

## ارائه طرح اختلاط مناسب پرکننده بتنی هیدرولیکی در پر کردن معادن اورانیوم

محمد رضا نیک گفتار \*

دانشجوی دکتری استخراج معدن، دانشگاه صنعتی شاهرود

محمد عطایی

استاد تمام دانشگاه صنعتی شاهرود

رضا کاکایی

استاد تمام دانشگاه صنعتی شاهرود

محمد رضا رضوانیان زاده

استادیار پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای

### 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، پر کردن فضاهای استخراجی با پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی به خصوص در روش استخراج کندن و پر کردن تونلی است. در این تحقیق سعی شده است بصورت جامع با نگرش‌های ذکر شده در فوق، مناسب‌ترین طرح اختلاط پرکننده بتنی هیدرولیکی انتخاب شود. برای انجام این تحقیق در مقیاس آزمایشگاهی طرح‌های اختلاط پرکننده بتنی هیدرولیکی با چهار نوع مصالح سنگی باطله‌های معادن اورانیوم، ماسه رودخانه‌ای، ماسه شسته شده و ماسه باریت، ساخته شد و نمونه‌هایی از این طرح‌های اختلاط برای آزمایش مقاومت فشاری تک محوری گرفته شد. همچنین علاوه بر محاسبه هزینه تمام شده ساخت هر طرح اختلاط، از پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی ساخته شده در ضخامت‌های مختلف در مجاورت کانسنگ اورانیوم جهت اندازه‌گیری میزان تشعشع ریخته شد. آزمایش‌ها و برداشت‌های میزان تشعشع برای طرح‌های اختلاط-پرکننده بتنی هیدرولیکی در ضخامت‌های مختلف انجام شد. نتایج نشان داد که با افزایش ضخامت پرکننده بتنی، میزان تشعشع به شدت کاهش پیدا می‌کند. همچنین این امر 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 مورد استفاده قرار داد. این امر علاوه بر کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی، هزینه‌های پر کردن را نیز کاهش می‌دهد.

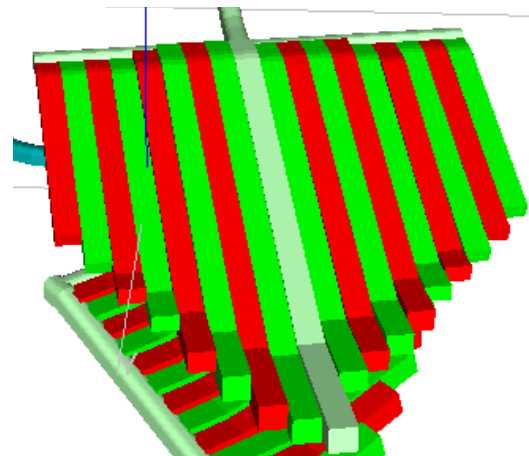
واژه‌های کلیدی: باطله معادن اورانیوم، آلودگی زیست محیطی، پرکننده بتنی هیدرولیکی، تشعشع، مسائل اقتصادی.

\* نویسنده مسئول: mnikgoftar@yahoo.com

## ۱- مقدمه

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 استخراج جانمایی می‌شود. دلایل متعددی برای پر کردن فضاهای زیرزمینی ایجاد شده از معدنکاری وجود دارد که در محدوده وسیعی از قبیل فراهم کردن یک نگهدارنده منطقه‌ای تا دفن باطله متغیر است. مطالعات آماری انجام شده نشان می‌دهد که بهبود پایداری کمربالا و افزایش ضریب بازیابی ماده معدنی مهمترین دلایل برای کاربرد سیستم پر کردن در معادن است. از دیگر اهداف قابل ذکر و مهم می‌توان به کنترل ترقیق و نگهداری منطقه اشاره کرد. علاوه بر این مواردی نظیر بهبود تهویه، کنترل آتش سوزی، محافظت از محیط زیست و غیره را می‌توان از سایر اهداف استفاده از مواد پرکننده دانست [۱].

یکی از روش‌های پر کردن که نسبت به سایر روش‌ها دارای راندمان تولید بالایی می‌باشد، روش پر کردن بتنی هیدرولیکی است. در این تحقیق به مزایای این روش پر کردن در معادن زیرزمینی اورانیوم پرداخته می‌شود. در شکل ۱ نمایی سه بعدی یکی از کارگاه‌های استخراج روش کندن و پر کردن تونلی ارائه شده است. ابتدا تونل‌های سبز رنگ استخراج و پر شده و در مرحله بعد پایه‌های قرمز رنگ به جای مانده نیز استخراج می‌شود.



شکل ۱- نمای سه بعدی از روش استخراج تونلی و پر کردن

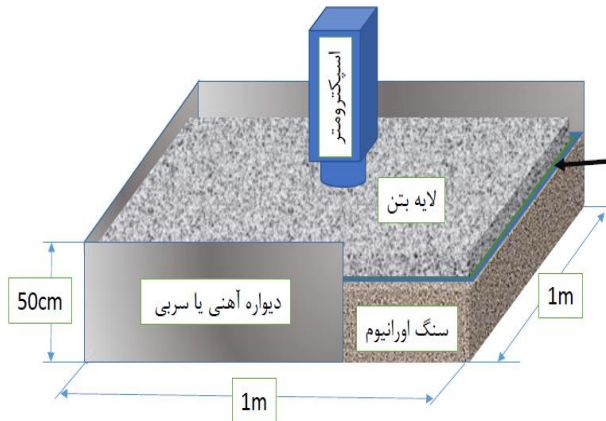
روش‌های پر کردن در بعضی از روش‌های معدنکاری زیرزمینی از جمله روش کندن و پر کردن، کندن و پر کردن تونلی و غیره در راستای افزایش بازیابی ذخیره معدنی به کار می‌رود در معادن اورانیوم با توجه به استراتژیک بودن این نوع ذخیره معدنی و خطرات تشعشع، روش‌های پر کردن موضوعیت بیشتری پیدا می‌کند. به همین دلیل روش پر کردن و طرح اختلاط مناسب پرکننده بتنی هیدرولیکی یکی از پارامترهای مهمی است که در راستای کاهش هزینه‌های معدنکاری، افزایش بازیابی ماده معدنی، کاهش دز جذبی اشعه کارگران معدن و ملاحظات زیست محیطی باید مدنظر قرار گیرد. در سال‌های اخیر کارهای پژوهشی و مقالات زیادی در خصوص روش‌های پر کردن معادن زیرزمینی و فضاهای استخراجی و ترکیب مصالح مورد استفاده در پرکننده‌ها، صورت گرفته است. ساو<sup>۱</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۲ بر روی خواص ژئوتکنیکی پرکننده‌های معدن که در ده سال اخیر در معادن استرالیا مورد استفاده قرار می‌گیرند، بحث نموده است [۲]. فنگ<sup>۲</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۵ با توجه به پدیده نشست در معادن زیرزمینی زغال سنگ کشور چین، بحث پر کردن خمیری را مطرح نمودند [۳]. گریس<sup>۳</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۵، کاربرد پرکننده‌های هیدرولیکی سیمانی و خمیری را در پر کردن حفرات بزرگ در معادن زیرزمینی استرالیا، تاکید نموده‌اند و این امر بیشتر با هدف پایداری فضاهای زیرزمینی و کارگاه‌های استخراج بوده است [۴]. اما در همه تحقیق‌ها و مطالعه‌ها به صورت یکپارچه، از تمام جنبه‌ها به مزایا و اهداف پر کردن توجه نشده است. در اکثر پژوهش‌های صورت گرفته از پر کردن برای پایداری حفريات زیرزمینی و کارگاه‌های استخراج معادن ذکر شده است [۵]. در بعضی از مطالعات علاوه بر پایداری فضاهای زیرزمینی به افزایش بازیابی ماده معدنی نیز پرداخته شده است [۶]. در بعضی مقالات و کارهای انجام شده به بحث نشست اشاره شده است، زیرا با افزایش عمق ذخایر معدنی از قبیل زغالسنگ 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 [۷]. ولی در همه مطالعات انجام شده به صورت جامع از

