوی بطور محلی و به شکل رگه‌ای تشکیل شده است. این معدن در ۷۰۰ متری شمال غرب معدن زیرزمینی واقع شده است که باتوجه به وجود ۴۹ توده عدسی شکل و گسترش آنها تا عمق ۱۶۰ متری، بصورت روباز- پلکانی طراحی شده است (شکل ۳-۵ و شکل ۳-۶).

ارتفاع پله‌های معدن ۵ متر و شیب آن ۶۵ درجه می‌باشد. کانسنگ استخراجی با توجه به تفکیک عیاری در محل معدن، به دپوهای مدتظر جهت انجام عملیات اختلاط و خردایش اولیه انتقال می‌یابد (نیک گفتار، ۱۳۹۶).



شکل ۳-۵- پیت طراحی شده به همراه توده‌های معدنی و سطح توپوگرافی معدن (مقطع شرقی - غربی)



شکل ۳-۶- نمای سه بعدی پیت طراحی شده با توده‌های ماده معدنی

۴. فصل چهارم: ارائه انواع

طرح‌های اختلاط پرکننده بتنی

بهیدرو لکی

۴-۱- مقدمه

هدف از اجرای پرکننده بتنی، پایدارسازی کارگاه‌های استخراج برای استخراج حداکثری مواد معدنی می‌باشد. عملیات پرکردن فضاها برای استخراج به وسیله پرکننده بتنی می‌بایست قبل از آغاز عملیات اجرایی در کارگاه‌های استخراج مجاور انجام شود. حدود ۳۵۰۰۰ مترمکعب پرکننده بتنی هیدرولیکی در سال برای پرکردن کارگاه‌های استخراج معدن زیرزمینی ساغند، برای ایجاد پایداری کارگاه‌ها مورد نیاز است. در این فصل چندین نوع طرح اختلاط پرکننده بتنی هیدرولیکی با استفاده از مصالح سنگی مختلف و میزان سیمان متغیر به عنوان پرکننده کارگاه‌های استخراج معادن زیرزمینی اورانیوم مدنظر قرار گرفته است. همچنین از نظر مشخصات فنی، شرایط مربوط به تشعشع، هزینه‌های اجرایی و ملاحظات زیست محیطی، پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی با یکدیگر مقایسه شده و در نهایت طرح اختلاط‌های مناسب به لحاظ ملاحظات فنی، اقتصادی و زیست محیطی معرفی شده است.

۴-۲- امکان سنجی بتن‌های مختلف به عنوان پرکننده کارگاه‌های زیرزمینی

با توجه به امکان به وجود آمدن مشکلات ناشی از ناپایداری کارگاه‌های زیرزمینی معدن ساغند، استفاده از ماده پرکننده بتنی مناسب (بتن معمولی و با اسلامپ بالا و عیار حداقل) برای ایجاد شرایط پایداری مناسب در این کارگاه‌ها امری ضروری است. لذا بر اساس محاسبات مکانیک سنگی انجام شده نیاز به استفاده از یک ماده پرکننده مناسب با حداقل مقاومت فشاری تک محوری ۲۸ روزه ۵ مگاپاسگال می‌باشد. با توجه به مقاومت‌های کارگاهی، امکان کاهش عیار سیمان در این ماده پرکننده وجود دارد و بایستی به نحوی طراحی شود که الزامات مقاومت فشاری را تأمین کند. این پرکننده بتنی می‌تواند با انواع طرح‌های اختلاط مختلف طراحی و اجرا شود. لازمه‌ی تعیین نوع طرح اختلاط پرکننده بتنی هزینه کمتر، مناسب بودن به عنوان محافظ تشعشع، بهبود شرایط زیست محیطی و سهولت اجرا است. از این رو انواع مختلف طرح‌های اختلاط کارگاهی تهیه شده و محاسبات فنی-اقتصادی مربوط به آن‌ها نیز ارائه شده است.

۴-۳- طرح اختلاط پرکننده بتنی هیدرولیکی

یکی از اولین و اصولی‌ترین مبانی اجرای با کیفیت و دوام پایدار در سازه‌های بتنی بهره‌مندی از طرح اختلاط بتن، منطبق با شرایط خاص محیط، مشخصات و کاربری سازه، مصالح موجود در منطقه و افزودنی‌های بتن است. خواسته‌های پروژه در مورد طرح اختلاط پرکننده بتنی، معمولاً در درجه اول از مشخصات فنی - عمومی و مشخصات فنی - خصوصی استخراج می‌شود (مالکی، ۱۳۷۰).

مراحل و گام‌های تهیه طرح اختلاط پرکننده بتنی به شرح زیر است:

الف) جمع‌آوری نیازها و خواسته‌های مربوط به پرکننده بتنی مورد نظر به ویژه از مشخصات فنی - خصوصی پروژه

ب) جمع‌آوری اطلاعات و داده‌های مربوط به اجزاء پرکننده بتنی از طریق انجام آزمایش در حدی که در طرح اختلاط کاربرد دارد

پ) بررسی نتایج مربوط به اجزاء بتن و تصمیم‌گیری در مورد به‌کارگیری آن‌ها در بتن موردنظر و انطباق نتایج با مشخصات استاندارد یا مشخصات فنی خصوصی و عمومی پروژه و یا آیین‌نامه‌های موجود

ت) تصمیم‌گیری در مورد روش محاسبات طرح مخلوط اولیه (روش آمریکایی، روش ملی، سایر روش‌های اروپایی) مگر این که در مشخصات فنی خصوصی پروژه استفاده از روش خاصی را ملزم کرده باشد.

ث) پیگیری محاسبات طرح اختلاط اولیه پرکننده بتنی طبق یک روش شناخته شده طرح اختلاط، با توجه به خواسته‌های پروژه و اطلاعات مربوط به اجزاء بتن

ج) ساخت اختلاط آزمون بر اساس نتایج طرح اختلاط اولیه پرکننده بتنی با مصالح مورد نظر و انجام اصلاحات رطوبتی در مورد سنگدانه مرطوب و آب مصرفی مخلوط در آزمایشگاه

چ) چک کردن و اصلاح طرح اختلاط اولیه پرکننده بتنی در جهت انطباق با خواسته‌های پروژه و دستیابی به طرح اختلاط نهایی در آزمایشگاه

خ) ساخت اختلاط آزمون کارگاهی با وسایل بتن‌سازی در کارگاه و به‌کارگیری تست‌های معمول کارگاهی و اصلاحات رطوبتی

د) انجام آزمایش‌های بتن تازه و سخت شده برای مخلوط آزمون کارگاهی و بررسی چشمی و کنترل قابلیت پمپاژ یا پاشش بتن و بررسی بتن

۴-۴- مبانی تعیین نسبت‌های اختلاط پرکننده بتنی

تعیین نسبت‌های اختلاط پرکننده بتنی باید به گونه‌ای باشد که شرایط زیر را برآورده سازد (شکرچی زاده، ۱۳۸۸):

- کارایی و روانی پرکننده بتنی به اندازه کافی باشد تا بتن بتواند به سهولت در قالب‌ها ریخته شود و جدایی دانه‌ها و یا آب انداختن زیاد روی ندهد.
- ملزومات پایایی پرکننده بتنی برای شرایط محیطی مختلف باید مطابق بحث پایایی بتن باشد.
- مقاومت متوسط هدف و مقاومت مشخصه‌ی پرکننده بتنی تأمین شود.

نسبت اختلاط مواد تشکیل دهنده پرکننده بتنی بر اساس تجارب کارگاهی و استفاده از مخلوط‌های آزمایشی با مصالح مصرفی کارگاه تعیین می‌شود.

بهترین روش طرح اختلاط پرکننده بتنی در این تحقیق، استفاده از تجربیات کارگاهی و ساخت نمونه‌های مختلف آزمایشگاهی و مشاهده‌ی مقاومت‌های فشاری حاصله و در نهایت انتخاب نزدیک‌ترین مقاومت فشاری به مقاومت فشاری مورد نیاز است.

۴-۵- مشخصات مصالح مصرفی در طرح‌های اختلاط بتن پرکننده

امروزه بتن به عنوان یکی از پر مصرف‌ترین مصالح ساختمانی در جهان شناخته شده است. اقتصادی بودن، در دسترس بودن اجزا تشکیل دهنده آن، شکل پذیری و پایداری نسبتاً بالای این مخلوط باعث توجه روز افزون به آن شده است. این نیاز و کاربرد گسترده بتن، لزوم بررسی رفتار و عوامل تأثیرگذار بر رفتار آن را مشخص می‌کند. در تولید پرکننده بتنی هیدرولیکی سه جزء عمده یعنی سنگدانه‌ها، سیمان و آب نقش اصلی را ایفا می‌کنند (شکرچی‌زاده، ۱۳۸۸).

۴-۵-۱- مصالح سنگی (سنگدانه‌ها)

تقریباً ۶۰ تا ۷۰ درصد از حجم پرکننده بتنی را مصالح سنگی تشکیل می‌دهد. سنگدانه‌ها به عنوان یکی از عناصر اصلی تشکیل دهنده پرکننده بتنی که قسمت اعظم آن را تشکیل می‌دهد نه تنها در مقاومت پرکننده موثرند، بلکه دوام و پایداری پرکننده بتنی نیز تا حد زیادی تحت تأثیر این ماده قرار می‌گیرد. انتخاب نوع و نسبت صحیح مصالح سنگی (شن و ماسه) از اهمیت خاصی برخوردار است. اولین قدم برای ساخت پرکننده بتنی با کیفیت مطلوب استفاده از مصالح سنگی مرغوب است. مصالح سنگی در پرکننده بتنی به دو صورت مورد استفاده قرار می‌گیرد، یکی مصالح سنگی طبیعی که از بستر رودخانه‌ها یا معادن شن و ماسه به دست می‌آید و در کارگاه توسط سرنده و تسمه نقاله از یکدیگر جدا شده و مورد مصرف قرار می‌گیرد. این نوع از مصالح سنگی به صورت گرد گوشه و کروی شکل است. نوع دیگر مصالح سنگی شکسته است که از خرد کردن سنگ‌های بزرگ به وسیله دستگاه‌های سنگ شکن تولید شده و با استفاده از سرنده در اندازه‌های مختلف غربال می‌شوند. مشخصات ظاهری سنگدانه‌ها به خصوص شکل آن‌ها در رابطه با خواص بتن تازه و سخت شده اهمیت

زیادی دارد. گرد گوشه بودن مصالح نتیجه مقاومت فرسایشی سنگ مادر و میزان سایشی است که به سنگ اعمال شده است. شکل سنگدانه شکسته به طبیعت سنگ مادر و نوع سنگ شکن و نسبت کاهش آن بستگی دارد. در جدول ۴-۱- دسته‌بندی سنگدانه‌ها به لحاظ شکل ظاهری آن‌ها و نحوه‌ی تشکیل آن ذکر شده است.

دو ویژگی سنگدانه‌ها در طرح اختلاط بتن و مقاومت فشاری تأثیر گذار است که شامل دانه‌بندی (اندازه و توزیع دانه‌ها) و ماهیت دانه‌ها (شکل، تخلخل و بافت سطحی) است. بدیهی است که دانه‌بندی پیوسته و استفاده از سنگدانه شکسته به جای گرد گوشه مقاومت بالاتری را منجر می‌شود.

جدول ۴-۱- طبقه‌بندی انواع سنگدانه‌ها از نظر شکل ظاهری (شکرچی زاده، ۱۳۸۸)

نوع سنگدانه	دسته‌بندی	توضیح
گرد گوشه	سایش کامل توسط آب یا تغییر شکل در اثر اصطکاک	شن رودخانه‌ای و کنار ساحل، ماسه بادی و ماسه ساحلی
بی‌شکل - نامنظم	قسمتی تغییر شکل یافته در اثر سایش با لبه‌های گرد	بعضی شن‌های حفره‌دار
پولکی	سنگ‌هایی که ضخامت کمی نسبت به دو بعد دیگر دارند	سنگ‌های لایه‌ای یا ورقه‌ای
تیز گوشه	دارای لبه‌های مشخص در محل تقاطع	سنگ‌های شکسته از همه نوع در سرباره‌های خرد شده
طویل	طول یک بعد آن نسبت به دو بعد دیگر بیشتر است	-
پولکی و طویل	سنگدانه‌هایی که طول آن‌ها بزرگتر از عرض و عرض آن‌ها بزرگتر از ضخامتشان است	-

از نظر مقاومت نهایی بتن، اصولاً بتنی که با دانه‌های گوشه‌دار ساخته می‌شود به دلیل امکان درگیر شدن بهتر دانه‌ها با یکدیگر و برقراری اصطکاک بهتر بین آن‌ها، مقاوم‌تر خواهد بود. به همین دلیل

توصیه می‌شود که در مواردی که مقاومت خیلی بالا مورد نظر است از دانه‌های گوشه‌دار استفاده شود. البته دانه‌های سنگی شکسته نسبت به دانه‌های سنگی گرد گوشه هزینه تولید بالاتری دارند.

دانه‌های سنگی به دو دسته درشت دانه (شن) و ریزدانه (ماسه) تقسیم می‌شوند. الک شماره ۴ مرز اندازه شن و ماسه است. به عبارت دیگر دانه‌های ماسه، ریزتر از ۴/۷۵ میلی‌متر و دانه‌های شن بزرگتر از ۴/۷۵ میلی‌متر هستند. استفاده از ریزدانه‌های ماسه که از الک نمره ۵۰ (ریزتر از ۰/۳ میلی‌متر) و یا از الک نمره ۱۰۰ (ریزتر از ۰/۱۵ میلی‌متر) عبور می‌کنند، باعث روان‌تر شدن بتن می‌شوند ولی مصرف سیمان را در مقاومت‌های بالای مدت‌نظر بالا می‌برند. به همین دلیل در مقدار دانه‌های ریز ماسه محدودیت وجود دارد تا مصرف سیمان را بالا نبرد. همان‌طور که مشخص است با افزایش درصد ماسه نسبت به کل مصالح سنگی مقاومت فشاری بتن کاهش خواهد یافت.

در طرح‌های اختلاط انجام شده برای ساخت پرکننده بتنی هیدرولیکی نیز ۵ نوع از مصالح سنگدانه‌ای مورد استفاده قرار گرفت که عبارتند از: ۱- باطله معدن روباز ۲- باطله معدن زیرزمینی ۳- ماسه رودخانه‌ای ۴- ماسه شسته شده ۵- مصالح سنگی باریت

نتایج آنالیز شیمیایی چندین نمونه معرف از باطله‌های معدن روباز ساغند در جدول ۲-۴ و نتایج آنالیز شیمیایی چندین نمونه معرف از باطله‌های معدن زیرزمینی ساغند در جدول ۳-۴ ارائه شده است.

جدول ۲-۴- ترکیب شیمیایی نمونه معرف باطله معدن روباز

SiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Na ₂ O (%)	Al ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	MnO (%)	CaO (%)	MgO (%)	P ₂ O ₅ (%)
۲۶/۹۹	۲۳/۲۲	۲/۱۳	۵/۸۳	۰/۱۲۲	۰/۰۴۱	۱۰/۸۳	۲۰/۸۹	۰/۳۲۹
K ₂ O (%)	U (ppm)	Th (ppm)	S (%)	V (%)	L.O.I (%)	H ₂ O+ (%)	H ₂ O- (%)	Cu (%)
۰/۰۷	۳۵	۱۲	۲/۴۹	۰/۲۵	۵/۰۳	۱/۳۷	۰/۴۰	۰

جدول ۴-۳- ترکیب شیمیایی نمونه معرف باطله معدن زیرزمینی

SiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	FeO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	MnO (%)	CaO (%)	MgO (%)	P ₂ O ₅ (%)
۲۷/۷۴	۳۱/۲۴	۲/۴۷	۳/۶۴	۰/۲۴۲	۰/۱۶۴	۵/۲۵	۱۸/۳۳	۰/۴۳۴
K ₂ O (%)	U (ppm)	Th (ppm)	S (%)	V (%)	L.O.I (%)	H ₂ O+ (%)	H ₂ O- (%)	Cu (%)
۱/۵۴	۳۲	۸	۱/۵۱	۰/۴۷	۴/۰۸	۲/۶۹	۰/۱۹	۰

۴-۵-۱-۱- نمونه برداری از محل‌های ذخیره مصالح سنگی

مهمترین نکته‌ای که در نمونه‌گیری از مصالح سنگی برای آزمایش باید رعایت شود، انتخاب نمونه‌ای نسبتاً خوب است، به نحوی که نمونه معرف واقعی از کل مصالح سنگی باشد. در روش نمونه‌گیری، شخص نمونه بردار باید از انطباق نمونه‌ها با کلیه قسمت‌های محل مورد نظر اطمینان داشته باشد. در این خصوص باید برای تهیه یک نمونه، چندین مرتبه از مصالح برداشت شود و پس از آن مخلوط کردن نمونه‌ها برای شناسایی کل مصالح لازم است. برداشت یک نمونه یعنی نمونه برداری بخش کوچکی از ماده که معرف مجموعه آن باشد.

چنانچه نمونه برای ساختن مخلوط‌های مختلف (روش آزمون و خطا) مورد استفاده قرار می‌گیرد، نیاز به مقدار بیشتری از نمونه است که توسط آزمایش‌کننده تعیین می‌شود. همچنین برای انجام آزمایش‌های معمول در کارگاه، مقدار کمتری از مصالح مورد نیاز است. به عنوان مثال برای انجام آزمایش دانه‌بندی، حداقل مقدار مصالح سنگی مورد نیاز مطابق جدول ۴-۴ است.

جدول ۴-۴- تعیین حداقل مقدار نمونه برای انجام آزمایش دانه‌بندی (طاحونی، ۱۳۷۶)

اندازه درشت‌ترین دانه به میلی‌متر	حداقل مقدار نمونه به کیلوگرم
۹/۵	۱
۱۲/۵	۲
۱۹	۵
۲۵	۱۰
۳۷/۵	۱۵
۵۰	۲۰
۶۳	۲۵
۷۵	۳۰
۹۰	۳۵

اگر تنوع در اندازه دانه‌های مصالح سنگی زیاد است، نیاز به مقدار بیشتری از نمونه است تا تمام اندازه‌های مختلف دانه‌ها را شامل شود.

برای آنکه نمونه‌گیری به نحو مطلوبی انجام شود روش کاهش در اندازه که به روش تربیع موسوم است باید استفاده شود. طرز کار این روش شامل مراحل زیر است (مالکی، ۱۳۷۰):

حداقل از ۱۰ محل و ارتفاع مختلف دیوی مصالح سنگی نمونه برداری شود. نمونه برداری از هر نقطه به اندازه یک بیل کوچک کفایت می‌کند ولی اگر دیوی مصالح بزرگ یا تنوع در دانه‌بندی زیاد باشد به بیش از یک بیل کوچک مصالح از هر نقطه نیاز است.

نمونه‌ها را بر روی یک سطح تمیز مخلوط کرده به نحوی که شکل حاصل مخروطی باشد.

نمونه مخروطی را کمی تسطیح و سپس به چهار قسمت تقسیم شود.

هر کدام از دو ربع مخالف را حذف و جدا کرده و دو ربع باقی مانده کاملاً با یکدیگر مخلوط شوند.

این روش تربیع چندین مرتبه تکرار شود تا به مقدار مورد نیاز برسد.

در فرایند نمونه برداری برای آزمایش‌های مختلف انجام شده در این تحقیق نیز تمامی این موارد مدّ نظر قرار گرفته و کلیّه نمونه‌برداری‌ها از دیپوی مصالح سنگی شامل باطله‌های معدن روباز، باطله‌های معدن زیرزمینی، مصالح ماسه شسته، مصالح سنگی رودخانه‌ای و مصالح سنگی باریت بر این اساس انجام شده است. همچنین لازم به ذکر است که پس از منتقل کردن نمونه‌ها به آزمایشگاه، با استفاده از سرند شماره $\frac{3}{8}$ اینچ با ابعاد $9/75$ میلی‌متری تمامی نمونه‌ها سرند شده و سپس مورد استفاده قرار گرفته است.

۴-۵-۱-۲- آزمایش‌های مصالح سنگی

برای تولید محصولی مناسب، مصالح سنگی مورد استفاده اعم از شن و ماسه باید سالم و از کیفیت مطلوبی برخوردار باشند. از آنجا که مصالح سنگی حدود ۶۰ تا ۸۰ درصد پرکننده بتنی را تشکیل می‌دهند، در حائز اهمیت بودن آن‌ها شکی نیست ولی احتمال دارد مصالح سنگی که برای ساخت پرکننده بتنی به کارگاه منتقل می‌شوند دارای کیفیت متفاوتی باشند. لذا باید آزمایش‌های مختلف جهت بررسی کیفیت این مصالح انجام شوند.

الف) وزن مخصوص مصالح سنگی

وزن مخصوص معادل نسبت جرم واحد حجم یک ماده است. وزن مخصوص یک سنگ یا سنگدانه تابع منافذ، شکاف‌ها و جنس آن است و هوازدگی در سنگ‌ها باعث کاهش وزن مخصوص آن‌ها می‌شود. این موضوع به خاطر افزایش درزه و شکاف‌ها در سنگ، تجزیه شیمیایی و تورّم برخی از کانی‌ها بر اثر هوازدگی است. هر چه میزان وزن مخصوص مصالح بیشتر باشد، مقاومت آن در برابر عوامل مختلف فیزیکی و شیمیایی مانند فشار، سایش، ضربه، عوامل جوی، کلر، سولفات و ... بیشتر است. در طرح اختلاط پرکننده بتنی هیدرولیکی برای تعیین نسبت‌های اجزای تشکیل دهنده از وزن مخصوص

مصالح سنگی و سایر اجزای تشکیل دهنده پرکننده بتنی استفاده می‌شود. اطلاعات حاصل از آزمایش وزن مخصوص مصالح سنگی مورد استفاده در پرکننده بتنی در جدول ۴-۵ ذکر شده است.

جدول ۴-۵- وزن مخصوص مصالح سنگی مورد استفاده در ترکیب پرکننده بتنی هیدرولیکی

مصالح	وزن مخصوص (کیلوگرم بر متر مکعب)
ماسه حاصل از باطله روباز	۲۰۷۰
ماسه حاصل از باطله زیرزمینی	۲۶۶۰
ماسه رودخانه‌ای	۲۰۹۰
ماسه شسته شده	۲۱۸۰
ماسه باریت	۳۹۰۰

ب) آزمایش دانه بندی

آزمایش دانه بندی بر روی مصالح سنگی خشک با وزن مشخص انجام می‌شود. برای انجام آزمایش نیاز به نمونه ماسه به مقدار ۱ کیلوگرم از هر یک از مصالح سنگی اصلی مورد استفاده در طرح اختلاط پرکننده است. نمونه بدست آمده باید بر روی یک سری سرند با ابعاد مختلف قرار داده شده و پس از روشن کردن دستگاه، میزان مصالح باقی مانده بر روی هر سرند وزن می‌شود و دانه بندی بر اساس این مقادیر انجام می‌شود. سرندها دارای اندازه‌ی استاندارد هستند و براساس ابعاد مصالح موجود از سری سرندهایی با ابعاد ۹/۵، ۴/۷۵، ۲/۳۶، ۱/۲، ۰/۶، ۰/۲۵، ۰/۱۸، ۰/۱۵ و ۰/۰۷۵ میلی متر استفاده شده است. ضمناً نتیجه‌ای که به دست می‌آید نتیجه تقریبی است ولی برای کارگاه به حد کافی دقیق است. در شکل ۴-۱ نمونه‌ای از سری الک‌های مورد استفاده برای انجام آزمایش دانه‌بندی نشان داده شده است. همچنین نمودارهای دانه‌بندی مربوط به مصالح سنگی استفاده شده برای پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی در قسمت مربوط به نتایج آزمایش‌ها ارائه خواهد شد.



شکل ۴-۱- سری سرندهای مورد استفاده در آزمایش دانه‌بندی مصالح سنگی پرکننده بتنی

۴-۵-۲- سیمان

سیمان فرآورده‌ای شیمیایی است که دارای خاصیت چسبندگی است و در اثر تماس با آب سفت می‌شود و محصول حاصله در برابر آب و رطوبت از دوام بالایی برخوردار است. سیمان در پرکننده بتنی نقش چسباننده‌ی دانه‌های سنگی را دارد و به خودی خود اثری در مقاومت و باربری ندارد، لذا بتن خوب بتنی است که وقتی نمونه‌ای از آن شکسته شود، دانه‌های سنگی آن از وسط شکسته شود و سیمان‌ها پاره نشود. سیمان از پختن ترکیبات مصنوعی در کارخانه و یا مواد طبیعی همچون کربنات کلسیم یا آلومین، منیزیم و سلیس تهیه می‌شود. مواد اولیه سیمان به طور عمده از خاک رس و آهک تشکیل می‌شود که در جدول ۴-۶ ارائه شده است.

جدول ۴-۶- مواد اصلی تشکیل دهنده سیمان (ربيعی‌گهر، ۱۳۸۰)

ماده	فرمول شیمیایی	درصد
آهک	CaO	حدود ۶۳ درصد
سیلیس	SiO ₂	حدود ۲۰ درصد
آلومین	Al ₂ O ₃	حدود ۶ درصد
اکسید آهن	Fe ₂ O ₃	حدود ۳ درصد
اکسید منیزیم	MgO	حدود ۱/۵ درصد

انتخاب نوع سیمان به سرعت افزایش مقاومت مورد نیاز، احتمال حملات شیمیایی و ملاحظات حرارتی بستگی دارد. تمام سیمان‌هایی که مطابق ASTM C150 یا ASTM C595 بوده و ویژگی‌های فیزیکی مورد لزوم را برآورده کنند، برای به‌کارگیری در پرکننده‌های بتنی مناسب هستند. زمانی که سنگدانه‌های موجود در محیط قلیایی واکنش می‌دهند باید از سیمان با قلیایی پائین استفاده کرد و برای بتن‌ریزی‌های حجیم باید از سیمان با حرارت کم یا متوسط براساس بتن‌های حجیم ACI¹ 301 استفاده کرد. بر اساس توصیه آیین نامه ACI، استفاده از سیمان‌های پرتلند تیپ ۳ و یا زودگیرکننده‌ها به منظور تسریع در عمل هیدراسیون و ایجاد ترک در بتن، توصیه نمی‌شود. از روش‌های معمول و مورد استفاده در محدود کردن آثار مخرب حمله سولفاتی استفاده از سیمان‌های پرتلند تیپ ۲ و ۵ به جای سیمان پرتلند تیپ ۱ می‌باشد. همچنین استفاده از مواد جایگزین سیمان نظیر خاکستر بادی، میکروسیلیس و پوزولان‌های طبیعی می‌تواند در بهبود مقاومت بتن در مقابل حمله‌ی سولفاتی مؤثر باشد. تأثیر پوزولان‌ها در بهبود دوام بتن در محیط‌های سولفاتی به بهبود ساختار حفرات و کاهش نفوذپذیری و همچنین کاهش میزان هیدروکسید کلسیم در اثر واکنش‌های پوزولانی نسبت داده شده است. در پاره‌ای از موارد که کاربرد سیمانی با مقاومت اولیه پایین مناسب نبوده، در آمریکا سیمانی اصلاح شده تحت عنوان تیپ ۲ ساخته شده است که حرارت زایی آن بیشتر از سیمان تیپ ۴ بوده و افزایش مقاومت آن مشابه سیمان نوع ۱ می‌باشد. کاربرد این نوع از سیمان در

1 American Concrete Institute

پروژه‌هایی است که باید حرارت‌زایی سیمان در آن‌ها کم باشد و تا حدی حمله‌ی سولفات‌ها به بتن را خنثی کند (ربیعی‌گهر، ۱۳۸۰).

یکی از منابع سهل الوصول تهیه سیمان لازم برای انجام این تحقیق، کارخانه سیمان مهریز است که سیمان مورد استفاده در تهیه نمونه‌های آزمایشگاهی مورد استفاده در این تحقیق، سیمان پرتلند تیپ ۲ این کارخانه بوده است. همچنین در فضاهایی که ریزش آب وجود دارد و با توجه به قلیایی بودن آب معدن ساغند به جهت جلوگیری از سولفات‌شدن پرکننده بتنی، از سیمان ضدسولفات تیپ ۵ در اختلاط پرکننده استفاده می‌شود.

۴-۵-۳- مواد جایگزین سیمان

در طرح اختلاط بتن‌هایی که مصرف سیمان در آن‌ها خیلی افزایش یافته و ممکن است به بیش از ۵۰۰ کیلوگرم در مترمکعب هم برسد، علاوه بر افزایش قیمت تمام شده آن، به دلیل ازدیاد حرارت و جمع شدگی در بتن، باعث ایجاد ترک‌هایی در بتن می‌شود. چنین بتنی به علت وجود ترک‌های زیاد نمی‌تواند در شرایط محیطی سخت و خورنده دوام قابل قبولی داشته باشد. بنابراین در ساخت پرکننده بتنی با توجه به ملاحظات فنی نظیر کاهش حرارت‌زایی و نیز برای کاهش هزینه‌های ساخت بتن، معمولاً از مواد پوزولانی به عنوان بخشی از مواد سیمانی استفاده می‌شود. خاکستر بادی، پوزولان‌های طبیعی و سرباره‌ها از جمله مواد مکمل سیمانی هستند که در ساخت انواع پرکننده‌های بتنی به عنوان جایگزین قسمتی از سیمان به کار برده می‌شوند. این مواد پوزولانی، مواد سیلیسی یا آلومینوسیلیسی هستند که به خودی خود ارزش چسبندگی ندارند اما به شکل ذرات بسیار ریز و در مجاورت رطوبت با درجه حرارت معمولی با هیدروکسید کلسیم حاصل از آبگیری سیمان پرتلند واکنش شیمیایی داشته و ترکیب‌هایی را به وجود می‌آورند که خاصیت سیمانی و چسبندگی دارد. مقاومت پوزولان‌ها چون به آرامی به دست می‌آید در دراز مدت مقاومت بالایی خواهند داشت و به دلیل دیرگیری پرکننده بتنی ساخته شده به وسیله آن‌ها باید مدت زمان بیشتری مراقبت شود. قطر

ذرات این مواد تقریباً بین ۰/۱ تا ۱۵۰ میکرون است و افزودن آن به بتن معمولاً سبب افزایش کارایی بتن، کاهش آب لازم و کاهش مقاومت سنین اولیه پرکننده بتنی می‌شود (رمضانیان پور، ۱۳۸۶).

۴-۵-۳-۱- سرباره کوره آهن گدازی (سرباره کوره ذوب)

سرباره محصولی غیر طبیعی و مصنوعی است و از صنعت متالورژی می‌باشد که به هنگام تولید آهن در کوره‌های آهن‌گدازی به وجود می‌آید که پس از سرد کردن آن در مصارف گوناگون به کار می‌رود. کاربرد سرباره به عنوان جایگزین بخشی از سیمان باعث افزایش کارایی مخلوط پرکننده بتنی می‌شود. ویژگی‌های شیمیایی سرباره کوره مذاب در جدول ۴-۷ ارائه شده است. بر این اساس اجزای تشکیل دهنده سرباره به طور عمده آهک، سیلیس و آلومین است و شباهت بسیاری به اجزای سیمان پرتلند دارد. ترکیب شیمیایی سرباره بستگی به ترکیب سنگ معدن و نیز ناخالصی‌های موجود در سنگ آهک اضافه شده به کوره دارد. وزن مخصوص سرباره کوره ذوب آهن ۴۹۷ گرم بر سانتیمتر مکعب است (مخدوم، ۱۳۸۴).

جدول ۴-۷- نتایج تجزیه و تحلیل شیمیایی سرباره کوره ذوب آهن اصفهان (مخدوم، ۱۳۸۴)

SiO ₂ (%)	CaO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	TiO ₂ (%)	K ₂ O+Na ₂ O (%)	MnO (%)	P ₂ O ₅ (%)	FeO (%)	S (%)
۳۵/۲	۳۵/۱	۱۱/۱	۱۰/۷	۳/۸۲	۱/۰۳	۱/۴۷	۰/۲۵	۰/۶۵	۰/۶۶

۴-۵-۳-۲- سیمان پوزولانی

این نوع سیمان از آسیاب کردن پوزولان‌ها (خاک‌های طبیعی و مصنوعی جایگزین سیمان) با سیمان پرتلند ساخته می‌شود. سیمان آمیخته پوزولانی دارای مزایای بسیاری از جمله مصرف انرژی کمتر، حفظ محیط زیست (تولید یک تن سیمان همراه با تولید حدود یک تن دی اکسید کربن است)، کاهش قیمت سیمان، افزایش مقاومت، افزایش مدول ارتجاعی، افزایش نفوذ ناپذیری، مقاومت در برابر

حملات شیمیایی به دلیل نفوذ آب کمتر، افزایش دوام در برابر سیکل‌های ذوب و یخبندان، افزایش دوام بتن در مقابل حملات سولفاتی و یون کلر و کاهش انبساط‌های مخرب ناشی از واکنش قلیایی-سیلیسی سنگدانه‌های واکنش‌زا با قلیایی‌های سیمان (اکسید سدیم و اکسید پتاسیم) می‌شود (رمضانیان پور، ۱۳۸۶).

۴-۵-۳- آهک

آهک ماده معدنی رسوبی از ترکیبات کلسیم‌دار موجود در طبیعت است. سنگ آهک همان کربنات کلسیم با فرمول CaCO_3 است و ناخالصی اصلی آن کربنات است. بهترین روش خالص سازی آهک و جداسازی ناخالصی‌های آن، حرارت دهی و انجام عملیات پخت می‌باشد. با این کار ناخالصی‌های عمده آن به خصوص گاز کربنیک جدا شده و به فرم خالص خود یعنی اکسید کلسیم نزدیک می‌شود. مهمترین کاربرد آهک در ساخت و ساز بناها و جاده‌ها می‌باشد. برای این منظور از نوع آهک با خلوص کمتر استفاده می‌شود تا قیمت ارزان‌تری داشته و هزینه‌های تولید را کاهش داد. آهک در انواع مختلفی تولید شده و آهک زنده و هیدراته دو نوع از مرسوم‌ترین انواع آهک است (دهقان، ۱۳۹۱). در طرح اختلاط‌های انجام شده در این تحقیق نیز از آهک هیدراته استفاده شده است. همچنین برای اطمینان بیشتر از عدم وجود ناخالصی و داشتن آهک مرغوب‌تر تمامی آهک‌های مورد استفاده در طرح اختلاط‌ها به وسیله الک با اندازه ۹/۵ میلی‌متر سرند شده است.

