بیانیه نیاز تفصیلی

۱. حوزه‌ی کاربری	☐ معدن ☐ کشاورزی و امنیت غذایی ☐ سلامت ☐ حمل و نقل ☐ آب ☐ انرژی ☐ مسکن و اسکان ☒ نفت، گاز و پتروشیمی ☐ ICT ☐ دفاعی
۴. عنوان نیاز/فرصت	تولید گرانول اکسید آهن و یا هیدروکسید آهن برای حذف آرسنیک
۵. مشکلات و نواقص موجود و دلیل بروز مشکل	• *زمینه و چارچوب موضوع:* آرسنیک، به عنوان یک آلایندهٔ سمّی و خطرناک، نه‌تنها در آب‌های زیرزمینی به عنوان یک تهدید جدّی برای سلامت انسان مطرح است، بلکه در صنعت نفت، گاز و پتروشیمی و همچنین در ضایعات معدنی به عنوان یک آلایندهٔ بالقوه در فرآیندهای تولید و پردازش شناسایی می‌شود. وجود آرسنیک در این حوزه‌ها می‌تواند منجر به آلودگی پساب‌های صنعتی و زباله‌های تولیدی شود که نیازمند مدیریت دقیق و کارآمد است. فناوری‌های مختلفی برای حذف آرسنیک وجود دارد، که در شکل ۱ ارائه شده‌اند؛ و از جمله روش‌های مرسوم می‌توان به جذب، تبادل یونی، اکسیداسیون، انعقاد، و فیلتراسیون غشایی اشاره داشت. جذب، به‌ویژه با استفاده از مواد مبتنی بر آهن، به دلیل راندمان حذف بالا، هزینه کمتر و عملکرد ساده‌تر، یک روش امیدوارکننده است. بنابراین، با توجه به محدودیت‌ها و چالش‌های موجود در روش‌های فعلیِ حذف آرسنیک، تولید گرانول‌های اکسید آهن یا هیدروکسید آهن به عنوان یک راهکار نوآورانه و اقتصادی برای حذف آرسنیک در حوزه‌های مختلف، از جمله آب، نفت و گاز و پتروشیمی، و معدن می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. این مواد، با ساختار سطحی ویژه و ظرفیت جذب بالا، پتانسیل قابل توجهی در کاهش غلظت آرسنیک و حفاظت از محیط زیست ارائه می‌دهند. تولید گرانول‌های اکسید و هیدروکسید آهن از طریق روش‌های مختلفی مانند رسوب‌گذاری، هیدروترمال، سل-ژل و ... انجام می‌شود، که در شکل ۲ به خصوصیات هر روش اشاره شده است. • *دلایل بروز مشکل:* ✓ آلودگی منابع آب: آرسنیک به دلیل ساختار زمین‌شناسی در تأمین آب‌های زیرزمینی و ورود به آب شرب، یک نگرانی ویژه در کیفیت آب مصرفی به شمار می‌رود. این آلاینده به طور طبیعی در برخی از لایه‌های زمین‌شناسی وجود دارد و با انحلال در آب زیرزمینی، تهدیدی جدی برای سلامت انسان ایجاد می‌کند. ✓ فعالیت‌های صنعتی: صنایع نفت، گاز، پتروشیمی و معدن باعث ایجاد آلودگی آرسنیکی در پساب‌ها و زباله‌های تولیدی می‌شوند. این آلودگی‌ها، نه‌تنها محیط زیست را به خطر می‌اندازند، بلکه مدیریت و دفع بهینه آنها نیز چالش‌های زیادی ایجاد می‌کند. ✓ کمبود منابع آب: با توجه به کمبود آب در ایران و بسیاری از کشورها، حفظ منابع موجود و تصفیه آلودگی‌ها از جمله آرسنیک اهمیت دارد. این امر، ضرورت استفاده از فناوری‌های کارآمد و اقتصادی برای حذف آرسنیک را دوچندان می‌کند. ✓ محدودیت فناوری‌های موجود برای حذف آرسنیک: بسیاری از روش‌های حذف آرسنیک گران‌قیمت بوده و برای استفاده در تأسیسات بزرگ مناسب نیستند. ✓ محدودیت‌های تولید گرانول‌های اکسید و هیدروکسید آهن: تولید گرانول‌های اکسید و هیدروکسید آهن از طریق روش‌های مختلف مانند رسوب‌گذاری، هیدروترمال، سل-ژل و غیره، اگرچه پتانسیل بالایی دارد، اما خود دارای محدودیت‌هایی است. این روش‌ها ممکن است نیاز به تجهیزات خاص، انرژی زیاد، یا مواد اولیه گران‌قیمت داشته باشند. به‌علاوه، انتخاب روشِ مناسبِ تولید به منظور دست‌یابی به کارایی بالا و پایداری در شرایط مختلف، چالشِ مهمی است. • *دلایل عدم رفع مشکل با راه‌حل‌های موجود:* ✓ هزینه بالای فناوری‌های موجود: بسیاری از فناوری‌های حذف آرسنیک، مانند اسمز معکوس و غشاهای نانو، هزینه‌های سرمایه‌گذاری و عملیاتی بالایی دارند که استفاده از آنها در مقیاس بزرگ یا در کشورهای در حال توسعه با محدودیت مواجه است. علاوه بر این، هزینهٔ پیش‌تصفیه و پس‌تصفیه در برخی از این روش‌ها نیز قابل توجه است. ✓ پیچیدگی فرآیند و نیاز به تخصص: فناوری‌های پیچیده، نیاز به کارکنان ماهر و تجهیزات پیشرفته دارند که در

