

مطالعه آزمایشگاهی میزان پرتوزایی کانسنگ اورانیوم در حضور پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی برای استفاده در معادن زیرزمینی اورانیوم

محمد رضا نیک گفتار^۱، محمد عطایی^{۲*}، رضا کاکایی^۲، محمدرضا رضوانیان زاده^۳

۱- دانشجوی دکتری استخراج معدن، دانشگاه صنعتی شاهرود

۲- استاد، گروه استخراج، دانشکده معدن، دانشگاه صنعتی شاهرود

۳- استادیار، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای

(دریافت ۱۳۹۶/۰۹/۲۰، پذیرش ۱۳۹۷/۰۳/۰۷)

چکیده

برای بازیابی حداکثری ذخایر معدنی زیرزمینی اورانیوم و کاهش میزان اشعه جذبی کارگران معدن، باید تمهیدات ویژه‌ای اندیشیده شود. یکی از این تمهیدات پرکردن کارگاه‌های استخراج شده به ویژه در روش استخراج کندن و پرکردن تونلی با پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی است. پرکننده ماده یا موادی است که برای پرکردن فضاهای خالی حاصل از کارگاه‌های معدن زیرزمینی به منظور تامین ایمنی یا انجام عملیات استخراج مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای انجام این تحقیق در مقیاس آزمایشگاهی طرح‌های اختلاط پرکننده بتنی هیدرولیکی با چهار نوع مصالح سنگی باطله معدن زیرزمینی، باطله معدن روباز، ماسه رودخانه‌ای و ماسه باریتی ساخته شد و نمونه‌های شاخص از هر طرح اختلاط برای آزمایش مقاومت فشاری تک محوری گرفته شد. همچنین نمونه‌های بزرگ مقیاس از پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی ساخته شده، در ضخامت‌های مختلف و در مجاورت کانسنگ اورانیوم برای اندازه‌گیری میزان تشعشع ساخته شد. آزمایش‌ها و برداشت‌ها نشان‌دهنده کاهش شدید میزان تشعشع و اشعه جذبی با افزایش ضخامت و وزن مخصوص پرکننده بتنی هیدرولیکی است. نتایج حاصل از آزمایش‌های انجام شده نشان می‌دهد که امکان استفاده از پرکننده‌های مختلف در تامین پایداری کارگاه‌های استخراج وجود دارد.

کلمات کلیدی

ضخامت پرکننده، کانسنگ اورانیوم، وزن مخصوص، تشعشع، طرح اختلاط.

۱- مقدمه

زیرزمینی به عنوان یک استراتژی و یا برای پایدار کردن یک ناحیه در معادن استرالیا تا قرن ۱۹ مرسوم نبوده است. وی 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. در سال‌های اخیر کارهای پژوهشی زیادی برای پرکردن معادن زیرزمینی و فضاهای استخراجی و ترکیب مصالح مورد استفاده در پرکننده‌ها، انجام گرفته است. ساو^۲ در سال ۲۰۱۲ بر روی خواص ژئوتکنیکی پرکننده‌های مورد استفاده در معادن استرالیا [۲] و فنگ^۳ و نانگ زانگ^۴ در سال ۲۰۱۵ با توجه به پدیده نشست در معادن زیرزمینی زغال‌سنگ کشور چین، بحث پرکردن خمیری را مطرح کردند [۳]. ناگارتانم^۵ و همکاران در سال ۲۰۱۵، بر کاربرد پرکننده‌های هیدرولیکی سیمانی و خمیری در پرکردن حفرات بزرگ در معادن زیرزمینی استرالیا با هدف پایداری فضاهای زیرزمینی تاکید کرده‌اند [۴].

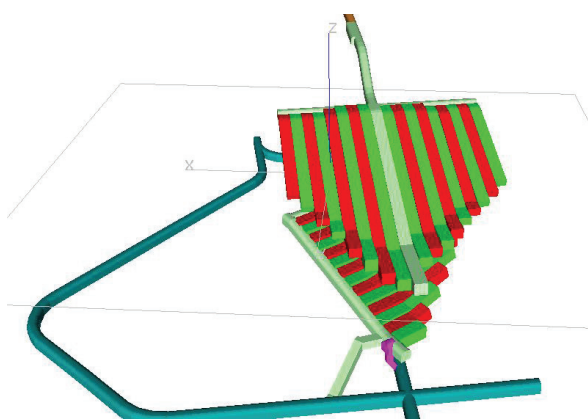
در بیشتر پژوهش‌های انجام شده از پرکردن برای پایداری حفریات زیرزمینی و کارگاه‌های استخراج معادن یاد شده است [۵]. در بعضی از مطالعات علاوه بر پایداری فضاهای زیرزمینی به افزایش بازیابی ماده معدنی نیز پرداخته شده است [۶]. در بعضی مقالات و کارهای انجام شده فقط به بحث نشست اشاره شده است، زیرا با افزایش عمق 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 [۷].

در معادن زیرزمینی اورانیوم دنیا به ویژه کشور کانادا با توجه به عیار بالای ذخایر اورانیوم و روش‌های استخراج، روش‌های بدون ورود به فضاهای زیرزمینی انجام می‌شود (از قبیل معادن اورانیوم مک آرتور ریور و سیگارلیک)، بنابراین در این معادن توجهی به خروج گاز رادون و کاهش میزان اشعه جذبی پرسنل، توسط مواد پرکننده و پرکردن بتنی هیدرولیکی نشده است. در این معادن فقط با پرکردن به پایداری فضاهای زیرزمینی، کاهش میزان ترقیق ماده معدنی با سنگ باطله و افزایش بازیابی کانسنگ توجه شده است [۸،۹].