۴-۵-۳- مشکلات استفاده از سیمان

سیمان و انواع مواد سیمانی موجود در بتن همانند میکروسیلیس، از جمله مواد به کار رفته در بتن بوده که تأثیر بسیار زیادی در تولید انواع آلاینده‌های دی اکسید کربن (CO_2) دارند. به طور کلی ۷ درصد کل دی اکسید کربن تولید شده در جو را صنعت سیمان به خود اختصاص می‌دهد. به ازای هر تن کلینکر سیمان، یک تن دی اکسید کربن و سه کیلوگرم اکسید نیتروژن، تولید می‌شود. از دیگر معایب تولید سیمان می‌توان به مصرف انرژی بالای این صنعت اشاره کرد. برای تولید هر تن سیمان

به طور متوسط ۴ گیگا ژول انرژی مورد نیاز است که در بخش‌های مختلف الکتریکی، حرارت‌دهی و حمل و نقل مصرف شده است. همچنین استخراج مواد خام نظیر سنگ آهک و سنگ رس نیز برای تولید سیمان و همچنین زغال سنگ برای تأمین سوخت، موجب تشدید جنگل‌زدایی و از بین رفتن لایه رویی خاک‌ها می‌شود. از این رو کاهش عیار سیمان در انواع بتن موضوع اساسی است. بنابراین می‌توان گفت، یکی از بهترین روش‌ها در خصوص بهبود خواص بتن از دیدگاه زیست محیطی، یافتن جایگزین‌های مناسب برای سیمان مصرفی در پرکننده بتنی است. بنابراین استفاده کمتر از مواد سیمانی به منظور کاهش آلاینده‌ها، مفید به نظر می‌رسد. لازم به ذکر است، کاهش این مواد می‌تواند اثرات قابل توجهی در مقاومت پرکننده بتنی داشته باشد که نباید نادیده گرفته شود (مهاجری و همکاران، ۱۳۹۱).

۴-۵-۴ آب

آب به سه صورت در پرکننده بتنی به کار می‌رود: آب برای شست و شوی سنگدانه‌ها، آب به عنوان یکی از اجزای تشکیل دهنده پرکننده بتنی در هنگام ساخت پرکننده و آب مصرفی برای عمل آوری بتن. آب مورد مصرف برای شست‌وشوی مصالح سنگی، ساخت و عمل آوری بتن باید تمیز و صاف باشد. چنانچه آب دارای مقادیر زیاد روغن، اسید، قلیایی‌ها، املاح، مواد قندی و مواد آلی که موجب صدمه زدن به بتن می‌شود، باشد باید از مصرف آن خودداری کرد. آب آشامیدنی به عنوان مناسب‌ترین آب برای ساخت بتن و ملات محسوب می‌شود. به طور کلی هر آبی که PH (درجه اسیدیته) آن بین ۴/۵ الی ۸/۵ باشد و طعم شوری نداشته باشد، می‌تواند برای ساخت بتن مصرف شود. فقط در صورتی مصرف آب غیرقابل شرب در ساخت بتن و انواع ملات‌ها مجاز است که مقاومت نمونه‌های ۷ و ۲۸ روزه ساخته شده به وسیله آن آب، حداقل معادل ۹۰ درصد مقاومت نمونه‌های مشابه ساخته شده با آب آشامیدنی باشد. کلیه آزمایش‌های مربوط به این مقایسه‌ها باید در شرایط یکسان انجام و فقط نوع آب مصرفی در آن‌ها متفاوت باشد. در طرح‌های اختلاط استفاده شده در این

تحقیق، نسبت آب به سیمان و میزان عیار سیمان مشخص است و مقدار سنگدانه‌ها به صورت کاملاً خشک بیان می‌شود بنابراین مقدار آب کل نیز به صورت مجموع آب آزاد و آب مورد نیاز سنگدانه‌ها برای رسیدن به حالت اشباع با سطح خشک است. در طرح‌های اختلاط انجام شده در این تحقیق نیز بنا به آب موجود در سایت از آب مصرفی مجتمع و آب حاصل از زهکشی و آبکشی معدن زیرزمینی استفاده شده است. آنالیز شیمیایی آب زهکشی شده‌ی معدن در جدول ۴-۸ و آنالیز آب مصرفی مجتمع در جدول ۴-۹ آمده است.

جدول ۴-۸- آنالیز شیمیایی آب زهکشی شده‌ی معدن

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

جدول ۴-۹- آنالیز شیمیایی آب مصرفی مجتمع معدنی

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

۴-۵-۵- مواد افزودنی بتن

مواد افزودنی، مواد شیمیایی خاصی هستند که به صورت پودر و یا مایع هستند. برای این که بتوان بعضی از خواص بتن تازه و یا سخت شده را اصلاح نمود از مواد افزودنی استفاده می‌کنند. این مواد به غیر از سیمان، آب و سنگدانه‌ها هستند که اندکی قبل و یا در موقع اختلاط به مقدار جزئی به مخلوط

پرکننده بتن اضافه می‌شوند و در بهبود کیفیت بتن مؤثرند. مواد افزودنی شیمیایی بتن شامل موارد زیر هستند (ولی‌پور، ۱۳۸۹):

(۱) تقلیل دهنده‌های آب (روان کننده‌ها)

(۲) کندگیرکننده‌های گیرش

(۳) تسریع کننده‌های گیرش

(۴) فوق روان کننده‌ها

(۵) حباب هوا ساز در بتن

(۶) افزودنی‌های چسبنده و دفع کننده‌های آب

در صورتی که طرح اختلاط پرکننده بتنی به صورت مطلوبی انجام شود، در اکثر موارد احتیاجی به استفاده از مواد افزودنی در پرکننده بتنی نیست. در طرح اختلاط‌های انجام شده بتن پرکننده، به دلیل این که بتن ساخته شده بایستی دارای پرکنندگی مناسب باشد، میزان روان بودن آن زیاد در نظر گرفته شده است. همچنین به منظور حفظ یکنواختی این بتن در اسلامپ بالا، در طرح اختلاط‌های با عیار سیمان پایین استفاده از مواد افزودنی و روان کننده بتن به خصوص در موارد طرح اختلاط ماسه شسته شده به علت کمبود مواد ریزدانه (فیلر) ضروری است. به طور کلی این افزودنی‌ها به سه منظور در بتن به کار می‌روند (ولی‌پور، ۱۳۸۹):

(۱) رسیدن به مقاومتی بالاتر با کاهش نسبت آب به سیمان و کارایی ثابت

(۲) رسیدن به یک کارایی مشخص با کاهش مقدار سیمان مصرفی در بتن

(۳) افزایش کارایی بتن و در نتیجه آن سادگی بتن‌ریزی

۴-۶- ویژگی‌های پرکننده بتنی

طرح اختلاط پرکننده بتنی شامل آب، سیمان و دانه‌های سنگی می‌باشد که با کمی تفاوت در میزان اختلاط آن‌ها خواص پرکننده بتنی را تغییر می‌دهد و موجب تغییر ویژگی‌های مختلف فیزیکی و مکانیکی آن می‌شود. برخی از خواص شاخص مربوط به پرکننده بتنی در قسمت زیر به صورت کلی شرح داده شده است.

۴-۶-۱- مقاومت مشخصه پرکننده بتنی

مقاومت فشاری مشخصه پرکننده بتنی مقاومتی است که حداکثر ۵ درصد تمامی مقاومت‌های اندازه‌گیری شده برای رده بتن مورد نظر ممکن است کمتر از آن باشد. مقاومت مشخصه پرکننده بتنی بر اساس آزمایش ۲۸ روزه تعیین می‌شود.

در معدن زیرزمینی ساغند مقاومت فشاری موردنیاز پرکننده بتنی هیدرولیکی براساس تحلیل‌های ژئومکانیکی انجام شده و طبق طرح‌های AFC شده برای تمامی بلوک‌های استخراجی ۵ مگاپاسکال در نظر گرفته شده است. بنابراین ملاک تصمیم‌گیری در نتایج آزمایش‌های انجام شده مقاومت فشاری ۲۸ روزه ۵ مگاپاسکال می‌باشد.

مقاومت پرکننده بتنی به عوامل زیر بستگی دارد (مالکی، ۱۳۷۰):

- کیفیت دانه‌های سنگی: هر چه دانه‌های سنگی دارای کیفیت بهتری باشند، مقاومت بتن بالاتر است. بتنی که از دانه‌های سیلیسی ساخته شده باشد، نسبت به بتن ساخته شده با دانه‌های آهکی دارای مقاومت بالاتری است.
- میزان دانه‌های سنگی: هر چه دانه‌های سنگی بیشتری در بتن مصرف شود، بتن چگال‌تر و دارای مقاومت بیشتری خواهد بود (به شرط یکنواختی و پیوستگی دانه‌ها)

- مقدار سیمان: معمولاً هر چه مقدار سیمان در بتن بیشتر باشد (البته تا حد مشخصی) بتن دارای مقاومت بالاتری خواهد بود (مقدار سیمان باید در حدی باشد که چسبندگی کافی بین دانه‌ها برای اتصال برقرار کند. لذا به دلیل اینکه سیمان اضافی بین دانه‌ها فاصله می‌اندازد، در بعضی مواقع حتی منجر به کاهش مقاومت می‌شود).

- نسبت آب به سیمان: هر چه نسبت آب به سیمان مقدار کمتری در نظر گرفته شود، بتن ساخته شده در صورتی که حداقل آب هیدراتاسیون (میزان حرارت تولید شده توسط هر گرم سیمان در واکنش آب با سیمان) را ارضاء کند، مقاومت بیشتری خواهد داشت. به هر حال نسبت آب به سیمان به عنوان یک عامل اصلی بیشترین تأثیر را در مقاومت فشاری بتن متراکم شده دارد. در واقع تأثیر نسبت آب به سیمان بر مقاومت فشاری پرکننده بتنی تابع قانون خاص و یکسانی نیست. به ویژه آنکه مقاومت در هر نسبت آب به سیمان به درجه هیدراتاسیون سیمان، خواص فیزیکی و شیمیایی سیمان، درجه حرارتی که هیدراتاسیون در آن انجام می‌شود، میزان هوای داخل بتن، ترک‌های ناشی از آب انداختن بتن بستگی دارد.

- عمر بتن پرکننده: هر چه از شروع ساخت بتن زمان بیشتری گذشته باشد، پرکننده بتنی مقاومت بیشتری خواهد داشت. مقاومت نمونه ۷ روزه در بتن عادی در حدود ۷۰ درصد مقاومت نمونه ۲۸ روزه است. معمولاً در محاسبات مقاومت ۲۸ روزه بتن که در حدود ۹۰ الی ۹۵ درصد مقاومت نهایی بتن است، به عنوان معیار در نظر گرفته می‌شود.

هر چه از عمر پرکننده بتنی می‌گذرد، مقاومت آن افزایش می‌یابد. لیکن از افزایش مقاومت بتن بعد از ۲۸ روز بنا به عللی صرف نظر می‌شود. دلیل اول ناچیز بودن آن و دلیل دوم این است که پس از ۲۸ روز معمولاً امکان بارگذاری روی سازه وجود دارد.

از سویی هر چه از عمر پرکننده بتنی می‌گذرد، ممکن است عوامل مخرب محیطی نیز روی سازه تأثیر گذاشته و از مقاومت آن بکاهد. یکی از این عوامل مخرب، اسید کربنیک (CO_2H_2) است.

۴-۶-۲- وزن مخصوص بتن پرکننده

از جمله مشخصه‌های مهم پرکننده بتنی می‌توان به وزن آن اشاره کرد. این مورد به ویژه در سازه‌هایی که وزن از نظر ایستایی دارای نقش مهمی است، نمود بارزتری می‌یابد. استفاده از سنگدانه‌های درشت دانه و با وزن مخصوص زیاد موجب می‌شود که بر وزن بتن افزوده شود. وزن واحد حجم پرکننده بتنی تهیه شده را می‌توان بر اساس تجربه و اندازه‌گیری در کارگاه به دست آورد. وزن مخصوص به دو صورت مطرح می‌شود (قلی‌پور فیضی و همکاران، ۱۳۹۴):

الف: وزن مخصوص حقیقی

ب: وزن مخصوص ظاهری

منظور از وزن مخصوص حقیقی، نسبت وزن بتن به حجم حقیقی آن (با کاستن حجم خلل و فرج موجود در آن) و منظور از وزن مخصوص ظاهری، نسبت وزن بتن به حجم ظاهری آن (حجم ظاهری که توسط بتن اشغال شده است) می‌باشد. معمولاً هنگامی که به طور مطلق وزن مخصوص بیان می‌شود، منظور از آن وزن مخصوص ظاهری است. بتن از نظر وزن مخصوص به سه دسته بتن معمولی، بتن سبک و بتن سنگین تقسیم می‌شود.

بتن معمولی به بتنی اطلاق می‌شود که به شکل عادی و با استفاده از سیمان‌های پرتلند رایج تیپ ۱ تا تیپ ۵ ساخته شده و دارای وزن مخصوص تقریباً ۲۲۰۰ الی ۲۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب هستند. این اختلاف وزن مخصوص نیز ناشی از جنس سنگدانه‌های تشکیل دهنده بتن و میزان تراکم بتن است.

بتن سبک بتنی است که به صورت عادی ساخته می‌شود ولی در ساخت آن از دانه‌های سبک همچون دانه‌های سبک پرلیت و پوک‌های رسی متورم شونده استفاده می‌شود. نوع دیگری از این بتن نیز به صورتی تهیه می‌شود که در آن حجم بتن به صورت مصنوعی با استفاده از مواد حجم دهنده بتن

همانند ژل آلومینیوم افزایش داده می‌شود. معمولاً در کارگاه این مواد به بتن افزوده شده و در اثر آن حجم بتن افزایش می‌یابد. وزن مخصوص بتن سبک $\frac{1}{2}$ تا $\frac{1}{3}$ وزن مخصوص بتن معمولی است. کاربرد این نوع بتن بیشتر در سقف‌های کاذب و دیوارهای جداکننده می‌باشد (قلی‌پور فیضی و همکاران، ۱۳۹۴).

بتن سنگین بتنی است که در ساخت آن به جای استفاده از شن و ماسه در مصالح سنگی بتن معمولی از خرده‌های فولاد و چدن و کانی‌هایی با وزن مخصوص بالا همچون گالن، باریت و مگنتیت استفاده می‌شود. نوع و مقدار سنگدانه مورد استفاده در ساخت بتن‌های سنگین مؤلفه‌های مهمی برای بهبود مشخصات مکانیکی و حفاظتی بتن می‌باشند. کاربرد بتن‌های سنگین در ساخت راکتورهای نیروگاه‌های هسته‌ای، مراکز پزشکی، مراکز تحقیقاتی شتاب دهنده‌ها و نیز مراکز نظامی به عنوان پانل‌های محافظ از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. این نوع از بتن‌ها به علت رفتار مناسب و استحکام خوبی که در قبال جلوگیری از نفوذ اجسام برخورد کننده به سازه مربوطه از خود نشان می‌دهند، به عنوان مصالح مناسبی در مقاوم‌سازی سازه‌ها در برابر برخورد اجسام پرتابی، در نظر گرفته می‌شوند. از سوی دیگر با توجه به نوع سنگدانه‌های مورد استفاده در این نوع از بتن، از خصوصیت و عملکرد مناسبی در جذب و حفاظت در برابر تشعشعات هسته‌ای برخوردار است. بنابراین در تأسیسات هسته‌ای به عنوان مصالح مناسبی در ساخت دیواره‌های بخش‌های مختلف، مورد توجه قرار می‌گیرد (قلی‌پور فیضی و همکاران، ۱۳۹۴).

۴-۶-۳- کارایی بتن پرکننده

بتن کارا بتنی است که بتوان به راحتی آن را ساخت، حمل نمود، در قالب ریخت و متراکم نمود، بدون اینکه در یکنواختی آن در طول مراحل فوق تغییری حاصل شود. کارایی بتن تازه به عواملی از قبیل مقدار آب مصرفی در بتن، نوع دانه‌های سنگی موجود در بتن، دانه‌بندی سنگدانه‌ها، نسبت سنگدانه به سیمان، نرمی سیمان و وجود افزودنی‌ها بستگی دارد. مهمترین عامل در کارایی بتن، میزان آب

مصرف شده در آن است. با اضافه کردن آب، دانه‌های سنگی همچون ساچمه در مخلوط کار می‌کنند و بین آن‌ها اصطکاک کاهش می‌یابد. انتخاب صحیح مصالح به کار برده شده در پرکننده بتنی و نسبت‌های اختلاط آن‌ها از جمله عواملی هستند که در کارایی بتن مؤثرند. هر چه سیمان دارای نرمی بیشتر باشد، بر کارایی بتن افزوده می‌شود. دانه‌های سنگی ریز برای خیس کردن سطح مخصوص خود به آب بیشتری نیاز دارند و دانه‌های گرد گوشه نسبت به دانه‌های نامنظم و زاویه‌دار به آب کمتری نیاز دارند. هر وقت نسبت آب به سیمان در مخلوط بتن ثابت باشد، با کاهش نسبت سنگدانه به سیمان، کارایی افزایش می‌یابد و این علت افزایش مقدار آب نسبت به کل سطح ذرات جامد مخلوط است. یکی از عوامل مؤثر بر عملکرد ملات‌ها، میزان آب مورد نیاز برای به دست آوردن ملاتی با کارایی و روانی مناسب است. به طور کلی آب در ملات دو نقش مهم را ایفا می‌کند. نقش اول شرکت در واکنش‌های شیمیایی فرآیند گیرش است و دیگری ایجاد حالت خمیری در ملات است (مهاجری و همکاران، ۱۳۹۱).

۴-۶-۴- پایایی بتن پرکننده

پایایی بتن یکی از مهم‌ترین خصوصیات آن می‌باشد چون لازم است بتن در طول عمر سازه، شرایطی که برای آن طراحی شده را تحمل کند. پایایی یا دوام بتن ساخته شده با استفاده از سیمان پرتلند به توانایی بتن برای مقابله با عوامل جوّی، حملات شیمیایی، سایش، فرسایش و هر گونه فرآیند منجر به اضمحلال و تخریب اطلاق می‌شود. پرکننده بتنی پایا در شرایط محیطی مورد نظر، شکل، حداقل کیفیت اولیه و قابلیت بهره‌برداری مورد نظر از سازه‌های بتنی را حفظ می‌کند. عوامل خارجی محیطی و یا عوامل داخلی بتن وجود دارند که باعث کاهش پایایی پرکننده بتنی می‌شوند که شامل عوامل فیزیکی (اثر یخبندان، گرمای هوا و تبخیر زیاد از حد آب بتن)، عوامل مکانیکی (اثر ضربه، سایش و خستگی بتن) و عوامل شیمیایی (حمله توسط سولفات‌ها، آب دریا، اسیدها و کلرورها) است (Ahmad et al, 2008).

۴-۶-۵- رده بتن

بتن بر اساس مقاومت فشاری مشخصه آن به صورت زیر رده‌بندی می‌شود (شکرچی زاده، ۱۳۸۸):

C6, C8, C10, C12, C16, C20, C25, C30, C45, C50

اعداد بعد از حرف C بیانگر مقاومت فشاری مشخصه پرکننده بتنی بر حسب مگاپاسکال هستند. همچنین بتن براساس عیار آن به صورت مثلاً بتن ۱۵۰، بتن ۲۰۰، بتن ۳۰۰ یا بتن ۳۵۰ رده‌بندی می‌شود که اعداد بعد از بتن، میزان سیمان مصرفی در یک متر مکعب بتن ساخته شده را نشان می‌دهد. در جدول ۴-۱۰ موارد کاربرد رده‌های مختلف بتن مشخص شده است.

جدول ۴-۱۰- رده‌های مختلف بتن و کاربرد آن (شکرچی زاده، ۱۳۸۸)

رده بتن	مقاومت مشخصه (مگاپاسکال)	موارد کاربرد
C6	۶	ماده پرکننده
C8	۸	ماده پرکننده - بتن نظافت
C10	۱۰	ماده پرکننده - بتن نظافت - بتن ساده (بدون آرماتور)
C12	۱۲	بتن ساده با مراعات شرایطی بتن آرمه
C16	۱۶	بتن آرمه
C20	۲۰	بتن آرمه
C25- C50	۲۵-۵۰	بتن آرمه پیش تنیده

۴-۷- نمونه گیری پرکننده بتنی

پرکننده بتنی به طور کلی از اجزای مختلفی شامل سنگدانه‌ها، سیمان، آب و مواد افزودنی تشکیل می‌شود. بر طبق آیین نامه بتن ایران در موارد استثنایی و کم اهمیت برای ساختن بتن از رده C۱۶ به پایین و برای هر بار ساخت حداکثر ۳۰۰ لیتر پرکننده بتنی هیدرولیکی مجاز است که اختلاط با دست صورت گیرد. بر این اساس تمامی طرح‌های اختلاط صورت گرفته در این تحقیق به صورت

دستی انجام شده است. در مرحله اول با استفاده از مصالح سنگی مختلف و بر اساس طرح‌های اختلاط کارگاهی موجود نمونه‌های بتنی تهیه شده است. مراحل مختلف آماده‌سازی نمونه‌های بتنی به صورت زیر است:

مرحله اول: آماده سازی قالب‌های مکعبی

قالب‌های مکعبی معمولاً به ابعاد $15 \times 15 \times 15$ سانتی‌متر متشکل از دو نیمه هستند که به وسیله پیچ و مهره به یکدیگر متصل می‌شوند. سطوح داخلی قالب باید صاف، بدون خراش و دارای زوایای داخلی قائمه باشد و در غیر اینصورت مقاومت فشاری بتن بدست آمده، مقدار صحیحی نمی‌باشد. بنابراین در هر مرتبه قبل از ریختن پرکننده بتنی در قالب باید از تمیز بودن قالب اطمینان حاصل کرد. به منظور جلوگیری از چسبیدن بتن به سطح قالب در هنگام ریختن بتن، سطح درونی قالب‌ها با یک لایه نازک از روغن پوشیده می‌شود. در شکل ۴-۲ آماده سازی قالب‌های مکعبی برای ساخت نمونه‌های بتنی نشان داده شده است.



شکل ۴-۲- آماده سازی قالب‌های مکعبی برای تهیه نمونه‌های بتن

مرحله دوم: آماده سازی مصالح مورد نیاز برای ساخت بتن پرکننده

در این مرحله وزن مصالح مورد نیاز برای ساخت نمونه‌های بتنی بر اساس طرح اختلاط اولیه و حجم بتن مورد نیاز مشخص شده و آماده می‌شوند. مصالح مصرفی شامل ماسه و آب و سیمان است که با دقت ۵ گرم توزین می‌شوند.

مصالح سنگی بتن شامل ماسه باید حدود ۱۰-۵ درصد بیشتر از میزان بتن مورد لزوم برای قالب باشد. سپس مقادیر ماسه و سیمان توزین شده با یکدیگر مخلوط شده و در مرحله آخر آب مورد نیاز برای ایجاد بتنی با کارایی مناسب به مخلوط اضافه شده و عمل مخلوط کردن مصالح تا زمانی ادامه می‌یابد که بتن کاملاً همگن حاصل شود.

برای قالب گیری نمونه فشاری بتن ساخته شده در ۳ لایه مساوی در قالب‌های مکعبی با ابعاد $15 \times 15 \times 15$ سانتی‌متری که از قبل با استفاده از روغن چرب شده، ریخته شده و در طی ریختن هر لایه بتن، با گردش بیلچه مخلوط بتن در اطراف قالب به طور یکنواخت پخش و باید هر لایه با حدود ۲۵ ضربه میله تراکم کوبیده شود. همچنین در هر مرحله باید سعی شود میله تراکم کمی در سطح لایه زیرین نفوذ کند و در کوبیدن لایه زیرین میله تراکم باید در تمام ضخامت لایه نفوذ کند. سپس برای از بین بردن فضای خالی در حین کوبیدن بتن، به دیواره‌های خارجی قالب با استفاده از چکش لاستیکی حدود ۵ ضربه زده شده و در نهایت پس از اینکه ضربات با چکش لاستیکی به جداره قالب زده شد سطح خارجی قالب با استفاده از کمچه صاف و تسطیح می‌شود. در شکل ۴-۴ این مراحل نشان داده شده است.



شکل ۴-۴- زدن چکش لاستیکی در هر لایه از ضخامت بتن



شکل ۴-۳- ریختن لایه‌ای بتن و زدن میله تراکم فلزی در هر لایه

مرحله سوم: عمل آوری نمونه‌های بتن پرکننده

قبل از آزمایش نمونه‌ها، باید آن‌ها طبق شرایط استاندارد عمل آورده شوند در غیر اینصورت در نتایج آزمایش تأثیرگذار خواهد بود. این بدین معنی است که نمونه‌ها باید طی مدتی که سخت می‌شوند در یک درجه حرارت و رطوبت ثابت قرار گرفته شوند. نمونه‌های ساخته شده باید طی ۱۶ تا ۲۴ ساعت در مکانی با درجه حرارت بین ۱۵ تا ۲۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شوند. بعد از طی این مدت زمانی، نمونه‌ها باید بدون صدمه دیدن از قالب‌های مکعبی خارج شوند. گوشه‌های زده شده و یا ترک‌های کوچک بر روی سطح بتن، در نتایج به دست آمده تأثیر گذار خواهد بود. بعد از خارج کردن نمونه‌ها از قالب باید بلافاصله نمونه‌ها را داخل حوضچه آب قرار داد. این نمونه‌ها تا زمانی که باید تحت آزمایش مقاومت فشاری قرار گیرند داخل حوضچه آب باقی می‌مانند و پس از طی این مدت زمان از آب خارج و آزمایش می‌شوند. در شکل ۴-۵ عمل آوردن نمونه‌های بتنی مختلف در حوضچه آب نشان داده شده است.



شکل ۴-۵- عمل آوردن نمونه‌های بتنی ساخته شده در حوضچه آب

۴-۸- اندازه‌گیری مقاومت فشاری بتن پرکننده

نمونه‌های آزمایشی برای تعیین مقاومت بتن پرکننده باید بر طبق ASTM C31 "تحت عنوان ساختن و عمل آوردن نمونه‌های آزمایشی بتن در آزمایشگاه" ساخته و عمل آورده شوند. مقاومت فشاری ۲۸ روزه پرکننده بتنی بر اساس نمونه‌های آزمایشگاهی اندازه‌گیری می‌شود. روش کار به این ترتیب است که از پرکننده بتنی مورد استفاده در کارگاه‌های استخراج در قالب‌های مشخص نمونه‌گیری انجام می‌شود. این قالب‌ها اصولاً در دو نوع مکعبی و استوانه‌ای می‌باشند. نمونه مورد نظر پس از در نظر گرفتن شرایط استاندارد عمل آوری نمونه، پس از مدت زمان مشخص نگهداری شده در حوضچه آب، نمونه را خارج کرده و تحت تأثیر نیروی فشاری و بار مشخص قرار می‌گیرد و با افزایش نیرو در نمونه شکست رخ می‌دهد. دستگاه بارگذاری متشکل از یک فنر کالیبره شده و یک گیج قرائت جابجایی است که فک بالایی آن ثابت و فک پایینی آن به سمت بالا حرکت می‌کند. قبل از شکستن نمونه‌ها سطح بارگذاری مشخص و با کولیس به دقت باید اندازه‌گیری و سپس نمونه‌ها وزن شوند.

شکستن نمونه‌ها با قرار دادن نمونه‌ها در دستگاه بارگذاری و اعمال بار با نرخ ثابت تا فروپاشی نمونه‌ها انجام می‌شود. با قرائت نیروی متناظر با فروپاشی نمونه و تقسیم این نیرو بر سطح بارگذاری مقاومت فشاری نمونه‌ها بدست می‌آید.

به طور کلی بتنی خوب تلقی می‌شود که نمونه حاصل از آن وقتی تحت آزمایش مقاومت فشاری قرار می‌گیرد، شکست آن همراه با شکست دانه‌های سنگی پرکننده بتنی باشد و در صورتی که سیمان از روی دانه‌های سنگی جدا شود، بتن نامناسب تلقی می‌شود. در اندازه‌گیری مقاومت فشاری پرکننده بتنی در برخی از آیین‌نامه‌های دنیا از نمونه مکعبی و برخی دیگر از نمونه استوانه‌ای استفاده می‌کنند. تفاوت مقاومتی که بین نمونه‌های استوانه‌ای و مکعبی وجود دارد، مشکلی را به وجود نمی‌آورد چون ضرایب مربوطه در آیین‌نامه‌های مختلف در نظر گرفته شده است (ریبئی‌گهر، ۱۳۸۰). به عنوان مثال در آیین‌نامه آمریکا (ACI) نمونه استوانه‌ای و آیین‌نامه‌های انگلستان (BS) و اروپایی بتن (CEB) نمونه مکعبی ملاک در نظر گرفته می‌شود. در هنگام شکستن نمونه‌ها باید نکات زیر را مد نظر قرار داد:

نمونه‌ها چند ساعت قبل از بارگذاری از آب خارج شود تا آب اضافی از سطح آن خارج شود

قبل از گذاشتن نمونه‌ها در داخل دستگاه باید آن‌ها کاملاً تمیز شوند

نمونه‌ها به نحوی در داخل دستگاه قرار داده شود که مرکز نمونه‌ها بر روی مرکز جک‌های بالایی و پایینی دستگاه واقع شوند

سرعت بارگذاری باید در حد مناسبی باشد

آزمایش مقاومت فشاری تک محوری نمونه‌ها با استفاده از دستگاه جک بتن شکن ساده با نمایشگر دیجیتال موجود در آزمایشگاه بتن معدن ساغند که در شکل ۴-۶ نشان داده شده، انجام شده است. این دستگاه بار یکنواخت به نمونه وارد می‌کند و این عمل توسط دو فک سنگین انجام می‌شود. اساس

کار این دستگاه به گونه‌ای است که فشار را به میزانی افزایش می‌دهد تا نمونه از هم گسیخته شود و حداکثر نیروی لازم برای شکست نمونه را مشخص می‌کند.

در آزمایش‌های انجام شده مربوط به مقاومت فشاری تک محوری نمونه‌ها در سنین مختلف ۳، ۷ و ۲۸ روزه از دو سری نمونه که یکی از آن‌ها به عنوان نمونه شاهد در نظر گرفته شده است، استفاده شده و مقاومت فشاری تک محوری متوسط این نمونه‌ها برای سنین مختلف به عنوان مقاومت فشاری تک محوری در آن سن در نظر گرفته شده است.

ضمناً مقاومت فشاری تک محوری موردنیاز برای پرکردن کارگاه‌های استخراج زیرزمینی معدن ساغند براساس محاسبات مکانیک سنگی و تحلیل پایداری انجام شده، برابر ۵ مگاپاسکال برای نمونه‌های ۲۸ روزه پرکننده بتنی هیدرولیکی در نظر گرفته شده است.



شکل ۴-۶- دستگاه جک بتن شکن برای انجام آزمایش مقاومت فشاری تک محوری

۹-۴- اندازه‌گیری وزن مخصوص پرکننده بتنی

در تمامی آزمایش‌های انجام شده بتن پرکننده، نمونه‌های مکعبی تهیه شده از پرکننده بتنی توسط ترازوی دیجیتالی وزن شده و با توجه به ابعاد نمونه‌ها، وزن مخصوص ظاهری هر یک از نمونه‌های بتن بدست آمده است. در شکل ۷-۴ نمونه‌ای از توزین نمونه پرکننده بتنی در آزمایشگاه بتن معدن ساغند نشان داده شده است.



شکل ۷-۴- توزین نمونه‌های بتنی برای بدست آوردن وزن مخصوص نمونه‌ها

۱۰-۴- آزمایش اسلامپ

بر طبق تعریف ACI روانی بتن یعنی قابلیت بتن یا ملات تازه مخلوط شده برای جریان یافتن است. کلمه کارایی به سهولت در ریختن، قابلیت تراکم، سهولت در پرداخت بتن و مقاومت در برابر جدا شدگی اطلاق می‌شود. تاکنون هیچ آزمایشی که بتواند به طور مستقیم کارایی را به صورت کامل بیان

نماید وجود ندارد. ولی تلاش شده کارایی را با بعضی از خصوصیات فیزیکی آسان‌تر سنجش کرد؛ یکی از این آزمایش‌ها اسلامپ است. این نکته باید ذکر شود که آزمایش اسلامپ کارایی را نمی‌سنجد بلکه روانی بتن را توصیف می‌کند. آیین نامه‌ی ACI116R-90 کارایی را چنین بیان نموده که آن خاصیت از بتن یا ملات تازه مخلوط شده که تعیین کننده سهولت و یکنواختی است و با آن می‌توان بتن را مخلوط نمود، در جا ریخت، متراکم کرد و یا سطح آن را پرداخت کرد. همچنین این آیین نامه، روانی بتن را قابلیت تحرک نسبی یا توانایی بتن و یا ملات تازه مخلوط شده برای جریان یافتن می‌نامد. این خاصیت بتن توسط آزمایش اسلامپ بدست می‌آید. آزمایش اسلامپ، ساده‌ترین آزمایش تعیین قابلیت کارایی بتن است که در کارگاه انجام می‌شود. در آزمایش اسلامپ، در حقیقت مقدار اسلامپ بتن پس از برداشتن مخروط ناقص از اطراف بتن اندازه‌گیری می‌شود. میزان اسلامپ می‌تواند از صفر برای بتن خشک تا ریختن کامل برای بتن خیلی مرطوب باشد. نقاط ضعف این آزمایش غیر قابل استفاده بودن آن در مواردی است که مخلوط خیلی خشک باشد. با توجه به همه‌ی محدودیت‌های گفته شده، آزمایش اسلامپ برای کنترل کارگاهی و تغییرات پیمان به پیمان و ساعت به ساعت مصالح مصرفی در بتن بسیار مفید است. آزمایش اسلامپ از دو جنبه مفید است (مالکی، ۱۳۷۰):

۱- در صورت یکنواختی جنس و دانه بندی سنگدانه‌ها، این آزمایش نشان دهنده‌ی تغییرات در مقدار آب موجود و نسبت آب به سیمان است.