بیانیه نیاز تفصیلی

	بسیاری از مناطق، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، در دسترس نیستند. این پیچیدگی‌ها، استفاده از این فناوری‌ها را در مقیاس کوچک یا در شرایط فاقد زیرساخت‌های مناسب محدود می‌کند. ✓ محدودیت‌های جاذب‌ها و رزین‌ها: جاذب‌های متداول برای حذف آرسنیک، مانند براده‌های آهن یا رزین‌های تبادل یونی، ممکن است در حضور یون‌های مزاحم (مانند فسفات و سیلیکات) کارایی خود را از دست بدهند. این محدودیت‌ها نیاز به پیش‌تصفیه یا استفاده از مواد شیمیایی اضافی را افزایش می‌دهد که خود هزینه‌ها را بالا می‌برد. ✓ دفع لجن آرسنیک: بسیاری از روش‌های حذف آرسنیک، مانند انعقاد و ته‌نشینی، لجن حاوی آرسنیک تولید می‌کنند که دفع آنها خود یک چالش زیست‌محیطی است. این لجن‌ها نیاز به تصفیه و دفع بهداشتی دارند که هزینه‌ها را افزایش می‌دهد و نگرانی‌های زیست‌محیطی را به همراه دارد. ✓ محدودیت‌های فناوری‌های نوین: فناوری‌های نوین اگرچه پتانسیل بالایی دارند، اما هنوز در مرحله تحقیقاتی هستند و نیاز به توسعهٔ بیشتر برای استفاده در مقیاس صنعتی دارند. این فناوری‌ها ممکن است نیاز به تجهیزات خاص یا مواد اولیه گران‌قیمت داشته باشند که استفاده از آنها را محدود می‌کند. ✓ چالش‌های تولید گرانول‌های اکسید و هیدروکسید آهن: روش‌های مختلف تولید گرانول‌های اکسید و هیدروکسید آهن دارای محدودیت‌هایی هستند. به عنوان مثال، رسوب‌گذاری ممکن است منجر به تولید ذرات با اندازه و شکل نامنظم شود، در حالی که روش‌های هیدروترمال و سل-ژل نیاز به تجهیزات گران‌قیمت و شرایط کنترل‌شده دارند. بنابراین، انتخاب روش تولید مناسب و بهینه‌سازی آن برای دست‌یابی به گرانول‌هایی با خواص مطلوب و کارایی بالا، یک چالش مهم است.
۸. الزامات کلیدی و حیاتی مربوط به نیاز	✓ کیفیت مواد اولیه: مواد اولیه باید دارای خلوص بالا باشند تا عملکرد جاذب‌ها در حذف آرسنیک بهینه گردد. ✓ ظرفیت جذب بالا: گرانول‌ها باید توانایی حذف مقادیر قابل توجهی از آرسنیک را داشته باشند. ✓ سهولت تولید: فرآیند تولید باید اقتصادی بوده و نیازمند تجهیزات پیچیده نباشد. ✓ پایداری: جاذب‌ها باید در شرایط مختلف (pH، غلظت، دما، حضور یون‌های مزاحم) پایدار باشند. ✓ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مطلوب: گرانول‌های تولیدی باید دارای ویژگی‌هایی نظیر رطوبت کنترل‌شده، تخلخل مناسب، مساحت سطح ویژه بالا، دانسیته بهینه، اندازه مؤثر ذرات، و ضریب یکنواختی مطلوب باشند تا عملکرد جذب و پایداری آنها در فرآیند تصفیه تضمین شود. **جدول ۳: مشخصات گرانول‌های هیدروکسید آهن (GFH)** **ارائه‌شده توسط شرکت آلمانی GEH Wasserchemie GmbH & Co. KG (لینک منبع)** مشخصه: اُکسی‌هیدروکسید آهن (درصد جرمی) — مقدار: ۵۲-۵۷ رطوبت (درصد) — ۴۳-۴۸ تخلخل (درصد) — ۷۲-۷۷ pH — ۵/۲-۷/۸ مساحت سطح ویژه (m^2/g) — ۲۸۰ دانسیته (kg/m^3) — ۱۲۵۰ اندازه مؤثر ذرات (mm) — ۰/۲-۳۲ ضریب یکنواختی — تقریباً ۳ **جدول ۴: مشخصات گرانول‌های اکسید آهن سیاه** **ارائه‌شده توسط شرکت چینی Zhejiang Greefield Industry Co. (لینک منبع)** مشخصه: محتوای Fe_2O_3 — مقدار: ≥٪۹۰ مواد فرار در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد — ≤٪۲