3. Grice

1. Saw

2. Feng

اورانیوم را پوشش می‌دهد، با ابعاد ذکر شده انتخاب شده است. در شکل ۱ تصویری شماتیک از نحوه انجام تحقیق در مورد اندازه-گیری میزان پرتوزایی ارائه شده است [۱۱].

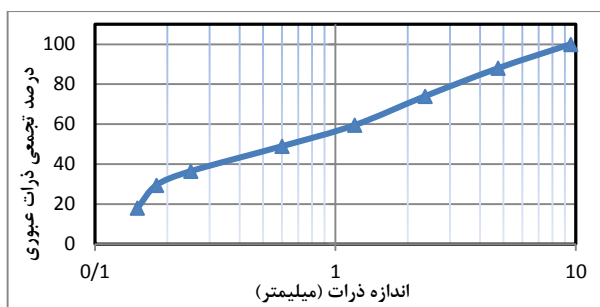


شکل ۲- تصویری شماتیک از آزمایش‌ها و اندازه‌گیری تشعشع

برای هر نوع مصالح سنگی اختلاط‌های مختلفی بسته به میزان سیمان، سایر مواد چسباننده و نوع آب مصرفی در راستای کاهش هزینه‌های پرتوزایی، کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی و دستیابی به مقاومت فشاری مدنظر ساخته شده است. در ادامه هزینه تمام شده ساخت هر طرح اختلاط نیز محاسبه شده است [۱۱].

## ۲-۱- پرکننده‌های ساخته شده با ماسه رودخانه‌ای

در این طرح‌های اختلاط از مصالح رودخانه‌ای مجاور معدن ساغند یزد استفاده شده است. در نمودار شکل ۳ نتایج آنالیز سرنندی ماسه رودخانه‌ای ترسیم شده است.



شکل ۳- نتایج آنالیز سرنندی ماسه رودخانه‌ای

در شکل ۴ تصویری از نمونه‌های مکعبی گرفته شده برای انجام آزمایش‌های مقاومت فشاری تک محوره‌ی پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی نشان داده شده است.

جنبه‌های اقتصادی، زیست محیطی و کاهش دز جذبی اشعه کارگران معدن به اهداف پرتوزایی اشاره نشده است.

در کشور ایران که میزان ذخایر اورانیوم نسبتاً کم و دارای عیار پایین تا متوسط می‌باشد لذا نیاز است که تا حد امکان میزان بازیابی ذخیره معدنی افزایش یافته و هزینه‌های معدنکاری و همچنین آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از مواد رادیواکتیو به حداقل برسد. با پرتوزایی بتنی هیدرولیکی در معادن زیرزمینی اورانیوم تا حد بسیار زیادی موارد ذکر شده محقق می‌شود که در ادامه مقاله جزئیات آن ارائه شده است [۸ و ۹].

## ۲-۲ داده‌ها و روش تحقیق

در این تحقیق در راستای کاهش اشعه جذبی کارگران معدن زیرزمینی اورانیوم، کاهش هزینه‌ها، مکانیزه نمودن پرتوزایی و کاهش آلودگی‌های سطحی ناشی از دپوی باطله‌های استخراجی و آب زهکشی شده معدن روباز و زیرزمینی اورانیوم طرح‌های اختلاط مختلفی برای پرکننده بتنی هیدرولیکی ساخته شد. نمونه‌هایی از این طرح‌های اختلاط برای تست مقاومت فشاری تک محوری ۲۸ روزه و اندازه‌گیری میزان تشعشع در سطح پرکننده‌های بتنی ریخته شده در مجاورت کانسنگ معدنی، گرفته شد [۱۰]. 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 سنگ باریت استفاده شده است. همچنین در طرح‌های اختلاط از آب معمولی و آب زهکشی شده از معدن که آلوده به مواد رادیواکتیو می‌باشد، استفاده 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 سانتی‌متر از داخل محفظه با کانسنگ اورانیوم پر شد. در ادامه پرکننده‌های بتنی ساخته شده با مصالح سنگی مختلف در ضخامت‌های متغیّر، در مجاورت کانسنگ اورانیوم در داخل محفظه مکعبی شکل ریخته شد و بعد از رسیدن بتن به مقاومت اولیه در هر ضخامت پرکننده، میزان تشعشع کلی (مجموع اشعه‌های آلفا، بتا و گاما) در سطح پرکننده بتنی اندازه‌گیری شد. ابعاد محفظه فلزی به دلیل اینکه دستگاه اسپکترومتر (دستگاه اندازه‌گیری میزان تشعشع) تا یک متر مربع از سطح پیرامونی و عمق ۳۰ سانتی‌متر از میزان تشعشع کانسنگ

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. همچنین برای انتقال مکانیزه پرکننده بتنی ساخته شده از سطح زمین به ابتدای ترازهای معدن و پمپ آن از ابتدای ترازها به داخل کارگاه-های 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. در شکل ۶ تصویری از آزمایش اسلامپ یکی از طرح‌های اختلاط نشان داده شده است.