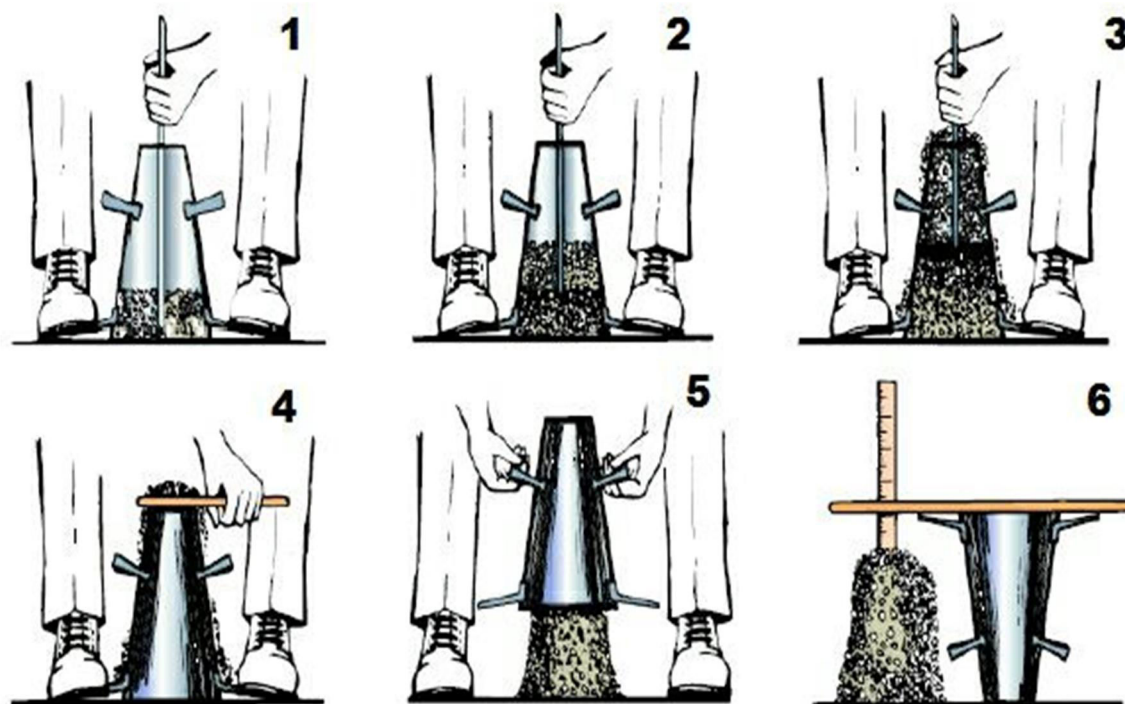
۲- در صورت ثابت بودن میران آب مخلوط و رطوبت موجود در سنگدانه‌ها، آزمایش اسلامپ نشان دهنده‌ی تغییرات دانه‌بندی شن و ماسه و یا اشتباه بودن میزان وزنی سیمان و شن و ماسه است.

آزمایش اسلامپ همواره باید طبق روش زیر انجام شود:

ابتدا با استفاده از نسبت‌های تعیین شده در طرح اختلاط مقادیر شن و ماسه و سیمان و آب توزین شده و پس از اختلاط شن و ماسه و سیمان با یکدیگر، آب به آن اضافه شده و مخلوط مورد نظر آماده می‌شود. پس از آماده شدن مخلوط، قالب اسلامپ مرطوب شده و در محل نمناک، صاف و تخت، که

ن بتواند رطوبت را جذب کند، قرار می‌گیرد. پاها باید بر روی تکیه گاه های دو طرف مخروط اسلامپ قرار گیرد و مخلوط تهیه شده در ۳ لایه در مخروط اسلامپ ریخته شده و هر لایه با ۲۵ ضربه میله کوبنده اسلامپ کوبیده شوند. ارتفاع هر لایه پس از تراکم باید تقریباً یک سوم ارتفاع قالب باشد. (مطابق استاندارد شماره ۴۹۲ ایران باید در سه مرحله حجم قالب پر شود و در هر مرحله تقریباً یک سوم حجم پر می‌شود) تا ارتفاع ۶/۵ سانتی‌متر قالب تقریباً یک سوم حجم و تا ارتفاع ۱۵ سانتی‌متری قالب تقریباً دو سوم حجم قالب می‌باشد). برای لایه‌ی زیرین لازم است که میله‌ی کوبنده را قدری به سمت داخل کج و بعضی از ضربه‌ها به طور مارپیچی از محیط به سمت مرکز وارد شود. در لایه زیرین ضربه‌ها باید تا عمق آن لایه نفوذ و ۲ لایه دیگر به صورتی که ضربه‌ها اندکی در لایه قبلی نفوذ نماید، متراکم شود. همچنین قبل از متراکم ساختن لایه فوقانی باید قالب را به اندازه کافی از بتن پر نمود. چنانچه پس از متراکم ساختن لایه فوقانی سطح بتن پایین‌تر از لبه‌های قالب قرار گیرد، باید دوباره مقداری بتن روی آن ریخته و سطح قالب به وسیله کاردک توسط حرکات اره‌ای و غلطکی صاف شود. در نهایت باید دستگیره‌های مخروط اسلامپ به آرامی بالا کشیده شود. این عمل باید ظرف ۵ تا ۱۰ ثانیه بدون اینکه حرکت جانبی یا چرخشی به قالب و بتن وارد شود، انجام شود.

استاندارد ۴۹۲ ایران در بند ۳ بیان می‌کند که عمل بلندکردن قالب باید تقریباً ۵ ثانیه و یا یک حرکت مداوم رو به بالا بدون آن که هیچگونه حرکت جانبی یا دورانی به بتن منتقل شود، انجام شود. در نهایت میله کوبنده طوری بر روی مخروط خالی وارونه شده قرار می‌گیرد که یک سر آن در بالای بتن افت نموده، قرار گیرد و اسلامپ با محاسبه تفاضل ارتفاع قالب از بالاترین ارتفاع بتن پس از برداشتن قالب تعیین می‌شود (طبق بند ۴ استاندارد ۳۲۰۲ ایران)، این مقدار باید با دقت نزدیک به ۵ میلی‌متر محاسبه شود. در شکل ۴-۸ مراحل انجام آزمایش اسلامپ به صورت شماتیک نشان داده شده است.



شکل ۴-۸- نمایش شماتیک مراحل انجام آزمایش اسلامپ

معمولاً در آزمایش اسلامپ، سه نوع افت وجود دارد (ربيعی گهر، ۱۳۸۰):

- ۱- افت طبیعی یا اسلامپ صحیح: دارای روانی خوب تا عالی بوده (در حدود ۵ اینچ)
 - ۲- افت برشی: با کاهش ارتفاع بتن و بریده شدن کناره بتن و ریزش آن (تقریباً نیمی از مخروط در امتداد سطح شیب‌دار می‌لغزد).
 - ۳- افت ریزشی یا افت فروریختگی: تعداد درصد افت زیاد بوده و به دلیل وارفتن و پخش شدن بتن ایجاد می‌شود. این حالت مربوط به مخلوط‌های فوق العاده خیس یا کم عیار است.
- در تمامی آزمایش‌های طرح اختلاط کارگاهی تجربی انجام شده برای پرکننده بتنی کارگاه‌های استخراج زیرزمینی، از یک مقدار اسلامپ و روانی به صورت مشاهده‌ای استفاده شده است و مقدار آب مورد نیاز برای طرح اختلاط‌ها 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 بوده است.

البته لازم به ذکر است در برخی از طرح‌های اختلاط بتن شامل مصالح ماسه شسته شده با عیارهای پایین (حدود ۲۰۰ و پایین‌تر) اسلامپ و روانی پرکننده بتنی ساخته شده به دلیل کم بودن مواد ریزدانه‌ای در ماسه در حد پایینی قرار داشته و در صورت عملیاتی شدن نیاز به استفاده از مواد روان کننده بتن در آن طرح‌ها می‌باشد.

در شکل ۹-۴ و شکل ۱۰-۴ نمونه‌ای از آزمایش اسلامپ بتن و پخش شدگی آن نشان داده شده است.



شکل ۹-۴- نمونه آزمایش اسلامپ انجام شده برای تعیین روانی پرکننده بتنی



شکل ۴-۱۰- تعیین میزان اسلامپ بتن پرکننده

۴-۱۱- امکان سنجی آزمایشگاهی ساخت بتن سنگین

برخلاف بتن‌های معمولی، مشخصه‌ی اصلی بتن‌های سنگین در استفاده از فیلرهای فلزی نظیر ایلمنیت، لیمونیت، سرپانتین، مگنتیت، باریت، سنگ معدن آهن و خرده قطعات فولادی است. هر چند که هر ماده ویژگی‌های خاص خود را دارد، اما آن‌ها به گونه‌ای می‌تواند عمل‌آوری شود که نیازهایی از قبیل دانه‌بندی، سلامتی و تمیزی را ارضاء کنند. تصمیم‌گیری در مورد نحوه انتخاب دانه‌ها به برآورد نیازهای به کارگیری آن‌ها بستگی دارد. مثلاً برای حفاظت در برابر تشعشع، باید از موادی استفاده شود که در برابر تشعشع از خود فعالیت نشان ندهد. حداکثر اندازه سنگدانه‌ی باریت مورد استفاده در انجام این تحقیق برابر ۲/۳۶ میلیمتر با وزن مخصوص ۳۹۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و ماسه به کار برده شده نیز ماسه رودخانه‌ای موجود در سایت است.

ضریب میرایی خطی که پارامتر معرف اندرکنش بتن با اشعه‌های تابشی بر آن نظیر اشعه آلفا یا گاما است، مهمترین مشخصه کمی مقدار نفوذ اشعه در پرکننده بتنی است. میزان این کمیّت تابعی از

انرژی فوتون تابشی، عدد اتمی و چگالی مصالح مورد استفاده در پرکننده بتنی ساخته شده است. کارهای تحقیقاتی عددی و آزمایشگاهی متعددی به منظور محاسبه و برآورد ضریب میرایی خطی صورت پذیرفته است. ضریب میرایی خطی با استناد بر فرمول بیر - لامبر^۱ قابل محاسبه است (قلی‌پور فیضی و همکاران، ۱۳۹۴):

$$N_X = N_0 e^{-\mu x} \quad (۱-۴)$$

در این رابطه N_X ، شدت تشعشع جزئی عبوری از میان ضخامت X ، N_0 شدت منبع اصلی تشعشع و μ ضریب میرایی خطی است.

زمانی که از بتن به عنوان مصالح مقاوم در برابر برخورد استفاده می‌شود، پارامترهای مختلفی در مقدار عمق نفوذ مؤثر می‌باشند که به عنوان مثال، به طور تجربی به رابطه (۲-۴) می‌توان اشاره کرد (1994 Forrestal).

$$P = 6.45 \frac{W_P}{d^2} * \frac{V}{\rho \sigma_c} * \frac{100^{0.8}}{RQD} \quad (۲-۴)$$

در این رابطه، P عمق نفوذ نهایی پرتابه صلب بر حسب اینچ، W_P وزن پرتابه بر حسب پوند، d قطر پرتابه بر حسب اینچ، V سرعت برخورد بر حسب مایل بر ساعت، ρ وزن مخصوص بر حسب پوند بر اینچ مکعب، σ_c مقاومت فشاری تک محوری بتن و RQD شاخص کیفیت سنگ است. بر اساس این رابطه، همان طور که مشاهده می‌شود پارامترهایی که می‌توان اقدام به تغییر مقدار آنها با توجه به خصوصیات مصالح کرد، مقاومت فشاری تک محوری پرکننده بتنی و وزن مخصوص هدف هستند. سایر پارامترها در واقع مربوط به خصوصیات پرتابه هستند که خارج از اراده طراحی سازه است. براین اساس می‌توان نتیجه گرفت که چگالی هدف، عامل مهمی برای مقابله با پدیده نفوذ اجسام

1 - Bear - Lamber

برخوردکننده به سازه و همچنین عمق تخریب ناشی از آن است. لذا بتن‌های با چگالی بالا می‌توانند به عنوان یک انتخاب مناسب برای ساخت سازه‌های گوناگون که در آن‌ها احتمال برخورد اجسام پرتابی وجود دارد، در نظر گرفته شوند (قلی‌پور فیضی و همکاران، ۱۳۹۴). یکی از اهداف اصلی از انجام این مطالعه، امکان‌سنجی تهیه و تولید بتن مناسب با استفاده از سنگدانه‌های با وزن مخصوص بالا همچون باریت و ارزیابی خصوصیات مقاومتی و جذب پرتویی ناشی از آن است.

۴-۱۲- مطالعات اقتصادی

در این بخش کلیه مطالعات اقتصادی مربوط به ساخت اختلاط پرکننده‌های بتنی ساخته شده براساس مقادیر مختلف سیمان صورت گرفته و با طرح عملیاتی انجام شده در معدن زیرزمینی ساغند مورد مقایسه قرار گرفته است. کلیه برآوردهای اقتصادی انجام شده در این پروژه با توجه به دربرداشتن هزینه‌های تهیه بتن‌ریزی‌های حجیم، بر اساس فهرست بهای واحد پایه رشته سدسازی سال ۱۳۹۶ انجام شده است. با توجه به کلیات فهرست بهاء، در مواردی که آیتم‌های مربوط به هزینه اجرای کار به طور مشخص دیده نشده باشد و مشخصات فنی و اجرایی ویژه‌ای مورد نیاز کار باشد که اقلام کارهای آن با شرح ردیف‌های این فهرست بهاء تطبیق نکند، ردیف‌هایی جدید با علامت ستاره مشخص شده و به عنوان ردیف ستاره‌دار نامیده می‌شوند. بهای واحد ردیف‌های ستاره‌دار، با روش آنالیز قیمت و بر اساس قیمت‌های دوره مبنای این فهرست، محاسبه و در برابر ردیف مورد نظر درج می‌شود. همچنین استعلام‌های محلی بر اساس هزینه‌های رایج منطقه انجام شده است. با توجه به اینکه پرکننده بتنی ساخته شده از سه جزء اصلی مصالح سنگی، سیمان و آب می‌باشد، هزینه‌های مربوط به تأمین این مصالح به تفکیک در بخش‌های زیر آورده شده است.

۴-۱۲-۱- تأمین مصالح سنگی

در طرح‌های اختلاط انجام شده پرکننده بتنی هیدرولیکی، ۵ نوع از مصالح سنگی اصلی مورد استفاده قرار گرفته است که شامل مصالح موجود در سایت (باطله روباز، باطله زیرزمینی، ماسه رودخانه‌ای) و

مصالح تهیه شده از خارج سایت (ماسه شسته شده و سنگ باریت) می‌باشد. در بین مصالح سنگی موجود در داخل سایت برای استفاده در طرح اختلاط پرکننده بتنی، باطله‌های روباز و زیرزمینی به دلیل وجود ذرات درشت در بین آن‌ها پس از بارگیری، نیاز به خردایش و سرند دارند ولی مصالح رودخانه‌ای نیاز به خردایش نداشته و فقط نیاز به یک مرحله سرند کردن دارند. مصالح خارج از سایت نیز از مناطق اطراف معدن تهیه و وارد سایت می‌شوند. در جدول ۴-۱۱ تجزیه و تحلیل مربوط به هزینه‌های تهیه هر مترمکعب ماسه حاصل از باطله معدن روباز ارائه شده است. قابل ذکر است که ردیف‌های مختلف با توجه به کلیات بیان شده در فهرست بهای واحد پایه سدسازی ۱۳۹۶ تهیه شده است.

جدول ۴-۱۱ - اطلاعات مربوط به تهیه یک متر مکعب ماسه حاصل از باطله معدن روباز

شماره آیتم	شرح	واحد	بهای واحد (ریال)	بهای کل (ریال)
۰۱۰۱۰۱	خاک‌برداری در زمین غیرسنگی و توده کردن مواد حاصله	متر مکعب	۳۰۳۰۰	۳۰۳۰۰
۰۱۰۹۰۲	بارگیری مصالح حاصل از خاک‌برداری در زمین‌های غیرسنگی حمل تا ۵۰۰ متر، ریختن و تسطیح در محل انباشت (از دپو تا تجهیزات دانه بندی)	متر مکعب	۲۴۱۰۰	۲۴۱۰۰
۰۱۱۳۰۱	حمل مصالح غیرسنگی و ماسه‌ای و لجنی، برای مسافت مازاد بر ۵۰۰ متر (از دپو تا تجهیزات دانه بندی)	متر مکعب - کیلومتر	۳۸۱۰	۳۸۱۰
*	سنگ شکنی و خردایش، سرند و دانه بندی مصالح	متر مکعب	۷۸۰۷۹ / ۲۹	۷۸۰۷۹
۰۱۰۹۰۲	بارگیری مصالح حاصل از خاک‌برداری در زمین‌های غیرسنگی حمل تا ۵۰۰ متر، ریختن و تسطیح در محل انباشت (از دانه بندی تا بچینگ)	متر مکعب	۲۴۱۰۰	۲۴۱۰۰
۰۱۱۳۰۱	حمل مصالح غیرسنگی و ماسه‌ای و لجنی، برای مسافت مازاد بر ۵۰۰ متر (از دانه بندی تا بچینگ)	متر مکعب - کیلومتر	۳۸۱۰	۳۸۱۰
۱۶۴۱۹۹	مجموع هزینه ها (یک متر مکعب)			۱۶۴۱۹۹

اطلاعات مربوط به سایر مصالح سنگی مورد استفاده در طرح‌های اختلاط پرکننده‌های بتنی که در ادامه رساله آمده است، به صورت مشابه با باطله معدن روباز بوده و هزینه‌های مربوط به تأمین این مصالح سنگی در جدول ۴-۱۲ ارائه شده که مبنای محاسبات اقتصادی می‌باشد.

جدول ۴-۱۲ - بهای واحد تهیه مصالح سنگی مصرفی در پرکننده بتنی هیدرولیکی

بهای واحد (ریال)	واحد	مصالح سنگی (ماسه)
۱۶۴۱۹۹	مترمکعب	باطله معدن زیرزمینی
۱۲۴۰۲۰	مترمکعب	ماسه رودخانه‌ای
۲۰۰۰۰۰	تن	ماسه شسته شده
۲۵۲۴۵۰۲	تن	ماسه باریت

۴-۱۲-۲- تأمین سیمان

در طرح‌های اختلاط انجام شده پرکننده بتنی هیدرولیکی با عیارهای مختلف از سیمان تیپ ۲ استفاده شده است. با توجه به سهم هزینه بالای سیمان در هر طرح اختلاط از مواد سیمانی ارزانتر دیگری همچون سیمان پوزولانی، آهک، سربراره کوره ذوب و ماسه بادی به عنوان جایگزین سیمان استفاده شده است. در میان این موارد فقط ماسه بادی در اطراف مجتمع معدنی موجود است و بقیه موارد باید از خارج مجتمع معدنی تهیه شود. در جدول ۴-۱۳ تجزیه و تحلیل مربوط به هزینه‌های تهیه هر تن سیمان تیپ ۲ ارائه شده است.

جدول ۴-۱۳ - اطلاعات مربوط به تهیه یک تن سیمان

شماره آیتم	شرح	واحد	بهای واحد (ریال)	بهای کل (ریال)
*	هزینه واحد	تن	۱۲۵۰۰۰۰	۱۲۵۰۰۰۰
*	هزینه حمل	تن	۲۲۷۲۰۰	۲۲۷۲۰۰
مجموع هزینه ها (یک تن)			۱۴۷۷۲۰۰	

اطلاعات مربوط به هزینه سایر مواد چسباننده‌ی استفاده شده در طرح‌های اختلاط پرکننده بتنی هیدرولیکی نیز که به صورت مشابه محاسبه شده است، در جدول ۴-۱۴ آورده شده است.

جدول ۴-۱۴ - هزینه مواد چسباننده غیرسیمانی مورد استفاده در طرح‌های اختلاط پرکننده بتنی هیدرولیکی

ردیف	مصلح	واحد	بهای کل (ریال / تن)
۱	سیمان پوزولانی	تن	۱۴۴۰۰۰۰
۲	سرباره کوره ذوب	تن	۴۳۰۰۰۰
۳	آهک	تن	۱۱۶۵۱۰۰
۴	ماسه بادی	تن	۴۱۶۳۷

۴-۱۲-۳- تهیه آب مصرفی

در ساخت پرکننده بتنی هیدرولیکی باید از مصرف آب حاوی مقادیر زیاد از هر نوع ماده از قبیل روغن‌ها، اسیدها، قلیایی‌ها، املاح، مواد قندی و مواد آلی که قادر به صدمه زدن به بتن می‌شود خودداری شود. در آزمایش‌های انجام شده از دو نوع آب یعنی آب مصرفی مجتمع معدنی ساغند (آب معمولی) و آب حاصل از زهکشی و آبکشی معدن ساغند (آب معدن) استفاده شده است. البته در طرح‌های اختلاط انجام شده بر اساس آزمایش‌های قبلی، اکثراً از آب تجمع یافته در کف چاه ترابری معدن برای ساخت پرکننده بتنی استفاده شده است. لازم به ذکر است که مقدار PH آب آزمایش شده حدود ۸ اندازه‌گیری شده است که در دامنه PH مجاز آب مورد نیاز برای ساخت بتن قرار دارد. همچنین لازم به ذکر است با توجه به حجم بالای آب زهکشی شده‌ی معدن که به میزان حدود ۳۰ مترمکعب در روز می‌باشد، می‌توان از این حجم آب جمع آوری شده برای ساخت پرکننده بتنی موردنیاز استفاده کرد.

با توجه به اینکه آب حاصل از آبکشی معدن زیرزمینی ساغند، بدون هیچ‌گونه هزینه‌ی اضافی قابلیت استفاده در پرکننده بتنی هیدرولیکی را دارد، لذا هزینه آن در محاسبات اقتصادی پرکننده بتنی صفر در نظر گرفته شده است. آب مصرفی مجتمع نیز از خارج مجتمع یعنی از سایت چاه نور واقع در ۷۵ کیلومتری معدن ساغند تأمین می‌شود که هزینه آن مطابق جدول ۴-۱۵ برآورد شده است.

جدول ۴-۱۵ - هزینه تأمین آب مصرفی مجتمع

شماره آیتم	شرح	واحد	بهای واحد (ریال)	بهای کل (ریال)
*	هزینه واحد	متر مکعب	۳۰۰۰۰	۳۰۰۰۰
۰۱۲۸۰۱	هزینه حمل	متر مکعب - کیلومتر	۴۹۷۰	۳۷۲۷۵۰
مجموع هزینه ها (یک متر مکعب)				۴۰۲۷۵۰

۴-۱۳- داده‌ها و روش تحقیق

در این تحقیق در راستای کاهش اشعه جذبی کارگران معادن زیرزمینی اورانیوم، کاهش هزینه‌ها، مکانیزه نمودن پرکردن بتنی و کاهش آلودگی‌های سطحی ناشی از دیوی باطله‌های استخراجی و آب زهکشی شده معادن روباز و زیرزمینی اورانیوم، طرح‌های اختلاط مختلفی برای پرکننده بتنی هیدرولیکی با توجه به میزان سیمان، سایر مواد چسباننده و مصالح سنگی موجود در پیرامون معادن اورانیوم، ساخته و نمونه‌هایی از این طرح اختلاط‌ها برای تست مقاومت فشاری تک محوری ۲۸ روزه و اندازه‌گیری میزان تشعشع در سطح پرکننده‌های بتنی ریخته شده در مجاورت کانسنگ معدنی، گرفته شد. برای ساخت طرح‌های اختلاط از ۵ نوع مصالح سنگی اصلی که عبارتند از: باطله معدن روباز، باطله معدن زیرزمینی، ماسه‌های رودخانه‌ای، ماسه شسته شده و مصالح سنگی باریت، استفاده شده است. همچنین در طرح‌های اختلاط از آب معمولی (آب مصرفی مجتمع معدنی) و آب زهکشی شده‌ی معدن که آلوده به مواد رادیواکتیو می‌باشد، استفاده شده است.

۴-۱۳-۱- طرح اختلاط پرکننده بتنی ساخته شده با باطله معدن روباز

در این طرح‌های اختلاط از باطله معدن روباز اورانیوم ساغند که عمدتاً از جنس سنگ آهک، ژئوپس و مگنتیت تشکیل شده، استفاده شده است. این باطله‌ها در مجاورت معدن دپو شده و در راستای کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی و کاهش هزینه‌ها می‌توان با یک خردایش اولیه و دانه‌بندی از این مصالح سنگی در ترکیب پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی برای پرکردن معدن زیرزمینی اورانیوم استفاده نمود.

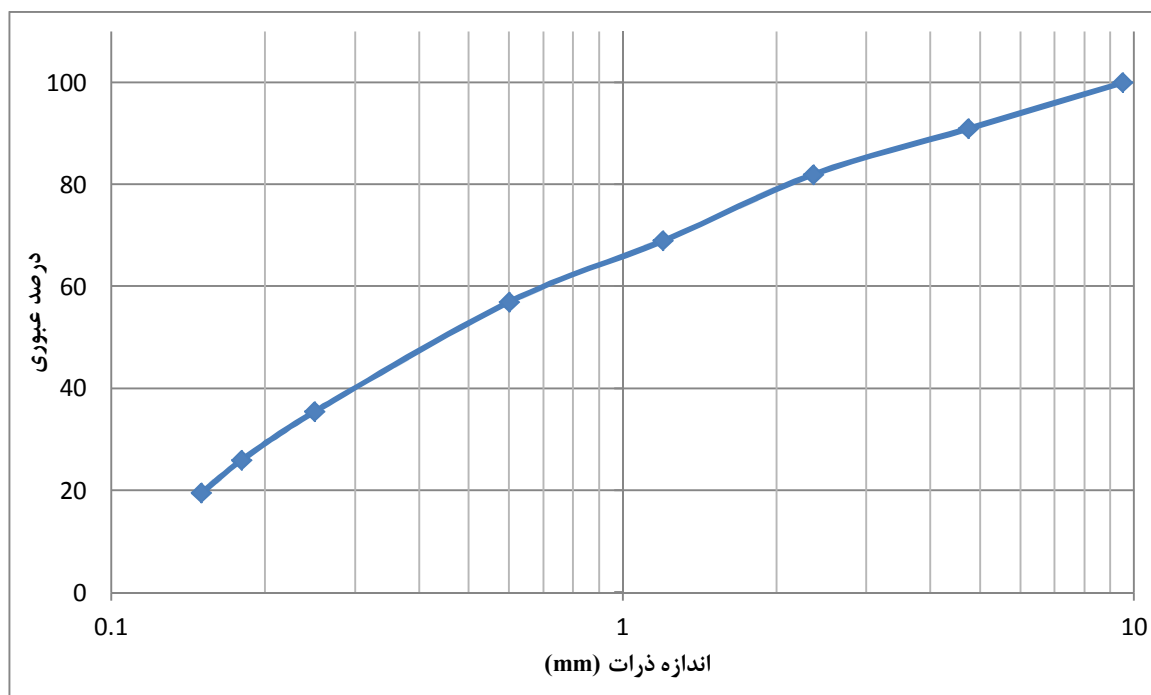
۴-۱۳-۱-۱- نمودار دانه بندی باطله معدن روباز

اطلاعات مربوط به آزمایش دانه‌بندی باطله معدن روباز در جدول ۴-۱۶ ارائه شده است.

جدول ۴-۱۶ - دانه‌بندی مصالح سنگی حاصل از باطله‌های معدن روباز

شماره الک	اندازه (میلی متر)	مانده روی الک (گرم)	مانده روی الک (درصد)	درصد تجمعی مانده روی الک	درصد عبوری از الک
۰/۳۷۵	۹/۵	۰	۰	۰	۱۰۰
۴	۴/۷۵	۹۰	۹	۹	۹۱
۸	۲/۳۶	۹۰	۹	۱۸	۸۲
۱۶	۱/۲	۱۳۰	۱۳	۳۱	۶۹
۳۰	۰/۶	۱۲۰	۱۲	۴۳	۵۷
۶۰	۰/۲۵	۲۱۵	۲۱/۵	۶۴/۵	۳۵/۵
۸۰	۰/۱۸	۹۵	۹/۵	۷۴	۲۶
۱۰۰	۰/۱۵	۶۵	۶/۵	۸۰/۵	۱۹/۵
۲۰۰	۰/۰۷۵	۱۰۰	۱۰	۹۰/۵	۹/۵
زیرالکی	-	۹۵	۹/۵	۱۰۰	۰

نمودار مربوط به دانه‌بندی ماسه حاصل از باطله معدن روباز در شکل ۴-۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۱ - نمودار دانه‌بندی ماسه حاصل از باطله معدن روباز

۴-۱۳-۱-۲- نتایج حاصل از طرح‌های اختلاط ساخته شده با باطله معدن روباز

در این بخش اطلاعات حاصل از طرح‌های اختلاط مختلف انجام شده با استفاده از باطله معدن روباز ارائه شده است. در جدول ۴-۱۷ اطلاعات مربوط به طرح‌های اختلاط مختلف انجام شده شامل مقدار مصالح سنگی، سیمان، مواد چسباننده سیمانی بر حسب کیلوگرم در یک متر مکعب بتن و آب مورد استفاده بر اساس لیتر در هر مترمکعب پرکننده بتنی هیدرولیکی در هر طرح اختلاط کارگاهی ذکر شده است.

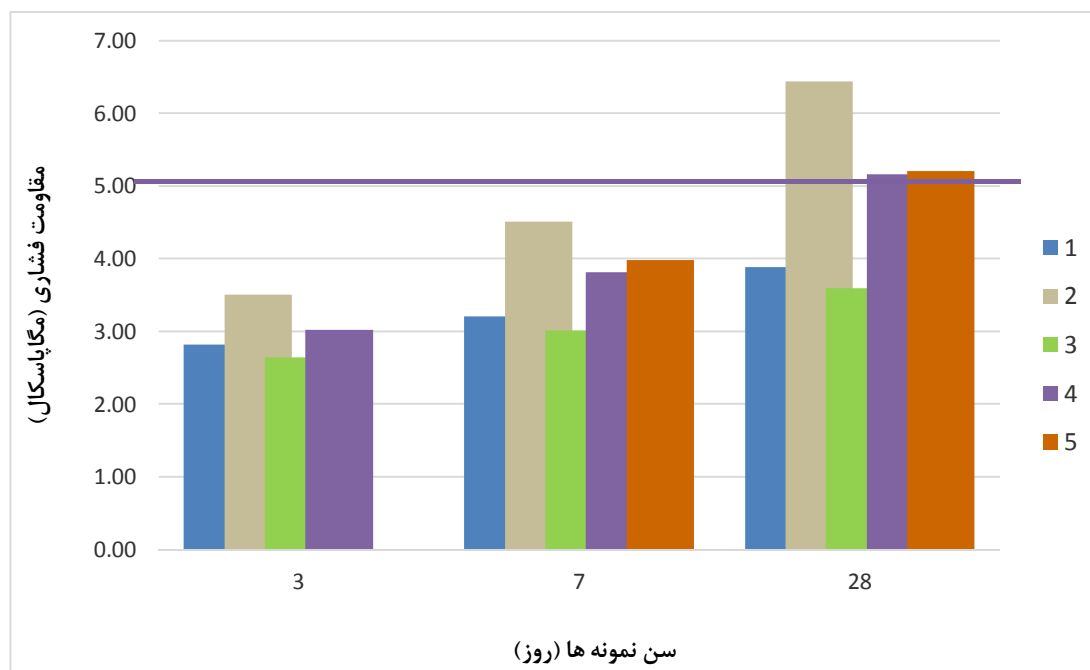
لازم به ذکر است که نمونه‌گیری از دو دیوی باطله موجود در معدن روباز انجام شده است و منظور از باطله نوع اول، ماسه حاصل از باطله روباز با جنس ژئوپس - سرپانتین - تالک متاسوماتیت و باطله نوع دوم، ماسه باطله روباز با جنس سرپانتین تالک، مگنتیت متاسوماتیت و ماسه سنگ دگرگون شده است.

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

همچنین نمودار ستونی مربوط به نتایج آزمایش مقاومت فشاری طرح‌های اختلاط پرکننده بتنی

هیدرولیکی ساخته شده با ماسه حاصل از باطله معدن روباز در شکل ۴-۱۲ نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۲- نمودار ستونی مربوط به نتایج مقاومت فشاری طرح‌های اختلاط مختلف با استفاده از باطله معدن روباز

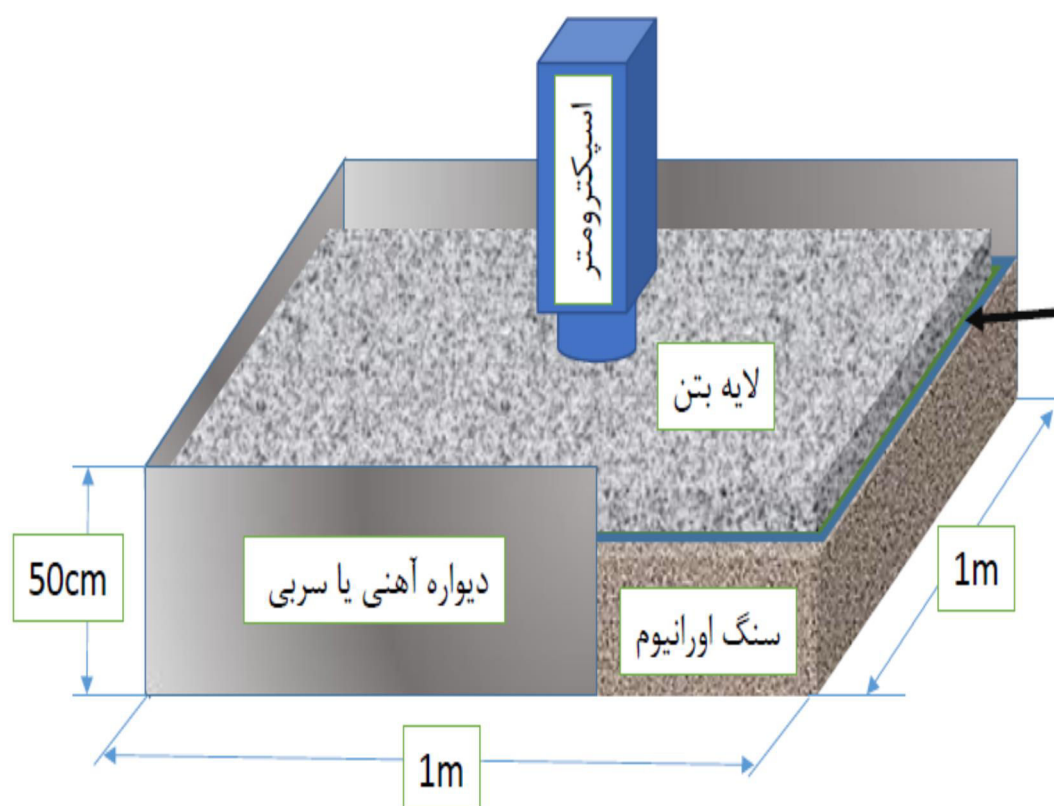
با انجام آزمایش‌ها و اندازه‌گیری مقاومت فشاری ۲۸ روزه تک محوری، مشخص شد که طرح‌های اختلاط ردیف ۲، ۴ و ۵ مقاومت فشاری ۲۸ روزه آنها بالای ۵ مگاپاسکال بوده و امکان استفاده از باطله‌های استخراجی نوع دوم معدن روباز ساغند که دارای مگنتیت بالایی بوده قابل استفاده در ترکیب پرکننده‌های بتنی برای پرکردن کارگاه‌های استخراج معدن زیرزمینی اورانیوم می‌باشد.