در اکثر مطالعات و کارهایی که انجام شده، تمام جوانب،

در بسیاری از معادن زیرزمینی، معمولاً فضای استخراج شده با مواد مختلفی پر می‌شود. مواد مورد استفاده برای پر کردن اغلب از جنس و یا نوع مواد در دسترس است که با استفاده از روش‌های مختلفی از قبیل دستی، مکانیکی، پنوماتیکی و هیدرولیکی در داخل فضای خالی کارگاه جا داده می‌شود. دلایل متعددی برای پرکردن فضاهای زیرزمینی ایجاد شده از معدنکاری وجود دارد. مطالعات آماری انجام شده نشان می‌دهد که بهبود پایداری کمربالا و افزایش ضریب بازیابی ماده معدنی مهم‌ترین دلایل برای کاربرد سیستم پرکردن در معادن است. از دیگر اهداف مهم می‌توان به کنترل ترقیق، نگهداری منطقه، بهبود تهویه، جلوگیری از نشست و ترک خوردگی کارگاه‌های مجاور، محافظت از محیط زیست و نظایر آن اشاره کرد [۱].

روش‌های پرکردن در بعضی از روش‌های استخراج زیرزمینی از جمله روش کندن و پرکردن، کندن و پرکردن تونلی، استخراج دوپلی و نظایر آن در راستای افزایش بازیابی ذخیره معدنی به کار می‌رود. در معادن اورانیوم با توجه به خطرات تشعشع و اشعه جذبی کارگران معدن، روش‌های پرکردن موضوعیت بیشتری پیدا می‌کند. شکل ۱ طرحی از روش استخراج کندن و پرکردن تونلی را در یکی از بلوک‌های استخراجی معدن زیرزمینی ساغند نشان می‌دهد. که ابتدا تونل‌های سبز رنگ استخراج و پر شده و در مرحله بعد پایه‌های قرمز رنگ به جای مانده نیز استخراج می‌شود.



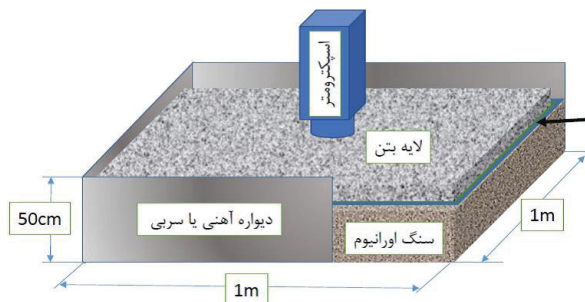
شکل ۱: روش استخراج تونلی و پرکردن

۲- مطالعات گذشته

با توجه به بررسی‌های انجام شده توسط مک لود^۱ در سال ۱۹۹۲، استفاده از مواد پرکننده در داخل کارگاه‌های استخراج

۴- داده‌ها و روش تحقیق

در این مقاله در راستای کاهش تشعشع حاصل از کانسنگ اورانیوم در معادن زیرزمینی اورانیوم، طرح‌های اختلاط مختلفی برای پرکننده بتنی هیدرولیکی با توجه به میزان سیمان، سایر مواد چسباننده و مصالح سنگی موجود در پیرامون معادن، ساخته و نمونه‌هایی از این طرح‌های اختلاط برای تست مقاومت فشاری تک محوری ۲۸ روزه گرفته شد. همزمان برای انجام آزمایش‌ها و اندازه‌گیری میزان پرتو زایی 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 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 متر مربع از سطح پیرامونی و عمق ۳۰ سانتی‌متر از میزان تشعشع کانسنگ اورانیوم را پوشش می‌دهد، با ابعاد یاد شده انتخاب شده است. در شکل ۳ شماتیکی از نحوه انجام تحقیق در اندازه‌گیری میزان پرتو زایی ارایه شده است [۱۲].



شکل ۳: شماتیکی از نحوه انجام آزمایش و اندازه‌گیری تشعشع

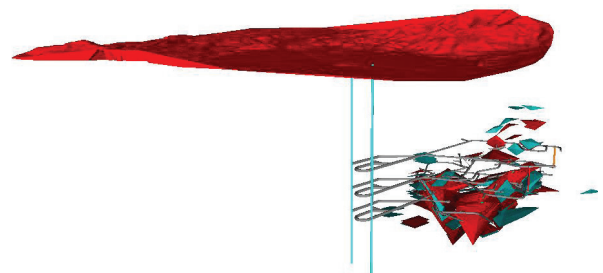
برای ساخت پرکننده‌ها از ۴ نوع مصالح سنگی با وزن مخصوص مختلف که عبارتند از: باطله معدن روباز، باطله معدن زیرزمینی، ماسه‌های رودخانه‌ای و مصالح سنگی باریت، استفاده شده است. برای هر نوع مصالح سنگی طرح‌های اختلاط مختلفی با توجه به میزان سیمان، سایر مواد چسباننده و نوع آب در راستای کاهش هزینه‌های معدنکاری و دستیابی

مزایا و اهداف پرکردن بررسی نشده است. با بررسی‌های انجام شده در معادن زیرزمینی اورانیوم دنیا، مورد تحقیقاتی و مطالعاتی که به بررسی کاهش تشعشع و کاهش خروج گاز رادون با پرکردن بتنی هیدرولیکی پرداخته باشد، وجود ندارد. در کشور ایران که عیار ذخایر اورانیوم متوسط تا پایین است و برای استخراج آن باید پرسنل و کارگران با ورود به کارگاه‌های استخراج، عملیات استخراج ماده معدنی اورانیوم را انجام دهند، محافظت در برابر اشعه و استنشاق کمتر گاز رادون یکی از موارد ایمنی مهمی است که باید مدنظر قرار داد که این امر تا حدود زیادی با پرکردن بتنی محقق می‌شود [۱۰].

