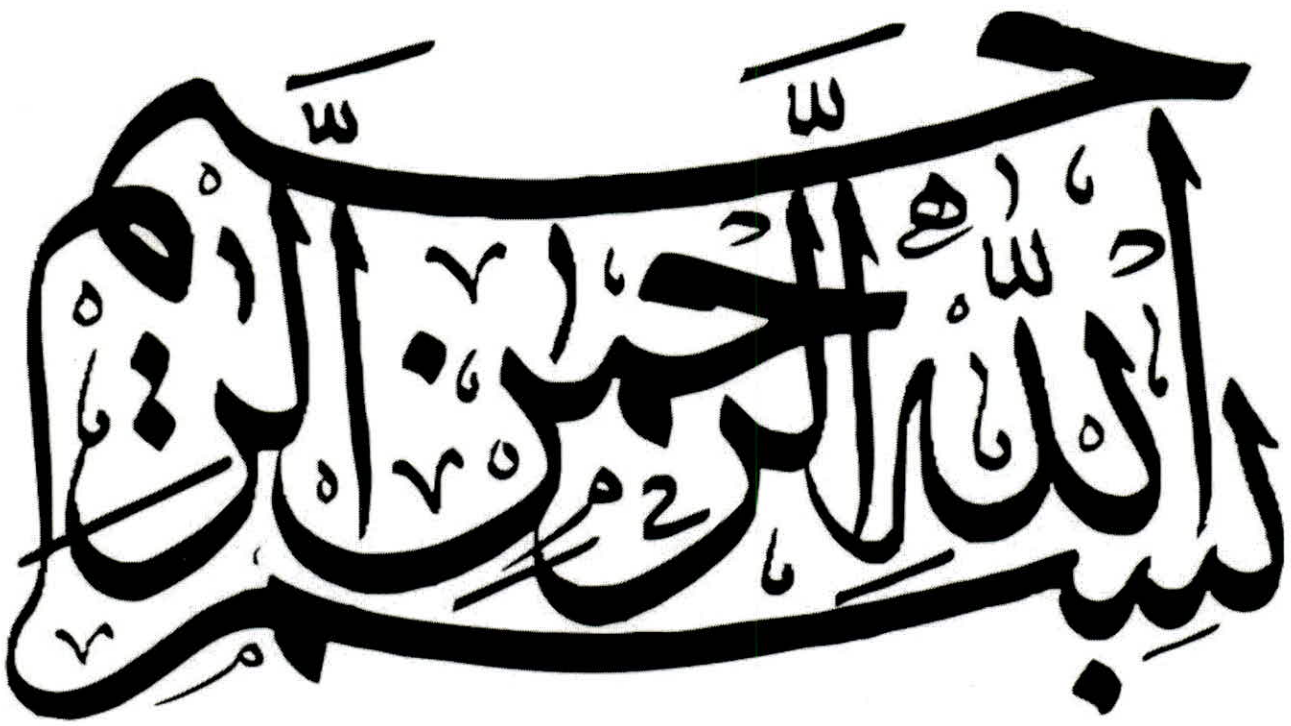
بسم الله الرحمن الرحيم

IMIDRO
IRANIAN MINES AND MINING INDUSTRIES DEVELOPMENT
AND RENOVATION ORGANIZATION
سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران

پالایش باطله های معدنی آلوده به آرسنیک در معدن طلای زرشوران با تکنولوژی تثبیت

خلاصه مدیریتی

شماره قرارداد (۶۰۴۱)

پژوهشکده محیط زیست جهاد دانشگاهی گیلان

سال ۱۴۰۰

شناسنامه طرح

عنوان گزارش: گزارش فاز مطالعاتی طرح

عنوان فارسی طرح کارفرمایی: پالایش باطله های معدنی آلوده به آرسنیک در معدن طلای زرشوران با تکنولوژی تثبیت

کارفرما: سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران

مجری: پژوهشکده محیط زیست جهاد دانشگاهی

نام فایل گزارش: Imidro Report-Administrative Summary

تاریخ عقد قرارداد: ۹۹/۰۳/۰۶

تاریخ ابلاغ طرح: ۹۹/۰۳/۰۷

سطح دسترسی به سند: نامحدود/ محرمانه (بدون موافقت کتبی، نسخه‌برداری یا تکثیر ممنوع است)