شکل ۴- نمونه‌های مکعبی گرفته شده از پرکننده بتنی هیدرولیکی برای آزمایش مقاومت فشاری

در شکل ۵ تصویری از انجام آزمایش مقاومت فشاری تک محوره ۲۸ روزه نمونه ساخته شده با مصالح رودخانه‌ای نشان داده شده است.



شکل ۶- تصویری از انجام آزمایش اسلامپ پرکننده بتنی

در جدول ۱ کلیه طرح‌های اختلاط پرکننده‌های بتنی ساخته شده با مصالح رودخانه‌ای با میزان سیمان متغیر و سایر مواد چسباننده جایگزین سیمان، ارائه شده است. از این طرح‌های اختلاط پیداست که پرکننده‌های ساخته شده با مصالح رودخانه‌ای دارای مقاومت فشاری بالایی بوده و با توجه به اینکه آستانه مقاومت مورد نیاز برای پرکننده‌های معدن برابر ۵ مگاپاسکال است، لذا امکان کاهش سیمان در راستای کاهش هزینه‌های معدنکاری در این طرح‌های اختلاط وجود دارد [۱۲]. با توجه به نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری تک محوره مشاهده می‌شود که می‌توان با میزان سیمان ۲۰۰ کیلوگرم در هر متر مکعب پرکننده بتنی هم به مقاومت فشاری مدنظر رسید، که این امر تأثیر بسزایی در کاهش هزینه‌های پرکردن و معدنکاری دارد (کاهش سیمان از ۳۸۱ کیلوگرم به ۲۰۰ کیلوگرم).



شکل ۵- تصویری از دستگاه آزمایش مقاومت فشاری تک محوره و شکست نمونه در آن

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

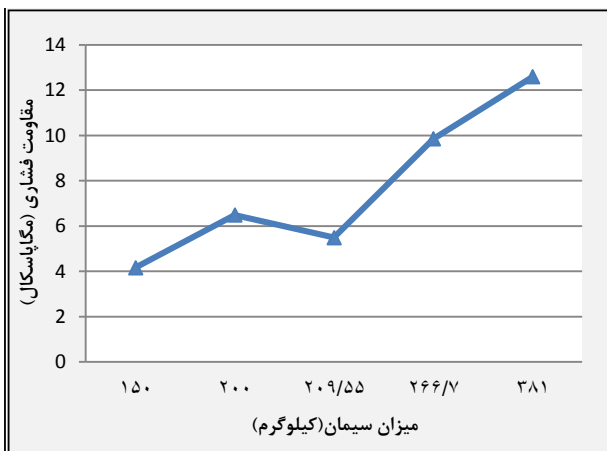
در اختلاط‌های ساخته شده با مصالح رودخانه‌ای هدف اصلی کاهش هزینه‌های پرکردن و معدنکاری می‌باشد که در این راستا

جدول ۱- طرح اختلاط‌های پرکننده بتنی هیدرولیکی ساخته شده با مصالح سنگی رودخانه‌ای

ردیف	طرح اختلاط	مصالح سنگی (کیلوگرم)	مقدار سیمان (کیلوگرم)	سایر مواد چسباننده (کیلوگرم)	حجم آب (لیتر)	مقاومت ۲۸ روزه (مگاپاسکال)	هزینه هر مترمکعب پرکننده بتنی در سال ۱۳۹۶ (ریال)
۱	ماسه رودخانه‌ای + سیمان + آب زهکشی شده‌ی معدن	۱۶۱۷	۳۸۱	۰	۴۰۰	۱۲/۵۹	۶۳۸۷۷۶
۲	ماسه رودخانه‌ای + سیمان + ماسه بادی + آب زهکشی شده‌ی معدن	۱۶۱۷	۲۶۶/۷	۱۱۴/۳	۳۹۲/۵	۸/۵۷	۶۵۵۱۸۲
۳	ماسه رودخانه‌ای + سیمان + آب زهکشی شده‌ی معدن	۱۸۰۰	۲۰۰	۰	۳۴۰	۶/۷۴	۳۸۰۰۰۰
۴	ماسه رودخانه‌ای + سیمان + ماسه بادی + آب زهکشی شده‌ی معدن	۱۶۱۷	۲۰۹/۵۵	۱۷۱/۴۵	۳۸۸/۶	۵/۴۹	۳۹۲۶۴۹
۵	ماسه رودخانه‌ای + سیمان + آب معدن	۱۸۴۲	۱۵۰	۰	۳۱۸	۴/۱۶	مقاومت زیرحد مجاز می‌باشد
۶	ماسه رودخانه‌ای + سیمان + سرباره کوره ذوب + آب زهکشی شده‌ی معدن	۱۶۱۷	۲۶۶/۷	۱۱۴/۳	۳۹۲/۵	۹/۸۵	۵۱۹۰۸۱
۷	ماسه رودخانه‌ای + سیمان پوزولانی + آب زهکشی شده‌ی معدن	۱۸۰۰	۲۰۰	۰	۳۴۰	۶/۴۹	۳۷۲۵۶۰

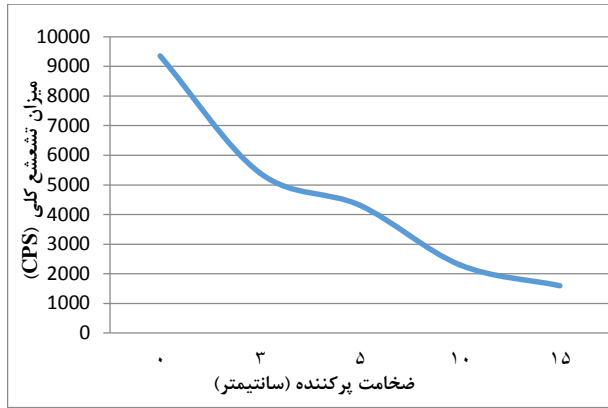
برای اندازه‌گیری میزان تشعشع کلی ساطع شده از کانسنگ اورانیوم در مجاورت پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی، یک طرح اختلاط شاخص از این نوع مصالح سنگی (ردیف ۱ جدول ۱) انتخاب شد و آزمایش‌های مربوط به پرتوزایی در ضخامت‌های ۳، ۵، ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متری پرکننده بتنی در مجاورت کانسنگ اورانیوم مطابق شکل ۸ انجام شد.