۳- مشخصات کلی معدن مورد مطالعه

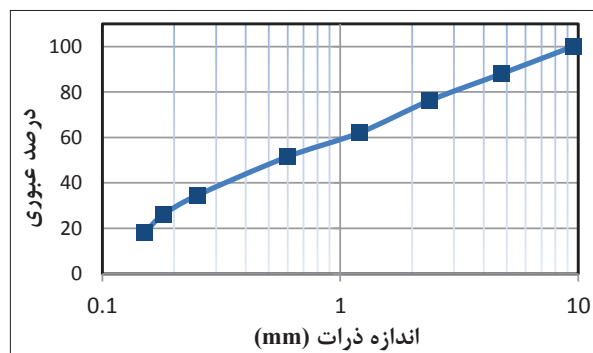
معدن زیرزمینی ساغند در ۱۸۰ کیلومتری شمال شرق شهر یزد قرار گرفته است و گسترش ماده معدنی از عمق حدود ۱۷۰ تا ۳۵۰ متری سطح زمین است. با توجه به پراکندگی توده‌های معدنی و تغییرات پی‌درپی در میزان شیب و ضخامت این توده‌ها باید ترکیبی از روش‌های استخراج زیرزمینی مرسوم از قبیل روش استخراج، کندن و پرکردن اتاقی، کندن و پرکردن تونلی، جبهه‌کار طولانی و نظایر آن برای استخراج کانسنگ اورانیوم استفاده کرد [۱۱].

استخراج کانسنگ اورانیوم در این معدن با دو حلقه چاه و شبکه تونلی حفر شده در افق‌های مختلف انجام می‌گیرد. هر افق از تونل‌های بهم پیوسته‌ای تشکیل شده است که با گسترش این تونل‌ها در توده‌های معدنی و ایجاد کارگاه‌های استخراجی، کانسنگ اورانیوم استخراج شده و از طریق چاه باربری به سطح زمین منتقل می‌شود. شکل ۲ نمایی سه بعدی از حفاریات معدن زیرزمینی ساغند را نشان می‌دهد.



شکل ۲: مدل سه بعدی کانسنگ اورانیوم نسبت به سطح زمین و حفاریات زیرزمینی

با توجه به آزمایش دانه‌بندی باطله معدن زیرزمینی مشخص است که توزیع دانه‌بندی یکنواختی و پیوستگی مطلوبی دارد. در شکل ۴ نمودار دانه‌بندی باطله‌های معدن زیرزمینی مورد استفاده در پرکننده‌های بتنی ارائه شده است.



شکل ۴: نمودار دانه‌بندی ماسه حاصل از باطله معدن زیرزمینی

از مقادیر جدول بالا مشخص است که با استفاده از باطله و آب زهکشی شده معدن در اختلاط پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی می‌توان علاوه بر پایداری حفاریات، آلودگی‌های زیست‌محیطی را نیز کاهش داد. کاهش میزان سیمان و افزودن مواد چسباننده ارزان جایگزین سیمان دلایل دیگر کاهش هزینه‌های پرکردن و معدنکاری می‌شود. در جدول ۲، اندازه‌گیری‌های میزان تشعشع کلی در سطح کانسنگ اورانیوم و ضخامت‌های مختلف پرکننده

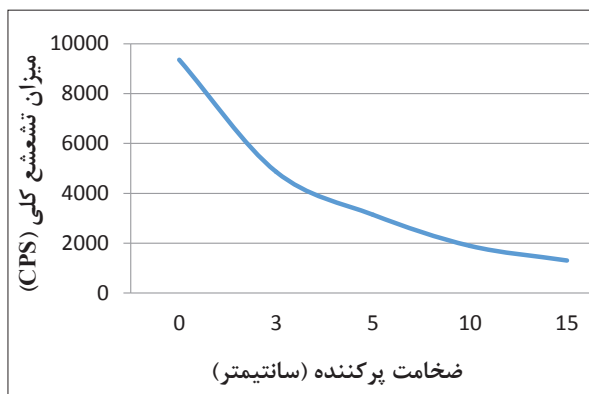
به مقاومت مدنظر پرکننده ساخته شده است، سپس در هر گروه مصالح سنگی، یک نمونه از طرح اختلاط شاخص برای اندازه‌گیری‌های میزان پرتوزایی انتخاب شده است. دلیل این امر نیز نزدیک بودن تغییرات میزان تشعشع در ضخامت‌های مختلف برای هر نوع مصالح سنگی مورد استفاده در طرح‌های اختلاط است، بنابراین در این تحقیق سعی شده است میزان کاهش تشعشع برای طرح‌های اختلاط ساخته شده با مصالح سنگی مختلف که بر روی وزن مخصوص پرکننده بتنی تاثیر بسزایی دارند آزمایش، بحث و بررسی شود.

۴-۱- طرح‌های اختلاط ساخته شده با باطله معدن زیرزمینی

در این طرح اختلاط از باطله‌های معدن زیرزمینی اورانیوم که عمدتاً از جنس تالک، سرپانتین و مگنتیت تشکیل شده، استفاده شده است. جزییات طرح‌های اختلاط در جدول ۱ ارائه شده است. برای اجرای مطلوب، انتقال و پمپ مکانیزه پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی به داخل حفاریات معدنی و کارگاه‌های استخراج از طریق لوله‌های مربوط، محدودیت ابعاد دانه‌بندی مصالح سنگی وجود دارد که برای این امر باید ابعاد مصالح سنگی مورد استفاده زیر ۱۰ میلی‌متر باشد و توزیع دانه‌بندی به گونه‌ای باشد که مواد ریزدانه نیز همراه مصالح سنگی برای پمپ بهتر پرکننده وجود داشته باشد، در غیر اینصورت میزان سیمان مواد پرکننده باید افزایش پیدا کند که این امر توجیه اقتصادی ندارد.

