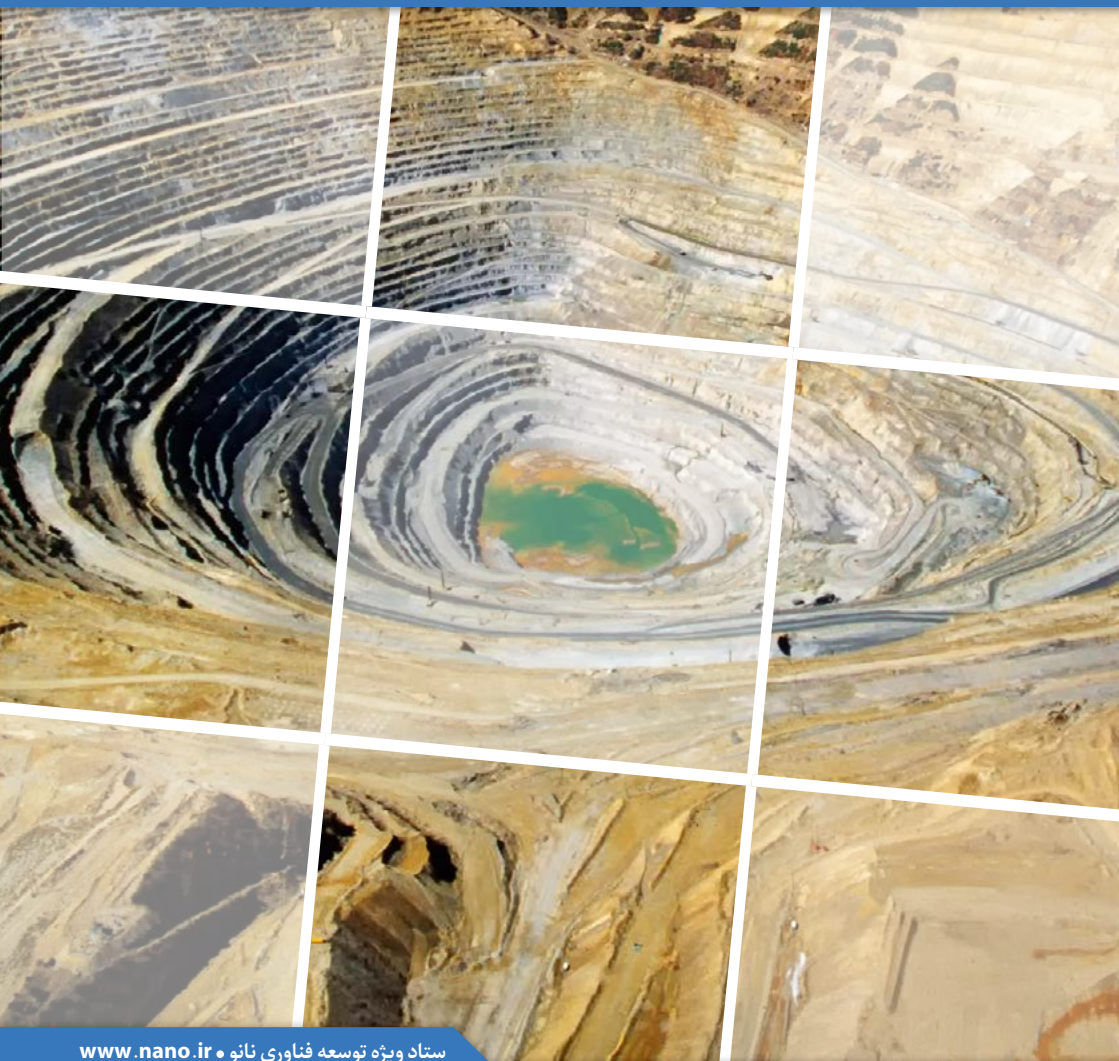


کاربردهای فناوری نانو در تصفیه آب ورودی و پساب معادن

سال انتشار: ۱۳۹۶

ویرایش نخست



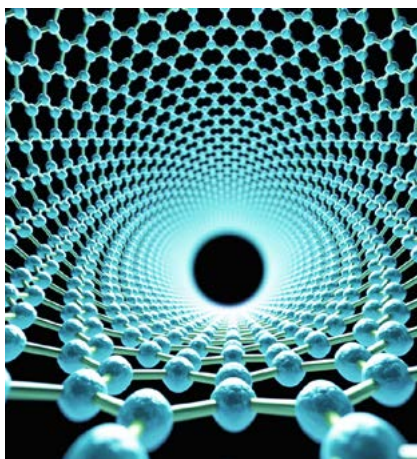
ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