استفاده از آب زهکشی شده‌ی معدن در اختلاط پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی، نیز باعث کاهش هزینه تمام شده پرکننده بتنی هیدرولیکی می‌شود به گونه‌ای که در طرح اختلاط ردیف ۷ جدول ۲ هزینه پرکننده به حدود ۳۷۰۰۰۰ ریال می‌رسد و این امر باعث کاهش شدید هزینه‌های پرکردن و معدنکاری می‌شود (از ۸۵۰۰۰۰ ریال در طرح‌های اولیه به ۳۷۰۰۰۰ ریال در این طرح اختلاط).



شکل ۷- رابطه مقاومت فشاری ۲۸ روزه پرکننده بتنی با میزان سیمان آن

به طور کلی با توجه به نوع مصالح سنگی مورد استفاده در اختلاط پرکننده‌های بتنی مشخص است که با افزایش میزان سیمان، مقاومت پرکننده بتنی هیدرولیکی افزایش می‌یابد و این موضوع در پرکننده‌های بتنی ساخته شده با مصالح رودخانه‌ای محسوس‌تر می‌باشد. در نمودار شکل ۷ نیز این موضوع نشان داده شده است. همچنین در راستای کاهش هزینه پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی از مواد چسباننده جایگزین سیمان در بعضی از طرح‌های اختلاط استفاده شده است که از این میان 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.



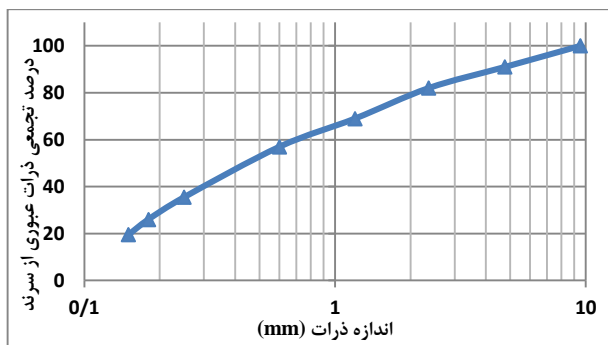
شکل ۹- تغییرات میزان تشعشع در سطح پرکننده بتنی



شکل ۸- تصویری از انجام آزمایش پرتوزایی

## ۲-۲- پرکننده‌های بتنی ساخته شده با باطله معادن اورانیوم

در این طرح‌های اختلاط از باطله معدن زیرزمینی که عمدتاً از جنس تالک، سرپانتین و مگنتیت و باطله معدن روباز که از سنگ-های آهک، ژیس و مگنتیت تشکیل شده، استفاده شده است. با انجام آزمایش‌ها و اندازه‌گیری مقاومت فشاری ۲۸ روزه تک محوره، در اختلاط‌هایی که مقاومت فشاری بالا بوده، میزان سیمان را کاهش داده و یا با سایر مواد چسباننده از قبیل سرباره کوره ذوب، سنگ آهک، پوزولان و ماسه بادی که قیمت بسیار پایین-تری نسبت به سیمان دارند جایگزین شده است. همچنین طرح‌های اختلاط در راستای بهینه‌سازی محیط زیست محدوده معدن با هدف حداکثری استفاده از باطله‌های معدن، ساخته شده است. در شکل ۱۰ نتایج آنالیز سرنبدی ماسه متشکل از باطله معدن نشان داده شده است.



شکل ۱۰- نتایج آنالیز سرنبدی ماسه متشکل از باطله معدن

جزئیات طرح‌های اختلاط ساخته شده با باطله‌های معادن روباز و زیرزمینی اورانیوم در جدول ۳ ارائه شده است. باطله‌های

نتایج اندازه‌گیری‌های میزان تشعشع کلی ساطع شده از کانسنگ اورانیوم (مجموع اشعه‌های آلفا، بتا و گاما) در مجاورت پرکننده-های بتنی در جدول ۲ ارائه شده است. لازم به ذکر است که اشعه‌های ساطع شده از کانسنگ اورانیوم در معادن شامل اشعه‌های آلفا، بتا و گاما بوده و دستگاه اندازه‌گیری میزان تشعشع کلی، دستگاه اسپکترومتر می‌باشد. واحد تشعشع تعداد کانت یا تعداد شمارش در هر ثانیه می‌باشد (CPS).

جدول ۲- نتایج حاصل از آزمایش پرتوزایی پرکننده بتنی

میزان تشعشع کلی	وضعیت پوشش پرکننده بتنی	ردیف
(تعداد کانت در هر ثانیه)		
۹۳۶۰	بدون پوشش	۱
۵۳۹۹	با ضخامت ۳cm پرکننده بتنی	۲
۴۳۰۹	با ضخامت ۵cm پرکننده بتنی	۳
۲۳۰۱	با ضخامت ۱۰cm پرکننده بتنی	۴
۱۵۹۳	با ضخامت ۱۵cm پرکننده بتنی	۵

در شکل ۹ نیز نمودار تغییرات میزان تشعشع کلی از کانسنگ اورانیوم برای اختلاط شاخص پرکننده بتنی هیدرولیکی ساخته شده با مصالح سنگی رودخانه‌ای ترسیم شده است. از نمودار و نتایج جدول ۲ مشاهده می‌شود که با افزایش ضخامت پرکننده بتنی هیدرولیکی در مجاورت کانسنگ اورانیوم، میزان تشعشع کلی کاهش می‌یابد. در ضخامت ۱۵ سانتی‌متری پرکننده بتنی، میزان تشعشع به حد مجاز ۱۳۰۰ شمارش در هر ثانیه نزدیک می‌شود.

استخراجی معادن اورانیوم در سطح زمین و در مجاورت معدن دپو هیچگونه هزینه حمل در اختلاط پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی شده‌اند که بعد از مراحل خردایش و دانه‌بندی به راحتی و بدون قابل استفاده می‌باشند.