بیانیه نیاز تفصیلی

نمک‌های محلول در آب	≤٪۲/۵
pH	۵/۸-۵
دانسیته (kg/m^3)	۱۱۰۰
اندازه مؤثر ذرات (mm)	۰/۰-۳/۶

۹. محدودیت‌ها و قیود

۱. محدودیت‌های مالی
- ✓ هزینه تولید هر کیلوگرم گرانول باید حداقل ۱۰٪ کمتر از قیمت گرانول‌های وارداتی مشابه باشد.
- ✓ راه‌اندازی خط تولید باید هزینه‌های دفع پسماند را حداقل ۴۰٪ نسبت به روش‌های فعلی در ۳ سال اول کاهش دهد.

۲. محدودیت‌های زمانی
- ✓ توسعه فرمولاسیون بهینه و پایلوت صنعتی حداکثر تا ۱۲ ماه.
- ✓ شروع تولید تجاری در مقیاس بزرگ حداکثر تا ۱۸ ماه پس از تأیید پایلوت.

۳. محدودیت‌های محیطی و فنی
- ✓ میزان آرسنیک باقیمانده در آب خروجی از فیلتر حاوی گرانول تولیدی نباید از ۱۰ µg/L بیشتر باشد (مطابق با استاندارد WHO).
- ✓ ظرفیت جذب آرسنیک گرانول تولیدی باید حداقل ۹۰٪ ظرفیت جاذب‌های مشابه تجاری باشد.
- ✓ گرانول تولیدی باید در بازهٔ pH آب شرب (۶/۵ تا ۸/۵) عملکرد مناسبی داشته باشد.
- ✓ گرانول باید از نظر فیزیکی مقاوم بوده و دچار خُردایش و تولید ذرات معلق در آب نشود.
- ✓ در فرآیند تولید، استفاده از مواد شیمیایی خطرناک یا سمّی باید به حداقل برسد و پسماندهای تولیدی مطابق با استانداردهای زیست‌محیطی بایستی مدیریت شوند.
- ✓ مصرف انرژی در فرآیند تولید باید بهینه بوده و قابل رقابت با روش‌های مشابه باشد.