جدول ۱: طرح‌های اختلاط پرکننده بتنی هیدرولیکی ساخته شده با باطله معدن زیرزمینی

وزن مخصوص پرکننده (کیلوگرم بر مترمکعب)	مقاومت (مگاپاسکال)	مقدار آب (لیتر)	سایر مواد چسباننده (کیلوگرم)	مقدار سیمان (کیلوگرم)	مصالح سنگی (کیلوگرم)	طرح اختلاط	شماره طرح اختلاط
	۲۸ روزه						
۲۶۸۰	۹،۴	۴۰،۹۳	۰	۳۸۱	۱۶۱۷	باطله معدن زیرزمینی + سیمان + آب معمولی (آب مصرفی سایت)	۱
۲۶۸۵	۹،۵۸	۴۰،۹۳	۰	۳۸۱	۱۶۱۷	باطله معدن زیرزمینی + سیمان + آب زهکشی شده معدن	۲
۲۵۰۰	۷،۳	۴۰۰	۱۱۴،۳	۲۶۶،۷	۱۶۱۷	باطله معدن زیرزمینی + سیمان + سرباره کوره ذوب + آب معمولی	۳
۲۷۲۰	۷	۳۴۰	۰	۲۵۰	۱۷۰۰	باطله معدن زیرزمینی + سیمان + آب زهکشی شده معدن	۴



شکل ۵: تغییرات میزان تشعشع در سطح پرکننده بتنی ساخته شده با باطله معدن زیرزمینی

از نمودار بالا پیداست که با افزایش ضخامت پرکننده میزان تشعشع با شیب بالایی کاهش می یابد و در ضخامت ۱۵ سانتی متری به ۱۰۰۰ شمارش در ثانیه می رسد که در حد مجاز قرار می گیرد. دلیل این امر نیز وجود مصالح سنگی با وزن مخصوص بالا از قبیل مگنتیت در ترکیب پرکننده بتنی است.

۲-۴- طرح های اختلاط ساخته شده با باطله معدن روباز

در این طرح های اختلاط از باطله معدن روباز اورانیوم که عمدتاً از جنس سنگ آهک، ژئپس و مگنتیت تشکیل شده، استفاده شده است (جدول ۳).

بتنی ساخته شده با باطله معدن زیرزمینی (ردیف ۲ جدول ۱) ارایه شده است. به این دلیل برای یک طرح اختلاط آزمایشی اندازه گیری میزان تشعشع انجام شده است چون مصالح سنگی طرح های اختلاط یکسان و تغییرات کاهش تشعشع ناچیز است.

جدول ۲: میزان تشعشع در سطح پرکننده بتنی با باطله زیرزمینی

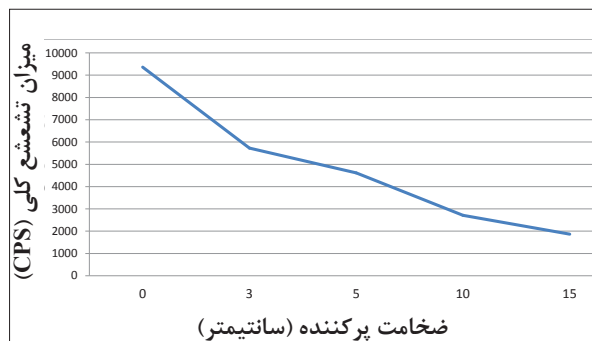
ردیف	وضعیت پوشش	اطلاعات اسپکترومتر
		CPS (تعداد شمارش در هرثانیه)
۱	بدون پوشش (سطح کانسنگ اورانیوم)	۹۳۶۰
۲	با ضخامت ۳ سانتی متر بتن پرکننده	۴۸۶۳
۳	با ضخامت ۵ سانتی متر بتن پرکننده	۳۱۳۷
۴	با ضخامت ۱۰ سانتی متر بتن پرکننده	۱۸۸۹
۵	با ضخامت ۱۵ سانتی متر بتن پرکننده	۱۳۲۵

در شکل ۵ نیز نمودار ارتباط بین میزان تشعشع کلی با ضخامت پرکننده بتنی که در اختلاط آن از باطله معدن زیرزمینی اورانیوم استفاده شده، ارایه شده است.

جدول ۳: طرح های اختلاط پرکننده بتنی هیدرولیکی ساخته شده با باطله معدن روباز اورانیوم

شماره طرح اختلاط	طرح اختلاط	مصالح سنگی (کیلوگرم)	مقدار سیمان (کیلوگرم)	سایر مواد چسباننده (کیلوگرم)	مقدار آب (لیتر)	مقاومت	وزن مخصوص پرکننده (کیلوگرم بر مترمکعب)
						فشاری تک محوری (مگاپاسکال)	
۱	باطله معدن روباز+ سیمان+ آب معمولی (آب مصرفی مجتمع)	۱۶۱۷	۳۸۱	۰	۵۳۳٫۷	۶٫۴۴	۲۲۰۰
۲	باطله روباز (۰٫۵٪) + باطله زیرزمینی (۰٫۵٪) + آهک + سیمان + آب زهکشی شده معدن	۱۶۱۷	۲۸۵٫۷۵	۹۵٫۲۵	۵۱۰	۵٫۱۷	۲۳۵۰
۳	باطله معدن روباز (۰٫۵٪) + باطله زیرزمینی (۰٫۵٪) + سیمان + آب زهکشی شده معدن	۱۷۰۰	۲۵۰	۰	۳۹۶	۵٫۱۹	۲۴۰۰