۴-۱۳-۱-۳- نتایج حاصل از آزمایش پرتوزایی

در این بخش یک طرح اختلاط شاخص از پرکننده بتنی ساخته شده با باطله‌های معدن روباز اورانیوم انتخاب شده و آزمایش پرتوزایی و میزان تشعشع در ضخامت‌های مختلف پرکننده بتنی ریخته شده در مجاورت کانسنگ معدنی اورانیوم اندازه‌گیری می‌شود. دلیل انتخاب یک طرح اختلاط نیز به جهت نزدیک بودن تغییرات میزان تشعشع در ضخامت‌های مختلف پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی با یک نوع مصالح سنگی مورد استفاده در طرح‌های اختلاط می‌باشد. مشخصات این طرح اختلاط پرکننده بتنی هیدرولیکی در جدول ۴-۱۸ ارائه شده است. برای انجام آزمایش‌ها و اندازه‌گیری میزان پرتوزایی یک

محفظه فلزی مکعبی شکل با ابعاد ۱ متر در ۱ متر و به ارتفاع ۵۰ سانتیمتر ساخته شد و سپس تا ارتفاع ۳۰ سانتی متر از داخل محفظه با کانسنگ اورانیوم پر گردید. در ادامه اختلاط‌های ساخته شده از پرکننده‌های بتنی با مصالح سنگی مختلف در ضخامت‌های متغیر بر روی کانسنگ اورانیوم در داخل محفظه مکعبی شکل ریخته شد و بعد از رسیدن بتن به مقاومت اولیه در هر ضخامت پرکننده، میزان تشعشع کلی در سطح پرکننده بتنی اندازه‌گیری شد.

ابعاد محفظه فلزی به دلیل اینکه دستگاه اسپکترومتر تا یک مترمربع از سطح پیرامونی و عمق ۳۰ سانتیمتر از میزان تشعشع کانسنگ اورانیوم را پوشش می‌دهد، با ابعاد ذکر شده انتخاب شده است. در شکل ۴-۱۳ شماتیکی از نحوه انجام تحقیق در خصوص اندازه‌گیری میزان پرتوزایی ارائه شده است (نیک گفتار، ۱۳۹۶).



شکل ۴-۱۳ - شماتیکی از نحوه انجام آزمایش و اندازه‌گیری میزان تشعشع

جدول ۴-۱۸ - طرح اختلاط استفاده شده برای انجام آزمایش پرتوزایی

مقاومت فشاری (مگاپاسکال)	آب (لیتر)	سایر مواد سیمانی (کیلوگرم)	سیمان (کیلوگرم)	مصلح سنگی (کیلوگرم)	طرح اختلاط	طرح اختلاط
۶/۴۴	۴/۵۲	۵۳۳/۷	۰	۳۸۱	۱۶۱۷	باطله روباز (نوع دوم) + سیمان + آب معمولی

اندازه‌گیری میزان تشعشع کلی و عیارهای اورانیوم و توریم برای پرکننده بتنی هیدرولیکی ساخته شده با باطله‌های معدن روباز در ضخامت‌های ۳، ۵، ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متری در مجاورت کانسنگ اورانیوم انجام شد. تصویری از نحوه‌ی اندازه‌گیری میزان تشعشع در شکل ۴-۱۴ ارائه شده است.



شکل ۴-۱۴ - تصویری از انجام آزمایش پرتوزایی در سطح پرکننده بتنی هیدرولیکی

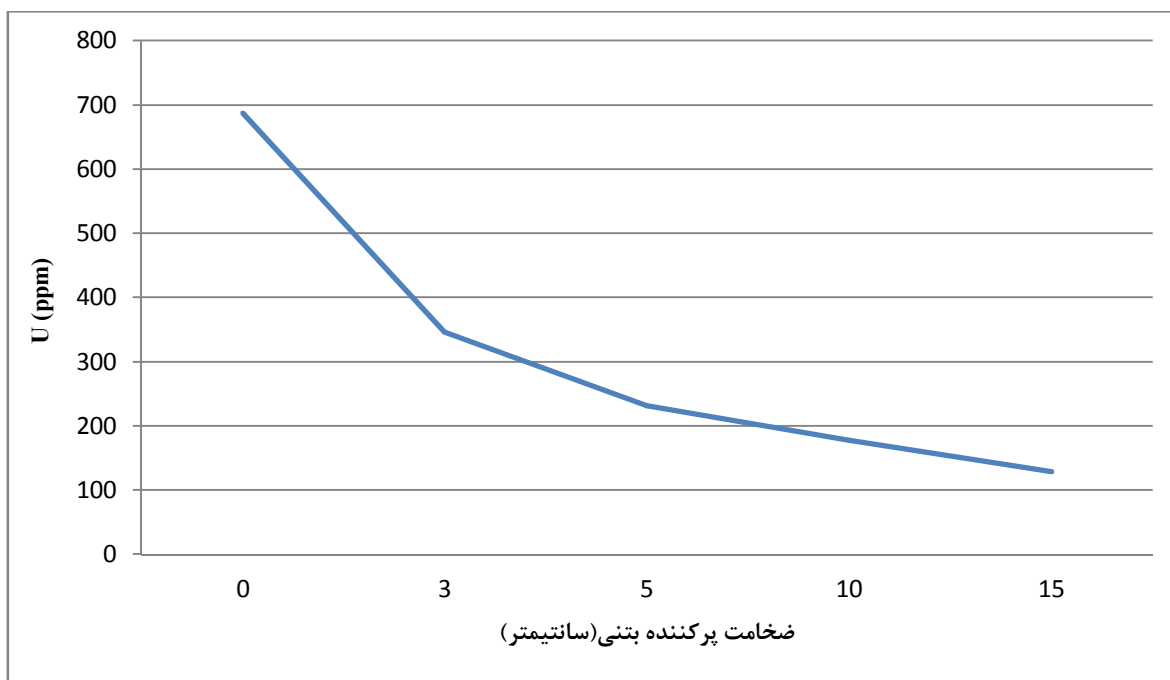
در جدول ۴-۱۹ اطلاعات حاصل از برداشت‌های انجام شده به وسیله دستگاه اسپکترومتر در ضخامت‌های مختلف پرکننده بتنی که شامل مقدار عیار اورانیوم، عیار توریم و تشعشع کلی می‌باشد، ارائه شده است.

جدول ۴-۱۹ - اطلاعات حاصل از آزمایش پرتوزایی پرکننده‌ی بتنی ساخته شده با باطله‌های معدن روباز

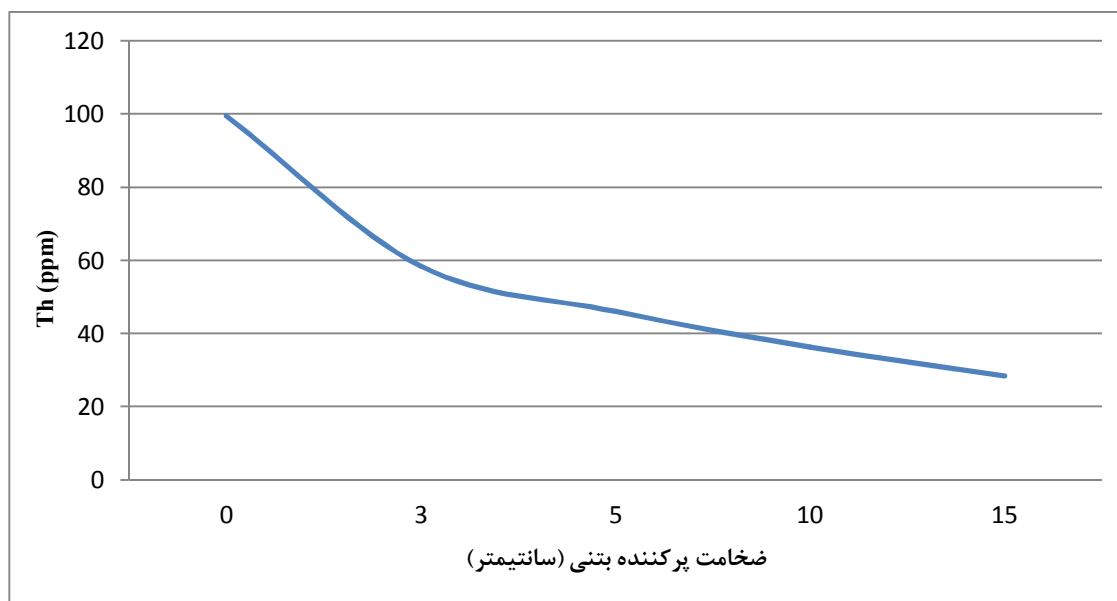
ردیف	وضعیت پوشش	اطلاعات دستگاه اسپکترومتر		
		U (ppm)	Th (ppm)	CPS (تعداد شمارش در ثانیه)
۱	بدون پوشش	۶۸۷/۵	۹۹/۶	۹۳۶۰
۲	با ضخامت ۳cm بتن پرکننده	۳۴۶/۸	۵۸/۵	۵۷۲۵
۳	با ضخامت ۵cm بتن پرکننده	۲۳۱/۶	۵۱/۶	۴۳۶۹
۴	با ضخامت ۱۰cm بتن پرکننده	۱۷۷/۶	۳۶/۴	۲۷۱۰
۵	با ضخامت ۱۵cm بتن پرکننده	۱۲۸/۸	۲۸/۵	۱۷۸۳

U= اورانیوم Th= تورיום ppm= گرم بر تن CPS= تعداد شمارش در ثانیه

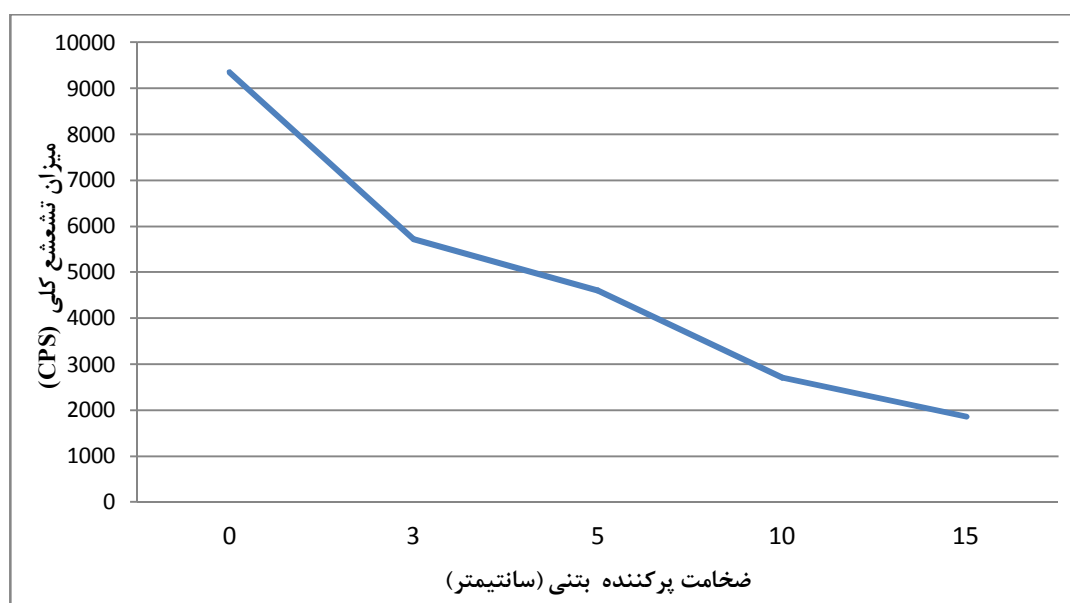
نمودارهای مربوط به آزمایش پرتوزایی نیز به ترتیب در شکل ۴-۱۵ تا شکل ۴-۱۷ ارائه شده است.



شکل ۴-۱۵ - نمودار تغییرات عیار کانسنگ اورانیوم نسبت به ضخامت پرکننده بتنی در مجاورت کانسنگ اورانیوم



شکل ۴-۱۶- نمودار تغییرات عیار توریم نسبت به ضخامت پرکننده بتنی در مجاورت کانسنگ اورانیوم



شکل ۴-۱۷- نمودار تغییرات میزان تشعشع کلی نسبت به ضخامت پرکننده بتنی ساخته شده با باطله معدن روباز

همانگونه که مشاهده می‌شود با افزایش ضخامت پرکننده بتنی هیدرولیکی در مجاورت کانسنگ اورانیوم، میزان تشعشع کلی و عیار اورانیوم و توریم در سطح پرکننده بتنی هیدرولیکی کاهش می‌یابد.

۴-۱۳-۴- محاسبات اقتصادی ساخت پرکننده بتنی با استفاده از باطله معدن روباز

در این بخش با توجه به توضیحات داده شده در قسمت قبل محاسبات مربوط به هزینه ساخت یک مترمکعب پرکننده بتنی هیدرولیکی با استفاده از باطله‌های معدن روباز در طرح‌های اختلاط مختلف انجام شده، ارائه شده است. این محاسبات برای پرکننده‌های بتنی که حداقل مقاومت فشاری ۲۸ روزه ۵ مگاپاسکال موردنیاز پایداری کارگاه‌های استخراج زیرزمینی را تأمین می‌کنند، انجام شده است و سایر طرح اختلاط‌ها کنار گذاشته شده است. نتایج مربوط به این محاسبات در جدول ۴-۲۰ ذکر شده است.

جدول ۴-۲۰- هزینه هر مترمکعب پرکننده بتنی ساخته شده با مصالح حاصل از باطله معدن روباز

ردیف	طرح اختلاط	مصالح سنگی (کیلوگرم)	سیمان (کیلوگرم)	سایر مواد چسباننده (کیلوگرم)	آب (لیتر)	هزینه یک مترمکعب پرکننده بتنی (ریال)
۱	باطله معدن روباز (نوع دوم) + سیمان + آب معمولی	۱۶۱۷	۳۸۱	۰	۵۳۳/۷	۸۷۸۳۳۳
۲	باطله معدن روباز (نوع دوم) (۵۰٪) + باطله معدن زیرزمینی (۵۰٪) + آهک + سیمان + آب زهکشی شده‌ی معدن	۱۶۱۷	۲۸۵/۷۵	۹۵/۲۵	۵۱۰	۶۳۳۶۵۸
۳	باطله معدن روباز (نوع دوم) (۵۰٪) + باطله معدن زیرزمینی (۵۰٪) + سیمان + آب زهکشی شده‌ی معدن	۱۷۰۰	۲۵۰	۰	۳۹۶	۴۷۵۰۳۴

با توجه به نتایج جدول مشاهده می‌شود که می‌توان با استفاده ترکیبی از باطله معدن روباز و باطله معدن زیرزمینی، میزان سیمان را در اختلاط پرکننده بتنی تا ۲۵۰ کیلوگرم در هر مترمکعب پرکننده کاهش داد در صورتیکه مقاومت فشاری ۲۸ روزه آن نیز پایداری فضا‌های استخراجی را تأمین می‌نماید.

لذا با در نظر گیری کلیه ملاحظات فنی و اقتصادی پرکننده بتنی هیدرولیکی ردیف ۳ جدول ۴-۲۰ بهترین گزینه برای پر کردن کارگاه‌های استخراج معادن اورانیوم در این بخش می‌باشد.

۴-۱۳-۲- طرح‌های اختلاط پرکننده بتنی ساخته شده با باطله‌های معدن زیرزمینی

۴-۱۳-۲-۱- نمودار دانه بندی باطله معدن زیرزمینی

اطلاعات مربوط به آزمایش دانه‌بندی باطله معدن زیرزمینی در جدول ۴-۲۱ ارائه شده است.

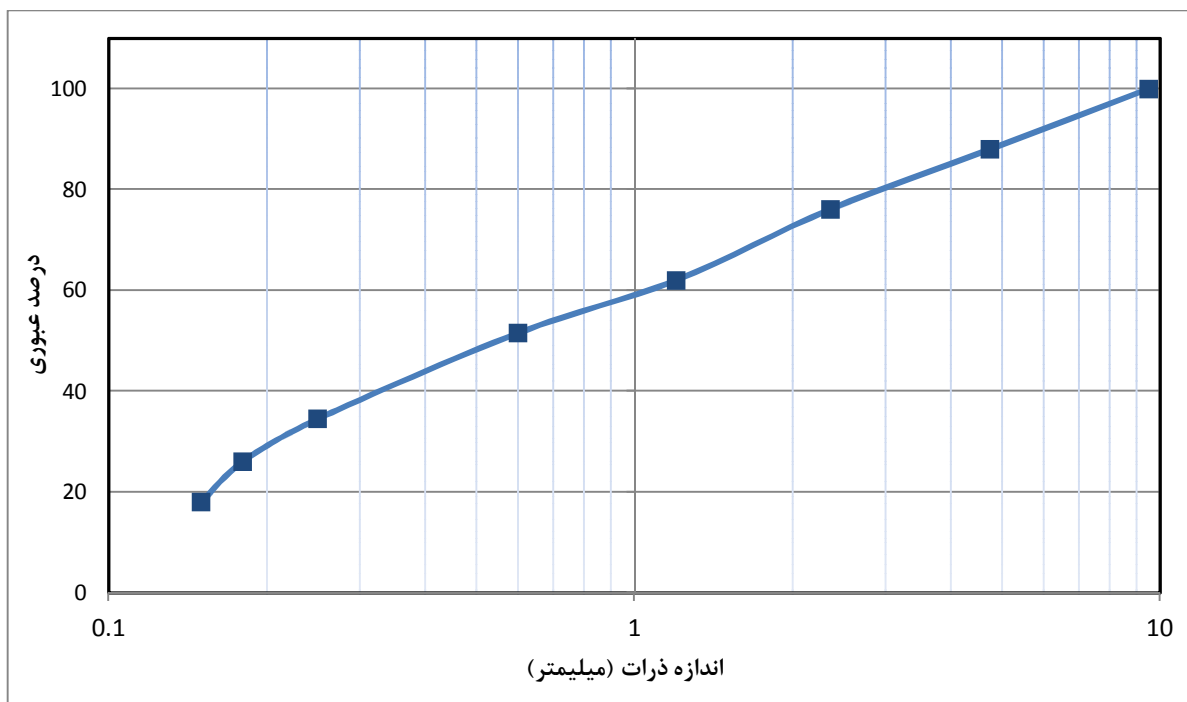
جدول ۴-۲۱- دانه بندی مصالح حاصل از باطله‌های معدن زیرزمینی

شماره الک	اندازه (میلی متر)	مانده روی الک (گرم)	مانده روی الک (درصد)	درصد تجمعی مانده روی الک	درصد عبوری از الک
۰/۳۷۵	۹/۵	۰	۰	۰	۱۰۰
۴	۴/۷۵	۱۲۰	۱۲	۱۲	۸۸
۸	۲/۳۶	۱۲۰	۱۲	۲۴	۷۶
۱۶	۱/۲	۱۴۰	۱۴	۳۸	۶۲
۳۰	۰/۶	۱۰۵	۱۰/۵	۴۸/۵	۵۱/۵
۶۰	۰/۲۵	۱۷۰	۱۷	۶۵/۵	۳۴/۵
۸۰	۰/۱۸	۸۵	۸/۵	۷۴	۲۶
۱۰۰	۰/۱۵	۸۰	۸	۸۲	۱۸
۲۰۰	۰/۰۷۵	۱۰۰	۱۰	۹۲	۸
زیرالکی	-	۸۰	۸	۱۰۰	۰

نمودار مربوط به دانه‌بندی ماسه حاصل از باطله معدن زیرزمینی در شکل ۴-۱۸ نشان داده شده است.

از نمودار مشخص است که ماسه باطله معدن زیرزمینی از پیوستگی دانه‌بندی مطلوبی برخوردار بوده و

این امر علاوه بر تأثیر مثبت در مقاومت فشاری پرکننده بتنی ساخته شده با این نوع مصالح، باعث انتقال و پمپ بهتر پرکننده به کارگاه‌های استخراج و حفاریات زیرزمینی نیز می‌شود.



شکل ۴-۱۸- نمودار دانه‌بندی ماسه حاصل از باطله معدن زیرزمینی

۴-۱۳-۲-۲- نتایج حاصل از طرح‌های اختلاط پرکننده بتنی ساخته شده با باطله‌های معدن

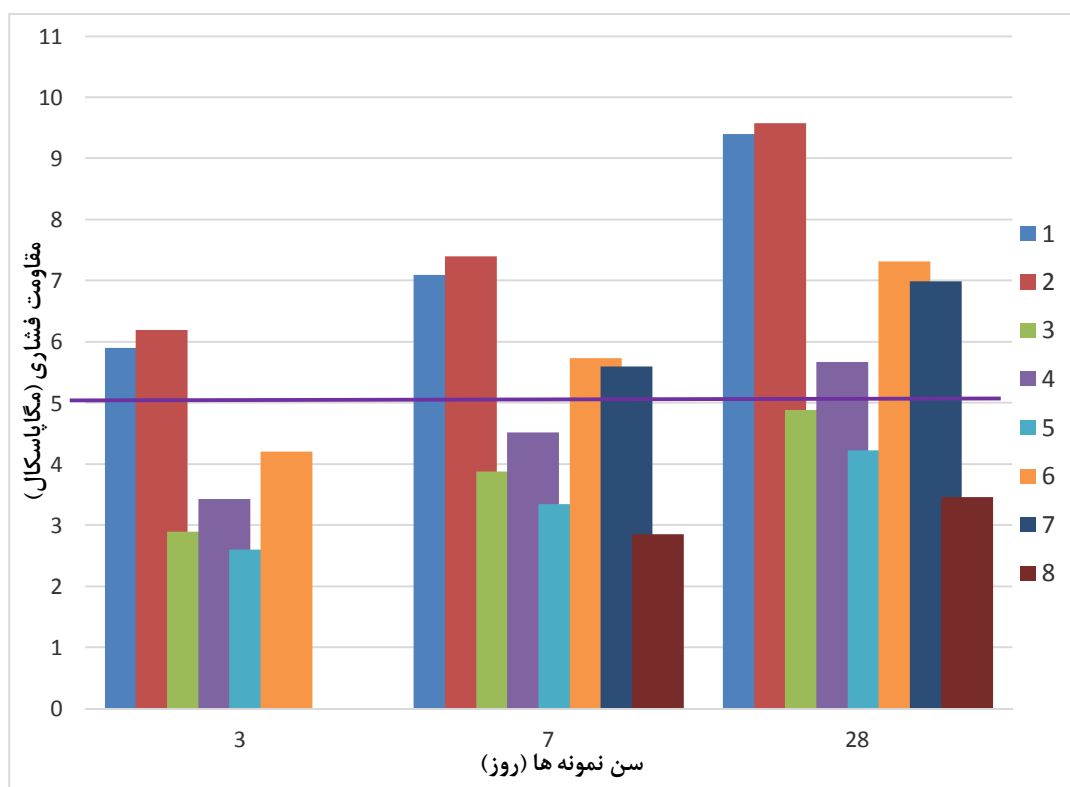
زیرزمینی

در این بخش اطلاعات حاصل از طرح‌های اختلاط پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی ساخته شده با باطله معدن زیرزمینی اورانیوم ارائه شده است. در جدول ۴-۲۲ اطلاعات مربوط به طرح‌های اختلاط مختلف انجام شده شامل مقدار مصالح سنگی، میزان سیمان، مواد چسباننده سیمانی و غیرسیمانی و آب مورد استفاده در هر طرح اختلاط کارگاهی ارائه شده است.

جدول ۴-۲۲- اطلاعات کلی حاصل از طرح‌های اختلاط پرکننده بتنی هیدرولیکی ساخته شده با ماسه حاصل از باطله معدن زیرزمینی

شماره طرح اختلاط	طرح اختلاط	مصالح سنگی (کیلوگرم)	سیمان (کیلوگرم)	سایر مواد سیمانی (کیلوگرم)	آب (لیتر)	مقاومت فشاری (مگاپاسکال)		
						۳ روزه	۷ روزه	۲۸ روزه
۱	باطله معدن زیرزمینی + سیمان + آب معمولی	۱۶۱۷	۳۸۱	۰	۴۰۹/۳	۵/۹	۷/۱	۹/۴
۲	باطله معدن زیرزمینی + سیمان + آب زهکشی شده معدن	۱۶۱۷	۳۸۱	۰	۴۰۹/۳	۶/۲	۷/۴	۹/۵۸
۳	باطله معدن زیرزمینی + سیمان + ماسه بادی (۳۰٪) + آب زهکشی شده معدن	۱۶۱۷	۲۶۶/۷	۱۱۴/۳	۴۰۰	۳/۴۳	۴/۵۲	۵/۶۸
۴	باطله معدن زیرزمینی + سیمان + آهک (۲۵٪) + آب زهکشی شده معدن	۱۶۱۷	۲۸۵/۷۵	۹۵/۲۵	۴۵۷/۲	۲/۹	۳/۸۸	۴/۸۹
۵	باطله معدن زیرزمینی + سیمان + آب زهکشی شده معدن	۱۸۰۰	۲۰۰	۰	۳۷۰	۲/۶۱	۳/۳۵	۴/۲۳
۶	باطله معدن زیرزمینی + سیمان + سرباره مذاب (۳۰٪) + آب معمولی	۱۶۱۷	۲۶۶/۷	۱۱۴/۳	۴۰۰	۴/۲۱	۵/۷۳	۷/۳
۷	باطله معدن زیرزمینی + سیمان + آب زهکشی شده معدن	۱۷۰۰	۲۵۰	۰	۳۴۰	-	۵/۶	۷
۸	باطله معدن زیرزمینی + سیمان (۵۰٪) + سرباره مذاب (۵۰٪) + آب زهکشی شده معدن	۱۶۱۷	۱۹۰/۵	۱۹۰/۵	۳۹۲/۴	-	۲/۸۵	۳/۴۷

همچنین نمودار ستونی مربوط به نتایج آزمایش مقاومت فشاری تک محوری طرح‌های اختلاط پرکننده‌های ساخته شده با باطله معدن زیرزمینی در شکل ۴-۱۹ نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۹- نمودار ستونی مربوط به نتایج مقاومت فشاری طرح‌های اختلاط مختلف با استفاده از باطله معدن زیرزمینی

از جدول ۴-۲۲ مشخص است که طرح‌های اختلاط 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 زهکشی‌شده‌ی معدن در راستای کاهش آلودگی‌های زیست محیطی، با کاهش میزان سیمان هزینه‌های پرکردن نیز به شدت کاهش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد که با به‌کارگیری مصالح سنگی باطله معدن زیرزمینی در ترکیب پرکننده‌های بتنی، امکان کاهش سیمان و جایگزینی بخشی از آن با موادی نظیر سرباره کوره ذوب، پوزولان و

ماسه بادی وجود دارد. نتیجه آزمایش‌ها نشان می‌دهد که جایگزینی بخشی از سیمان با آهک تأثیر منفی بر روی مقاومت فشاری پرکننده بتنی هیدرولیکی دارد، لذا بهتر است از آهک در ترکیب پرکننده بتنی هیدرولیکی استفاده نشود.

۴-۱۳-۲-۳- نتایج حاصل از آزمایش پرتوزایی

در این بخش اطلاعات حاصل از آزمایش‌های پرتوزایی و اشعه جذبی در ضخامت‌های مختلف پرکننده‌های بتنی ساخته شده با باطله معدن زیرزمینی ارائه شده است. با توجه به نزدیکی نتایج آزمایش پرتوزایی و تشعشع برای طرح‌های اختلاط پرکننده بتنی ساخته شده با این نوع مصالح سنگی، یک طرح اختلاط شاخص از پرکننده بتنی هیدرولیکی برای انجام آزمایش پرتوزایی انتخاب شده است که مشخصات این طرح اختلاط در جدول ۴-۲۳ ارائه شده است.

جدول ۴-۲۳- طرح اختلاط استفاده شده از پرکننده بتنی هیدرولیکی ساخته شده با باطله معدن زیرزمینی برای انجام آزمایش پرتوزایی

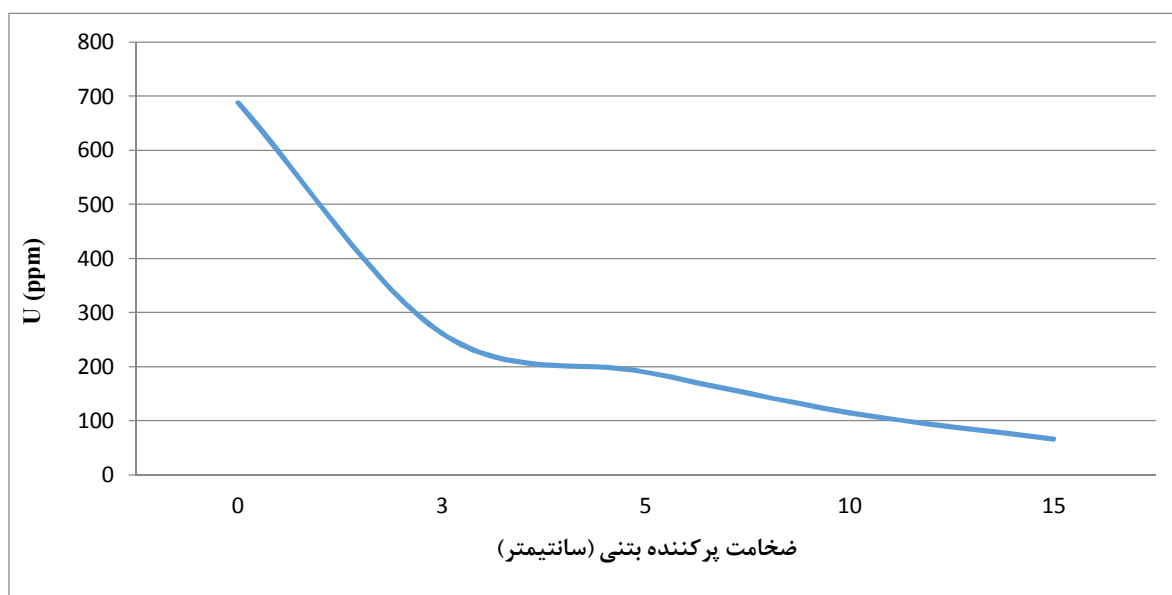
مقاومت فشاری (مگاپاسکال)			آب (لیتر)	سایر مواد سیمانی (کیلوگرم)	سیمان (کیلوگرم)	مصالح سنگی (کیلوگرم)	طرح اختلاط
۲۸ روزه	۷ روزه	۳ روزه					
۹/۵۸	۷/۴	۶/۲	۴۰۹/۳	۰	۳۸۱	۱۶۱۷	باطله معدن زیرزمینی + سیمان + آب زهکشی شده معدن

در جدول ۴-۲۴ اطلاعات حاصل از برداشت‌های انجام شده به وسیله دستگاه اسپکترومتر در ضخامت‌های مختلف پرکننده بتنی هیدرولیکی ساخته شده با باطله معدن زیرزمینی که شامل مقدار تشعشع کلی، عیار اورانیوم و عیار توریم می‌باشد، ارائه شده است. اسپکترومتر، دستگاه اندازه‌گیری میزان تشعشع کلی و عیارهای اورانیوم و توریم می‌باشد.

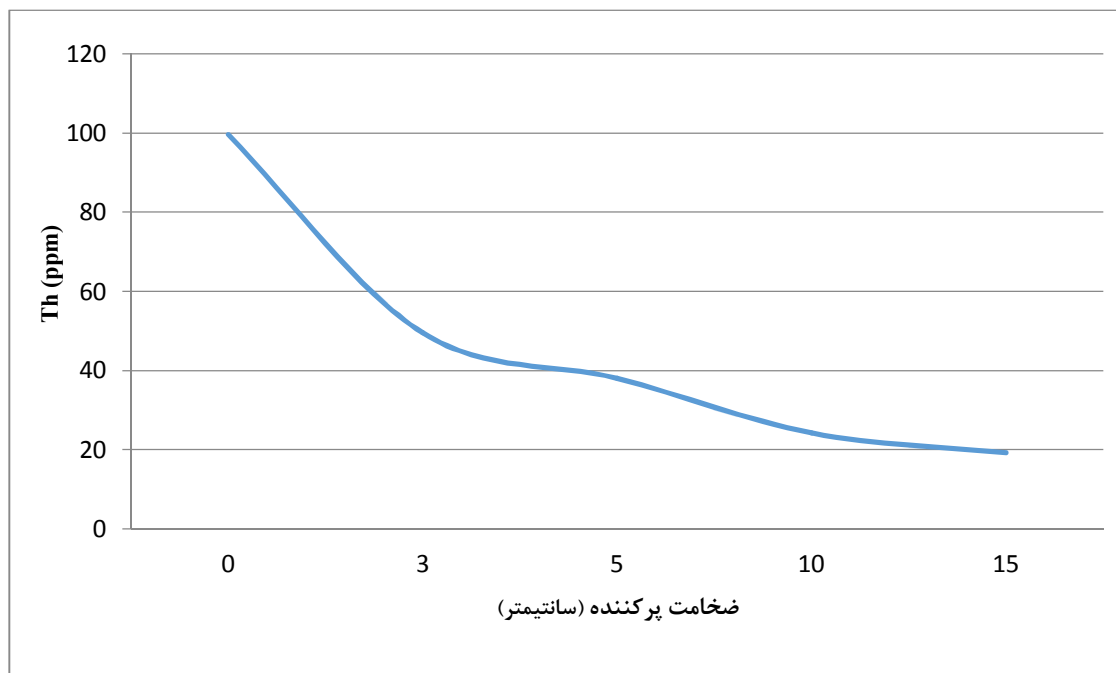
جدول ۴-۲۴- اطلاعات حاصل از آزمایش پرتوزایی اختلاط پرکننده بتنی ساخته شده با باطله‌های معدن زیرزمینی

ردیف	وضعیت پوشش کانسنگ اورانیوم	اطلاعات دستگاه اسپکترومتر		
		U (ppm)	Th (ppm)	CPS (تعداد شمارش در ثانیه)
۱	بدون پوشش	۶۸۷/۵	۹۹/۶	۹۳۶۰
۲	با ضخامت ۳cm بتن پرکننده	۲۶۱/۵	۴۹/۵	۴۸۶۳
۳	با ضخامت ۵cm بتن پرکننده	۱۸۹/۶	۳۸	۳۱۳۷
۴	با ضخامت ۱۰cm بتن پرکننده	۱۱۴/۹	۲۴/۲	۱۸۸۹
۵	با ضخامت ۱۵cm بتن پرکننده	۶۶	۱۹/۲	۱۳۲۵

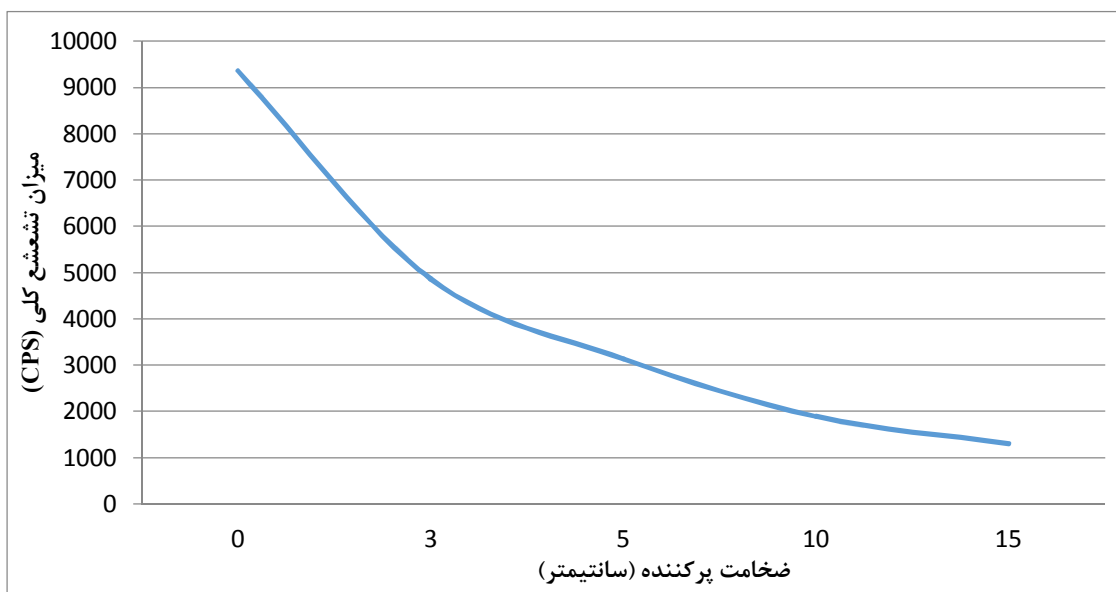
نمودارهای مربوط به آزمایش‌های پرتوزایی نیز به ترتیب برای عیار اورانیوم، عیار توریم و میزان تشعشع کلی در شکل ۴-۲۰ تا شکل ۴-۲۲ ارائه شده است.