جدول ۳- طرح اختلاط‌های پرکننده بتنی هیدرولیکی ساخته شده از باطله معادن روباز و زیرزمینی اورانیوم

ردیف	طرح اختلاط	مصالح سنگی (کیلوگرم)	مقدار سیمان (کیلوگرم)	سایر مواد چسباننده (کیلوگرم)	حجم آب (لیتر)	مقاومت ۲۸ روزه (مگاپاسکال)	هزینه تمام شده هر مترمکعب پرکننده بتنی در سال ۱۳۹۶ (ریال)
۱	باطله معدن زیرزمینی + سیمان + آب معمولی	۱۶۱۷	۳۸۱	۰	۴۰۹/۳	۹/۴	۸۲۰۰۲۸
۲	باطله معدن زیرزمینی + سیمان + آب زهکشی شده‌ی معدن	۱۶۱۷	۳۸۱	۰	۴۰۹/۳	۹/۵۸	۶۵۵۱۸۲
۳	باطله معدن زیرزمینی + سیمان + سرباره مذاب + آب معمولی	۱۶۱۷	۲۶۶/۷	۱۱۴/۳	۴۰۰	۷/۳	۶۹۶۵۸۷
۴	باطله معدن زیرزمینی + سیمان + آب زهکشی شده‌ی معدن	۱۷۰۰	۲۵۰	۰	۳۴۰	۷	۴۶۶۴۱۰
۵	باطله معدن روباز + سیمان + آب معمولی	۱۶۱۷	۳۸۱	۰	۵۳۳/۷	۶/۴۴	۸۷۸۳۳۳
۶	باطله معدن روباز + باطله معدن زیرزمینی + آهک + سیمان + آب زهکشی شده‌ی معدن	۱۶۱۷	۲۸۵/۷۵	۹۵/۲۵	۵۱۰	۵/۱۷	۶۳۳۶۵۸
۷	باطله معدن روباز + باطله معدن زیرزمینی + سیمان + آب زهکشی شده‌ی معدن	۱۷۰۰	۲۵۰	۰	۳۹۶	۵/۱۹	۴۷۵۰۳۴

از جدول ۳ 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

در ردیف ۷ جدول ۳ مشخص است که با ترکیب باطله‌های معادن روباز و زیرزمینی در طرح اختلاط علاوه بر مصرف کل باطله‌ها و آب زهکشی شده‌ی معدن در راستای کاهش آلودگی‌های زیست محیطی، با کاهش میزان سیمان هزینه‌های پرکردن نیز به شدت کاهش می‌یابد.

برای اندازه‌گیری میزان تشعشع کلی ساطع شده از کانسنگ اورانیوم یک طرح اختلاط شاخص از پرکننده‌های ساخته شده با این نوع مصالح سنگی (ردیف ۱ جدول ۳) انتخاب شد که نتایج اندازه‌گیری‌های میزان تشعشع کلی در جدول ۴ ارائه شده است.

همچنین با استفاده از باطله و آب زهکشی شده‌ی معدن در اختلاط پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی می‌توان علاوه بر پایداری حفاریات، هزینه‌های پرکردن را نیز کاهش داد.

کاهش میزان سیمان و افزودن مواد چسباننده ارزان به جای سیمان از قبیل ماسه بادی و سرباره کوره ذوب نیز از دلایل دیگر کاهش هزینه‌های پرکردن و معدنکاری می‌شود. از مقاومت فشاری تک محوری طرح‌های اختلاط پرکننده‌ها پیداست، که امکان کاهش سیمان در این طرح‌های اختلاط نیز وجود دارد و کم هزینه‌ترین طرح مربوط به طرح

جدول ۴- نتایج حاصل از آزمایش پرتوزایی

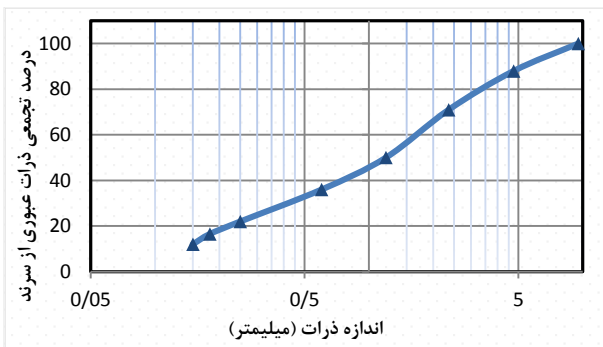
ردیف	وضعیت پوشش پرکننده بتنی	میزان تشعشع کلی (تعداد کانت در ثانیه)
۱	بدون پوشش (سطح کانسنگ اورانیوم)	۹۳۶۰
۲	با ضخامت ۳cm بتن پرکننده	۴۸۶۳
۳	با ضخامت ۵cm بتن پرکننده	۳۱۳۷
۴	با ضخامت ۱۰cm بتن پرکننده	۱۸۸۹
۵	با ضخامت ۱۵cm بتن پرکننده	۱۳۲۵

پرکننده بتوان بصورت مکانیزه پرکننده بتنی را به حفاریات معدن و کارگاه‌های استخراج انتقال داد. در جدول ۵ جزئیات طرح‌های اختلاط ساخته شده با ماسه شسته که قابلیت اجرایی برای انتقال به حفاریات را نیز دارند، همراه با مقاومت فشاری تک محوره و هزینه تمام شده‌ی ساخت آن ارائه شده است.

اختلاط‌هایی از پرکننده ساخته شده با مصالح ماسه شسته که میزان سیمان طرح اختلاط کمتر از ۲۶۵ کیلوگرم باشد عملاً از نظر اجرایی و پمپ به داخل حفاریات امکان پذیر نبوده، مگر اینکه جایگزین سیمان موادی نظیر سرباره کوره ذوب باشد که خیلی ریز دانه بوده و در انتقال مکانیزه پرکننده کمک می‌کند.

از مقادیر جدول ۵ مشخص است که طرح‌های اختلاط ردیف ۱ تا ۳ جدول ۵ از نظر اجرایی برای پرکردن معادن زیرزمینی اورانیوم امکان پذیر بوده، ولی اختلاط پرکننده ردیف ۴ با توجه به مقاومت فشاری ۲۸ روزه زیر ۵ مگاپاسکال از نظر پایداری مناسب پرکردن حفاریات و کارگاه‌های استخراج معدن نمی‌باشد.

در شکل ۱۲ نتایج آنالیز سرنندی ماسه شسته شده ارائه شده است. طرح‌های اختلاط مورد قبول از نظر مقاومت فشاری در این گروه مصالح سنگی با توجه به مصرف بالای سیمان و هزینه بالای ماسه شسته نسبت به طرح‌های اختلاط ساخته شده با سایر مصالح سنگی ذکر شده، هزینه تمام شده بالاتری دارند و این امر سبب افزایش هزینه‌های معدنکاری می‌گردد.