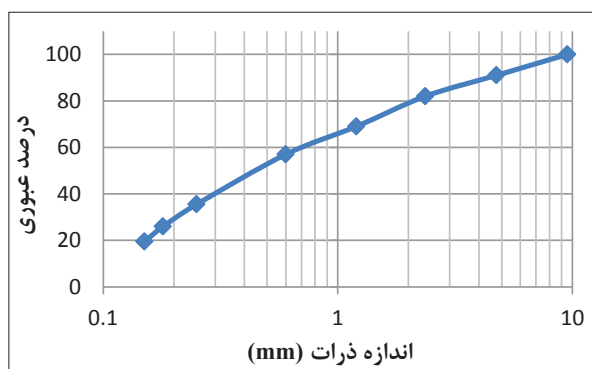
اختلاط بتنی ساخته شده با باطله‌های معدن روباز ترسیم شده است.



شکل ۷: تغییرات میزان تشعشع در سطح 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 کاهش می‌یابد.

در شکل ۸، نمودار دانه‌بندی باطله معدن روباز مورد استفاده در پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی آرایه شده است.



شکل ۸: نمودار دانه‌بندی ماسه حاصل از باطله معدن روباز

۴-۳- طرح‌های اختلاط ساخته شده با مصالح آبرفتی

در این طرح‌های اختلاط از مصالح رودخانه‌ای مجاور معدن اورانیوم استفاده شده است که جزییات طرح‌های اختلاط به همراه نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری تک محوری در جدول ۵ آرایه شده است. از این طرح‌های اختلاط پیداست که پرکننده، مقاومت فشاری تک محوری بالایی دارد و با توجه به اینکه آستانه مقاومت مورد نیاز برای پرکننده‌های معدن ۵ مگاپاسکال است، بنابراین امکان کاهش سیمان در راستای

برای اندازه‌گیری میزان تشعشع یک طرح اختلاط که مصالح سنگی آن صرفاً از باطله معدن روباز ساخته شده است ردیف ۱ جدول ۳، انتخاب و آزمایش‌های مربوط به پرتوزایی برای پرکننده بتنی هیدرولیکی در ضخامت‌های ۳، ۵، ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متری در مجاورت کانسنگ اورانیوم انجام شد (شکل ۶).



شکل ۶: تصویری از انجام آزمایش پرتوزایی

نتایج اندازه‌گیری‌های میزان تشعشع کلی در جدول ۴ آرایه شده است.

جدول ۴: اطلاعات حاصل از آزمایش پرتوزایی پرکننده بتنی هیدرولیکی ساخته شده با باطله معدن روباز

اطلاعات دستگاه اسپکترومتر	وضعیت پوشش	ردیف
CPS (تعداد شمارش در هر ثانیه)	بدون پوشش (سطح کانسنگ اورانیوم)	۱
۹۳۶۰	با ضخامت ۳ سانتی‌متر بتن پرکننده	۲
۵۷۲۵	با ضخامت ۵ سانتی‌متر بتن پرکننده	۳
۴۳۶۹	با ضخامت ۱۰ سانتی‌متر بتن پرکننده	۴
۲۷۱۰	با ضخامت ۱۵ سانتی‌متر بتن پرکننده	۵

در ادامه نمودار شکل ۷ تغییرات میزان تشعشع کلی برای ضخامت‌های مختلف پرکننده بتنی هیدرولیکی برای طرح

جدول ۵: طرح‌های اختلاط پرکننده بتنی هیدرولیکی ساخته شده با مصالح سنگی رودخانه‌ای

وزن مخصوص پرکننده (کیلوگرم بر مترمکعب)	مقاومت فشاری (مگاپاسکال)	مقدار آب (لیتر)	سایر مواد چسباننده (کیلوگرم)	مقدار سیمان (کیلوگرم)	مصالح سنگی (کیلوگرم)	طرح اختلاط	شماره طرح اختلاط
۲۱۵۰	۱۲,۵۹	۴۰۰	۰	۳۸۱	۱۶۱۷	ماسه رودخانه‌ای + سیمان + آب زهکشی شده معدن	۱
۲۱۰۰	۸,۵۷	۳۹۲,۵	۱۱۴,۳	۲۶۶,۷	۱۶۱۷	ماسه رودخانه‌ای + سیمان + ماسه بادی + آب زهکشی شده معدن	۲
۲۱۲۰	۳,۶۵	۳۸۱	۲۲۸,۶	۱۵۲,۴	۱۶۱۷	ماسه رودخانه‌ای + سیمان + ماسه بادی + آب زهکشی شده معدن	۳
۲۱۸۰	۶,۷۴	۳۴۰	۰	۲۰۰	۱۸۰۰	ماسه رودخانه‌ای + سیمان + آب زهکشی شده معدن	۴
۲۱۵۰	۵,۴۹	۳۸۸,۶	۱۷۱,۴۵	۲۰۹,۵۵	۱۶۱۷	ماسه رودخانه‌ای + سیمان + ماسه بادی (۰.۴۵) + آب زهکشی شده معدن	۵
۲۱۳۰	۹,۸۵	۳۹۲,۵	۱۱۴,۳	۲۶۶,۷	۱۶۱۷	ماسه رودخانه‌ای + سیمان + سرباره کوره ذوب + آب زهکشی شده معدن	۶
۲۱۶۰	۶,۴۹	۳۴۰	۰	۲۰۰	۱۸۰۰	ماسه رودخانه‌ای + سیمان پوزولانی + آب معدن	۷

در جدول ۶ نتایج اندازه‌گیری‌های میزان تشعشع کلی کانسنگ اورانیوم در ضخامت‌های مختلف پرکننده بتنی هیدرولیکی ساخته شده با مصالح سنگی رودخانه‌ای ارائه شده است (طرح اختلاط ردیف ۱ جدول ۵).