شکل ۴-۲۰- نمودار تغییرات عیار کانسنگ اورانیوم در ارتباط با ضخامت پرکننده بتنی



شکل ۴-۲۱- نمودار تغییرات عیار توریم در ارتباط با ضخامت پرکننده بتنی



شکل ۴-۲۲- نمودار تغییرات میزان تشعشع کلی در ارتباط با ضخامت پرکننده بتنی با باطله معدن زیرزمینی

همانگونه که مشاهده می‌شود با افزایش ضخامت پرکننده بتنی هیدرولیکی در مجاورت کانسنگ اورانیوم، میزان تشعشع کلی کاهش می‌یابد. همچنین طرح‌های اختلاط ساخته شد با باطله معدن زیرزمینی که حاوی مگنتیت بوده، میزان تشعشع را با شدت بالاتری کاهش می‌دهند.

۴-۱۳-۲-۴- محاسبات اقتصادی ساخت پرکننده بتنی هیدرولیکی با باطله معدن زیرزمینی

در این بخش با توجه به محاسبات انجام شده برای هزینه‌های مصالح ساخت بتن پرکننده، هزینه ساخت یک مترمکعب پرکننده بتنی هیدرولیکی با استفاده از باطله معدن زیرزمینی در طرح‌های اختلاط مختلف، ارائه شده است. این محاسبات برای پرکننده‌های بتنی که حداقل مقاومت فشاری ۲۸ روزه ۵ مگاپاسکال موردنیاز پایداری کارگاه‌های استخراج زیرزمینی را تأمین می‌کنند، انجام شده است و سایر طرح‌های اختلاط کنار گذاشته شده است. نتایج مربوط به این محاسبات در جدول ۴-۲۵ ارائه شده است.

جدول ۴-۲۵- هزینه هر مترمکعب پرکننده بتنی ساخته شده با ماسه حاصل از باطله معدن زیرزمینی

ردیف	طرح اختلاط	مصالح سنگی (کیلوگرم)	سیمان (کیلوگرم)	سایر مواد سیمانی (کیلوگرم)	آب (لیتر)	هزینه یک مترمکعب پرکننده بتنی (ریال)
۱	باطله معدن زیرزمینی + سیمان + آب معمولی	۱۶۱۷	۳۸۱	۰	۴۰۹/۳	۸۲۸۲۳۱
۲	باطله معدن زیرزمینی + سیمان + آب معدن	۱۶۱۷	۳۸۱	۰	۴۰۹/۳	۶۶۳۳۸۵
۳	باطله معدن زیرزمینی + سیمان + ماسه بادی (۳۰٪) + آب معدن	۱۶۱۷	۲۶۶/۷	۱۱۴/۳	۴۰۰	۴۹۹۳۰۰
۴	باطله معدن زیرزمینی + سیمان + سرباره مذاب (۳۰٪) + آب معمولی	۱۶۱۷	۲۶۶/۷	۱۱۴/۳	۴۰۰	۷۰۴۷۹۰
۵	باطله معدن زیرزمینی + سیمان + آب معدن	۱۷۰۰	۲۵۰	۰	۳۴۰	۴۷۵۰۳۴

همانطور که از طرح‌های اختلاط و هزینه ساخت پرکننده‌های بتنی مشخص است، امکان کاهش سیمان در این طرح‌های اختلاط وجود دارد و کم هزینه‌ترین طرح اختلاط در این بخش مربوط به

طرح اختلاطی است که مصالح سنگی آن از ترکیب باطله‌های معدن زیرزمینی اورانیوم و با میزان ۲۵۰ کیلوگرم سیمان در یک مترمکعب پرکننده بتنی تشکیل شده است.

۴-۱۳-۳- طرح‌های اختلاط پرکننده بتنی هیدرولیکی با استفاده از ماسه رودخانه‌ای

برای ساخت این بخش از پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی از مصالح سنگی رودخانه‌ای مجاور معدن استفاده شده است. برای آماده‌سازی و به‌کارگیری این مصالح در ترکیب پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی فقط نیاز به ریپر اولیه بوسیله بلدوزر، بارگیری، حمل حدود یک کیلومتر فاصله تا محل سایت و سرنده و دانه بندی می‌باشد.

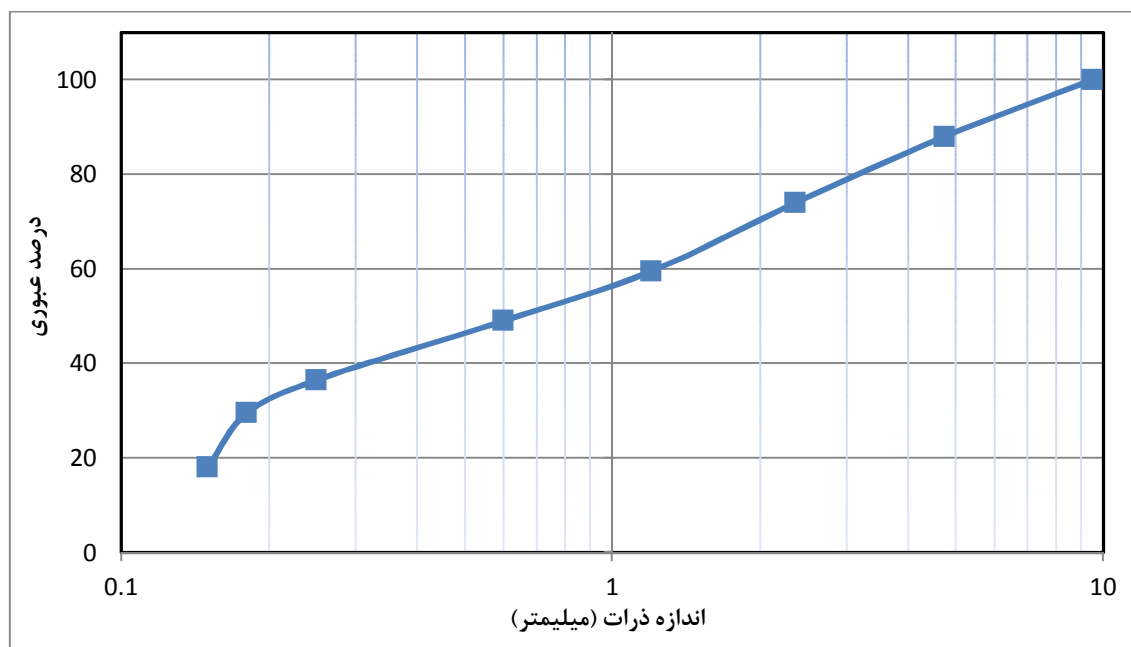
۴-۱۳-۳-۱- نمودار دانه بندی ماسه رودخانه‌ای

اطلاعات مربوط به آزمایش دانه‌بندی ماسه رودخانه‌ای در جدول ۴-۲۶ ارائه شده است.

جدول ۴-۲۶- دانه‌بندی مصالح حاصل از ماسه رودخانه‌ای

شماره الک	اندازه (میلی متر)	مانده روی الک (گرم)	مانده روی الک (درصد)	درصد تجمعی مانده روی الک	درصد عبوری از الک
۰/۳۷۵	۹/۵	۰	۰	۰	۱۰۰
۴	۴/۷۵	۱۲۰	۱۲	۱۲	۸۸
۸	۲/۳۶	۱۴۰	۱۴	۲۶	۷۴
۱۶	۱/۲	۱۴۵	۱۴/۵	۴۰/۵	۵۹/۵
۳۰	۰/۶	۱۰۵	۱۰/۵	۵	۴۹
۶۰	۰/۲۵	۱۲۵	۱۲/۵	۶۳/۵	۳۶/۵
۸۰	۰/۱۸	۷۰	۷	۷۰/۵	۲۹/۵
۱۰۰	۰/۱۵	۱۱۵	۱۱/۵	۸۲	۱۸
۲۰۰	۰/۰۷۵	۱۳۵	۱۳/۵	۹۵/۵	۴/۵
زیرالکی	-	۴۵	۴/۵	۱۰۰	۰

نمودار مربوط به دانه‌بندی ماسه رودخانه‌ای در شکل ۴-۲۳ نشان داده شده است. ماسه این نوع مصالح سنگی نیز از پیوستگی دانه‌بندی مطلوبی برخوردار است.



شکل ۴-۲۳- نمودار دانه‌بندی ماسه حاصل از مصالح رودخانه‌ای

از مقادیر جدول و نمودار دانه‌بندی مشخص است که این مصالح سنگی از یک توزیع مطلوب از ماسه‌های با ابعاد مختلف تشکیل شده است که به‌کارگیری این نوع مصالح سنگی در ترکیب پرکننده بتنی تأثیر مطلوبی در مقاومت فشاری تک محوری، انتقال و پمپ پرکننده بتنی هیدرولیکی خواهد داشت.

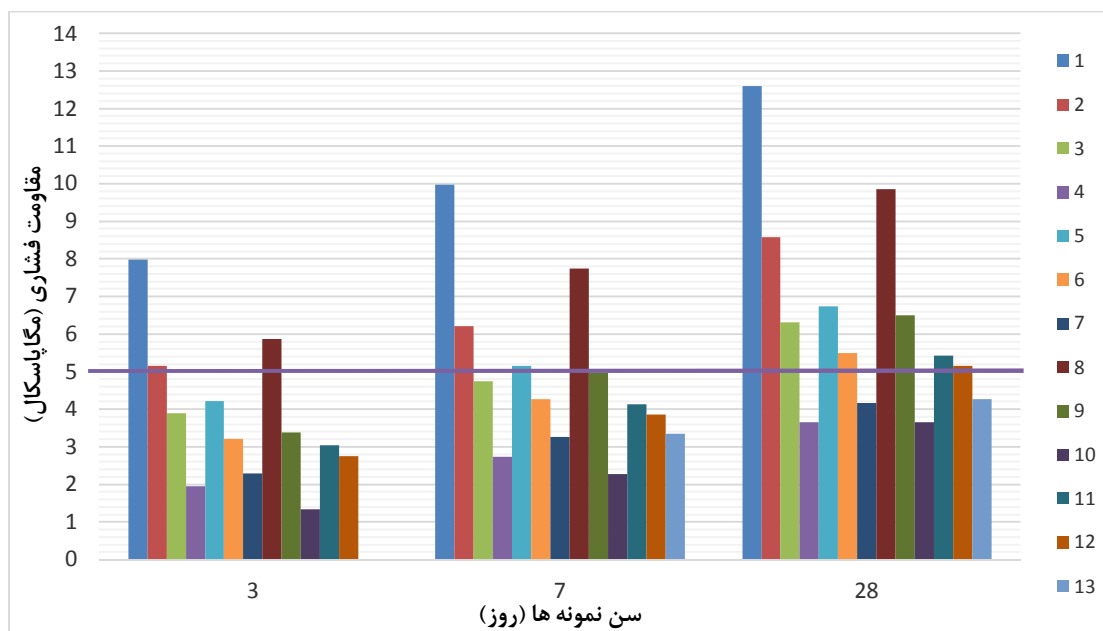
۴-۱۳-۲- نتایج حاصل از طرح‌های اختلاط پرکننده بتنی ساخته شده با ماسه رودخانه‌ای

در این بخش اطلاعات حاصل از طرح‌های اختلاط مختلف انجام شده با استفاده از ماسه رودخانه‌ای ارائه شده است. در جدول ۴-۲۷ اطلاعات مربوط به طرح‌های اختلاط مختلف انجام شده شامل مقدار مصالح سنگی، میزان سیمان، مواد چسباننده سیمانی و غیرسیمانی و آب مورد استفاده در هر طرح اختلاط کارگاهی ارائه شده است.

جدول ۴-۲۷- اطلاعات حاصل از طرح‌های اختلاط پرکننده بتنی ساخته شده با ماسه رودخانه‌ای

شماره طرح اختلاط	طرح اختلاط	مصالح سنگی (کیلوگرم)	سیمان (کیلوگرم)	سایر مواد سیمانی (کیلوگرم)	آب (لیتر)	مقاومت فشاری (مگاپاسکال)		
						۳ روزه	۷ روزه	۲۸ روزه
۱	ماسه رودخانه‌ای + سیمان + آب زهکشی شده‌ی معدن	۱۶۱۷	۳۸۱	۰	۴۰۰	۷/۹۸	۹/۹۷	۱۲/۵۹
۲	ماسه رودخانه‌ای + سیمان + ماسه بادی (۰/۳۰) + آب زهکشی شده- ی معدن	۱۶۱۷	۲۶۶/۷	۱۱۴/۳	۳۹۲/۵	۵/۱۵	۶/۲۱	۸/۵۷
۳	ماسه رودخانه‌ای + سیمان + آهک (۰/۲۵) + آب زهکشی شده‌ی معدن	۱۶۱۷	۲۸۵/۷۵	۹۵/۲۵	۴۵۷/۲	۳/۸۹	۴/۷۵	۶/۳۲
۴	ماسه رودخانه‌ای + سیمان + ماسه بادی (۰/۶۰) + آب زهکشی شده‌ی معدن	۱۶۱۷	۱۵۲/۴	۲۲۸/۶	۳۸۱	۱/۹۵	۲/۷۳	۳/۶۵
۵	ماسه رودخانه‌ای + سیمان + آب زهکشی شده‌ی معدن	۱۸۰۰	۲۰۰	۰	۳۴۰	۴/۲۲	۵/۱۶	۶/۷۴
۶	ماسه رودخانه‌ای + سیمان + ماسه بادی (۰/۴۵) + آب زهکشی شده- ی معدن	۱۶۱۷	۲۰۹/۵۵	۱۷۱/۴۵	۳۸۸/۶	۳/۲۱	۴/۲۷	۵/۴۹
۷	ماسه رودخانه‌ای + سیمان + آب زهکشی شده‌ی معدن	۱۸۴۲	۱۵۰	۰	۳۱۸	۲/۹	۳/۲۷	۴/۱۶
۸	ماسه رودخانه‌ای + سیمان + سرباره مذاب (۰/۳۰) + آب زهکشی شده- ی معدن	۱۶۱۷	۲۶۶/۷	۱۱۴/۳	۳۹۲/۵	۵/۸۷	۷/۷۴	۹/۸۵
۹	ماسه رودخانه‌ای + سیمان پوزولانی + آب زهکشی شده‌ی معدن	۱۸۰۰	۲۰۰	۰	۳۴۰	۳/۳۹	۴/۹۶	۶/۴۹
۱۰	ماسه رودخانه‌ای + سیمان + سرباره مذاب (۰/۲۵) + آب زهکشی شده- ی معدن	۱۸۰۰	۱۵۰	۵۰	۳۳۰	۱/۳۳	۲/۲۷	۳/۶۵
۱۱	ماسه رودخانه‌ای + سیمان + آب زهکشی شده‌ی معدن	۱۸۲۰	۱۷۵	۰	۳۰۵/۵	۳/۰۴	۴/۱۲	۵/۴۳
۱۲	ماسه رودخانه‌ای + سیمان پوزولانی + آب زهکشی شده‌ی معدن	۱۸۲۰	۱۷۵	۰	۳۰۵/۵	۲/۷۴	۳/۸۵	۵/۱۶
۱۳	ماسه رودخانه‌ای + سیمان (۰/۵۰) + سرباره مذاب (۰/۵۰) + آب زهکشی شده‌ی معدن	۱۶۱۷	۱۹۰/۵	۱۹۰/۵	۳۸۸/۶	-	۳/۳۴	۴/۲۷

همچنین نمودار ستونی مربوط به نتایج آزمایش مقاومت فشاری تک محوری طرح‌های اختلاط ساخته شده با ماسه رودخانه‌ای در شکل ۴-۲۴ نشان داده شده است.



شکل ۴-۲۴- نمودار ستونی مربوط به نتایج مقاومت فشاری طرح‌های اختلاط مختلف ساخته شده با ماسه رودخانه‌ای

در شکل ۴-۲۵ و شکل ۴-۲۶ تصاویری از نمونه‌های گرفته شده و نحوه آزمایش مقاومت فشاری تک محوری یکی از نمونه‌های ۲۸ روزه نشان داده شده است.



شکل ۴-۲۵- نمونه‌های گرفته شده از پرکننده بتنی هیدرولیکی ساخته شده با مصالح رودخانه‌ای



شکل ۴-۲۶- آزمایش مقاومت فشاری نمونه مکعبی از پرکننده بتنی هیدرولیکی ساخته شده با ماسه رودخانه‌ای

از این طرح‌های اختلاط پیداست که پرکننده‌های ساخته شده با مصالح رودخانه‌ای دارای مقاومت فشاری تک محوری بالایی بوده، از این رو امکان کاهش سیمان در راستای کاهش هزینه‌های معدنکاری در این طرح‌های اختلاط وجود دارد. با توجه به نتایج جدول ۴-۲۷ مشاهده می‌شود که می‌توان میزان سیمان را تا حدود ۲۰۰ کیلوگرم در هر متر مکعب پرکننده بتنی کاهش داد. همچنین سایر مواد چسباننده از قبیل سرباره کوره ذوب، ماسه بادی و پوزولان می‌توانند جایگزین خوبی برای بخشی از سیمان در ترکیب پرکننده‌های بتنی باشند.

۴-۱۳-۳- نتایج آزمایش پرتوزایی در پرکننده بتنی ساخته شده با ماسه رودخانه‌ای

در این بخش اطلاعات حاصل از آزمایش‌های پرتوزایی و اشعه جذبی در ضخامت‌های مختلف پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی ساخته شده با ماسه رودخانه‌ای ارائه شده است. با توجه به نزدیکی نتایج آزمایش پرتوزایی و تشعشع برای انواع طرح‌های اختلاط پرکننده‌های بتنی ساخته شده با این نوع مصالح سنگی، یک طرح اختلاط شاخص از پرکننده بتنی هیدرولیکی ساخته شده با ماسه

رودخانه‌ای برای انجام آزمایش پرتوزایی انتخاب شد. مشخصات طرح اختلاط انتخاب شده در جدول ۲۸-۴ ارائه شده است.

جدول ۲۸-۴ - مشخصات طرح اختلاط پرکننده بتنی ساخته شده با ماسه رودخانه‌ای برای انجام آزمایش پرتوزایی

مقاومت فشاری (مگاپاسکال)			آب (لیتر)	سایر مواد سیمانی (کیلوگرم)	سیمان (کیلوگرم)	مصالح سنگی (کیلوگرم)	طرح اختلاط
۲۸ روزه	۷ روزه	۳ روزه					
۱۲/۵۹	۹/۹۷	۷/۹۸	۴۰۰	۰	۳۸۱	۱۶۱۷	ماسه رودخانه‌ای + سیمان + آب زهکشی شده‌ی معدن

در شکل ۲۷-۴ تصویری از پرکننده بتنی هیدرولیکی ریخته شده در مجاورت کانسنگ اورانیوم و در جدول ۲۹-۴ اطلاعات مربوط به برداشت‌های میزان تشعشع کلی، عیار اورانیوم و عیار توریم در ضخامت‌های مختلف پوشش بتنی با استفاده از پرکننده بتنی ساخته شده با ماسه رودخانه‌ای ارائه شده است.

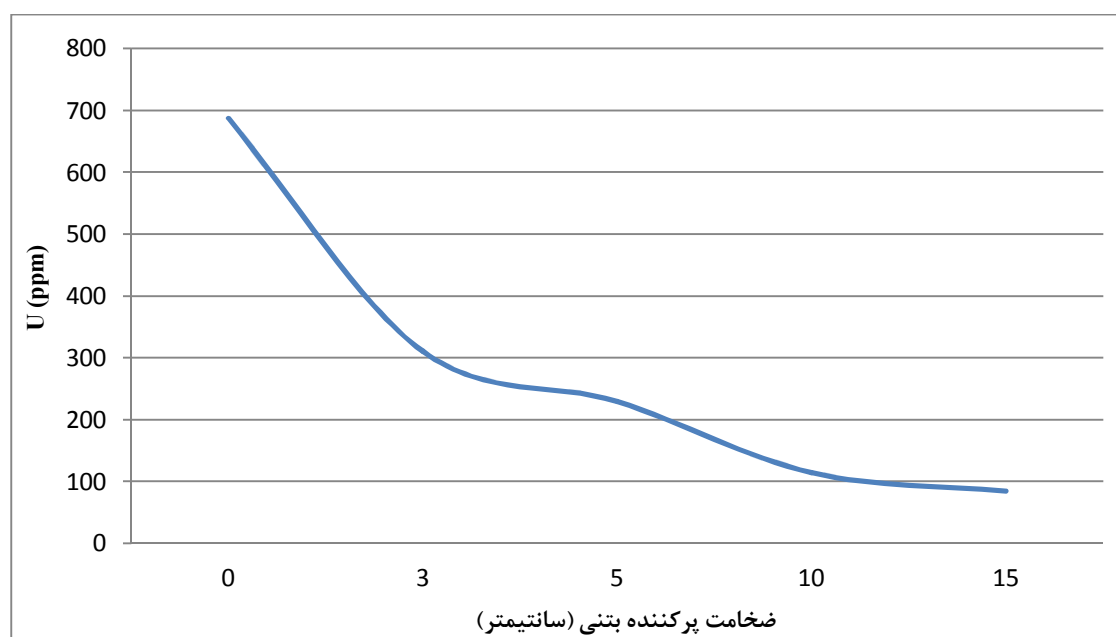


شکل ۲۷-۴ - پرکننده بتنی هیدرولیکی ریخته شده در مجاور کانسنگ اورانیوم

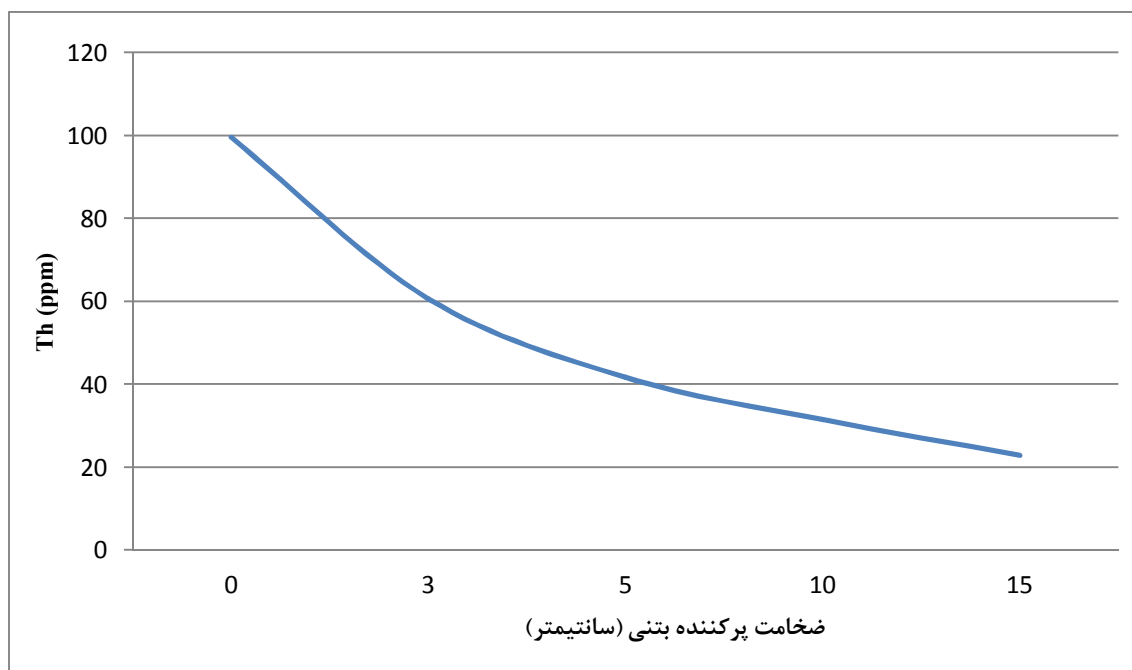
جدول ۴-۲۹- اطلاعات حاصل از آزمایش پرتوزایی پرکننده بتنی ساخته شده با ماسه رودخانه‌ای

ردیف	وضعیت پوشش کانسنگ اورانیوم	اطلاعات دستگاه اسپکترومتر		
		U (ppm)	Th (ppm)	CPS (تعداد شمارش در ثانیه)
۱	بدون پوشش	۶۸۷/۵	۹۹/۶	۹۳۶۰
۲	با ضخامت ۳cm بتن پرکننده	۳۱۰/۹	۶۰/۷	۵۳۹۹
۳	با ضخامت ۵cm بتن پرکننده	۲۲۹/۷	۴۱/۷	۴۳۰۹
۴	با ضخامت ۱۰cm بتن پرکننده	۱۱۴	۳۱/۷	۲۳۰۱
۵	با ضخامت ۱۵cm بتن پرکننده	۸۵/۱	۲۲/۹	۱۵۹۳

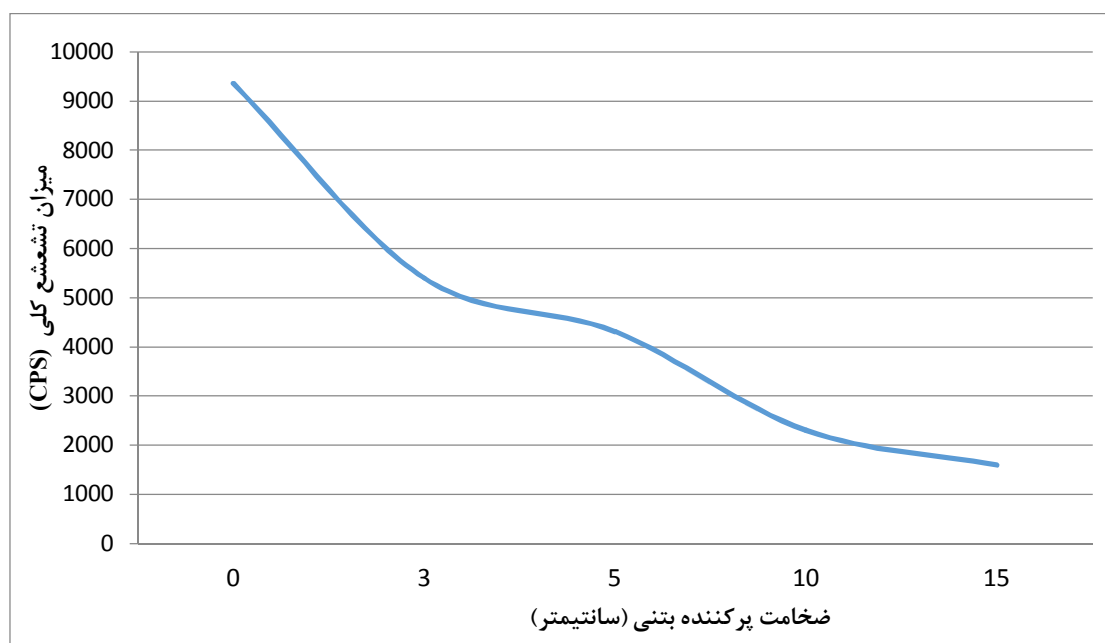
نمودارهای مربوط به آزمایش پرتوزایی و میزان تشعشع کلی در ضخامت‌های مختلف پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی به ترتیب برای اورانیوم، توریوم و تشعشع کلی در شکل ۴-۲۸ تا شکل ۴-۳۰ ارائه شده است. حد مجاز برای عیار اورانیوم و توریوم ۱۰۰ ppm و برای تشعشع کلی ۱۳۰۰ cps می‌باشد.



شکل ۴-۲۸- نمودار تغییرات عیار کانسنگ اورانیوم در ارتباط با ضخامت پرکننده بتنی



شکل ۴-۲۹- نمودار تغییرات عیار توریم در ارتباط با ضخامت پرکننده بتنی ساخته شده با ماسه رودخانه‌ای



شکل ۴-۳۰- نمودار تغییرات میزان تشعشع کلی در ارتباط با ضخامت پرکننده بتنی ساخته شده با ماسه رودخانه‌ای

از نمودارها مشاهده می‌شود که با افزایش ضخامت پرکننده بتنی هیدرولیکی در مجاورت کانسنگ اورانیوم، میزان تشعشع کلی و عیار اورانیوم و توریم کاهش می‌یابد.

۴-۱۳-۳-۴- محاسبات اقتصادی ساخت پرکننده بتنی با ماسه رودخانه‌ای

در این بخش با توجه به محاسبات انجام شده برای هزینه‌های مصالح ساخت بتن پرکننده، هزینه ساخت یک مترمکعب پرکننده بتنی با استفاده از ماسه رودخانه‌ای در طرح‌های اختلاط مختلف پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی ارائه شده است. این محاسبات برای طرح‌های اختلاطی که حداقل مقاومت فشاری ۲۸ روزه ۵ مگاپاسکال مورد نیاز کارگاه‌های استخراج زیرزمینی را تأمین می‌کنند، انجام شده است و سایر طرح اختلاط‌ها کنار گذاشته شده است. نتایج مربوط به این محاسبات در جدول ۴-۳۰ ارائه شده است.

جدول ۴-۳۰- هزینه هر مترمکعب پرکننده بتنی هیدرولیکی ساخته شده با ماسه رودخانه‌ای

ردیف	طرح اختلاط	مصالح سنگی (کیلوگرم)	سیمان (کیلوگرم)	سایر مواد چسباننده (کیلوگرم)	آب (لیتر)	هزینه یک متر مکعب پرکننده بتنی (ریال)
۱	ماسه رودخانه‌ای + سیمان + آب زهکشی شده معدن	۱۶۱۷	۳۸۱	۰	۴۰۰	۶۳۸۷۷۶
۲	ماسه رودخانه‌ای + سیمان + ماسه بادی (۰/۳۰) + آب زهکشی شده معدن	۱۶۱۷	۲۶۶/۷	۱۱۴/۳	۳۹۲/۵	۴۷۴۶۹۱
۳	ماسه رودخانه‌ای + سیمان + آهک (۰/۲۵) + آب زهکشی شده معدن	۱۶۱۷	۲۸۵/۷۵	۹۵/۲۵	۴۵۷/۲	۶۰۹۰۴۸
۴	ماسه رودخانه‌ای + سیمان + آب زهکشی شده معدن	۱۸۰۰	۲۰۰	۰	۳۴۰	۳۸۰۰۰۰
۵	ماسه رودخانه‌ای + سیمان + ماسه بادی (۰/۴۵) + آب زهکشی شده معدن	۱۶۱۷	۲۰۹/۵۵	۱۷۱/۴۵	۳۸۸/۶	۳۹۲۶۴۹

ادامه جدول ۴-۳۰- هزینه هر مترمکعب پرکننده بتنی هیدرولیکی ساخته شده با ماسه رودخانه‌ای

ردیف	طرح اختلاط	مصالح سنگی (کیلوگرم)	سیمان (کیلوگرم)	سایر مواد چسباننده (کیلوگرم)	آب (لیتر)	هزینه یک متر مکعب پرکننده بتنی (ریال)
۶	ماسه رودخانه‌ای + سیمان + سرباره مذاب (۳۰٪) + آب زهکشی شده‌ی معدن	۱۶۱۷	۲۶۶/۷	۱۱۴/۳	۳۹۲/۵	۵۱۹۰۸۱
۷	ماسه رودخانه‌ای + سیمان پوزولانی + آب زهکشی شده‌ی معدن	۱۸۰۰	۲۰۰	۰	۳۴۰	۳۷۲۵۶۰
۸	ماسه رودخانه‌ای + سیمان + آب زهکشی شده‌ی معدن	۱۸۲۰	۱۷۵	۰	۳۰۵/۵	۳۴۴۰۰۹
۹	ماسه رودخانه‌ای + سیمان پوزولانی + آب زهکشی شده‌ی معدن	۱۸۲۰	۱۷۵	۰	۳۰۵/۵	۳۳۷۴۹۹

در محاسبه هزینه تمام شده‌ی اختلاط پرکننده بتنی ساخته شده با مصالح رودخانه‌ای با توجه به اینکه این مصالح در مجاورت معادن اورانیوم قرار گرفته‌اند (در فاصله حدود ۵۰۰ متری معدن)، لذا هزینه حمل تا معدن و هزینه سرنده و دانه‌بندی مصالح در هزینه ساخت اختلاط بتنی هیدرولیکی لحاظ شده است.