۴. مقررات و استانداردهای اجباری
- ✓ تطابق با استانداردهای ملی و بین‌المللی مرتبط با مواد مورد استفاده در تصفیه آب آشامیدنی (مانند NSF/ANSI 61).
- ✓ اخذ مجوزهای لازم از سازمان حفاظت محیط زیست، و رعایت استانداردهای ایمنی و بهداشت کار در طول فرآیند تولید.

۵. محدودیت‌های سازمانی
- ✓ امکان تولید حداقل ۱۰۰ تن گرانول در سال در فاز اول و افزایش ظرفیت به ۲۵۰ تن در سال در طی ۳ سال.
- ✓ تأمین مواد اولیه باید به صورت پایدار و قابل اطمینان باشد.
- ✓ بسته‌بندی و حمل‌ونقل گرانول باید به‌گونه‌ای باشد که از کیفیت و کارایی آن محافظت شود.

۱۰. راه‌حل فعلی

در ایران، روش‌های موجود برای حذف آرسنیک شامل استفاده از جاذب‌هایی مانند براده آهن، رزین‌های تبادل یونی، و فرآیندهای انعقاد شیمیایی است. با این حال، این روش‌ها اغلب دارای محدودیت‌هایی نظیر هزینه بالا، پیچیدگی عملیاتی، و کارایی محدود در حضور یون‌های مزاحم هستند. تولید گرانول‌های اکسید آهن یا هیدروکسید آهن به صورت صنعتی هنوز به طور گسترده انجام نشده است؛ اما تحقیقات آزمایشگاهی نشان داده‌اند که این مواد پتانسیل بالایی برای حذف آرسنیک دارند.

در حال حاضر، برخی از مراکز تحقیقاتی و شرکت‌های دانش‌بنیان در ایران بر روی روش‌های تولید گرانول‌های اکسید و هیدروکسید آهن متمرکز شده‌اند. روش‌های مورد استفاده شامل:
- ✓ رسوب‌گذاری شیمیایی: این روش به دلیل سادگی و هزینه پایین، بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. در این روش، نمک‌های آهن (مانند کلرید آهن یا سولفات آهن) با یک ماده قلیایی (مانند هیدروکسید سدیم یا آمونیاک) واکنش