نام و نام خانوادگی	مسئولیت در طرح	تخصص	درجه علمی
فریبا استوار	مجری	شیمی تجزیه	دکتری
سیده معصومه قاسمی نژاد	همکار اصلی	نانوفناوری- نانومواد	فوق دکتری
نبلوفر عابدین زاده	همکار	محیط زیست	دکتری
هاشم اصغرنژاد	همکار	مهندسی شیمی- بیوتکنولوژی	کارشناسی ارشد
محمد یزدی	همکار	عمران- محیط زیست	کارشناسی ارشد

سازمان مجری: پژوهشکده محیط زیست جهاد دانشگاهی گیلان

خلاصه مدیریتی

در این طرح از نانوکامپوزیت هیدروکسی آپاتیت مغناطیسی جهت تثبیت فلزات سنگین باطله‌های معدنی زرشوران پیش از انباشت در محل سد باطله استفاده شد. درمیان تثبیت‌کننده‌های فلزات سنگین، اکسید آهن ظرفیت جذب و کمپلکس‌سازی بالایی با آرسنیک دارد. ذرات مغناطیسی در مقیاس نانو، نسبت سطح به حجم بیشتری داشته و متعاقبا در مقایسه با حالت بالک ظرفیت جذب بالاتری از آرسنیک را دارند. از طرف دیگر هیدروکسی آپاتیت به عنوان یک تثبیت‌کننده فسفاتی امکان تثبیت سایر فلزات سنگین موجود در باطله معدنی زرشوران مانند روی، مس، منگنز را نیز فراهم خواهد کرد. این کامپوزیت فسفاتی علاوه بر تثبیت فلزات سنگین بویژه آرسنیک و کاهش دسترس‌پذیری زیستی آنها، منجر به بهبود کیفیت باطله‌های معدنی جهت رویش گیاهان نیز می‌گردد. این کامپوزیت به دلیل حضور نانوذرات مغناطیسی دارای خاصیت مغناطیسی است، بنابراین امکان جداسازی مغناطیسی کمپلکس این کامپوزیت با فلزات سنگین از باطله‌های معدنی نیز وجود خواهد داشت. روش‌های متعددی برای سنتز هیدروکسی آپاتیت و هیدروکسی آپاتیت مغناطیسی وجود دارد که بسته به نوع منابع اولیه مورد استفاده و نوع محصول مورد انتظار، شرایط عملیاتی و نوع فرآیند استخراج یا سنتز، کاملاً متفاوت خواهد بود. روش‌های سنتز از دو منظر کیفیت محصول نهایی و فرآیندی قابل بررسی هستند. از نگاه محصول، تمرکز اصلی روی تولید محصول با کیفیت مشخص برای کاربرد مشخص قرار دارد. با توجه به اینکه هیدروکسی آپاتیت و هیدروکسی آپاتیت مغناطیسی طیف وسیعی از کاربردها به‌ویژه حوزه داروسازی و پزشکی را در بر می‌گیرد، لازم است که در برخی موارد خاص تأکید ویژه‌ای روی کیفیت محصول نهایی صورت گیرد. در سایر موارد، مثل کاربرد مدنظر این پروژه، بیش از کیفیت و مشخصات محصول، شرایط فرآیندی تولید بخصوص از منظر اقتصادی و پیچیدگی‌های فرآیند تولید و همچنین ملاحظات زیست‌محیطی حائز اهمیت است. در گزارش حاضر سعی شده تمامی روش‌های سنتز یا استخراج هیدروکسی آپاتیت و هیدروکسی آپاتیت مغناطیسی به‌طور کامل مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته و

همچنین ملاحظات لازم جهت انتخاب روش مناسب برای این پروژه با دیدگاه فرآیندی و با تأکید روی سه عامل بهینه‌سازی هزینه، سادگی فرآیند و محیط زیست ارائه گردد.

جهت اجرای فاز اول طرح، پیرو جلسه حضوری بررسی گزارش فاز نخست در محل سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران در تاریخ ۹۹/۴/۱، مقرر گردید که با توجه به امکانات و پتانسیل‌های موجود در مجموعه سازمان ایمیدرو (بخش فرآوری و ساخت)، از آهک و سنگ فسفات موجود در معادن زیرمجموعه ایمیدرو به‌عنوان ماده اولیه سنتز جاذب در این پروژه استفاده گردد. پس از بررسی آنالیز سنگ معدن آهک و فسفات موجود در مجموعه ایمیدرو، تیم اجرایی پروژه به این نتیجه رسید که استفاده از سنگ فسفات به‌دلیل وجود یون‌های آهن میسر نبوده اما سنگ آهک از خلوص کافی برای استفاده در این پروژه برخوردار است. لذا آزمایشات اولیه با سنگ آهک خالص و مواد دیگر در گرید آزمایشگاهی صورت پذیرفت تا شرایط عملیاتی جهت تولید بهینه محصول مشخص گردد. در فاز بعد و به‌منظور داشتن تقریب واقعی‌تر، لازم است که فرآیند سنتز با استفاده از نمونه سنگ آهک موجود در معادن مجموعه ایمیدرو که قرار است در این پروژه مورد استفاده قرار گیرند، صورت پذیرند. همچنین به منظور بررسی اثربخشی محصول روی تثبیت آرسنیک از باطله‌های معدنی زرشوران، لازم است که نمونه‌برداری و آزمون از محل سد باطله معدنی زرشوران صورت پذیرد. فاز آزمایشگاهی، جهت تعیین شرایط بهینه عملیاتی و کاهش هزینه‌های مربوط به تأمین انرژی و مواد اولیه حائز اهمیت فراوان است.