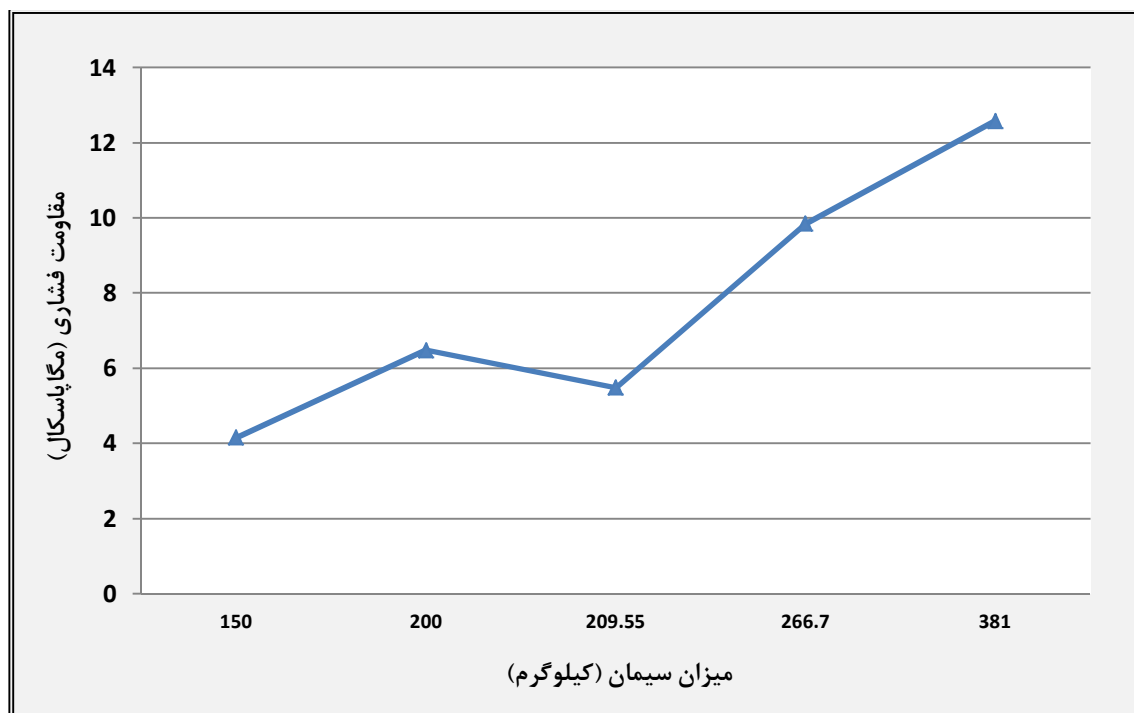
در اختلاط‌های ساخته شده با مصالح رودخانه‌ای، هدف اصلی کاهش هزینه‌های پرکردن و معدنکاری می‌باشد که در این راستا سعی شده است علاوه بر کاهش سیمان در طرح‌های اختلاط از سایر مواد چسباننده جایگزین سیمان از قبیل ماسه بادی، سنگ آهک، سرباره کوره مذاب و پوزولان نیز استفاده شود.

برای انتقال مکانیزه پرکننده بتنی ساخته شده از سطح زمین به ابتدای ترازهای معدن و پمپ آن از ابتدای ترازها به داخل کارگاه‌های استخراج و حفاریات معدن، پرکننده‌ها می‌بایست از روانی مطلوبی برخوردار باشند که با اندازه‌گیری اسلامپ، مقدار آن تقریباً بین ۲۰ تا ۲۴ سانتی‌متر بوده است.

استفاده از آب زهکشی‌شده‌ی معدن در پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی، نیز تأثیر بسزایی در کاهش هزینه تمام شده پرکننده بتنی دارد به نحوی که در طرح اختلاط ردیف ۷ جدول ۴-۳۰ هزینه پرکننده به حدود ۳۷۰۰۰۰ ریال می‌رسد و این امر باعث کاهش شدید هزینه‌های پرکردن و معدنکاری می‌شود.

به طور کلی با توجه به نوع مصالح سنگی مورد استفاده در اختلاط پرکننده‌های بتنی مشخص است که با افزایش میزان سیمان، مقاومت پرکننده افزایش می‌یابد و این موضوع در پرکننده‌های بتنی ساخته شده با مصالح رودخانه‌ای محسوس‌تر می‌باشد. در نمودار شکل ۴-۳۱ نیز این موضوع نشان داده شده است.

از مواد چسباننده مورد استفاده برای جایگزین سیمان، سرباره کوره ذوب و پوزولان نسبت به ماسه بادی و آهک عملکرد بهتری از خود نشان داده و مقاومت طولانی مدت پرکننده بتنی هیدرولیکی را افزایش داده‌اند.



شکل ۴-۳۱- ارتباط مقاومت فشاری تک محوری پرکننده بتنی هیدرولیکی با میزان سیمان آن

۴-۱۳-۴ طرح اختلاط پرکننده بتنی هیدرولیکی ساخته شده با ماسه شسته شده

برای ساخت این بخش از پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی از مصالح سنگی ماسه شسته که از خارج مجتمع معدنی خریداری می‌شود، استفاده شده است. خرید و حمل این نوع مصالح سنگی از نزدیکترین ماسه شویی به معدن که حدود ۱۰۰ کیلومتر فاصله دارد، تهیه می‌شود. تهیه این نوع مصالح سنگی با شرایط ذکرشده هزینه بالایی به خود اختصاص می‌دهد که در بخش محاسبات اقتصادی به تفصیل به آن پرداخته شده است.

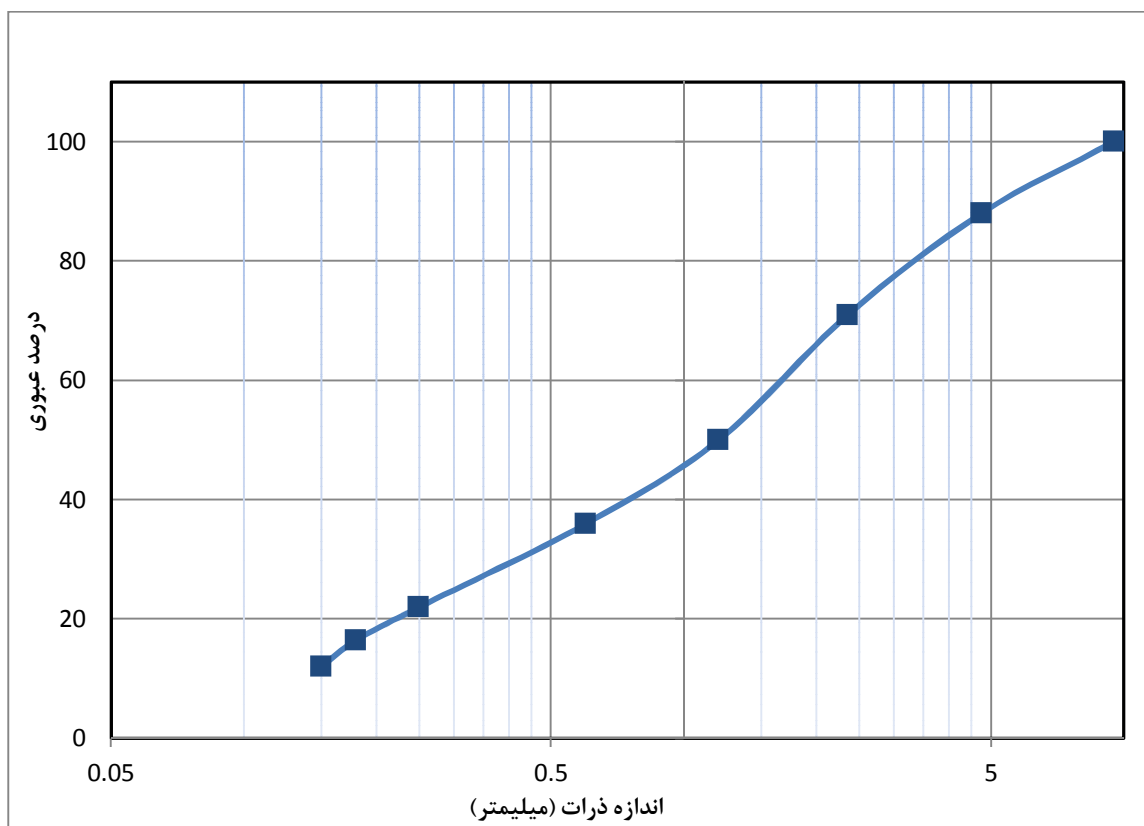
۴-۱۳-۴-۱- نمودار دانه بندی ماسه شسته

اطلاعات مربوط به آزمایش دانه‌بندی مصالح سنگی ماسه شسته در جدول ۴-۳۱ ارائه شده است.

جدول ۴-۳۱- اطلاعات مربوط به دانه‌بندی مصالح سنگی ماسه شسته شده

شماره الک	اندازه (میلی متر)	مانده روی الک (گرم)	مانده روی الک (درصد)	درصد تجمعی مانده روی الک	درصد عبوری از الک
۰/۳۷۵	۹/۵	۰	۰	۰	۱۰۰
۴	۴/۷۵	۱۲۰	۱۲	۱۲	۸۸
۸	۲/۳۶	۱۷۰	۱۷	۲۹	۷۱
۱۶	۱/۲	۲۱۰	۲۱	۵۰	۵۰
۳۰	۰/۶	۱۴۰	۱۴	۶۴	۳۶
۶۰	۰/۲۵	۱۴۰	۱۴	۷۸	۲۲
۸۰	۰/۱۸	۵۵	۵/۵	۸۳/۵	۱۶/۵
۱۰۰	۰/۱۵	۴۵	۴/۵	۸۸	۱۲
۲۰۰	۰/۰۷۵	۱۰۰	۱۰	۹۸	۲
زیرالکی	-	۲۰	۲	۱۰۰	۰

نمودار مربوط به دانه‌بندی ماسه شسته در شکل ۴-۳۲ نشان داده شده است.



شکل ۴-۳۲- نمودار دانه‌بندی ماسه شسته شده

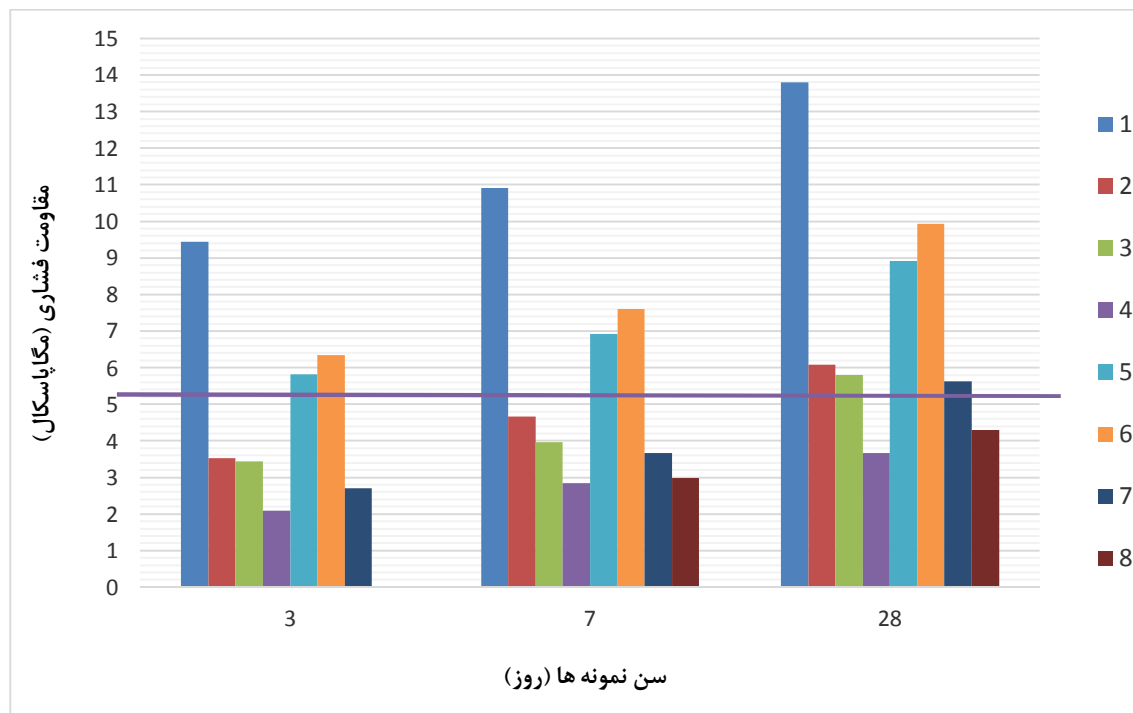
۴-۱۳-۲- نتایج حاصل از طرح‌های اختلاط پرکننده بتنی ساخته شده با ماسه شسته

در این بخش اطلاعات حاصل از طرح‌های اختلاط مختلف پرکننده های بتنی هیدرولیکی ساخته شده با استفاده از مصالح سنگی ماسه‌ی شسته شده ارائه شده است. در جدول ۴-۳۲ اطلاعات مربوط به طرح‌های اختلاط مختلف انجام شده شامل مقدار مصالح سنگی، میزان سیمان، مواد چسباننده سیمانی و غیرسیمانی و میزان آب مورد استفاده در هر طرح اختلاط کارگاهی پرکننده بتنی هیدرولیکی ارائه شده است.

جدول ۴-۳۲- نتایج حاصل از طرح‌های اختلاط پرکننده بتنی هیدرولیکی ساخته شده با ماسه شسته شده

شماره طرح اختلاط	طرح اختلاط	مصالح سنگی (کیلوگرم)	سیمان (کیلوگرم)	سایر مواد سیمانی (کیلوگرم)	آب (لیتر)	مقاومت فشاری (مگاپاسکال)	
						۲۸ روزه	۷ روزه
۱	ماسه شسته + سیمان + آب زهکشی شدهی معدن	۱۶۱۷	۳۸۱	۰	۳۸۱	۱۳/۸۱	۱۰/۹۲
۲	ماسه شسته + آهک (۲۵٪) + سیمان + آب زهکشی شدهی معدن	۱۶۱۷	۲۸۵/۷۵	۹۵/۲۵	۴۳۷	۶/۰۸	۴/۶۷
۳	ماسه شسته + سیمان + ماسه بادی (۳۰٪) + آب زهکشی شدهی معدن	۱۶۱۷	۲۶۶/۷	۱۱۴/۳	۳۷۳/۴	۸/۹۲	۶/۹۴
۴	ماسه شسته + سیمان + آب زهکشی شدهی معدن	۱۸۰۰	۲۰۰	۰	۳۲۴/۹	۵/۸۱	۳/۹۷
۵	ماسه شسته + سیمان + آب زهکشی شدهی معدن	۱۸۴۲	۱۵۰	۰	۳۰۰	۳/۶۷	۲/۸۵
۶	ماسه شسته + سیمان + سرباره مذاب (۳۰٪) + آب معدن	۱۶۱۷	۲۶۶/۷	۱۱۴/۳	۳۷۳/۴	۷/۶۱	۶/۳۵
۷	ماسه شسته + سیمان + پوزولانی + آب معدن	۱۸۰۰	۲۰۰	۰	۳۲۴/۹	۳/۶۷	۲/۷۱
۸	ماسه شسته + سیمان (۵۰٪) + سرباره کوره مذاب (۵۰٪) + آب معدن	۱۶۱۷	۱۹۰/۵	۱۹۰/۵	۳۷۰	۲/۹۸	-

همچنین نمودار ستونی مربوط به نتایج آزمایش مقاومت فشاری طرح اختلاط پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی ساخته شده با ماسه شسته شده در شکل ۴-۳۳ نشان داده شده است.



شکل ۴-۳۳- نمودار ستونی مربوط به نتایج مقاومت فشاری اختلاط‌های مختلف پرکننده‌های بتنی ساخته شده با ماسه شسته شده

از اطلاعات ارائه شده در جدول ۴-۲۳ مشخص است که پرکننده‌های بتنی ساخته شده با ماسه شسته شده مقاومت فشاری مطلوبی از خود نشان می‌دهند و در میزان سیمان‌های پایین نیز مقاومت فشاری خوبی از خود نشان داده‌اند. از آنجائی که مصالح سنگی ماسه شسته ذرات دانه ریز خیلی کمی همراه دارند، لذا امکان پمپاژ توسط پمپ بتن به داخل حفریات و کارگاه‌های استخراج از نظر اجرایی وجود ندارد و جهت اجرای موفق این نوع پرکننده‌ها به داخل حفریات باید میزان سیمان زیادی به اختلاط‌های پرکننده اضافه شود تا خلاء ذرات دانه ریز به این طریق جبران شود. لذا جهت اجرای موفق این نوع پرکننده‌های بتنی، در یک مترمکعب پرکننده بتنی به میزان سیمان بالای ۳۵۰ کیلوگرم نیاز می‌باشد که این امر هزینه ساخت این نوع پرکننده‌ها را افزایش داده و توجیه فنی و اقتصادی ندارند.

۴-۱۳-۳- نتایج آزمایش پرتوزایی پرکننده‌های بتنی ساخته شده با ماسه شسته

در این بخش اطلاعات حاصل از آزمایش‌های پرتوزایی و اشعه جذبی در ضخامت‌های مختلف پرکننده‌های بتنی ساخته شده با ماسه شسته شده در مجاورت ماده معدنی اورانیوم ارائه شده است. با توجه به نزدیکی نتایج آزمایش پرتوزایی و کاهش تشعشع برای انواع طرح‌های اختلاط پرکننده‌های بتنی ساخته شده با این نوع مصالح سنگی، یک طرح اختلاط شاخص از پرکننده بتنی هیدرولیکی ساخته شده با ماسه شسته شده برای انجام آزمایش پرتوزایی انتخاب شد، که مشخصات این طرح اختلاط در جدول ۴-۳۳ ارائه شده است.

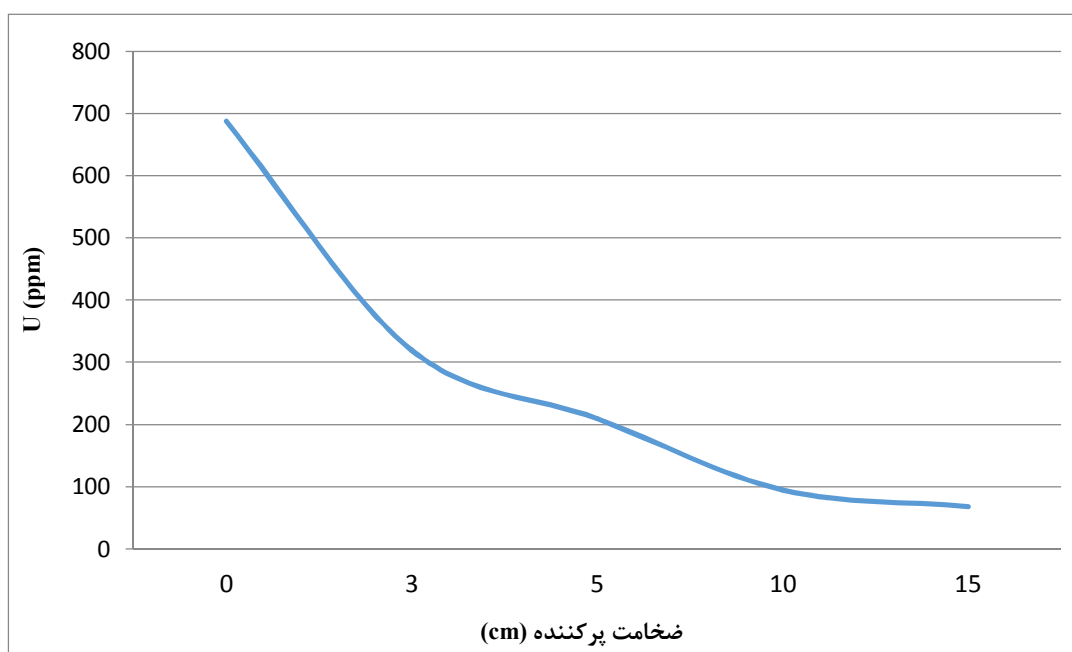
جدول ۴-۳۳- مشخصات طرح اختلاط پرکننده بتنی ساخته شده با ماسه شسته برای انجام آزمایش پرتوزایی

طرح اختلاط	مصالح سنگی (کیلوگرم)	سیمان (کیلوگرم)	سایر مواد سیمانی (کیلوگرم)	آب (لیتر)	نسبت آب به سیمان	مقاومت فشاری (مگاپاسکال)		
						۳ روزه	۷ روزه	۲۸ روزه
ماسه شسته شده + سیمان + آب زهکشی شده معدن	۱۶۱۷	۳۸۱	۰	۳۸۱	۱	۹/۴۵	۱۰/۹۲	۱۳/۸۱

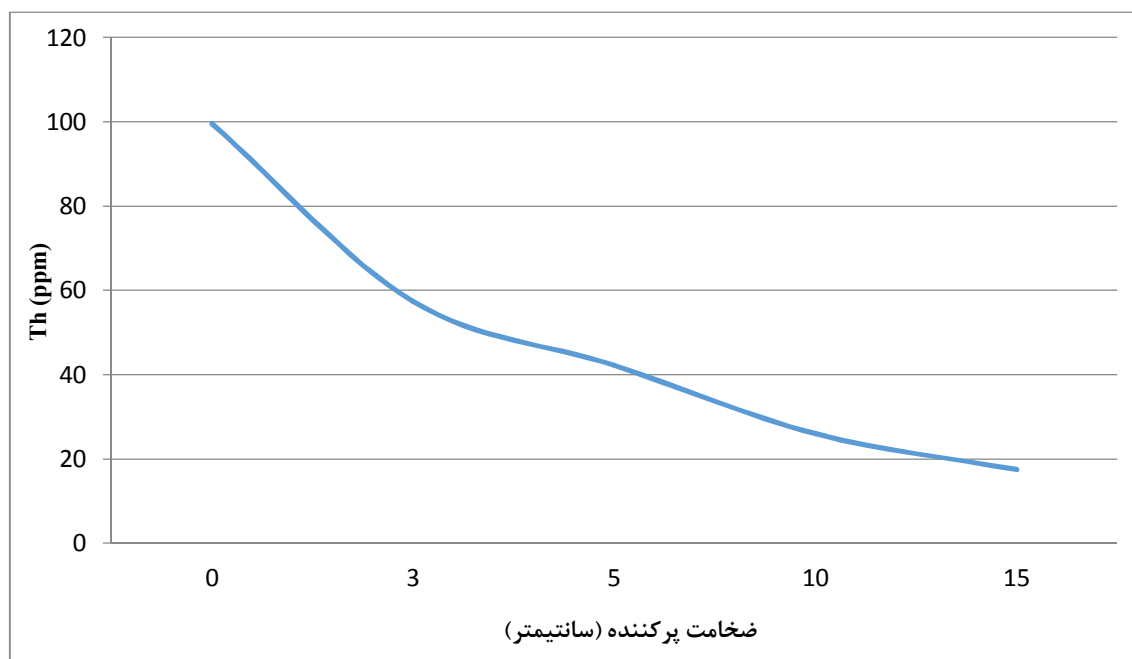
در جدول ۴-۳۴ اطلاعات مربوط به برداشت‌های میزان تشعشع کلی و عیارهای اورانیوم و توریم در ضخامت‌های مختلف پرکننده بتنی هیدرولیکی ریخته شده در مجاورت کانسنگ اورانیوم (ساخته شده با مصالح سنگی ماسه شسته شده) ارائه شده است. در ادامه نمودارهای مربوط به نتایج آزمایش‌های پرتوزایی پرکننده بتنی هیدرولیکی برای عیار اورانیوم، عیار توریم و تشعشع کلی به ترتیب در شکل ۴-۳۴ تا شکل ۴-۳۶ ارائه شده است.

جدول ۴-۳۴- اطلاعات آزمایش پرتوزایی پرکننده بتنی هیدرولیکی ساخته شده با ماسه شسته شده

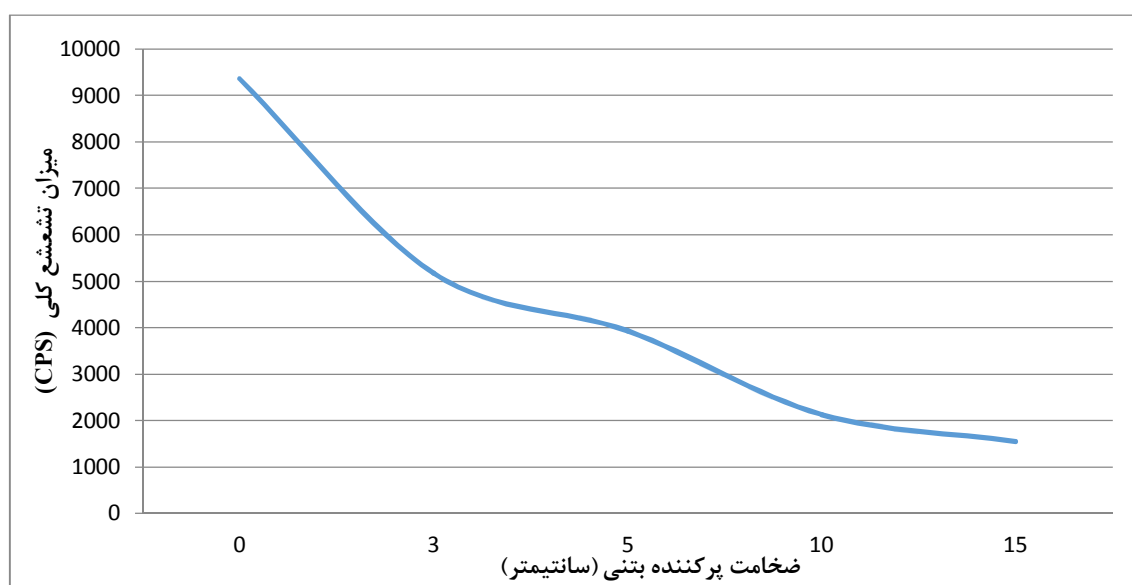
ردیف	وضعیت پوشش کانسنگ اورانیوم	اطلاعات دستگاه اسپکترومتر		
		U (ppm)	Th (ppm)	CPS (تعداد شمارش در ثانیه)
۱	بدون پوشش	۶۸۷/۵	۹۹/۶	۹۳۶۰
۲	با ضخامت ۳cm بتن پرکننده	۳۱۹/۴	۵۷/۴	۵۱۷۲
۳	با ضخامت ۵cm بتن پرکننده	۲۰۹/۳	۴۲/۲	۳۹۲۹
۴	با ضخامت ۱۰cm بتن پرکننده	۹۴/۷	۲۶	۲۱۳۰
۵	با ضخامت ۱۵cm بتن پرکننده	۶۸/۳	۱۷/۵	۱۵۴۷



شکل ۴-۳۴- نمودار تغییرات عیار کانسنگ اورانیوم در ارتباط با ضخامت پرکننده بتنی ساخته شده با ماسه شسته



شکل ۴-۳۵- نمودار تغییرات عیار توریم در ارتباط با ضخامت پرکننده بتنی ساخته شده با ماسه شسته شده



شکل ۴-۳۶- نمودار تغییرات میزان تشعشع کلی در ارتباط با ضخامت پرکننده بتنی ساخته شده با ماسه شسته شده

از نتایج پرتوژیایی این نوع پرکننده‌های بتنی نیز مشخص است که با افزایش ضخامت پرکننده‌های بتنی میزان تشعشع کلی و عیارهای اورانیوم و توریم کاهش می‌یابد. ولی میزان کاهش‌ها در این نوع پرکننده‌ها نسبت به پرکننده‌های بتنی ساخته شده با باطله‌های معدن زیرزمینی کمتر می‌باشد.

۴-۱۳-۴- محاسبات اقتصادی ساخت پرکننده بتنی با ماسه شسته شده

در این بخش با توجه به محاسبات انجام شده برای هزینه‌های مصالح ساخت بتن پرکننده، هزینه ساخت یک مترمکعب پرکننده بتنی با مصالح سنگی ماسه شسته شده در طرح‌های اختلاط مختلف ارائه شده است. این محاسبات برای طرح اختلاط‌هایی که حداقل مقاومت فشاری تک محوره ۲۸ روزه ۵ مگاپاسکال موردنیاز کارگاه‌های زیرزمینی را تأمین می‌کنند، انجام شده و سایر طرح اختلاط‌ها کنار گذاشته شده است. نتایج مربوط به این محاسبات در جدول ۴-۳۵ ارائه شده است.

جدول ۴-۳۵- هزینه ساخت هر مترمکعب پرکننده بتنی هیدرولیکی ساخته شده با ماسه شسته شده

ردیف	طرح اختلاط	مصالح سنگی (کیلوگرم)	سیمان (کیلوگرم)	سایر مواد سیمانی (کیلوگرم)	آب (لیتر)	هزینه یک متر مکعب پرکننده بتنی (ریال)
۱	ماسه شسته شده + سیمان + آب زهکشی شده معدن	۱۶۱۷	۳۸۱	۰	۳۸۱	۸۸۶۲۱۳
۲	ماسه شسته شده + آهک (۰/۲۵) + سیمان + آب زهکشی شده معدن	۱۶۱۷	۲۸۵/۷۵	۹۵/۲۵	۴۳۷	۸۵۶۴۸۶
۳	ماسه شسته + سیمان + ماسه بادی (۰/۳۰) + آب زهکشی شده معدن	۱۶۱۷	۲۶۶/۷	۱۱۴/۳	۳۷۳/۴	۷۲۲۱۲۸
۴	ماسه شسته + سیمان + آب زهکشی شده معدن	۱۸۰۰	۲۰۰	۰	۳۲۴/۹	۶۵۵۴۴۰
۵	ماسه شسته + سیمان + سرباره کوره ذوب (۰/۳۰) + آب زهکشی شده معدن	۱۶۱۷	۲۶۶/۷	۱۱۴/۳	۳۷۳/۴	۷۶۶۵۱۸
۶	ماسه شسته + سیمان + پوزولانی + آب زهکشی شده معدن	۱۸۰۰	۲۰۰	۰	۳۲۴/۹	۶۴۸۰۰۰

از طرح‌های اختلاط ارائه شده در جدول ۴-۳۵ به دلایل قبلی ذکر شده (نبود ذرات ریز دانه همراه ماسه شسته) فقط طرح‌های اختلاط ردیف ۱،۳ و ۵ که میزان سیمان مصرفی به همراه سایر مواد چسباننده آن بالا می‌باشد، قابلیت اجرایی دارد و مابقی طرح‌های اختلاط از نظر اجرایی قابلیت پمپاژ به حفاریات زیرزمینی و کارگاه‌های استخراج را ندارند. هزینه تمام شده این طرح‌های اختلاط با آب زهکشی شده‌ی معدن در حدود ۷۲۰۰۰ تا ۸۹۰۰۰ تومان می‌باشد که در صورت استفاده از آب معمولی به جای آب زهکشی شده معدن، هزینه ذکر شده افزایش خواهد یافت.

۴-۱۳-۵- طرح اختلاط پرکننده بتنی هیدرولیکی ساخته شده با ماسه باریت

۴-۱۳-۵-۱- نمودار دانه بندی ماسه باریت

اطلاعات مربوط به آزمایش دانه‌بندی مصالح سنگی باریت در جدول ۴-۳۶ ارائه شده است.

جدول ۴-۳۶- دانه‌بندی ماسه حاصل از مصالح سنگی باریت

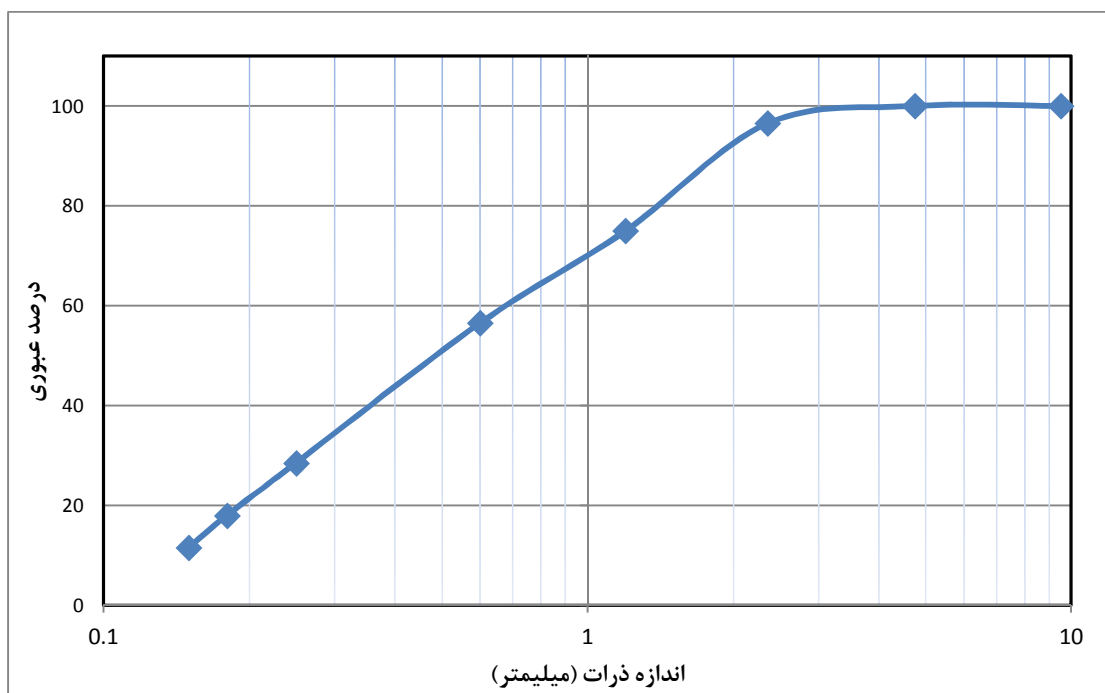
شماره الک	اندازه (میلی متر)	مانده روی الک (گرم)	مانده روی الک (درصد)	درصد تجمعی مانده روی الک	درصد عبوری از الک
۰/۳۷۵	۹/۵	۰	۰	۰	۱۰۰
۴	۴/۷۵	۰	۰	۰	۱۰۰
۸	۲/۳۶	۳۵	۳/۵	۳/۵	۹۶/۵
۱۶	۱/۲	۲۱۵	۲۱/۵	۲۵	۷۵
۳۰	۰/۶	۱۸۵	۱۸/۵	۴۳/۵	۵۶/۵
۶۰	۰/۲۵	۲۸۰	۲۸	۷۱/۵	۲۸/۵
۸۰	۰/۱۸	۱۰۵	۱۰/۵	۸۲	۱۸
۱۰۰	۰/۱۵	۶۵	۶/۵	۸۸/۵	۱۱/۵
۲۰۰	۰/۰۷۵	۹۵	۹/۵	۹۸	۲
زیرالکی	-	۲۰	۲	۱۰۰	۰

تصاویر مربوط به مقادیر باریت باقی مانده روی هر سری الک در شکل ۴-۳۷ نشان داده شده است.



شکل ۴-۳۷- مقادیر باریت باقی مانده روی هر سری از الک‌ها

نمودار مربوط به دانه‌بندی باریت در شکل ۴-۳۸ نشان داده شده است.