بیانیه نیاز تفصیلی

	داده و رسوب اکسید یا هیدروکسید آهن تشکیل می‌شود. سپس این رسوب با فرآیندهای جداسازی، شستشو، و خشک‌کردن به گرانول تبدیل می‌شود. چالش اصلی در این روش، کنترل اندازه و یکنواختی گرانول‌ها و همچنین دست‌یابی به سطح ویژهٔ بالا می‌باشد. ✓ روش سل-ژل: این روش امکان تولید گرانول‌هایی با تخلخل بالا و اندازه ذراتِ کنترل‌شده را فراهم می‌کند. در این روش، از پیش‌سازهای فلزی (مانند آلکوکسیدهای آهن) استفاده می‌شود که طی یک فرآیند هیدرولیز و تراکم، یک ژل تشکیل می‌دهند. سپس این ژل خشک شده و به گرانول تبدیل می‌شود. این روش معمولاً به تجهیزات پیچیده‌تری نیاز دارد و هزینه‌بر است. ✓ روش هیدروترمال: در این روش، واکنش در دما و فشار بالا در یک محیط آبی انجام می‌شود. این شرایط، امکان تولید گرانول‌هایی با بلورینگی بالا و اندازه ذرات یکنواخت را فراهم می‌کند. این روش نیز نیازمند تجهیزات خاصی است و کنترل دقیق شرایط واکنش برای دست‌یابی به محصول مطلوب ضروری است. علاوه بر این، برخی پژوهش‌ها نیز بر استفاده از ضایعات معدنی حاوی آهن برای تولید جاذب‌های مقرون‌به‌صرفه تمرکز داشته‌اند. به عنوان مثال، استفاده از لجن حاصل از تصفیه آب‌های اسیدی معدن یا خاک‌های غنی از آهن می‌تواند یک راهکار نوآورانه و اقتصادی باشد. با این حال، تولید صنعتی گرانول‌های اکسید و هیدروکسید آهن در ایران هنوز در مراحل اولیه قرار دارد و بیشتر فعالیت‌ها در مقیاس آزمایشگاهی و نیمه‌صنعتی انجام می‌شود. چالش‌های اصلی شامل بهینه‌سازی فرآیند تولید، کاهش هزینه‌ها، و دست‌یابی به محصولی با کیفیت و کارایی بالا است. همچنین، توجه به مسائل زیست‌محیطی مربوط به تولید و دفع این مواد نیز ضروری است.
۱۱. برنامه‌ها، پروژه‌ها و اقدامات مرتبط	✓ عسگری و همکاران (۱۳۸۷)، در پژوهشی به بررسی کارایی گرانول‌های هیدروکسید آهن (GFH)[1] در حذف آرسنیک از آب آشامیدنی پرداختند و ابراز داشتند که GFH می‌تواند با راندمان بالایی آرسنات [As(V)] و آرسنیت [As(III)] را از محلول‌های آبی حذف کند. این محققان، کارایی GFH را در غلظت‌های مختلف آرسنیک (۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌گرم بر لیتر) و دوزهای مختلف جاذب (۰/۲۵، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ گرم بر لیتر) بررسی کردند. مشخص شد که pH، زمان تماس و دوز جاذب، پارامترهای مهمی در فرآیند حذف آرسنیک توسط GFH هستند. ✓ Oscarson و همکاران (۱۹۸۳)، ظرفیت جذب آرسنیت [As(III)] و آرسنات [As(V)] توسط اکسیدهای آهن و آلومینیوم را بررسی کردند. در این مطالعه، ۰/۱ گرم از هر اکسید در ۷۰ میلی‌لیتر محلول آرسنیک (غلظت جاذب ۷ گرم بر لیتر) در هر ۰/۵ الی ۱۲ ساعت استفاده شد. نتایج نشان داد که ظرفیت جذب Fe_2O_3 و Al_2O_3 به‌ترتیب برای آرسنیت ۶۰/۹ mg/g و ۱۶ mg/L و برای آرسنات ۲۱/۳ mg/g و ۲۴/۵ mg/L بوده است. ✓ Shaniuk (۲۰۰۴)، در پتنت به شمارهٔ US 2004/0108275 A1 با عنوان "Arsenic Removal Media"، به معرفی یک جاذب بر پایهٔ هیدروکسید آهن برای حذف فلزات سنگین (به ویژه آرسنیک) از سیستم‌های آبی پرداخته است. این ماده، هیدروکسید آهن را با سطوح مشخصی از تخلخل ارائه می‌دهد که خواص فیزیکی و شیمیایی خاصی را به آن می‌بخشد. در فرآیند تولید این ماده، یک نمک آهن و یک ترکیب هیدروکسیدی به طور هم‌زمان ترکیب می‌شوند تا هیدروکسید آهن با ویژگی‌های مطلوب برای جذب فلزات سنگین به دست آید. آزمایش‌ها نشان داده‌اند که این ماده قادر است میزان آرسنیک موجود در آب را به سطحی برساند که با استانداردهای بین‌المللی مطابقت دارد و غلظت آن را تا کمتر از ۱۰ ppb کاهش دهد. این ماده می‌تواند به صورت گرانول‌هایی با اندازه‌های مختلف و با افزودنی‌هایی مانند بایندرها تولید شود تا کارایی، دوام و عملکرد آن در شرایط مختلف افزایش یابد. استفاده از این فناوری می‌تواند به کاهش هزینه‌های عملیاتی، افزایش طول عمر سیستم‌های تصفیه آب، و دست‌یابی به آب با کیفیت بالا در سیستم‌های خانگی، صنعتی و تجاری منجر گردد. ✓ Jeong و همکاران (۲۰۰۷)، جذب آرسنات [As(V)] توسط اکسیدهای آهن و آلومینیوم را با استفاده از غلظت‌های مشابه جاذب بررسی کردند. در این تحقیق، ماکزیموم ظرفیت جذب Fe_2O_3 و Al_2O_3 در pH=۶ به‌ترتیب