طراحی و اجرا:	توسعه فناوری مهر ویژن	تلفن:	۰۲۱-۶۳۱۰۰
نظارت:	داود قزایلو	نمابر:	۰۲۱-۶۳۱۰۶۳۱۰
تهیه کننده:	گروه تخصصی کیمیا فناوری کارگزار حوزه آب	پایگاه اینترنتی:	www.nano.ir
و محیط زیست	water@nano.ir	صندوق پستی:	۱۴۵۶۵-۳۴۴

۳	فناوری نانو
۳	آب و توسعه پایدار
۴	بحران آب و صنعت معدن
۴	آب در صنایع معدنی
۵	حذف یون سولفات
۶	حذف فلزات سنگین
۷	نمک زدایی
۷	بررسی بازار
۸	معرفی برخی شرکت های فعال
۱۰	معرفی شرکت های فعال داخلی
۱۰	جمع بندی

فناوری نانو

بی شک یکی از مهمترین دستاوردهای بشر در دهه های اخیر، حوزه علوم و فناوری نانو است که راهکارهای متنوع و نوآورانه ای برای رفع مشکلات و معضلات موجود در بخش های مختلف ارائه می نماید. فناوری نانو که به عنوان مهندسی و هندستکاری مواد در مقیاس نانو (۱ تا ۱۰۰ نانومتر) شناخته می شود، پتانسیل های بالقوه و بالفعل نانو مواد را در بخش های مختلف علمی، صنعتی، محیط زیست و... به نمایش می گذارد. یکی از اصلی ترین مشخصه های فناوری نانو، توانایی آن در دستکاری، کنترل و بهینه سازی ساختار اساسی مواد در ابعاد اتمی و مولکولی، در راستای ایجاد خواص ویژه در ترکیبات مختلف است که تقریباً منشأ اصلی کاربردهای این فناوری در حوزه های مختلف به حساب می آید.



آب و توسعه پایدار

ایران به دلیل قرار گرفتن در منطقه جغرافیایی خاص، جزء مناطق تقریباً کم آب جهان محسوب شده و از حدود یک سوم متوسط بارش های جهانی برخوردار است. لذا تمام برنامه ریزی ها در زمینه توسعه اقتصادی به طور معناداری با مقوله آب و میزان دسترسی به آن گره خورده است و بدون توجه و ارزیابی منابع آبی اعم از زیرزمینی، رودخانه ها، نزولات آسمانی و... مبحث توسعه پایدار فاقد وجهت و پشتوانه علمی و عملی خواهد بود. برداشت بی رویه آب جهت مصارف کشاورزی (بیش از ۹۰ درصد مصرف آب کشور) در کنار کاهش نزولات آسمانی، منجر به ایجاد شرایط بحرانی در کشور ما شده است و با توجه به اهمیت ویژه آب برای صنایع مختلف (مخصوصاً صنایع معدنی)، می توان پیشبرد مبحث توسعه پایدار را به نوعی در گرو مدیریت بهینه منابع آب در کشور دانست.

بحران آب و صنعت معدن

ایران از نظر اقلیمی منطقه ای کم باران و به نسبت خشک تلقی می شود و از طرفی دارای منابع غنی کانی های معدنی است که می تواند نقش بسیار موثری در راستای عمران و آبادانی، ایجاد اشتغال و توسعه پایدار داشته باشد. اما نکته قابل توجهی که در این میان وجود دارد، این است که تقریباً تمام این معادن در مناطق گرم و خشک ایران واقع شده اند. براین اساس، تامین آب مورد نیاز برای واحدهای معدنی و صنایع معدنی، یکی از مهم ترین مشکلات صنایع معدنی کشور است؛ مشکلی که برخی از کارشناسان از آن با عنوان بحران آب معدن یاد می کنند. در نتیجه، بهره مندی از مواهب صنایع معدنی نیازمند تامین یک عنصر زیرساختی بسیار مهم به نام آب است. به ویژه اینکه به طور معمول پرمیارسازی و کنسانتره گیری از مواد معدنی حداقل در یک مرحله به وسیله آب انجام می شود و از نظر اقتصادی هیچ توجیهی وجود ندارد که سنگ و خاک خام را به مناطق برخورد از آب انتقال داد. در این شرایط، به کارگیری و بومی سازی برخی راهکارها و فناوری های نوین را می توان یکی از اقدامات موثر در راستای کاهش چالش های پیش روی تامین آب صنایع معدنی دانست.