در این طرح اختلاط نیز به مانند طرح‌های اختلاط ساخته شده با مصالح باطله، با افزایش ضخامت پرکننده‌های بتنی، میزان تشعشع کاهش می‌یابد، به طوری که در ضخامت ۱۵ سانتی‌متری به میزان تشعشع مجاز می‌رسد.

در بین سه دسته از طرح‌های اختلاط یاد شده، مشخص است که پرکننده‌های بتنی ساخته شده با باطله‌های معدن زیرزمینی که عمدتاً از سنگ مگنتیت تشکیل شده‌اند، نسبت به سایر طرح‌های اختلاط میزان تشعشع را با شدت بالاتری کاهش می‌دهند (با افزایش ضخامت پرکننده بتنی هیدرولیکی). این پرکننده‌ها همچنین نسبت به سایر پرکننده‌ها وزن مخصوص بالاتری دارند.

در شکل ۱۰، نمودار تغییرات میزان تشعشع برای اختلاط

کاهش هزینه‌های معدنکاری در طرح‌های اختلاط وجود دارد [۱۳]. در شکل ۹، تصویری از اندازه‌گیری مقاومت فشاری تک محوری نمونه مکعبی پرکننده بتنی نشان داده شده است.



شکل ۹: اندازه‌گیری مقاومت فشاری نمونه مکعبی پرکننده بتنی

شاخص ساخته شده با مصالح سنگی رودخانه‌ای ترسیم شده است.

نمودار دانه‌بندی ماسه مصالح سنگی رودخانه‌ای در شکل ۱۱ ارائه شده است.

۴-۴- پرکننده بتنی ساخته شده با مصالح سنگی باریت

در این طرح اختلاط از مصالح با وزن مخصوص بالا مانند باریت استفاده شده است تا تاثیر وزن مخصوص مصالح سنگی در میزان مقاومت و شدت کاهش میزان تشعشع به دست آید.

در جدول ۷ طرح اختلاط پرکننده بتنی ساخته شده با مصالح باریت و آبرفتی همراه با نتایج آزمایش مقاومت فشاری تک محوری ارائه شده است. در این طرح اختلاط همچنین از میزان سیمان کمتری استفاده شده است که خود نشان‌دهنده هزینه‌های پایین این طرح اختلاط است.

وزن مخصوص این پرکننده بتنی که ۵۰ درصد مصالح سنگی آن از باریت تشکیل شده است، حدود ۳۰۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب است. در جدول ۸ نتایج اندازه‌گیری‌های میزان تشعشع کلی کانسنگ اورانیوم در ضخامت‌های مختلف پرکننده بتنی هیدرولیکی ساخته شده با مصالح سنگی باریت و رودخانه‌ای ارائه شده است.

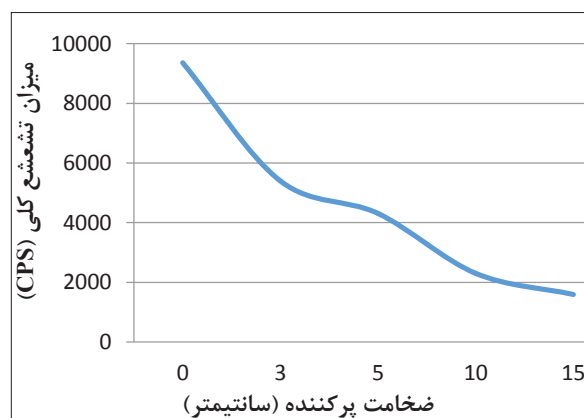
در ادامه نیز نمودار ارتباط میزان تشعشع کلی با ضخامت پرکننده بتنی در شکل ۱۲ ترسیم شده است.

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

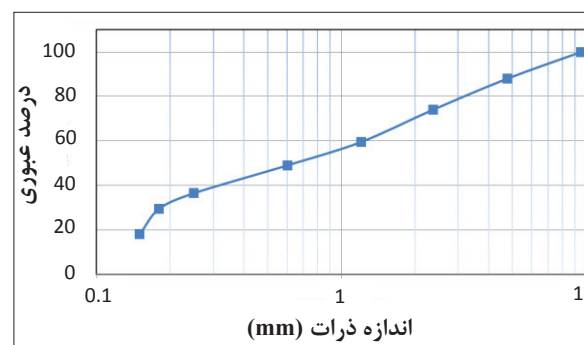
با توجه به محاسبات اقتصادی انجام شده، هزینه تمام شده ساخت یک مترمکعب پرکننده بتنی هیدرولیکی با ترکیب مصالح سنگی باریت و رودخانه‌ای حدود ۳۱۲۰۰۰۰ ریال برآورد شده است که برای پرکردن معدن هزینه بالایی است و توجه اقتصادی ندارد، مگر اینکه کانسنگ اورانیوم عیار بسیار بالایی داشته باشد (بالای ۳ درصد) و از نظر ایمنی برای کاهش اشعه جذبی کارگران نیاز به این نوع پرکننده باشد [۱۴]. نمودار دانه بندی باریت در شکل ۱۳ ارائه شده است.