لذا آزمایشات اولیه با سنگ آهک خالص و مواد دیگر با درجه خلوص آزمایشگاهی صورت پذیرفت تا شرایط عملیاتی جهت تولید بهینه محصول مشخص گردد. پس از سنتز کامپوزیت مغناطیسی، جهت شناسایی و تایید نمونه سنتزی، آنالیزهای میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، اسپکتروسکوپی مادون قرمز تبدیل فوریه (FT-IR) و آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD) انجام پذیرفت. روش سنتز بکار رفته، روش همرسوبس بوده که پس از سنتز هیدروکسی آپاتیت از آهک، جهت سنتز هیدروکسی آپاتیت مغناطیسی، از روش اختلاط مستقل محلول نانوذرات آهن و محلول هیدروکسی آپاتیت استفاده شد.

مزیت فوق العاده این روش در این است که چون هر دو ماده به‌صورت مجزا سنتز می‌شوند، امکان کنترل دقیق روی مشخصات و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی محصول HA، نانوذرات مغناطیسی و در نتیجه محصول MHA وجود داشته و به تبع آن می‌توان روند فرآیند را با توجه به نوع کاربرد مدنظر برای MHA و همچنین شرایط اقتصادی فرآیند، کنترل نمود. همچنین، آنالیزهای مشخصه‌یابی صورت گرفته روی محصولات سنتزشده شامل SEM، FTIR و XRD نشان داد که فرآیند سنتز جاذب به‌خوبی صورت گرفته و ذرات کروی با ابعاد نانویی و با سطح ویژه مطلوب تولید شده‌اند. این سطح ویژه بالا، تمایل جاذب را برای جذب و تثبیت آرسنیک به طرز چشمگیری افزایش داده‌است.

در فاز بعد و به‌منظور داشتن تقریب واقعی‌تر، فرآیند سنتز با استفاده از نمونه سنگ آهک موجود در معادن مجموعه ایمیدرو صورت پذیرفت. همچنین به منظور بررسی اثربخشی محصول روی تثبیت آرسنیک از باطله‌های معدنی زرشوران، نمونه‌برداری و آزمون از محل سد باطله معدنی زرشوران صورت گرفت. و نتایج تجزیه و تحلیل شد. به‌منظور درک بهتر از اثر پارامترهای مختلف روی میزان تثبیت، آزمایشات در دو حالت با اختلاط و بدون اختلاط صورت پذیرفت و در هر حالت اثر پارامترهای مهم و موثر بر میزان جذب بررسی گردید. در حالت بدون اختلاط، عمق پاشش جاذب در خاک و نسبت جرمی باطله و جاذب به‌عنوان پارامترهای اثربخش تعیین شده و مورد ارزیابی قرار گرفتند. حالت بدون اختلاط از چندین منظر دارای مزایایی است که استفاده از آن را در مرحله مطلوب‌تری نسبت به حالت با اختلاط قرار می‌دهد. یکی از مهمترین این مزایا حذف هزینه‌های مربوط به اختلاط است. مستحضر هستید که اختلاط ترکیبات جامد در مقیاس‌های بزرگ معمولاً مستلزم صرف وقت و هزینه بسیار و استفاده از ماشین آلات سنگین نظیر مخلوط‌کن های دوار بوده، مضاف بر اینکه معمولاً اختلاط یک‌دست و همگنی نیز صورت نمی‌گیرد. عامل دوم برتری روش بدون اختلاط به با اختلاط، امکان بهینه‌سازی سیستم جهت رسیدن به شرایطی با بیشترین میزان تثبیت آرسنیک و کمترین میزان هزینه است. تنها لازم است

شرایط بهینه مربوط به عمق پاشش و نسبت های جرمی باطله و جاذب ذکرشده در گزارش رعایت گردد.