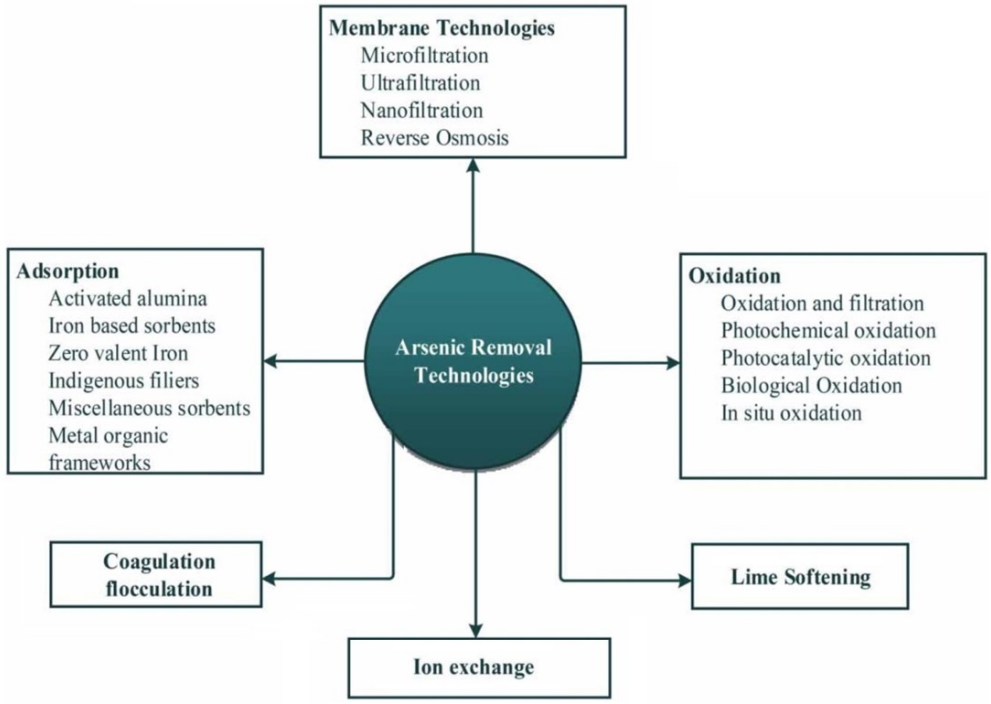
[1] Granular Ferric Hydroxide

بیانیه نیاز تفصیلی

	۰/۶۶ mg/g و ۰/۱۷ mg/g گزارش شد. پژوهشگران نهایتاً بر مبنای مشاهدات خود ابراز داشتند که Fe_2O_3 جاذب بهتری نسبت به Al_2O_3 است، و اگرچه ظرفیت جذب‌شان به طور قابل توجهی کم است؛ اما همچنان جزو محبوب‌ترین جاذب‌های مورد استفاده برای حذف گونه‌های آرسنیک از محیط‌های آبی محسوب می‌شوند. ✓ Wei و همکاران (۲۰۱۹)، سنتز و کارایی یک جاذب جدید به نام Fe-NN/BFs[1] برای حذف آرسنیک از آب‌های زیرزمینی را مورد بررسی قرار داده‌اند. این جاذب با استفاده از یک واکنش هیدروترمال ساده تولید شده و دارای مزایایی نظیر استفاده بهینه از آهن، سینتیک جذب سریع و ظرفیت بالای جذب آرسنیک است. نتایج نشان می‌دهد که Fe-NN/BFs قادر است غلظت گونه‌های آرسنیک در آب‌های زیرزمینی آلوده را سریعاً به زیر ۱۰ µg/L کاهش دهد. ✓ Uddin و Jeong (۲۰۲۰)، در مقاله مروری خود، به بررسی سمیّت آرسنیک و روش‌های نوین حذف آن از آب پرداخته‌اند. جذب سطحی به عنوان یک روش کارآمد و مقرون به صرفه برای حذف آرسنیک شناخته شده و در این میان، جاذب‌های مبتنی بر آهن به دلیل ظرفیت جذب بالا، هزینه پایین و عدم سمیّت پس از تصفیه، مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته‌اند. نانوذرات عناصر مختلف از جمله آهن، تیتانیوم، مس و زیرکونیوم نیز در حذف آرسنیک عملکرد بهتری نشان داده‌اند. علاوه بر این، چارچوب‌های فلزی-آلی (MOFs)[2] نیز به عنوان جاذب‌های خوب برای آرسنیک معرفی شده‌اند، اما کاربرد آنها به دلیل نانوکریستالی‌بودن[3] محدود است. در نهایت، استفاده از مواد متخلخل با سطح وسیع به عنوان حامل برای جاذب‌های نانو مقیاس می‌تواند مشکل جداسازی جاذبِ استفاده‌شده پس از تصفیه را کاهش داده و عملکرد حذف آرسنیک را بهبود بخشد. ✓ Byambaa و همکاران (۲۰۲۱)، به بررسی حذف