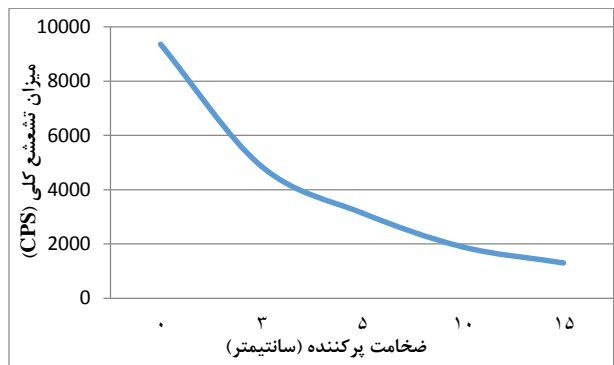


شکل ۱۲- نتایج آنالیز سرنندی ماسه شسته شده

با توجه به اینکه اندازه‌گیری‌های میزان پرتوزایی برای یک طرح اختلاط شاخص پرکننده بتنی ساخته شده با مصالح ماسه شسته، تفاوت زیادی با مصالح رودخانه‌ای از نظر جذب میزان تشعشع ندارد، لذا در این بخش از ارائه داده‌ها و ترسیم نمودار مربوطه صرف نظر می‌شود. در شکل ۱۳ تصویری از پرکننده بتنی ریخته شده در مجاور ماده معدنی اورانیوم با ضخامت مشخص جهت اندازه‌گیری میزان پرتوزایی را نشان می‌دهد.

همانگونه که مشاهده می‌شود با افزایش ضخامت پرکننده میزان تشعشع با شیب بالایی کاهش می‌یابد و در ضخامت ۱۵ سانتی متری به ۱۳۲۵ شمارش در ثانیه می‌رسد که در حد مجاز قرار می‌گیرد. دلیل این امر نیز وجود مصالح سنگی با وزن مخصوص بالا از قبیل مگنتیت در ترکیب پرکننده بتنی می‌باشد.

در ادامه نمودار شکل ۱۱ تغییرات میزان تشعشع کلی برای ضخامت‌های مختلف پرکننده بتنی هیدرولیکی برای طرح اختلاط بتنی ساخته شده با باطله‌های معدن زیرزمینی ترسیم شده است.



شکل ۱۱- نمودار تغییرات میزان تشعشع در سطح پرکننده بتنی

### ۳-۲- پرکننده‌های بتنی ساخته شده با ماسه شسته شده

در این طرح‌های اختلاط نیز با میزان سیمان متغیر و سایر مواد چسباننده، پرکننده‌های بتنی ساخته شده و نمونه‌های مربوطه جهت آزمایش‌های اندازه‌گیری مقاومت فشاری گرفته شده است. در طرح اختلاط‌هایی که از مصالح ماسه شسته استفاده می‌شود، این مصالح مواد ریزدانه و سیلتی کمتری به همراه دارند، لذا می‌بایست کمبود مواد رسی با سیمان جبران شود تا با حفظ روانی و سیالیت



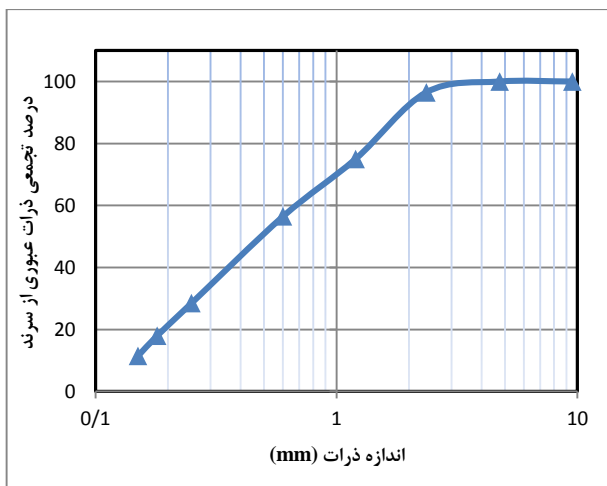
جدول ۵- طرح اختلاط‌های پرکننده بتنی هیدرولیکی ساخته شده با ماسه شسته

ردیف	طرح اختلاط	مصالح سنگی (کیلوگرم)	مقدار سیمان (کیلوگرم)	سایر مواد چسباننده (کیلوگرم)	حجم آب (لیتر)	مقاومت ۲۸ روزه (مگاپاسکال)	هزینه تمام شده هر مترمکعب پرکننده بتنی در سال ۹۶ (ریال)
۱	ماسه شسته + سیمان + آب زهکشی شده معدن	۱۶۱۷	۳۸۱	۰	۳۸۱	۱۳/۸۱	۸۸۶۲۱۳
۲	ماسه شسته + سیمان + ماسه بادی + آب زهکشی شده معدن	۱۶۱۷	۲۶۶/۷	۱۱۴/۳	۳۷۳/۴	۸/۹۲	۷۲۲۱۲۸
۳	ماسه شسته + سیمان + سربراره کوره ذوب + آب زهکشی شده معدن	۱۶۱۷	۲۶۶/۷	۱۱۴/۳	۳۷۳/۴	۳/۶۵	۷۶۶۵۱۸
۴	ماسه شسته + سیمان + سربراره کوره ذوب + آب زهکشی شده معدن	۱۶۱۷	۱۹۰/۵	۱۹۰/۵	۳۷۰	۳/۷۳	مقاومت زیرحد مجاز می‌باشد

در جدول ۶ طرح اختلاط پرکننده بتنی ساخته شده با مصالح سنگی باریت و رودخانه‌ای همراه با نتایج آزمایش مقاومت فشاری تک محوره ارائه شده است. نتایج آزمایش مقاومت فشاری نشان می‌دهد که این طرح اختلاط با میزان سیمان پایین نیز قابلیت استفاده به عنوان پرکننده بتنی در معادن زیرزمینی اورانیوم را دارد.