جدول ۶: اطلاعات حاصل از آزمایش پرتوزایی پرکننده بتنی ساخته شده با مصالح رودخانه‌ای

ردیف	وضعیت پوشش	اطلاعات دستگاه اسپکترومتر CPS (تعداد شمارش در هر ثانیه)
۱	بدون پوشش (سطح کانسنگ)	۹۳۶۰
۲	با ضخامت ۳ سانتی‌متر پرکننده بتنی	۵۳۹۹
۳	با ضخامت ۵ سانتی‌متر پرکننده بتنی	۴۳۰۹
۴	با ضخامت ۱۰ سانتی‌متر پرکننده بتنی	۲۳۰۱
۵	با ضخامت ۱۵ سانتی‌متر پرکننده بتنی	۱۵۹۳



شکل ۱۰: تغییرات میزان تشعشع در سطح پرکننده بتنی ساخته شده با مصالح رودخانه‌ای



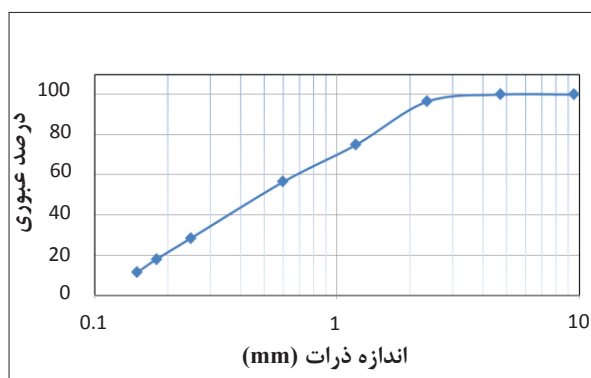
شکل ۱۱: نمودار دانه‌بندی ماسه مصالح سنگی رودخانه‌ای

جدول ۷: طرح اختلاط پرکننده بتنی ساخته شده با مصالح سنگی باریت

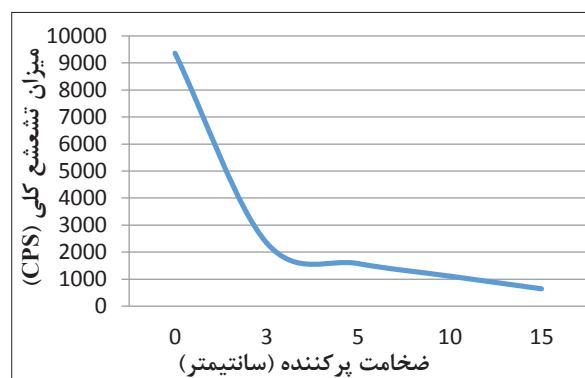
مقاومت فشاری تک محوری (مگاپاسکال)	مقدار سیمان (کیلوگرم)	مصالح سنگی (کیلوگرم)	مقدار آب (کیلوگرم)	طرح اختلاط پرکننده بتنی هیدرولیکی
۲۸ روزه				
۵,۵۹	۲۰۰	۲۲۰۰	۲۱۵۰	ماسه باریت + ماسه رودخانه‌ای + سیمان + آب معدن

جدول ۸: اطلاعات حاصل از آزمایش پرتوایی پرکننده بتنی ساخته شده با مصالح سنگی باریت

اطلاعات دستگاه اسپکترومتر CPS (تعداد شمارش در ثانیه)	وضعیت پوشش	ردیف
۹۳۶۰	بدون پوشش (سطح ماده معدنی)	۱
۲۱۷۲	با ضخامت ۳ سانتی‌متر پرکننده بتنی	۲
۱۵۷۴	با ضخامت ۵ سانتی‌متر پرکننده بتنی	۳
۱۱۰۹	با ضخامت ۱۰ سانتی‌متر پرکننده بتنی	۴
۵۲۴	با ضخامت ۱۵ سانتی‌متر پرکننده بتنی	۵

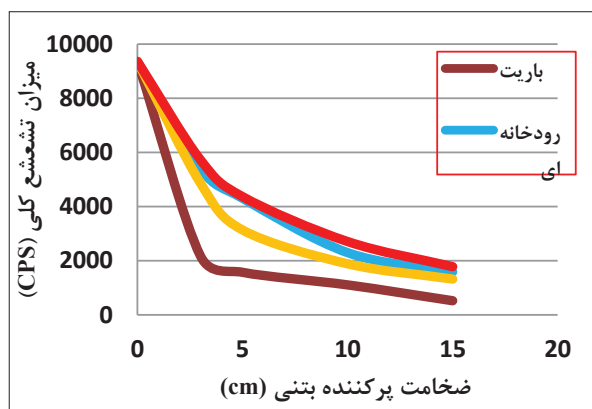


شکل ۱۳: نمودار دانه‌بندی ماسه مصالح سنگی رودخانه‌ای



شکل ۱۴: تغییرات میزان تشعشع کلی در سطح پرکننده بتنی ساخته شده با مصالح سنگی باریت

مخصوص پرکننده‌های بتنی هیدرولیکی با استفاده از مصالح سنگی سنگین مانند مگنتیت و باریت در طرح اختلاط، قدرت پرکننده‌ها در برابر تشعشع و اشعه جذبی نیز افزایش می‌یابد. که این امر در نمودار شکل ۱۵ به طور واضح نشان داده شده است.