آرسنیک از آب با استفاده از یک نوع ماده جاذب تهیه‌شده از ضایعات معدنی به نام MIRESORBTM حاوی آهن و آلومینیوم پرداخته‌اند. همچنین، عملکرد این جاذب، با گرانول هیدروکسید آهن (GFH) به‌عنوان یک جاذب تجاری مقایسه شده است. نتایج نشان داد که حداکثر ظرفیت جذب MIRESORBTM برابر با ۵۰/۳۸ mg/g بوده که بیشتر از GFH (۲۹/۰۷ mg/g) است. این مطالعه تأکید می‌کند که MIRESORBTM به‌عنوان یک جاذب کارآمد و اقتصادی، قابلیت بالایی برای حذف آرسنیک دارد و استفاده از مواد زائد معدنی را بهینه می‌کند، در عین حال که کاربردهای بالقوه‌ای برای تصفیه آب در مقیاس صنعتی ارائه می‌دهد. ✓ Fisher و Vreugdenhil (۲۰۲۳)، به بررسی کارایی کربن فعال مشتق‌شده از کک نفتی و اصلاح‌شده[4] با فلزات آهن و منگنز برای جذب گونه‌های آرسنیک در آب‌های اسیدی پرداخته‌اند. تحلیل‌های طیف‌سنجی فوتوالکترونی اشعه ایکس (XPS)[5] تغییرات شیمیایی سطح جاذب‌ها را پس از جذب آرسنیک تأیید کرده و عملکرد بهینه این مواد را در تصفیه آب‌های آلوده نشان می‌دهد. ✓ Jiménez-Vázquez و همکاران (۲۰۲۵)، در مقالهٔ مروری خود پیرامون کاربردهای کاتالیزوری اکسیدها و هیدروکسیدهای طبیعی آهن، به نقش این مواد در جذب بالای عناصر سمی همچون آرسنیک و توانایی تجزیه آلاینده‌های آلی اشاره کرده‌اند.
۱۲. محصول/راه‌حل پیشنهادی	پیشنهاد خاصی مدنظر نیست و لازم است طی فرآیندی، بهترین راه‌حل استخراج و معرفی گردد.
۱۳. نحوه حمایت بهره‌بردار از حل مسئله	☒ سرمایه‌گذاری برای توسعه محصول ☐ بازاریابی و فروش محصول ☐ تسهیل فروش محصول (از طریق وضع مقررات و ...) ☐ قرارداد خرید تضمینی محصول

[1] Iron Oxide Nanoneedle Array-decorated Biochar Fibers
[2] Metal Organic Frameworks
[3] Nano-crystallinity
[4] Metal-Impregnated Petroleum Coke-Derived Activated Carbon
[5] X-ray Photoelectron Spectroscopy