شکل ۱۳- پرکننده بتنی ریخته شده در مجاور کانسنگ اورانیوم



شکل ۱۴- نتایج آنالیز سرنده ماسه باریت

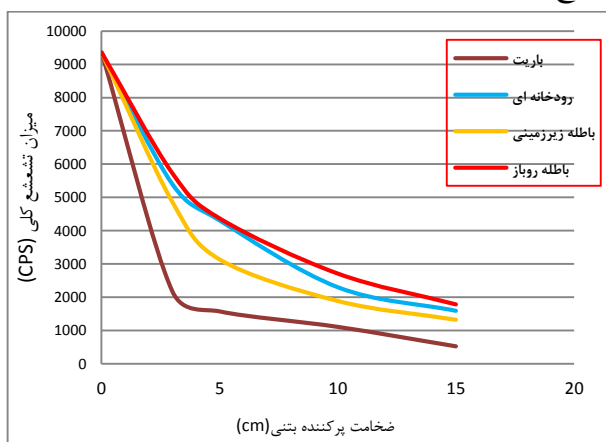
۲-۴- پرکننده بتنی ساخته شده با مصالح سنگی باریت  
در این طرح اختلاط از مصالح سنگی با وزن مخصوص بالا همانند سنگ باریت استفاده شده است تا تأثیر وزن مخصوص مصالح سنگی در میزان مقاومت فشاری تک محوری پرکننده و شدت کاهش میزان تشعشع کلی در سطح آن به دست آید. ابتدا آنالیز سرنده‌ی مربوط به مصالح سنگی باریت انجام شده که نتایج آن به صورت نمودار شکل ۱۴ نشان داده شده است.

جدول ۶- طرح اختلاط پرکننده بتنی ساخته شده با مصالح سنگی باریت

مقاومت فشاری ۲۸ روزه (مگاپاسکال)	مقدار سیمان (کیلوگرم)	مصالح سنگی (کیلوگرم)	مقدار آب (کیلوگرم)	طرح اختلاط پرکننده بتنی هیدرولیکی
۵/۵۹	۲۰۰	۲۲۰۰	۲۱۵۰	سیمان + آب زهکشی معدن ماسه باریت + ماسه رودخانه‌ای

باریت و رودخانه‌ای حدود ۳۱۲۰۰۰۰ ریال برآورد شده است که برای پر کردن 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 دز جذبی اشعه کارگران معدن نیاز به این نوع پرکننده باشد.

**۳- مقایسه تغییرات میزان تشعشع طرح‌های اختلاط مختلف**  
نمودار مقایسه‌ای کاهش میزان تشعشع کلی حاصله از کانسنگ اورانیوم در ضخامت‌های مختلف پرکننده‌های بتنی ساخته شده با مصالح سنگی مختلف در شکل ۱۶ ارائه شده است.



شکل ۱۶- نمودارهای مقایسه‌ای تغییرات میزان تشعشع در سطح پرکننده‌های بتنی

با توجه به نمودارها مشخص است که در کلیه طرح‌های اختلاط، با افزایش ضخامت پرکننده بتنی در سطح کانسنگ اورانیوم میزان تشعشع کلی ساطع شده از ماده معدنی اورانیوم کاهش می‌یابد. پرکننده‌های ساخته شده با باطله معدن زیرزمینی که حاوی مگنتیت بوده و پرکننده‌های ساخته شده با مصالح سنگی باریت، میزان تشعشع را با شدت بالاتری کاهش می‌دهند. در پرکننده‌های ساخته شده با باطله معدن زیرزمینی و مصالح سنگی باریت، میزان تشعشع کلی ساطع شده در ضخامت ۱۵ سانتی‌متری به حد مجاز می‌رسد ولی در پرکننده‌های بتنی ساخته شده با ماسه رودخانه‌ای و باطله معدن روباز در ضخامت حدود ۲۰ سانتی متر به بالا این اتفاق رخ می‌دهد.

#### ۴- نتیجه گیری

با توجه به بررسی‌ها و مطالعات انجام شده می‌توان این گونه نتیجه‌گیری کرد که پرکننده‌های بتنی در کاهش میزان دز جذبی پرسنل

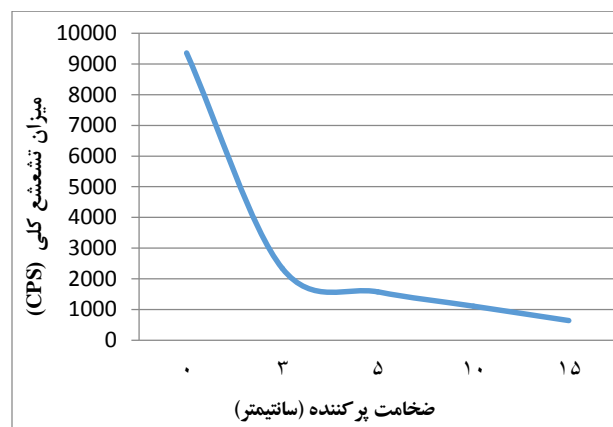
در جدول ۷ نتایج اندازه‌گیری‌های میزان تشعشع کلی کانسنگ اورانیوم در ضخامت‌های مختلف پرکننده بتنی هیدرولیکی ساخته شده با مصالح سنگی باریت و رودخانه‌ای ارائه شده است.

جدول ۷- نتایج حاصل از آزمایش پرتوزایی بر روی پرکننده

بتنی حاوی باریت

ردیف	وضعیت پوشش پرکننده بتنی	میزان تشعشع کلی (کانت در ثانیه) CPS
۱	بدون پوشش (سطح کانسنگ)	۹۳۶۰
۲	با پوشش پلاستیک	۹۳۳۲
۳	با ضخامت ۳cm پرکننده بتنی	۲۱۷۲
۴	با ضخامت ۵cm پرکننده بتنی	۱۵۷۴
۵	با ضخامت ۱۰cm پرکننده بتنی	۱۱۰۹
۶	با ضخامت ۱۵cm پرکننده بتنی	۵۲۴

در ادامه نیز نمودار ارتباط میزان تشعشع کلی با ضخامت پرکننده بتنی در شکل ۱۵ ترسیم شده است.



شکل ۱۵- تغییرات میزان تشعشع در سطح پرکننده بتنی

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

با توجه به محاسبات اقتصادی انجام شده هزینه تمام شده ساخت یک مترمکعب پرکننده بتنی هیدرولیکی با ترکیب مصالح سنگی

[2] Saw, Prentice and Villaescusa, 2013. Characterisation of cemented rock fill materials for the Cosmos, nickel mine, Western Australia.

[3] Xiaowei Feng, Nong Zhang, Lianyuan Gong, Fei Xue and Xigui Zheng., 2015. Application of a Backfilling Method in Coal Mining to Realise an Ecologically Sensitive "Black Gold" Industry, Energies.