شکل ۴-۳۸- نمودار دانه‌بندی ماسه حاصل از مصالح باریت

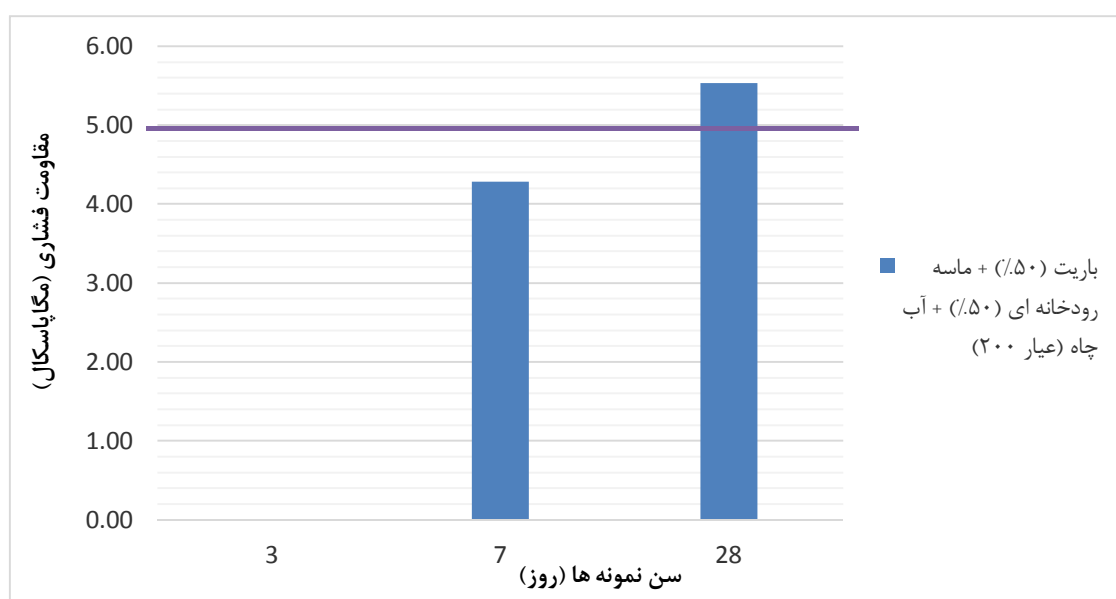
۴-۱۳-۵-۲- نتایج حاصل از طرح اختلاط پرکننده بتنی ساخته شده با ماسه باریت

در این بخش اطلاعات حاصل از طرح اختلاط پرکننده بتنی هیدرولیکی ساخته شده با ماسه باریت ارائه شده است. در جدول ۴-۳۷ اطلاعات مربوط به طرح اختلاط انجام شده شامل مقدار مصالح سنگی، سیمان، سایر مواد چسباننده و آب مورد استفاده در طرح اختلاط کارگاهی ارائه شده است.

جدول ۴-۳۷- اطلاعات طرح اختلاط پرکننده بتنی هیدرولیکی ساخته شده با ماسه باریت و نتایج آن

شماره طرح اختلاط	طرح اختلاط	مصالح سنگی (کیلوگرم)	سیمان (کیلوگرم)	آب (لیتر)	مقاومت فشاری (مگاپاسکال)	
					۷ روزه	۲۸ روزه
۱	ماسه باریت (۵۰٪) + ماسه رودخانه‌ای (۵۰٪) + سیمان + آب زهکشی معدن	۲۲۰۰	۲۰۰	۳۲۰	۴/۲۹	۵/۵۴

نمودار ستونی مربوط به نتایج آزمایش مقاومت فشاری طرح اختلاط پرکننده بتنی ساخته شده با ماسه باریت و ماسه رودخانه‌ای در شکل ۴-۳۹ نشان داده شده است.



شکل ۴-۳۹- نمودار ستونی مربوط به نتیجه مقاومت فشاری پرکننده بتنی ساخته شده با ماسه باریت

از نتایج مقاومت فشاری طرح اختلاط مشخص است که با مصالح سنگی ترکیبی ماسه باریت و ماسه رودخانه‌ای و میزان ۲۰۰ کیلوگرم سیمان در یک مترمکعب پرکننده بتنی، مقاومت فشاری قابل قبولی به دست آمده است.

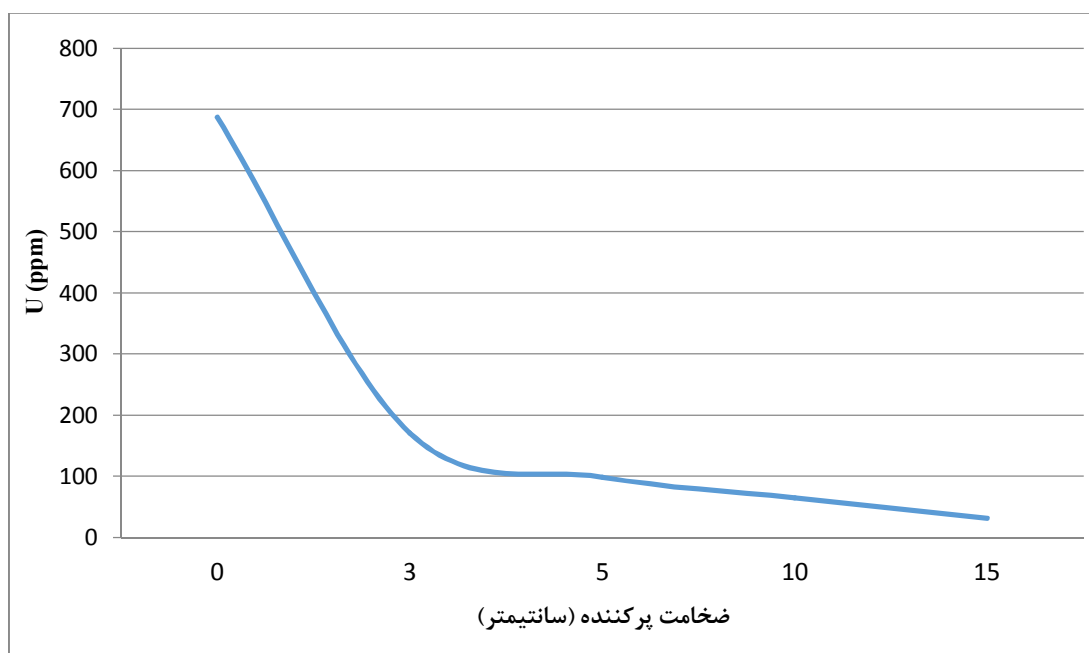
۴-۱۳-۵-۳- نتایج حاصل از آزمایش پرتوزایی

در این بخش اطلاعات حاصل از آزمایش‌های پرتوزایی با استفاده از طرح اختلاط پرکننده بتنی هیدرولیکی ساخته شده با ماسه باریت ارائه شده است. در جدول ۴-۳۸ اطلاعات مربوط به برداشت‌های میزان تشعشع کلی و عیارهای اورانیوم و توریم در ضخامت‌های مختلف پرکننده بتنی هیدرولیکی ریخته شده در مجاورت کانسنگ اورانیوم با استفاده از مصالح سنگی ماسه باریت ارائه شده است.

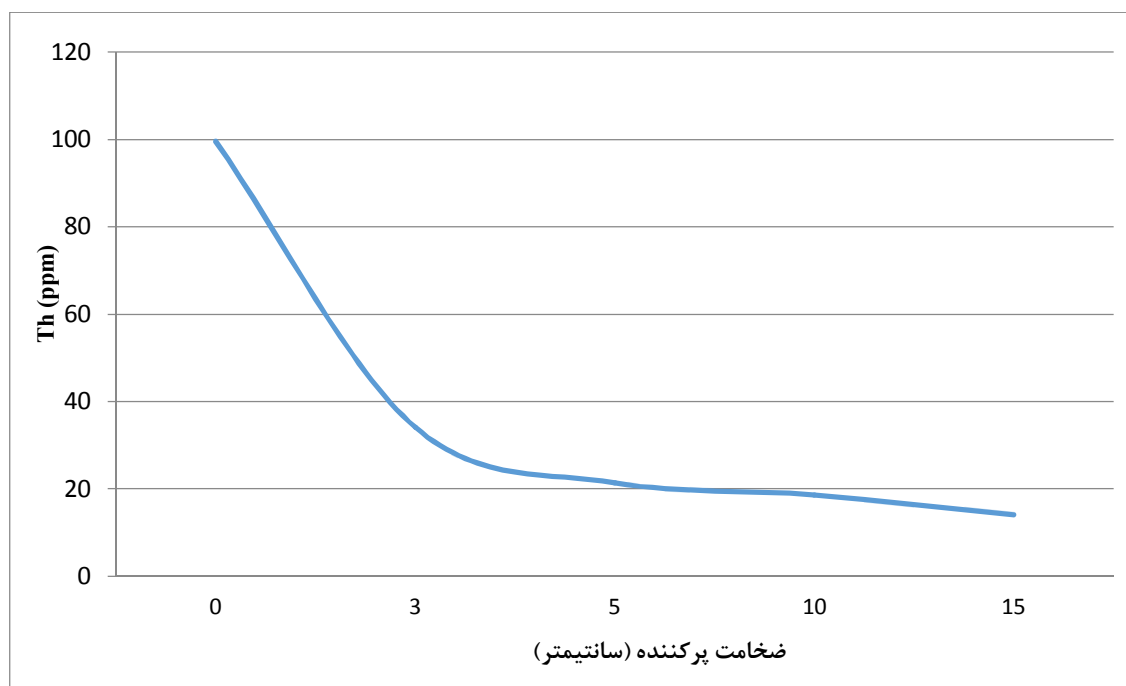
جدول ۴-۳۸- اطلاعات حاصل از آزمایش پرتوزایی اختلاط پرکننده بتنی ساخته شده با ماسه باریت

ردیف	وضعیت پوشش کانسنگ اورانیوم	اطلاعات دستگاه اسپکترومتر		
		CPS (تعداد شمارش در ثانیه)	Th (ppm)	U (ppm)
۱	بدون پوشش	۹۳۶۰	۹۹/۶	۶۸۷/۵
۲	با ضخامت ۳cm بتن پرکننده	۲۱۷۲	۳۴/۱	۱۷۰/۹
۳	با ضخامت ۵cm بتن پرکننده	۱۵۷۴	۲۱/۴	۹۸/۷
۴	با ضخامت ۱۰cm بتن پرکننده	۱۱۰۹	۱۸/۶	۶۴/۸
۵	با ضخامت ۱۵cm بتن پرکننده	۵۲۴	۱۴/۱	۳۱/۳

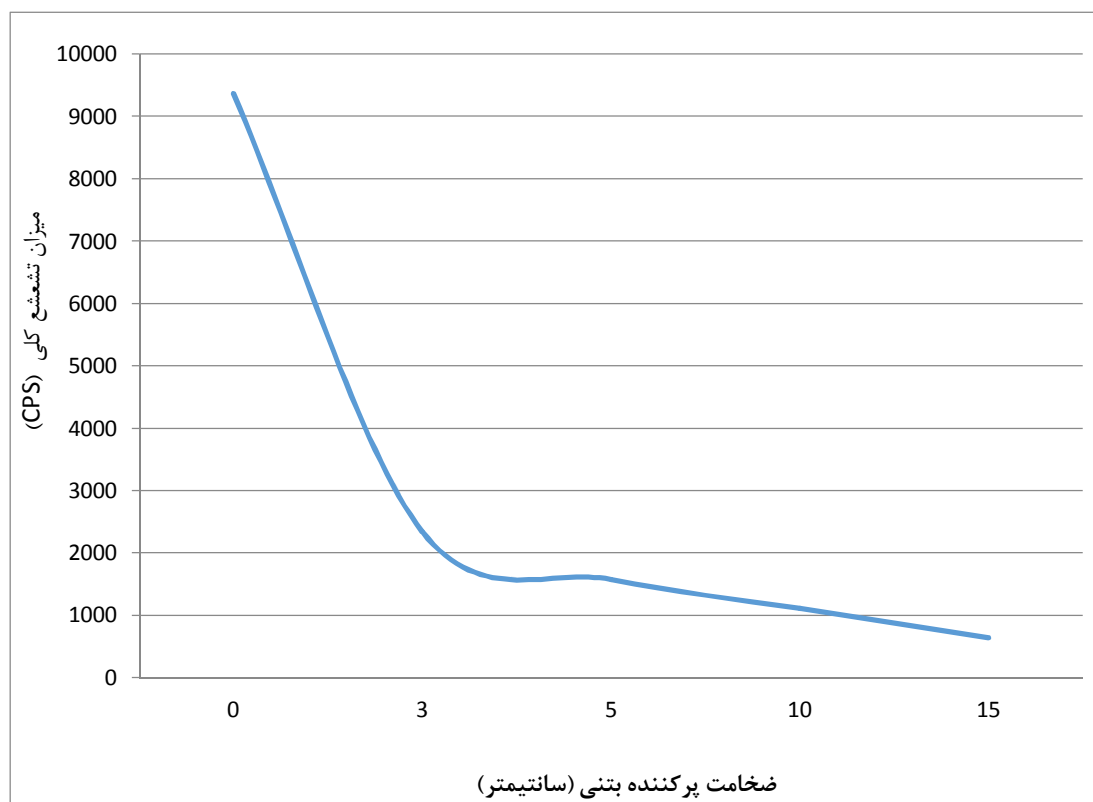
نمودارهای مربوط به این آزمایش نیز به ترتیب در شکل ۴-۴۰ تا شکل ۴-۴۲ ارائه شده است.



شکل ۴-۴۰- نمودار تغییرات عیار کانسنگ اورانیوم در ارتباط با ضخامت پرکننده بتنی ساخته شده با ماسه باریت



شکل ۴-۴۱- نمودار تغییرات عیار توریم در ارتباط با ضخامت پرکننده بتنی ساخته شده با ماسه باریت



شکل ۴-۴۲- نمودار تغییرات میزان تشعشع کلی در ارتباط با ضخامت پرکننده بتنی ساخته شده با ماسه باریت

از نمودارها پیداست که با افزایش ضخامت پرکننده بتنی هیدرولیکی ساخته شده با مصالح سنگی باریت، میزان کاهش تشعشع با شدت بیشتری اتفاق می‌افتد به طوری که در ضخامت ۳ سانتی‌متری سطح پرکننده، میزان تشعشع به حدود یک چهارم میزان تشعشع اولیه می‌رسد و با رسیدن ضخامت پرکننده بتنی به ۱۰ سانتی‌متر، میزان تشعشع کلی تقریباً به حد مجاز می‌رسد.

۴-۱۳-۵-۴- محاسبات اقتصادی ساخت پرکننده بتنی با استفاده از مصالح سنگی باریت

در این بخش با توجه به محاسبات انجام شده برای هزینه‌های مصالح ساخت پرکننده بتنی هیدرولیکی، هزینه ساخت یک مترمکعب پرکننده بتنی با ماسه باریت و ماسه رودخانه‌ای در طرح اختلاط ارائه شده است. نتایج مربوط به این محاسبات در جدول ۴-۳۹ ارائه شده است.

جدول ۴-۳۹- هزینه هر متر مکعب بتن پر کننده ساخته شده با استفاده از مصالح سنگی باریت

ردیف	طرح اختلاط	مصالح سنگی (کیلوگرم)	سیمان (کیلوگرم)	آب (لیتر)	هزینه یک مترمکعب پرکننده بتنی (ریال)
۱	ماسه باریت (۵۰٪) + ماسه رودخانه‌ای (۵۰٪) + سیمان + آب زهکشی شده معدن	۲۲۰۰	۲۰۰	۳۲۰	۳۱۲۴۰۶۸

با توجه به محاسبات اقتصادی انجام شده هزینه تمام شده ساخت یک مترمکعب پرکننده بتنی هیدرولیکی با ترکیب مصالح سنگی باریت و رودخانه‌ای حدود ۳۱۲۰۰۰۰ ریال برآورد شده است که برای پرکردن معدن هزینه بالایی بوده و توجیه اقتصادی ندارد، مگر اینکه کانسنگ اورانیوم دارای عیار بسیار بالایی باشد (بالای ۳ درصد) و از نظر ایمنی جهت کاهش اشعه جذبی کارگران نیاز به این نوع پرکننده بتنی هیدرولیکی باشد.

۴-۱۴- مقایسه فنی - اقتصادی روش پرکردن با مصالح سنگی توده‌ای و پرکردن

بتنی هیدرولیکی

در این بخش، بر روی دو روش اصلی پرکردن با مصالح سنگی توده‌ای و پرکردن بتنی هیدرولیکی بحث خواهد شد و در انتهای هر روش، هزینه تمام شده یک مترمکعب ماده پرکننده از محل ساخت در سطح زمین تا انتقال به کارگاه‌های استخراج در معدن زیرزمینی ساغند محاسبه خواهد شد. از این‌رو بایستی پرکننده‌ای انتخاب گردد که هم به راحتی بتوان به کارگاه‌های استخراج مورد نظر انتقال داد و هم اینکه مقاومت فشاری حداقل ۵ مگاپاسکال برای تحمل فشار وارده از طرف زمین را داشته باشد.

۴-۱۴-۱- پرکننده بتنی هیدرولیکی

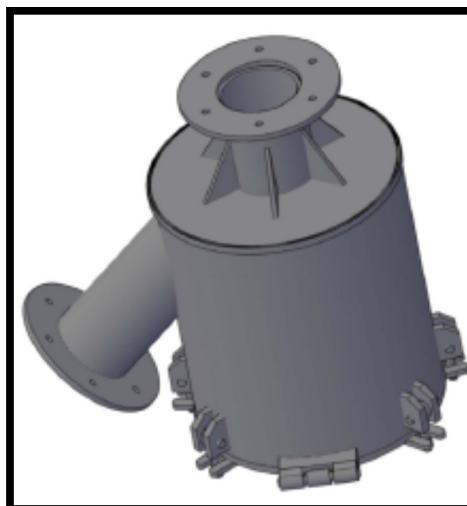
در ترکیب پرکننده بتنی بایستی دقت شود که طرح اختلاط کاملاً رعایت شود زیرا تغییر در طرح اختلاط ممکن است مشکلاتی از قبیل کاهش مقاومت نهایی پرکننده یا خطر گیرکردن بتن در خطوط لوله را بوجود آورد. پس از تهیه پرکننده بتنی در بچینگ، بتن تولید شده توسط تراک میکسر به محل فیدر تعبیه شده در دیواره ساختمان چاه منتقل می‌شود و با هماهنگی پرسنل بتن‌ریز که در محل پمپ بتن حضور دارند، بتن به صورت کنترل شده به داخل فیدر تخلیه می‌شود (شکل ۴-۴۳).



شکل ۴-۴۳- تخلیه بتن به داخل فیدر توسط تراک میکسر

پس از تخلیه بتن به داخل فیدر، بتن تحت نیروی ثقل و از طریق خط لوله‌ای که در دیواره چاه قرار دارد، به ابتدای پذیرگاه مورد نظر انتقال داده می‌شود. با توجه به ارتفاع زیاد بین محل قرارگیری فیدر و محل قرارگیری پمپ انتقال، بتنی که از بالا از طریق خط لوله رها می‌شود، اگر قبل از رسیدن به پمپ بتن مهار نشود، می‌تواند در ابتدای پذیرگاه مشکلاتی را بوجود آورد و همچنین این ارتفاع زیاد موجب جدایش مصالح بتن و کاهش مقاومت نهایی آن شود. از این‌رو جهت غلبه به این مشکلات، در انتهای خط لوله و در ابتدای پذیرگاه، قبل از پمپ بتن، وسیله‌ای تحت عنوان ترمی قرار گرفته است

که هم ضربات ناشی از سقوط بتن را گرفته و هم اینکه موجب اختلاط بتن و جلوگیری از جدایش مصالح می‌گردد (شکل ۴-۴۴).



شکل ۴-۴۴ - دستگاه ترمی مورد استفاده جهت انتقال بتن در معدن

پس از انتقال بتن به ابتدای پذیرگاه، پرکننده بتنی وارد دستگاه پمپ بتن می‌شود و از کوتاه‌ترین مسیر توسط خط لوله به کارگاه‌های استخراج انتقال داده می‌شود. در مورد خطوط لوله انتقال بتن بایستی به این نکته توجه داشت که در هنگام انتقال بتن در طول خط لوله، فشار بسیار زیادی به لوله‌ها وارد می‌شود و بایستی این لوله‌ها به صورت دقیق و مناسب مهار شوند، چرا که در صورت عدم مهار مناسب ممکن است آسیب‌های جبران‌ناپذیری به پرسنل و تأسیسات وارد شود (شکل ۴-۴۵).



شکل ۴-۴۵ - خط لوله منشعب شده از پمپ بتن و نصب شده در تونل‌ها

کارگاه‌هایی که پر می‌شوند نیازمند یکسری عملیات آماده‌سازی می‌باشند، اولین اقدامی که قبل از پرکردن کارگاه‌های استخراج باید انجام داد، بازیابی قاب‌های قابل بازیابی و لارده‌های استفاده شده است که موجب صرفه‌جویی و استفاده مجدد از قاب‌ها و لارده‌های بکار رفته می‌باشد که در تحکیمات بعدی نیز استفاده می‌گردند و از مدفون شدن قاب و لارده در زیر بتن جلوگیری می‌شود.

لازم بذکر است که بعد از عملیات بازیابی قاب بایستی سریعاً کارگاه تخلیه و مسدود گردد زیرا بدلیل بازیابی برخی از قاب‌ها امکان حرکت و لغزش برخی از گوه‌های موجود در سقف و سینه‌کار امکان پذیر می‌باشد. بازیابی قاب فقط در روش پرکردن با پرکننده بتن هیدرولیکی، امکان‌پذیر می‌باشد و در روش پرکردن با استفاده از مصالح سنگی امکان‌پذیر نیست، زیرا در روش پرکردن با مصالح سنگی، تردد پرسنل در تمام طول کارگاه صورت می‌گیرد و عملیات پرکردن با مصالح سنگی نیز زمان‌بر بوده و به همین دلیل ریسک بازیابی قاب‌ها و لارده‌های چیده شده بالا می‌رود، لذا از بازیابی قاب‌ها و لارده‌های بکار رفته صرف‌نظر می‌شود و در نتیجه بازیابی قاب‌ها و لارده‌های بکار رفته، امتیاز روش پرکردن با بتن‌ریزی است که ارزش ریالی صرفه‌جویی شده نیز در محاسبات بعدی ارائه گردیده است. بعد از عملیات بازیابی، بایستی دهانه کارگاه‌ها به صورت مناسب بسته شود. در بالاترین قسمت کارگاه نیز لوله‌های پلی‌اتیلن با مقاومت مناسب با مترآزهای مختلف (بسته به طول کارگاه) نصب می‌شود و لوله‌های فولادی انتقال دهنده بتن به لوله‌های پلی‌اتیلن متصل می‌گردد (شکل ۴-۴۶).



شکل ۴-۴۶ - آماده‌سازی انجام شده در کارگاه استخراج جهت پرکردن کارگاه (لارده چینی)

جزئیات محاسبه هزینه‌های تمام شده هر مترمکعب پرکننده بتنی هیدرولیکی در جدول ۴-۴۰ و جدول ۴-۴۱ ارائه شده است.

جدول ۴-۴۰- آنالیز بهای ۷۰ متر مکعب بتن ریزی در یک روز کاری

۱- هزینه نیروی انسانی					
ردیف	شرح	تعداد (نفر)	مبلغ واحد (ریال)	مبلغ کل (ریال)	ملاحظات
۱	مسئول بچینگ	۲	۸۰۰۰۴۰	۱۶۰۰۰۸۰	
۲	راننده میکسر	۲	۸۰۸۵۹۶	۱۶۱۷۱۹۲	
۳	گروه بتن ریز	۷	۸۶۵۳۸۰	۶۰۵۷۶۶۰	
۴	مسئول بتن ریزی	۱	۱۳۹۵۰۳۶	۱۳۹۵۰۳۶	
	جمع			۱۰۶۶۹۹۶۸	
۲- هزینه مصالح مورد نیاز					
ردیف	شرح	مقدار (مترمکعب)	مبلغ واحد (ریال)	مبلغ کل (ریال)	ملاحظات
۱	بتن پرکننده	۷۰	۴۷۵۰۳۴	۳۳۲۵۲۳۸۰	
۲	توپک انتقال بتن	۱	۱۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	
	جمع			۳۴۲۵۲۳۸۰	
	جمع با در نظر گرفتن هزینه قالب بندی و سایر			۳۷۱۲۳۲۶۴	
۳- هزینه ماشین آلات مورد نیاز					
ردیف	شرح	تعداد (نفر)	هزینه اجاره (ریال)	مبلغ کل (ریال)	ملاحظات
۱	بچینگ	۱	۳۸۳۳۳۳۳	۳۸۳۳۳۳۳	
۲	تراک میکسر	۲	۴۰۰۰۰۰۰	۴۰۰۰۰۰۰	
۳	پمپ بتن و تجهیزات	-	۴۰۰۰۰۰۰	۴۰۰۰۰۰۰	انتقال ۸۰۰ متری
	جمع کل هزینه ماشین آلات			۱۵۸۳۳۳۳۳	

جدول ۴-۴۱- خلاصه آنالیز بهای ۷۰ متر مکعب بتن ریزی در یک روز کاری

ردیف	شرح هزینه	مبلغ هزینه (ریال)
۱	هزینه نیروی انسانی	۱۰۶۶۹۹۶۸
۲	هزینه مصالح	۳۷۱۲۳۲۶۴
۳	هزینه ماشین آلات	۱۵۸۳۳۳۳۳
	مجموع کل هزینه‌ها	۶۳۶۲۶۵۶۵
	هزینه برای هر مترمکعب	۹۰۸۹۵۱

۴-۱۴-۲- پرکننده مصالح سنگی توده‌ای

عملیات پرکردن کارگاه‌های استخراج با مصالح سنگی بدین صورت است که ابتدا کارگاه به بخش‌های ۵ تا ۱۰ متری تقسیم و از انتهای کارگاه انباشت مصالح سنگی شروع می‌شود، با توجه به اینکه عملیات حمل و پرکردن توسط نیروی انسانی و با استفاده از بیل و فرغون انجام می‌گیرد (هر چقدر طول بخش‌های تقسیم شده کوچکتر باشد عملیات انباشت راحت تر بوده و حداکثر فضای کارگاه استخراج با مصالح سنگی پر می‌شود) در نهایت نیز به منظور پرکردن فضاهای خالی باقی‌مانده و تثبیت مصالح سنگی انباشته شده با دوغاب بتنی، اقدام به پاشش دوغاب بر روی مصالح می‌گردد و در حدود ۱۰٪ از حجم فضا با بتن پر می‌شود.

انتقال حجم ۷۰ متر مکعب توسط ۱۰۰ واگن صورت می‌گیرد (با در نظر گرفتن واگن‌های ۰/۷ مترمکعبی متحرک از بغل تخلیه شو) که با فرض اینکه در هر ساعت حدود ۶ واگن خاک به پایین منتقل شود، حدود دو شیفت کاری برای حمل این واگن‌ها مورد نیاز است. از آنجائی که دو نفر در سر چاه این واگن‌ها را در داخل قفس قرار می‌دهند و دو نفر نیز در ابتدای پذیرگاه واگن‌ها را از قفس به بیرون منتقل می‌نمایند، لذا در دو شیفت کاری ۸ نفر روز نیرو جهت انتقال این مصالح به ابتدای پذیرگاه مورد نیاز است. برای انتقال واگن‌ها به محل دویل پرکننده و تخلیه واگن‌ها به داخل آن، نیاز به ۲ نفر در هر شیفت می‌باشد که در دو شیفت این عملیات را به انجام برسانند که در مجموع جهت این عملیات ۴ نفر نیرو نیاز است. در ادامه می‌بایست در زیر دویل پرکننده دوباره واگن‌ها از مصالح پرشوند و به محل کارگاه استخراج منتقل گردند، جهت انجام این فعالیت به تعداد ۲ نفر در هر شیفت نیاز است و با فرض سه شیفت کاری، به ۶ نفر روز نیرو برای انجام این مرحله از کار نیاز می‌باشد. در نهایت جهت انتقال و دپوکردن مصالح در محل مورد نظر و دوغاب پاشی و عملیات نهایی پرکردن فضاهای استخراجی حدود ۵ نفر نیرو در سه شیفت کاری، یعنی ۱۵ نفر روز نیرو این عملیات را به

انجام می‌رسانند. در نتیجه در این روش که تقریباً بهینه‌ترین حالت جهت انجام این عملیات می‌باشد، ۳۳ نفر روز نیرو نیاز می‌باشد.

همان‌طور که در بالا اشاره گردید در روش پرکردن با مصالح باطله سنگی امکان بازیابی قاب و لارده‌های بکار رفته وجود ندارد و بنابراین با فرض پرکردن ۷۰ متر مکعب فضای کارگاه‌های استخراج شده که معادل ۱۰ متر طول می‌باشد، تعداد ۱۰ دست قاب و لارده استفاده شده، قابل بازیابی نمی‌باشد (در پر کردن به روش بتنی تا حدود ۴۰ درصد قاب‌ها بازیابی می‌گردد) که این موضوع موجب افزایش هزینه‌ها خواهد شد. در جدول ۴-۴۲ و جدول ۴-۴۳ جزئیات آنالیز بهای خردایش، انتقال و پرکردن ۷۰ متر مکعب مصالح باطله سنگی ارائه شده است.

جدول ۴-۴۲- خلاصه آنالیز بهای خردایش، انتقال و پرکردن ۷۰ متر مکعب مصالح باطله سنگی

۱- هزینه نیروی انسانی				
ردیف	شرح	تعداد (نفر)	مبلغ واحد (ریال)	مبلغ کل (ریال)
۱	مسئول سنگ شکن	۱	۸۰۸۵۹۶	۸۰۸۵۹۶
۲	کارگر سنگ شکن	۳	۸۶۵۳۸۰	۲۵۹۶۱۴۰
۳	راننده کامیون	۱	۸۰۸۵۹۶	۸۰۸۵۹۶
۴	راننده لوکوموتیو	۱	۸۰۸۵۹۶	۸۰۸۵۹۶
۵	راننده لودر	۱	۸۰۸۵۹۶	۸۰۸۵۹۶
۶	گروه انتقال و پرکننده مصالح سنگی	۳۳	۸۶۵۳۸۰	۲۸۵۵۷۵۴۰
جمع				۳۴۳۸۸۰۶۴
۲- هزینه مصالح مورد نیاز				
ردیف	شرح	مقدار	مبلغ واحد (ریال)	مبلغ کل (ریال)
۱	هزینه برق مصرفی و استهلاک بالابر	۷	۷۰۰۰۰۰	۴۹۰۰۰۰۰
۲	هزینه باقی ماندن تحکیمات در کارگاه‌های استخراج	۵	۹۰۰۰۰۰۰	۴۵۰۰۰۰۰۰
۳	هزینه دوغاب سیمانی برای تثبیت پرکننده خشک	۱۹۰۰۰ کیلوگرم	۱۰۰۰	۱۹۰۰۰۰۰۰
جمع				۶۸۹۰۰۰۰۰

ادامه جدول ۴-۴۲- خلاصه آنالیز بهای خریدایش، انتقال و پرکردن ۷۰ متر مکعب مصالح باطله سنگی

۳- هزینه ماشین آلات مورد نیاز				
ردیف	شرح	تعداد	هزینه اجاره (ریال)	مبلغ کل (ریال)
۱	سنگ شکن	۱	۵۳۳۳۳۳۳	۵۳۳۳۳۳۳
۲	کامیون و لودر	۲	۴۰۰۰۰۰۰	۸۰۰۰۰۰۰
۳	لوکوموتیو	۱	۲۰۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰۰
۴	واگن	۴۰	۵۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰۰
جمع				۳۵۳۳۳۳۳۳

جدول ۴-۴۳- آنالیز بهای خریدایش، انتقال و پرکردن ۷۰ متر مکعب مصالح باطله سنگی

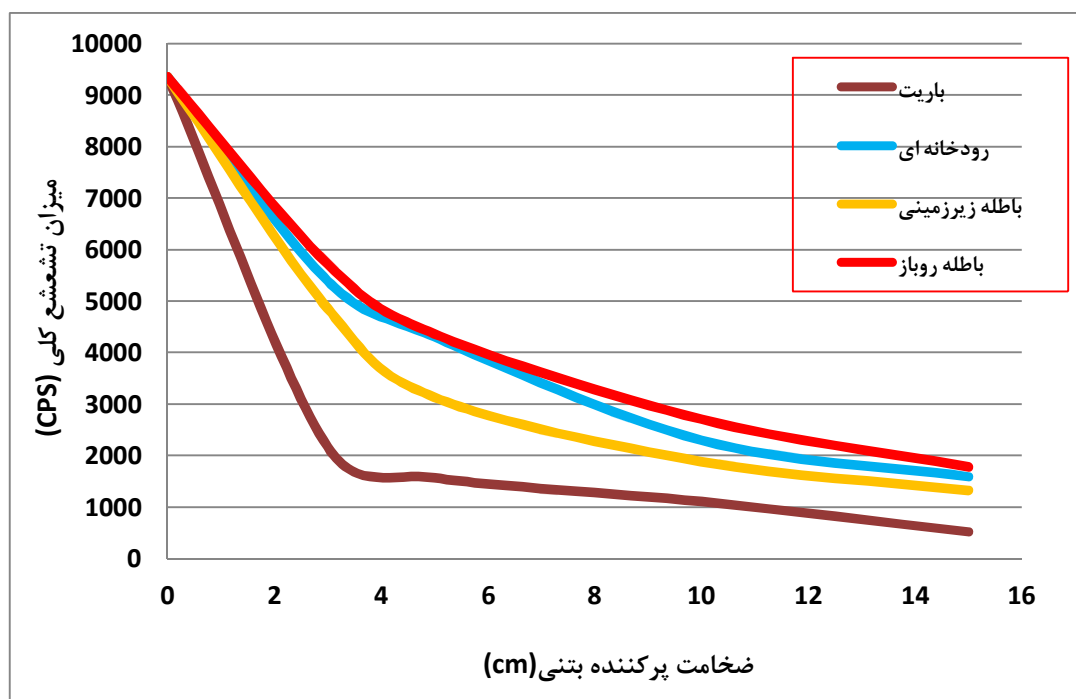
ردیف	شرح هزینه	مبلغ هزینه (ریال)
۱	هزینه نیروی انسانی	۳۴۳۸۸۰۶۴
۲	هزینه مصالح	۶۸۹۰۰۰۰۰
۳	هزینه ماشین آلات	۳۵۳۳۳۳۳۳
مجموع کل هزینه‌ها برای ۷۰ مترمکعب (ریال)		۱۳۸۶۲۱۳۹۷
هزینه برای هر مترمکعب (ریال)		۱۹۸۰۳۰۶

با توجه به محاسبات انجام شده مشخص می‌گردد که از جنبه اقتصادی و مقایسه هزینه تمام شده، روش پرکردن بتنی هیدرولیکی نسبت به روش پرکردن با مصالح سنگی برتری دارد. همچنین از لحاظ فنی و قابلیت اجرایی نیز روش پرکردن با مصالح سنگی قابل مقایسه و رقابت با روش بتن‌ریزی نمی‌باشد. لذا می‌توان ادعا کرد که روش پرکردن با پرکننده بتنی در مقایسه با روش پرکردن با مصالح سنگی باطله از لحاظ فنی و اقتصادی بهینه و مقرون به صرفه می‌باشد.