سپس بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، شرایط بهینه تعیین گردید که در آن راندمان تثبیت آرسنیک بیش از ۹۸ درصد می‌باشد. در حالت بدون اختلاط نیز، عملاً عمق پاشش بی معنا بوده و میزان جذب آرسنیک تابعی تقریباً خطی از میزان جاذب موجود در محیط است. به این صورت که هرچه میزان جاذب در محیط بیشتر بوده و نسبت جرمی باطله به جاذب کمتر باشد، راندمان جذب آرسنیک و سایر فلزات سنگین نظیر سرب بیشتر خواهد بود. بر اساس مجموع نتایج به دست آمده، شرایط بدون اختلاط کامل و با توزیع میان‌لایه‌ای جاذب در توده باطله، به‌عنوان بهینه‌ترین شرایط با بالاترین راندمان جذب تعیین گردید.

تمایل MHA به جذب سایر فلزات نظیر سرب و آلومینیوم در حالت بدون اختلاط و تحت شرایط بهینه به مراتب بیشتر از حالت با اختلاط است. علاوه بر این، در حالت بدون اختلاط امکان جداسازی MHA از محیط با اعمال یک میدان مغناطیسی بسیار ساده‌تر از زمانی است که اختلاط کاملی بین باطله و جاذب صورت گرفته است. این سهولت در بازیابی جاذب این امکان را فراهم می‌کند تا بتوان از طریق فرآیندهای احیا، برخی از فلزات گرانبها نظیر تیتانیوم و مس را که با راندمان بسیار بالایی توسط MHA از محیط جذب شده‌اند، تحت واجذب و بازیافت قرار داد. این نکته، پتانسیل بسیار بالایی از منظر ایجاد ارزش افزوده اقتصادی برای کل مجموعه فراهم خواهد آورد.

با توجه به حجم باطله تولیدی روزانه در زرشوران و همچنین طیف وسیع فلزات و آلاینده‌های موجود در این باطله‌ها اعم از سرب و آرسنیک، این واحد معدنی جزء واحدهای شدیداً آلاینده محیط زیست دسته‌بندی شده و قاعدتاً مشمول جریمه‌های زیست محیطی سنگین نیز قرار خواهد گرفت. راهکار ارائه شده و تأییدشده در این پروژه تا حد بسیار زیادی می‌تواند مشکل فلزات سنگین را از طریق تثبیت و جداسازی آن‌ها مرتفع نماید.

جهت بررسی های محیط زیستی و مالی، افزایش مقیاس و ارزیابی اقتصادی نیز انجام گردید تا میزان تثبیت آرسنیک در باطله موجود به حجم تقریبی ۱ میلیون و چهارصد هزار تن بررسی گردد. طبق مطالعات صورت گرفته در این پروژه به حدود ۲۸,۰۰۰ تن جاذب MHA نیاز است که هزینه تمام شده‌ای برابر با ۸۴۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰ ریال خواهد داشت. با صرف این هزینه بیش از ۹۸٪ از آرسنیک موجود در کل باطله‌های معدنی سد باطله زرشوران جذب شده و تثبیت می‌گردد. طبق استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست کشور، هزینه پاکسازی هر مترمکعب خاک آلوده حدود ۳۳۰ دلار است. به بیان دیگر، هزینه تیمار کل باطله موجود در زرشوران برابر با ۴۶۲,۰۰۰,۰۰۰ دلار است که مبلغ بسیار قابل توجهی می‌باشد. این نکته، لزوم استفاده از MHA به‌عنوان عامل تثبیت‌کننده آرسنیک و فلزات سنگین دیگر را در سد باطله معدنی زرشوران بیش از پیش عیان می‌سازد.

طی نتایج به‌دست‌آمده در این پروژه، در عمق پاشش میان‌لایه‌ای و با نسبت جرمی ۲درصد، بیشترین راندمان جذب آرسنیک و سایر فلزات سنگین نظیر سرب را داشته و تا بیش از ۹۸ درصد از فلزات سنگین تحت این شرایط تثبیت می‌گردند. علاوه بر این، استفاده از MHA به‌عنوان جاذب، این پتانسیل را ایجاد می‌کند که بتوان از طریق بازیابی فلزات گرانبها نظیر مس و تیتانیوم، ارزش افزوده بیشتری برای کل واحد صنعتی تولید نمود چون نشان داده شد که با استفاده از فرآیند توسعه داده شده در این پروژه می‌توان به راندمان جداسازی تا بیش از ۹۰ درصد برای فلزات گرانبها رسید.