[4] Grice, T., 1998. Underground Mining Fill Development in Australia, Proceedings of the 7th International Mining and Metallurgy, Montreal, Que.

[5] دهقان، سعید ۱۳۹۱. تحلیل و مدلسازی عددی رفتار پایه‌های پرکننده سیمان در روش استخراج کارگاه و پایه، شهریار کوروش، تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات.

[6] نیک گفتار محمدرضا. ۱۳۹۴. طراحی پایه بلوک ۷ معدن ساغند، شرکت مهندسی اکتشاف و استخراج کانی‌های نوین پارس.

[7] De Souza, E., Archibald, J., Dirige, A. 2003. Economics and Perspective of Underground Backfill Practices in Canadian mining. 105th Annual General Meeting of the Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum. Montreal. CIM.

[8] Bronkhorst., Alain G., Gregory d., 2015. "Technical Report", Cigar Lake Operation, Northern Saskatchewan, Canada.

[9] Leslie D., Alain G., Gregory d., 2016. "Technical Report", McArthur River Operation, Northern Saskatchewan, Canada.

[۱۰] نیک گفتار محمدرضا. ۱۳۹۱. بررسی فنی و اقتصادی پروژه معدن DRUM در آفریقای جنوبی، شرکت اکتشاف و تامین مواد اولیه صنعت هسته‌ای ایران.

[۱۱] نیک گفتار محمدرضا. ۱۳۹۶. پروپوزال دکتری استخراج معدن، ارائه طرح اختلاط مناسب پرکننده هیدرولیکی بتنی در معدن زیرزمینی اورانیوم، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

[۱۲] مرتضوی علی. ۱۳۹۱. تحلیل پایداری و طراحی ژئومکانیکی حفریات زیرزمینی اصلی معدن ۲ ساغند، تهران، شرکت اکتشاف و تامین مواد اولیه صنعت هسته‌ای ایران.

و کارگران معادن زیرزمینی اورانیوم نقش قابل ملاحظه‌ای دارند، پرکننده‌های بتنی علاوه بر این که بازایی مواد معدنی را افزایش می‌دهند باعث پایداری حفریات و افزایش ایمنی معدن نیز می‌شوند. آزمایش‌ها و تحلیل نتایج در این تحقیق نشان داد که با افزایش ضخامت پرکننده‌های بتنی در مجاورت کانسنگ معدنی اورانیوم میزان نفوذ تشعشع و دز جذبی بطور قابل توجهی کاهش می‌یابد به طوری که با رسیدن پرکننده به ضخامت ۱۵ سانتی‌متری میزان تشعشع به حدود یک دهم تشعشع اولیه خود می‌رسد و بعد از آن با شیب نسبتاً ملایم کاهش را طی می‌کند. همچنین 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 تشعشع و دز جذبی نیز افزایش می‌یابد.

با بررسی طرح‌های اختلاط ساخته شده با مصالح سنگی ذکر شده از نظر زیست محیطی و اقتصادی نیز می‌توان اینگونه نتیجه‌گیری نمود که می‌توان کل باطله‌های معادن روباز و زیرزمینی و همچنین آب زهکشی شده را در اختلاط پرکننده‌های بتنی برای پر کردن معادن زیرزمینی اورانیوم مورد استفاده قرار داد. پرکننده بتنی هیدرولیکی ساخته شده با باطله‌های معدن، همچنین هزینه تمام شده ساخت پرکننده نیز را کاهش و به حدود ۴۷۰۰۰۰ ریال می‌رساند. لازم به ذکر است که هزینه تمام شده طرح اولیه پرکننده بتنی ساخته شده با ماسه شسته و میزان سیمان ۳۸۱ کیلوگرم در هر مترمکعب حدود ۸۵۰۰۰۰ ریال برآورد گردیده است.

طرح‌های اختلاط ساخته شده با مصالح آبرفتی در کاهش آلودگی‌های زیست محیطی تأثیری ندارند ولی هزینه تمام شده این نوع پرکننده‌ها نسبتاً پایین بوده و مقاومت فشاری مطلوبی نیز از خود ارائه داده‌اند. قیمت تمام شده ساخت بهترین طرح اختلاط پرکننده بتنی ساخته شده با ماسه رودخانه‌ای حدود ۳۷۰۰۰۰ ریال برآورد می‌شود.

در اختلاط‌های ساخته شده با ماسه شسته، مقاومت فشاری مطلوب بوده، ولی هزینه تمام شده ساخت پرکننده نسبتاً بالا بوده و تأثیری هم در کاهش آلودگی‌های زیست محیطی ندارد.

## ۵- مراجع

[۱] عطایی محمد. ۱۳۸۶. معدنکاری زیرزمینی. چاپ دوم. جلد اول تا سوم. انتشارات سلسبیل.

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

Mohammadreza Nikgoftar \*

PhD student Mine, Shahrood University Technology, Shahrood, Iran

Mohammad Ataei

Shahrood University Technology, Shahrood, Iran

Reza Kakaie

Shahrood University Technology, Shahrood, Iran

Mohammadreza Rezvanian zadeh

Institute of Nuclear Science and Technology, Tehran, Iran

### Abstract

Special measures must be taken to maximize the recovery of uranium deposits, reduce the absorption rate of radiation for personnel working, reduce environmental pollution and reduce mining costs in underground uranium mining. One of these measures is to fill the extracted spaces, in particular, in the tunnel cut and fill mining method. In this research, it has been tried to select the most suitable concrete filler mixing plan with the above-mentioned attitudes. To carry out this research, in a laboratory scale, concrete mixing designs were implemented for hydraulic concrete with four types of rock materials from waste of uranium mines, river sand, washed sand and barite sand. Samples of these mixing designs for testing of resistance One-axial pressure was taken. Also, in addition to calculating the cost of making any mixing plan, hydraulic concrete was constructed in different thicknesses adjacent to the uranium ore was poured to measure the amount of radiation. Radiation experiments and measurements were carried out for concrete mixing designs in different thicknesses. The results indicate a sharp decrease in the radiation and absorption dose of radiation by increasing the thickness of the filler concrete. It has also been proven that mining waste and drainage water from uranium mines that are contaminated with radioactive substances can be mixed with hydraulic concrete fillers to fill uranium underground mines in order to reduce environmental pollution and Filling costs.

**Keywords:** Uranium Mine waste, Environmental Contamination, Concrete Hydraulic Filler, Radiation, Economic issues.

---

\* Corresponding Author: mnikgoftar@yahoo.com