شکل ۱۵: نمودارهای مقایسه‌ای تغییرات میزان تشعشع در سطح پرکننده‌ها

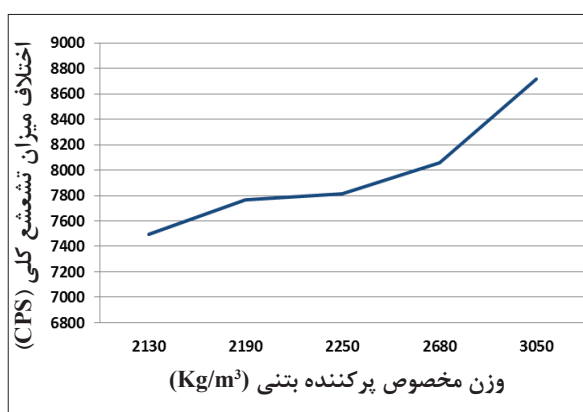
با توجه به نمودارها مشخص است که طرح‌های اختلاط ساخته شده با باطله معدن زیرزمینی که حاوی مگنتیت بوده و پرکننده‌های ساخته شده با مصالح سنگی باریت، میزان تشعشع را با شدت بالاتری کاهش می‌دهند. همچنین استفاده از باطله معادن اورانیوم و آب معدن در ترکیب پرکننده بتنی علاوه بر کاهش هزینه‌های معدنکاری باعث کاهش آلودگی‌های زیست محیطی نیز می‌شود.

۷- مراجع

- [۱] عطایی، م.؛ ۱۳۸۶؛ "معدنکاری زیرزمینی، چاپ دوم". انتشارات سلسبیل، جلد دوم، ص ۳۶۱-۳۵۶.
- [2] Saw, H., Prentice, S., and Villaescusa, E. (2013). "Characterisation of cemented rock fill materials for the Cosmos Nickel Mine, Western Australia". Canadian Institute of Mining and Metallurgy (CIM) Bulletin, 78(884): 53-58.
- [3] Xiaowei, F., Nong, Zh., Lianyuan, G., Fei, X., and Xigui, Zh. (2015). "Application of a Backfilling Method in Coal Mining to Realise an Ecologically Sensitive "Black Gold" Industry". Energies, 8: 3628-3639.
- [4] Grice, T. (1998). "Underground Mining Fill

۵- ارتباط وزن مخصوص بتن پرکننده با میزان تشعشع

در این بخش ارتباط بین وزن مخصوص پرکننده‌های بتنی ساخته شده برای آزمایش پرتوآبی و میزان اختلاف تشعشع اندازه‌گیری شده با دستگاه اسپکترومتر در حالت اولیه بدون پوشش و حالت با ضخامت ۱۵ سانتی‌متری پرکننده بتنی در طرح‌های اختلاط ساخته شده با مصالح سنگی مختلف ارایه شده است (شکل ۱۴).



شکل ۱۴: تغییرات میزان کاهش تشعشع در ارتباط با وزن مخصوص پرکننده بتنی هیدرولیکی

از نمودار پیداست که هر چه وزن مخصوص پرکننده بتنی هیدرولیکی افزایش یابد، شدت کاهش میزان تشعشع نیز افزایش پیدا می‌کند.

۶- نتیجه‌گیری

با توجه به بررسی‌ها و مطالعات انجام شده، پرکننده‌های بتنی در کاهش میزان اشعه جذبی پرسنل 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 معادن 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 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

[۱۱] ۱۳۹۴؛ "طراحی تفصیلی بلوک ۲۷+۲۸ معدن زیرزمینی ساغند". شرکت مهندسی اکتشاف و استخراج کانی‌های نوین پارس، ص ۸۵-۹۶.

[۱۲] نیک‌گفتار، م. ر.؛ ۱۳۹۶؛ "ارائه طرح اختلاط مناسب پرکننده هیدرولیکی بتنی در معادن زیرزمینی اورانیوم". پروپوزال دکتری استخراج معدن، دانشگاه صنعتی شاهرود، ص ۴۴-۶۸.

[۱۳] مرتضوی، ع.؛ ۱۳۹۱؛ "تحلیل پایداری و طراحی ژئومکانیکی حفاریات زیرزمینی اصلی معدن ۲ ساغند". شرکت اکتشاف و تامین مواد اولیه صنعت هسته ای ایران، ص ۱۷۶-۱۹۹.

[۱۴] نیک‌گفتار، م. ر.؛ ۱۳۹۷؛ "ارائه طرح اختلاط مناسب پرکننده هیدرولیکی بتنی در معادن زیرزمینی اورانیوم". رساله دکتری استخراج معدن، دانشگاه صنعتی شاهرود، ص ۸۶-۱۵۵.

Development in Australia". Proceedings of the 7th International Mining and Metallurgy, Montreal, Que, 254-265.

[۵] دهقان، س.؛ ۱۳۹۱؛ "تحلیل و مدل سازی عددی رفتار پایه های پرکننده سیمان در روش استخراج کارگاه و پایه". تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، ص ۳۴-۵۵.

[۶] نیک‌گفتار، م. ر.؛ ۱۳۹۴؛ "طراحی پایه بلوک ۷ معدن ساغند". شرکت مهندسی اکتشاف و استخراج کانی‌های نوین پارس، ص ۵۶-۷۵.

[7] De Souza, E., Archibald, J., and 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 (CIM), Montreal, 270-286..

[8] Bronkhorst, Alain, G., and Gregory, D. (2015). "Technical Report". Cigar Lake Operation, Northern Saskatchewan, Canada, 43-101: 50-160.

[9] Leslie, D., Alain, G., and Gregory, D., (2016). "Technical Report". McArthur River Operation, Northern Saskatchewan, Canada, National Instrument, 43-101: 30-130.

[۱۰] نیک‌گفتار، م. ر.؛ ۱۳۹۱؛ "بررسی فنی و اقتصادی پروژه معدن DRUM در آفریقای جنوبی". شرکت اکتشاف و تامین مواد اولیه صنعت هسته ای ایران، ص ۱۱-۲۵.

^۱ Mcleod

^۲ Saw

^۳ Feng

^۴ Nong Zhang

^۵ Nagaratnam