۴-۱۵- تجزیه و تحلیل آزمایش‌ها

۴-۱۵-۱- ارتباط میزان کاهش تشعشع با ضخامت پرکننده بتنی هیدرولیکی

نتایج آزمایش‌های پرتوزایی برای انواع مختلف پرکننده‌های ساخته شده با مصالح سنگی مختلف نشان از این دارد که با افزایش ضخامت پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی، میزان تشعشع کلی و عیار اورانیوم و توریم در سطح پرکننده‌ها کاهش می‌یابد. در نمودارهای شکل ۴-۴۷ میزان تغییرات تشعشع برای پرکننده‌های بتنی ساخته شده با انواع مصالح سنگی نشان داده شده است.



شکل ۴-۴۷- نمودار تغییرات میزان تشعشع کلی در ارتباط با ضخامت پرکننده بتنی ساخته شده با انواع مصالح سنگی

از نمودارها پیداست که شدت کاهش میزان تشعشع در پرکننده بتنی ساخته شده با مصالح سنگی باریت نسبت به بقیه پرکننده‌های بتنی بیشتر می‌باشد و به دنبال آن پرکننده‌های بتنی ساخته شده با مصالح باطله‌های معدن زیرزمینی که دارای مگنتیت بالا می‌باشد، قرار دارد.

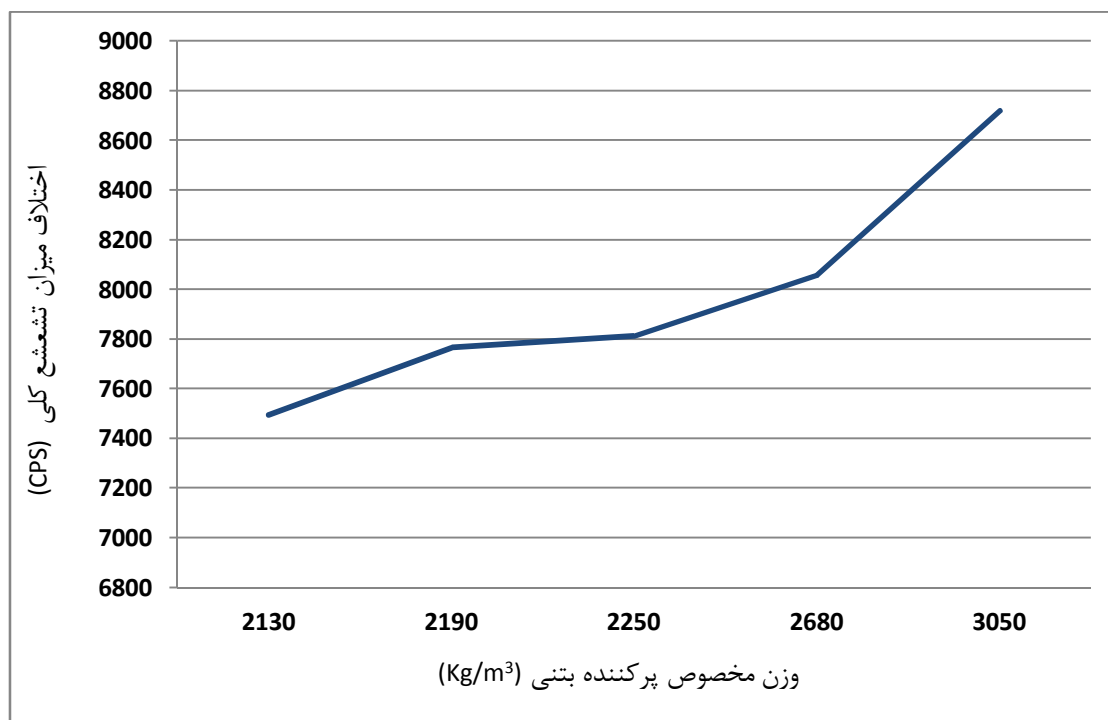
۴-۱۵-۲- ارتباط وزن مخصوص پرکننده بتنی با میزان تشعشع

در این بخش ارتباط بین وزن مخصوص پرکننده‌های بتنی ساخته شده برای آزمایش پرتوزایی و میزان اختلاف تشعشع اندازه‌گیری شده توسط دستگاه اسپکترومتر در حالت اولیه بدون پوشش و حالت با ضخامت ۱۵ سانتی‌متری پرکننده بتنی در طرح‌های اختلاط ساخته شده با مصالح سنگی مختلف ارائه شده است. در جدول ۴-۴۴ اطلاعات مربوط به میزان تشعشع در حالت اولیه و نهایی هر طرح اختلاط ارائه شده است.

جدول ۴-۴۴- اطلاعات مربوط به وزن مخصوص پرکننده بتنی هیدرولیکی و میزان تشعشع کلی آن‌ها

ردیف	طرح اختلاط	وزن مخصوص (Kg/m ³)	میزان تشعشع کلی در حالت بدون پوشش (سطح کانسنگ)	میزان تشعشع کلی در مجاورت پرکننده بتنی با ضخامت ۱۵ سانتی‌متری	میزان اختلاف تشعشع کلی
۱	باطله معدن روباز + سیمان + آب زهکشی شده معدن	۲۱۳۰	۹۳۶۰	۱۸۶۴	۷۴۹۶
۲	باطله معدن زیرزمینی + سیمان + آب زهکشی شده معدن	۲۶۸۰	۹۳۶۰	۱۳۰۲	۸۰۵۸
۳	ماسه رودخانه‌ای + سیمان + آب زهکشی شده معدن	۲۱۹۰	۹۳۶۰	۱۵۹۳	۷۷۶۷
۴	ماسه شسته شده + سیمان + آب زهکشی شده معدن	۲۲۵۰	۹۳۶۰	۱۵۴۷	۷۸۱۳
۵	ماسه باریت + ماسه رودخانه- ای + سیمان + آب زهکشی شده معدن	۳۰۵۰	۹۳۶۰	۶۴۱	۸۷۱۹

نمودار مقایسه‌ای ارتباط بین وزن مخصوص پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی با میزان اختلاف تشعشع کلی در حالات بدون پوشش و با پوشش ۱۵ سانتیمتری پرکننده بتنی در شکل ۴-۴۸ نشان داده شده است.



شکل ۴-۴۸ - ارتباط وزن مخصوص پرکننده بتنی و کاهش میزان تشعشع کلی

از نمودارها پیداست که هرچقدر وزن مخصوص پرکننده بتنی هیدرولیکی افزایش یابد، شدت کاهش میزان تشعشع نیز افزایش پیدا می‌کند.

۴-۱۵-۳ - به‌کارگیری کل باطله‌های معادن روباز و زیرزمینی در پرکننده‌های

بتنی هیدرولیکی

از آنجایی که ممکن است بخش‌هایی از باطله‌های استخراجی از معادن روباز و زیرزمینی اورانیوم به دلیل ترقیق ماده معدنی، آلوده به اورانیوم باشند، لذا بهتر است برای جلوگیری از آلودگی‌های زیست محیطی در سطح زمین در اثر پخش باطله‌های آلوده، این باطله‌ها مجدداً به روشی در کارگاه‌های

استخراج دفن گردند. یکی از روش‌ها استفاده از این مصالح سنگی در پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی می‌باشد که با ساخت پرکننده‌های بتنی از این مصالح و انجام آزمایش‌های پرتوزایی و مقاومت فشاری مشخص گردید که می‌توان بصورت ترکیبی کل باطله‌های معدن روباز و زیرزمینی اورانیوم را به عنوان مصالح سنگی پرکننده بتنی هیدرولیکی مورد استفاده قرار داد. نتایج آزمایش‌های جدول ۴-۴۵ موید این مطلب می‌باشد.

جدول ۴-۴۵- اطلاعات مربوط به پرکننده‌های قابل اجرای ساخته شده با باطله‌های معدن اورانیوم

شماره طرح اختلاط	طرح اختلاط	مصالح سنگی (کیلوگرم)	سیمان (کیلوگرم)	سایر مواد سیمانی (کیلوگرم)	آب (لیتر)	مقاومت (مگاپاسکال)	
						۷ روزه	۲۸ روزه
۱	باطله معدن روباز (۵۰٪) + باطله معدن زیرزمینی (۵۰٪) + آهک (۲۵٪) + سیمان (۷۵٪) + آب معدن	۱۶۱۷	۲۸۵/۷۵	۹۵/۲۵	۵۱۰	۳/۸۲	۵/۱۷
۲	باطله معدن روباز (نوع دوم) (۵۰٪) + باطله معدن زیرزمینی (۵۰٪) + سیمان + آب معدن	۱۷۰۰	۲۵۰	۰	۳۹۶	۳/۹۸	۵/۱۹
۳	باطله معدن زیرزمینی + سیمان + آب معدن	۱۶۱۷	۳۸۱	۰	۴۰۹/۳	۷/۴	۹/۵۸
۴	باطله معدن زیرزمینی + سیمان + ماسه بادی (۳۰٪) + آب معدن	۱۶۱۷	۲۶۶/۷	۱۱۴/۳	۴۰۰	۴/۵۲	۵/۶۸

۴-۱۵-۴- ارتباط نوع مصالح سنگی مورد استفاده در پرکننده‌های بتنی با هزینه

تمام شده آن

با توجه به بررسی‌های انجام شده در خصوص استفاده از انواع مصالح سنگی ارزان قیمت و در دسترس و نوع آب مصرفی در ساخت پرکننده‌های بتنی، هزینه تمام شده ساخت پرکننده‌های بتنی که از نظر

فنی - اقتصادی و ملاحظات زیست محیطی بهینه بودند، انتخاب شدند که مشخصات این طرح‌های اختلاط همراه با هزینه تمام شده در جدول ۴-۴۶ آمده است. طرح‌های اختلاط به ترتیب اولویت انتخاب برای عملیات اجرایی از نظر مقاومت فشاری تک محوری ۲۸ روزه و اشعه جذبی در جدول ۴-۴۶ ارائه شده است. این ترتیب انتخاب با سه نگرش پایداری حفريات و کارگاه‌های استخراج، ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی ارائه شده است.

جدول ۴-۴۶ - اطلاعات مربوط به پرکننده‌های بهینه انتخاب شده و اولویت اجرایی نمودن آنها

ردیف	طرح اختلاط	مصلح سنگی (کیلوگرم)	سیمان (کیلوگرم)	سایر مواد چسباننده (کیلوگرم)	آب (لیتر)	مقاومت فشاری (مگاپاسکال)	هزینه یک متر مکعب پرکننده بتنی (ریال)
۱	باطله روباز (نوع دوم) + (۵۰٪) باطله زیرزمینی (۵۰٪) + سیمان + آب معدن	۱۷۰۰	۲۵۰	۰	۳۹۶	۵/۱۹	۴۷۵۰۳۴
۲	باطله زیرزمینی + سیمان + آب معدن	۱۷۰۰	۲۵۰	۰	۳۴۰	۷	۴۷۵۰۳۴
۳	ماسه رودخانه‌ای + سیمان + آب معدن	۱۸۲۰	۱۷۵	۰	۳۰۵/۵	۵/۴۳	۳۴۴۰۰۹
۴	ماسه رودخانه‌ای + سیمان پوزولانی + آب معدن	۱۸۲۰	۱۷۵	۰	۳۰۵/۵	۵/۱۶	۳۳۷۴۹۹
۵	ماسه رودخانه‌ای + سیمان پوزولانی + آب معدن	۱۸۰۰	۲۰۰	۰	۳۴۰	۶/۴۹	۳۷۲۵۶۰
۶	ماسه رودخانه‌ای + سیمان + آب معدن	۱۸۰۰	۲۰۰	۰	۳۴۰	۶/۷۴	۳۸۰۰۰۰
۷	ماسه رودخانه‌ای + سیمان + ماسه بادی + آب معدن	۱۶۱۷	۲۰۹/۵۵	۱۷۱/۴۵	۳۸۸/۶	۵/۴۹	۳۹۲۶۴۹
۸	ماسه رودخانه‌ای + سیمان + ماسه بادی + آب معدن	۱۶۱۷	۲۶۶/۷	۱۱۴/۳	۳۹۲/۵	۸/۵۷	۴۷۴۶۹۱
۹	باطله زیرزمینی + سیمان + ماسه بادی + آب معدن	۱۶۱۷	۲۶۶/۷	۱۱۴/۳	۴۰۰	۵/۶۸	۴۹۹۳۰۰

با توجه آزمایش‌های اندازه‌گیری میزان کاهش تشعشع برای انواع طرح‌های اختلاط، تقریباً در همه طرح‌های اختلاط پرکننده بتنی هیدرولیکی میزان تشعشع در ضخامت‌های بالای ۱۵ سانتی‌متر پرکننده بتنی به حد مجاز می‌رسد و با توجه به اینکه عرض تونل‌های پر شده بیش از سه متر می‌باشد، لذا تمام پرکننده‌های بتنی در برابر کاهش میزان تشعشع کارایی داشته و در کاهش دز جذبی اشعه کارگران معدن تأثیر مثبت دارند.

۴-۱۶- جمع بندی

در این فصل طرح‌های اختلاط مختلفی از پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی با انواع مصالح سنگی مختلف در راستای کاهش میزان تشعشع حاصله از کانسنگ اورانیوم، کاهش آلودگی‌های زیست محیطی با به‌کارگیری باطله‌های استخراجی و آب‌های زهکشی شده‌ی معادن اورانیوم و کاهش هزینه‌های معدنکاری، ساخته و مورد آزمایش قرار گرفت.

با اندازه‌گیری‌های میزان تشعشع در مجاورت پرکننده‌های بتنی و در ضخامت‌های مختلف مشخص شد که با افزایش ضخامت پرکننده‌های بتنی میزان تشعشع کلی کاهش می‌یابد. با ساخت پرکننده‌های بتنی با وزن مخصوص مختلف مشخص گردید که پرکننده‌های با وزن مخصوص بالا میزان تشعشع را با شدت بیشتری کاهش می‌دهند.

این امکان وجود دارد که بتوان اکثر باطله‌های استخراجی از معادن روباز و زیرزمینی ساغند و همچنین آب زهکشی شده از معدن زیرزمینی را در ترکیب پرکننده‌های بتنی برای پرکردن کارگاه‌های استخراج معدن زیرزمینی ساغند با نگرش زیست محیطی مورد استفاده قرار داد.

امکان کاهش هزینه‌های پرکردن و معدنکاری با استفاده از پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی نسبت به پرکردن با مصالح سنگی خشک و توده‌ای وجود دارد (حدود ۵۰ درصد). همچنین افزایش ایمنی معدن و افزایش راندمان تولید با این روش پرکردن وجود دارد.

با به کارگیری این روش پرکردن در کارگاه‌های استخراج، بازیابی بالای ۹۰ درصدی ذخیره معدنی از ذخیره برجا وجود دارد.

۵. فصل پنجم: نتیجه گیری و

شهادت

۵-۱- نتیجه‌گیری

با توجه به بررسی‌ها، تحقیق، آزمایش‌ها و تجزیه و تحلیل‌های صورت گرفته در این رساله، می‌توان بصورت زیر نتیجه‌گیری نمود:

پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی باعث افزایش بازیابی ماده معدنی اورانیوم در معادن زیرزمینی اورانیوم می‌شود به گونه‌ای 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.

پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی علاوه بر پایداری مطلوب حفريات زیرزمینی و کارگاه‌های استخراج، ایمنی کلی معادن زیرزمینی اورانیوم را نیز افزایش می‌دهند.

کل باطله‌های استخراجی از معادن روباز و زیرزمینی اورانیوم را می‌توان به عنوان مصالح سنگی در ترکیب پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی مجدداً در پرکردن فضاها و کارگاه‌های استخراجی زیرزمینی مورد استفاده قرارداد که این امر کمک بسیار زیادی به جلوگیری از پخش شدن باطله آلوده به اورانیوم نموده و توسعه پایدار معادن و ملاحظات زیست محیطی منطقه را مدنظر قرار می‌دهد.

آزمایش‌ها و تحلیل نتایج در این تحقیق نشان داد که با افزایش ضخامت پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی در مجاورت کانسنگ معدنی اورانیوم میزان نفوذ تشعشع و دز جذبی اشعه بطور قابل توجهی کاهش می‌یابد. به‌طوری که با رسیدن پرکننده به ضخامت ۱۵ سانتی‌متری، میزان تشعشع در مجاورت پرکننده بتنی به حدود یک دهم تشعشع اولیه خود می‌رسد و بعد از آن با شیب نسبتاً ملایم کاهش را طی می‌کند.

بررسی‌ها و آزمایش‌ها نشان داد که با افزایش وزن مخصوص پرکننده‌های بتنی با استفاده از مصالح سنگی همانند مگنتیت و باریت در طرح‌های اختلاط، قدرت پرکننده‌ها در برابر نفوذ تشعشع و دز جذبی نیز افزایش می‌یابد. طرح‌های اختلاط ساخته شد با باطله معدن زیرزمینی که حاوی مگنتیت

بوده و پرکننده‌های ساخته شده با مصالح سنگی باریت، میزان تشعشع را با شدت بالاتری کاهش می‌دهند.

نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری تک محوری نشان داد که استفاده از آب زهکشی شده‌ی آلوده به مواد رادیواکتیو از حفاریات 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 شده‌ی معدن نسبت به آب شرب مصرفی در پرکننده بتنی هیدرولیکی، هزینه‌ی تمام شده پرکننده بتنی را به شدت کاهش می‌دهد (کاهش حدود ۲۰۰۰۰۰ ریال در هر مترمکعب پرکننده بتنی هیدرولیکی).

استفاده از باطله‌های معادن روباز و زیرزمینی اورانیوم 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 (به دلیل هزینه پایین خردایش و دانه‌بندی باطله‌ها و امکان کاهش سیمان در این نوع پرکننده‌ها).

پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی ساخته شده با مصالح سنگی رودخانه‌ای در کاهش آلودگی‌های زیست محیطی تأثیری ندارند ولی استفاده از این نوع مصالح سنگی در ترکیب پرکننده‌های بتنی، مقاومت فشاری پرکننده بتنی را به شدت افزایش می‌دهد.

در پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی ساخته شده با ماسه رودخانه‌ای به دلیل ارائه مقاومت فشاری مطلوب، امکان کاهش سیمان تا ۲۰۰ و حتی ۱۷۵ کیلوگرم در هر مترمکعب پرکننده بتنی وجود دارد که این یکی از نکات بسیار مثبت استفاده از این نوع مصالح سنگی در ترکیب پرکننده بتنی و کاهش هزینه‌های پرکردن می‌باشد.

به دلیل وجود حجم بالایی از مصالح سنگی رودخانه‌ای در مجاور اکثر معادن زیرزمینی اورانیوم و امکان کاهش سیمان مصرفی در پرکننده‌های بتنی ساخته شده با این مصالح سنگی، هزینه تمام شده ساخت پرکننده بتنی هیدرولیکی در این حالت نسبت به پرکننده بتنی هیدرولیکی ساخته شده با مصالح سنگی ماسه شسته شده، به شدت کاهش می‌یابد (حدود ۶۰ درصد).

در معادن اورانیوم عیار بالا (بالای ۲ درصد) که کاهش تشعشع و دز جذبی اشعه کارگران معدن بسیار حائز اهمیت می‌باشد، استفاده از مصالح سنگی با وزن مخصوص بالا از قبیل مگنتیت و باریت و ... در ترکیب پرکننده‌های بتنی ضرورت دارد هرچند که ممکن است تا حدودی هزینه‌ی پرکننده بتنی هیدرولیکی نسبت به شرایط معمول افزایش پیدا کند.

با توجه به اینکه عرض تونل‌های استخراجی در روش استخراجی تونلی همراه با پرکردن حدود ۳ متر می‌باشد لذا با این ضخامت پرکننده بتنی، شرایط ایمنی از نظر کاهش میزان تشعشع و دز جذبی اشعه در کارگاه‌های استخراج معادن زیرزمینی اورانیوم مطلوب خواهد بود.

انجام آزمایش‌ها نشان داد که امکان جایگزینی بخشی از سیمان پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی با مصالحی همچون پوزولان، سرباره کوره ذوب و ماسه بادی وجود دارد. ولی استفاده از آهک به عنوان جایگزین بخشی از سیمان در ترکیب پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی تأثیر منفی بر روی مقاومت فشاری پرکننده داشته، لذا توصیه می‌شود از آهک در ترکیب پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی استفاده نشود.

با مقایسه فنی- اقتصادی پرکننده توده‌ای با مصالح سنگی خشک و پرکننده بتنی هیدرولیکی مشخص شد که هزینه تمام شده ساخت و اجرای هر مترمکعب پرکننده بتنی هیدرولیکی تقریباً نصف هزینه تمام شده ساخت و اجرای یک مترمکعب پرکننده توده‌ای با مصالح سنگی می‌باشد و همچنین از نظر زمان اجرا نیز پرکننده بتنی هیدرولیکی سرعت بالاتری داشته و برای حدود ۷۰ مترمکعب ماده پرکننده، زمان اجرا برای نوع بتنی هیدرولیکی حدود یک سوم در مقایسه با پرکننده توده‌ای با مصالح سنگی خشک می‌باشد.

۵-۲- پیشنهادات

با توجه به نتایج بدست آمده از انجام آزمایش‌ها، بررسی‌ها و تجزیه و تحلیل داده‌ها موارد زیر پیشنهاد می‌شود:

با توجه به اینکه پرکردن بتنی هیدرولیکی یکی از روش‌های پرکردن با راندمان تولید بالاست و به دلیل سرعت بالای اجرای این روش که باعث افزایش راندمان تولید معدن نیز می‌شود، پیشنهاد می‌شود در سایر معادن زیرزمینی کشور نیز از این روش پرکردن برای روش‌های استخراج کردن و پرکردن تونلی، اتاقی و ... استفاده شود.

پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی هزینه‌های معدنکاری را در مقایسه با سایر روش‌های پرکردن کاهش می‌دهد، لذا این روش سودآوری معادن را تا حدودی افزایش می‌دهد، پیشنهاد می‌شود در معادنی که سودآوری در مرز بوده است از این روش پرکردن استفاده شود.

از نتایج این تحقیق می‌توان در سایر معادن زیرزمینی اورانیوم کشور نیز استفاده نمود، تا حدود زیادی استفاده از این نوع مواد پرکننده، نگرانی‌های مربوط به پرتوگیری کارگران معدن را از بین می‌برد.

استفاده از باطله‌های آلوده معادن اورانیوم به عنوان مصالح سنگی در ترکیب پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی در اولویت قرار گیرد (ملاحظات زیست محیطی) و سپس مصالح رودخانه‌ای به عنوان اولویت دوم در ترکیب پرکننده‌های بتنی استفاده شود.

با توجه به اینکه معدنکاری اورانیوم در کشور ایران نوپا بوده و فضای تحقیق، پژوهش و نوآوری در این معادن همچنان وجود دارد، پیشنهاد می‌شود که ارتباط بین دانشگاه و این حوزه افزایش یابد.

٦. منابع و مراجع

دهقان س، (۱۳۹۱)، "تحلیل و مدلسازی عددی رفتار پایه‌های پرکننده سیمانه در روش استخراج کارگاه و پایه"، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی.

ربیعی گهر آ، (۱۳۸۰)، "تحلیل و تشریح مسائل طراحی سازه های بتن آرمه بر مبنای آیین نامه بتن ایران"، انتشارات روزبهان.

رمضانیان پور ع، (۱۳۸۶)، "دوام بتن با سیمانهای پوزولانی در شرایط آزمایشگاهی مشابه خلیج فارس"، انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

سازمان انرژی اتمی ایران، (۱۳۷۴)، "طرح مهندسی پایه معادن یک و دو منطقه معدنی ساغند"، معاونت مواد اولیه و سوخت هسته‌ای.

سازمان انرژی اتمی ایران، (۱۳۷۲)، "گزارش نهایی تخمین ذخیره ماده معدنی اورانیوم در زونهای معدنی شماره ۱ و ۲ ساغند"، مدیریت اکتشاف و استخراج.

شکرچی زاده م، (۱۳۸۸)، "روش ملی طرح مخلوط بتن"، دانشکده فنی دانشگاه تهران.

طاحونی ش، (۱۳۷۶)، "اصول مهندسی ژئوتکنیک"، جلد اول مکانیک خاک، ویرایش دوم، چاپ چهارم، انتشارات پارس آئین.

عطایی م، (۱۳۸۶)، "معدنکاری زیرزمینی"، چاپ دوم، جلد اول تا سوم، انتشارات سلسبیل.

قلیپورفیضی م و همکاران، (۱۳۹۴)، "آزمایش و ارزیابی خصوصیات مکانیکی بتن سنگین تهیه شده از سنگدانه‌های باریت، فصلنامه آنالیز سازه- زلزله دوره ۱۲، شماره ۱.

مالکی ک، (۱۳۷۰)، "تکنولوژی و دوام بتن"، انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

مخدوم ا، (۱۳۸۴)، "بررسی اثر ریزی سرباره کوره بلند آهن گدازی بر مقاومت فشاری و نفوذپذیری بتن‌های حجیم سدهای بتن غلتکی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

مرتضوی ع، (۱۳۹۱)، "تحلیل پایداری و طراحی ژئومکانیکی حفریات زیرزمینی اصلی معدن ۲ ساغند"، شرکت اکتشاف و تامین مواد اولیه صنعت هسته‌ای ایران.

مهاجری و همکاران، (۱۳۹۱)، "بررسی تأثیر شکل سنگدانه بر مقاومت فشاری بتن"، چهارمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران.

نیک گفتار م و همکاران، (۱۳۹۴)، "طراحی پایه بلوک ۷ معدن ساغند"، شرکت مهندسی اکتشاف و استخراج کانی‌های نوین پارس.

نیک گفتار م، (۱۳۹۱)، "بررسی فنی و اقتصادی پروژه معادن DRUM در آفریقای جنوبی"، شرکت اکتشاف و تامین مواد اولیه صنعت هسته ای ایران.

نیک گفتار م و همکاران، (۱۳۸۶)، "طراحی و برنامه ریزی تولید معدن روباز ساغند"، شرکت مهندسی اکتشاف و استخراج کانیهای نوین پارس.

- نیک گفتار م، (۱۳۸۲)، "طراحی تهویه معدن ۲ ساغند از آماده سازی تا بهره برداری"، مجتمع معدنی اورانیوم ساغند، سازمان انرژی اتمی ایران.
- وزارت صنعت معدن و تجارت، (۱۳۹۴)، "دستورالعمل پرکردن کارگاههای استخراج معادن زیرزمینی"، انتشارات نظام مهندسی معدن.
- ولی پور م و همکاران، (۱۳۸۹)، "بررسی امکان سنجی استفاده از پوزولان طبیعی جهت اصلاح الگوی مصرف سیمان و بهبود دوام بتن در شرایط محیطی خلیج فارس"، دومین کنفرانس ملی بتن ایران.
- هارتمن هوارد ال، (۱۳۸۱)، "اصول مهندسی معدن"، انتشارات دانشگاه صنایع و معادن ایران.
- Ahmad, S., & Mahmood, S. (2008). "Effects of crushed and natural sand on the properties of fresh and hardened concrete". In 33rd Conference on Our World In Concrete & Structures, Singapore (pp. 25-27).
- Belem, T., & Benzaazoua, M. (2008). "Design and application of underground mine paste backfill technology". *Geotechnical and Geological Engineering*, 26(2), 147-174.
- Bronkhorst, A., Gregory, D., (2015), "Technical Report, Cigar Lake Operation". Northern Saskatchewan, Canada.
- De Souza, E., Archibald, J. F. (2009), "The Engineering Performance of Glass Based Binders in Mine Backfill".
- De Souza, E., Archibald, J. F. (2004), "the engineering performance of glass based binder in mine backfill". Queens university Kingston, Ontario, Canada.
- De Souza, E., Archibald, J. F., & Dirige, A. P. E. (2003). "Economics and perspectives of underground backfill practices in Canadian mining". In 105th Annual General Meeting of the Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum. Montreal.
- Feng, X., Zhang, N., Gong, L., Xue, F., & Zheng, X. (2015). "Application of a backfilling method in coal mining to realise an ecologically sensitive "Black Gold" industry". *Energies*, 8(5), 3628-3639.
- Ghirian, A., & Fall, M. (2017). "Properties of Cemented Paste Backfill. In *Paste Tailings Management*". Springer, Cham (pp. 59-109).
- Grice, T., (1998), "Underground Mining Fill Development in Australia". Proceedings of the 7th International Mining and Metallurgy, Montreal, Que.
- Hassani, F., & Archibald, J. (1998), "Mine Backfill". CIM Conference Proceedings, Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Montreal, Que.
- Howladar, M. F., & Karim, M. M. (2015). "The selection of backfill materials for Barapukuria underground coal mine, Dinajpur, Bangladesh: insight from the assessments of engineering properties of some selective materials". *Environmental Earth Sciences*, 73(10), 6153-6165.
- Huang, X., (1994), "An Integrated Decision Support System for Backfill Design".

- PHD.thesis McGill University.pp.262.
- IAEA (International Atomic Energy Agency), (2016), "Uranium Resources, Production and Demand".
- IAEA (International Atomic Energy Agency), (2001), "Manual of acid in situ leach uranium mining technology".
- IAEA (International Atomic Energy Agency), (2000), "Methods of exploitation of different types uranium deposits".
- Jian-ming, Z., Zhong-wen, M., Jin-hai, X., & Ji-nan, W. (2011). "Research on the technology of filling and repeated mining in thick coal seam affected by small mine gob area". *Procedia Engineering*, 26, 1150-1156.
- Krupnik, L. A., Shaposhnik, Y. N., Shaposhnik, S. N., & Tursunbaeva, A. K. (2013). Backfilling technology in Kazakhstan mines. *Journal of Mining Science*, 49(1), 82-89.
- Leslie D., Alain G., Gregory d., (2016), Technical Report, "McArthur River Operation".Northern Saskatchewan,Canada.
- Mishra, M. K., & Karanam, U. R. (2006). "Geotechnical characterization of fly ash composites for backfilling mine voids". *Geotechnical & Geological Engineering*, 24(6), 1749-1765.
- Petrolito, J., Anderson, R. M., & Pigdon, S. P. (2005). "A review of binder materials used in stabilized backfills". *CIM Bulletin*, 98(1085), 1-7.
- Potvin, Y, Thomas, EG, Fourie, A, (2005), "Handbook of Mine Backfill", Australian Centre for Geomechanics. p.p 179.
- Rankine, K., & Rankine, R. (2006). "Permeability of hydraulic fills and barricade bricks". *Geotechnical & Geological Engineering*, 24(3), 661-673.
- Rankine, K. J., Sivakugan, N., & Cowling, R. (2006). "Emplaced geotechnical characteristics of hydraulic fills in a number of Australian mines". *Geotechnical & Geological Engineering*, 24(1), 1-14.
- Sahu, P., Mishra, D. P., & Panigrahi, D. C. (2015). "Emanation of radon in underground uranium mines-an overview". *Journal of Mines, Metals and fuels*, 63(3), 45-49.
- Sahu, P., Panigrahi, D. C., & Mishra, D. P. (2015). "Evaluation of effect of ventilation on radon concentration and occupational exposure to radon daughters in low ore grade underground uranium mine". *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 303(3), 1933-1941.
- Sahu, P., Panigrahi, D. C., & Mishra, D. P. (2014). Sources of radon and its measurement techniques in underground uranium mines—an overview. *Journal of Sustainable Mining*, 13(3), 11-18.
- Sakoda, A., Ishimori, Y., & Yamaoka, K. (2011), "A comprehensive review of radon emanation measurements for mineral, rock, soil, mill tailing and fly ash". *Applied*

- Radiation and Isotopes, 69(10), 1422–1435.
- Saw, H., Prentice, S., & Villaescusa, E. (2011). "Characterisation of cemented rock fill materials for the Cosmos nickel mine, Western Australia". In International RILEM Conference on Advances in Construction Materials Through Science and Engineering (pp. 907-914).
- Saw, H., & Villaescusa, E. (2013). "GEOTECHNICAL PROPERTIES OF MINE FILL". RPS-SEAGC.
- Sivakugan, N., Veenstra, R., & Naguleswaran, N. (2015). "Underground mine backfilling in Australia using paste fills and hydraulic fills". International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering, 1(2), 18.
- Vennes, I. (2014). "Determination of Cemented Rockfill Strength with Large Scale UCS Tests under In-Situ Conditions". A thesis submitted to McGill University in partial fulfillment of the requirements of the degree of Master of Engineering.

Abstract

In order to maximize recovery in underground uranium mines, to reduce the radiation absorption level of mine workers, to minimize environmental hazards, and to reduce of overall mining costs primitive safety and operational measures must be taken. One way to achieve this is to employ backfilling of excavated stopes with hydraulic concrete fillers in particular in the tunnel cut and fill method. Backfill is a material which is used to fill out the excavated cavities in underground environment to ensure the safety of mining operations. The hydraulic concrete filling method used in underground uranium mines not only enhances the in-situ ore recovery, but also leads to a reduction in the level of absorbed radiation ,from uranium ore, by mine workers.

Series of experiments of radiation level were carried out on concrete hydraulic fillers, with varying mix design, to be used as backfill in underground environment. The test results show a significant reduction in absorbed radiation level as a function of backfill thickness and density. Moreover, it was shown in this study that in underground uranium mines, the excavated waste material and the polluted drained underground water can be used in the mix design of hydraulic concrete fillers and significantly reduce filling costs and environmental hazards. Additionally, the overall operating costs per cubic meter of backfill were determined for various mix designs and each mix design was evaluated in terms of geomechanical characteristics (28 day strength, stiffness, etc.) and mechanical parameters affecting backfill stability. Comparing the results, the most suitable mix design in terms of mechanical behaviour (strength, stiffness, etc.), absorption level of radiation, and overall operating costs were determined and recommended for use in underground uranium mines as backfill material.

Keywords: Uranium Mine Waste, Hydraulic Concrete Filler, Radiation, Economic Problems, Environmental Contamination, Mixing Pla



Shahrood University of Technology

Kharazmi International Campus

Ph.D. Thesis in Mineral Exploitation

**Provide an appropriate mixing plan for hydraulic concrete
filler to fill underground uranium mines**

By: Mohammadreza Nikgoftar

Supervisors:

Dr. Mohammad Ataei

Dr. Reza Khalo Kakaie

Advisor:

Dr. Mohammadreza Rezvanian Zadeh

July 2018