بیانیه نیاز تفصیلی

	☐ قرار دادن در لیست تأمین‌کنندگان (Vendor List) و تعامل با سایر تأمین‌کنندگان ☐ سایر: .....
۱۴. کلمات کلیدی	آرسنیک، پساب‌های صنعتی، روش جذب، گرانول‌های مبتنی بر آهن، اکسید آهن، هیدروکسید آهن.
۱۵. تصاویر مرتبط	 **شکل ۱: فناوری‌های مورد استفاده برای حذف آرسنیک.** (لینک مرجع) **شکل ۲: خلاصه‌ای از روش‌های تولید گرانول‌های اکسید و هیدروکسید آهن جهت حذف آرسنیک از پساب‌های صنعتی.**

بیانیه نیاز تفصیلی

روش تولید	ویژگی‌ها و شرح مختصر	مزایا	معایب
رسوب‌دهی و هم‌رسوب‌دهی	افزودن عامل خنثی‌کننده به محلول نمک آهن برای تشکیل رسوب هیدروکسید آهن یا هم‌رسوب کردن آرسنات با یون‌های فریک.	فرآیند ساده و کم‌هزینه؛ مناسب برای تولید انبوه.	کنترل دشوار اندازه ذرات؛ تولید لجن حاوی آرسنیک؛ محدودیت در حذف کامل آرسنیک.
پوشش‌دهی اکسید آهن	ایجاد لایه اکسید آهن روی بسترهایی مانند ماسه سیلیسی با استفاده از نیترات آهن و هیدروکسید سدیم.	بهبود خواص مکانیکی جاذب؛ سازگاری با سیستم‌های فیلتراسیون موجود.	کاهش ظرفیت جذب نسبت به جاذب‌های خالص؛ احتمال کاهش پایداری پوشش در شرایط خاص.
سل-ژل	هیدرولیز و تراکم پیش‌ماده‌های فلزی در یک محیط مایع برای تشکیل ژل و سپس خشک‌کردن آن.	امکان کنترل دقیق بر اندازه و ساختار ذرات؛ تولید مواد با خلوص بالا.	فرآیند زمان‌بر؛ نیاز به کنترل دقیق شرایط؛ هزینه بالای مواد اولیه.
سنتز شعله‌ای	استفاده از پیش‌سازهای گازی آهن در یک شعله کنترل‌شده برای تولید نانوذرات با اندازه و حالت اکسیداسیون دلخواه.	تولید پیوسته و در مقیاس بزرگ؛ خلوص بالای مواد تولید شده؛ کنترل دقیق بر خواص ذرات.	نیاز به تجهیزات تخصصی و پرهزینه؛ پیچیدگی فرآیند برای گرانول‌سازی نانوذرات.
هیدروترمال و سلونوترمال	سنتز مواد در دما و فشار بالا در محیط آبی یا غیرآبی برای تولید کامپوزیت‌های اکسید آهن/کربن فعال.	امکان سنتز مواد با بلورینگی بالا و مورفولوژی مطلوب؛ کنترل بهتر ترکیب شیمیایی مواد.	نیاز به تجهیزات گران‌قیمت؛ فرآیند زمان‌بر.
انجماد/ذوب	انجماد ژل هیدروکسید آهن در دماهای پایین و سپس ذوب آن برای تولید گرانول‌های مستحکم.	گرانول‌هایی با استحکام مکانیکی بالا؛ مناسب برای ستون‌های بستر ثابت.	پیچیدگی فرآیند؛ زمان‌بر بودن مراحل تولید.
روش‌های نوین و ترکیبی	ترکیب اکسید آهن با مواد دیگر یا استفاده از فناوری‌های نوین برای تولید جاذب‌های کارآمد.	تولید جاذب‌هایی با کارایی بالا؛ امکان استفاده از مواد ارزان‌تر و فناوری‌های سبز.	برخی روش‌ها هنوز در مراحل اولیه توسعه هستند و نیاز به تحقیقات بیشتری دارند.