آب در صنایع معدنی

لزام ایجاد حداکثر ارزش افزوده در طول زنجیره ارزش فرآورده های معدنی از یک سو و چالش های زیست محیطی پیرامون صنایع معدنی از سوی دیگر، این صنایع را ملزم به مدیریت بهینه منابع آب در دسترس می نماید. در صنایع معدنی، آب برای مقاصد مختلفی همچون استخراج و فرآوری محصولات معدنی و کاهش میزان غبارات خروجی استفاده می شود. با این حال اصلی ترین مصرف آب در این صنایع به کارخانجات فرآوری محصولات معدنی اختصاص دارد که در اصل از آب برای افزایش خلوص (عیار) محصولات خود بهره می برند. بنابراین، در کنار مشکلات مربوط به تامین و تصفیه آب ورودی، ایجاد پساب با غلظت هایی از گونه های مختلف توسط این صنایع نیز دور از انتظار نخواهد بود. مشکلات ناشی از پساب صنایع معدنی، بسته به نوع محصولاتشان می تواند شامل گستره ای از آلاینده ها باشد. با این حال، عمده ترین مشکلات در پساب این صنایع شامل مواد معلق، یون های فلزی، اسیدیته بالای پساب خروجی (مخصوصاً به دلیل وجود اسید سولفوریک) و سولفات است. در این صنایع، عموماً فرایندها و ابزارهای مختلفی



همچون شناورسازی، فیلتراسیون، هیدروسیکلون، تیکنر و... جهت تصفیه آب ورودی و همچنین پساب خروجی استفاده می‌شود. با این وجود و با توجه به شرایط بحرانی فعلی در مقوله تامین آب صنایع معدنی، استفاده از راهکارها و فناوری‌هایی جهت بازیابی و استفاده مجدد از پساب‌ها، نمک‌زدایی از آب‌های شور (مثل آب دریا یا آب چاه‌های شور و لب شور) و نامتعارف، استخراج املاح از پساب، کاهش میزان پساب خروجی و... نقش به سزایی در کاهش مشکلات پیش روی این صنایع در راستای تامین آب مورد نیاز آن‌ها خواهد داشت.

پتانسیل‌های فناوری نانو در حوزه آب صنایع معدنی

امروزه کاربردها و قابلیت‌های فناوری نانو به قدری گسترش پیدا کرده است که می‌توان گفت تقریباً در تمام حوزه‌های صنعتی، محصولات یا کاربردهایی از آن در نقاط مختلف دنیا شناخته شده است. یکی از حوزه‌های صنعتی که کاربردهای متنوعی از فناوری نانو را به خود اختصاص داده است، صنعت آب و فاضلاب است که گستره‌ای از محصولات مبتنی بر فناوری نانو در این حوزه معرفی شده و به بهره‌برداری نیز رسیده است. از جمله کاربردهای فناوری نانو در این حوزه می‌توان به تصفیه آب ورودی و پساب خروجی صنایع معدنی اشاره نمود. اصلی‌ترین پتانسیل‌های فناوری نانو جهت تصفیه آب ورودی، کاهش میزان پساب خروجی و هدررفت آب و همچنین استفاده مجدد از پساب، در این حوزه عبارتند از:

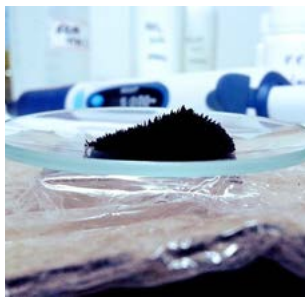
حذف یون سولفات

برای حذف یون سولفات تاکنون چندین راهکارهای مبتنی بر فناوری نانو ارائه شده است: ۱- تصفیه شیمیایی: این فرایندها مبتنی بر انجام واکنش شیمیایی بین یون سولفات و یک ترکیب شیمیایی مشخص استوار هستند که یون سولفات را ترسیب داده یا به گونه‌ای دیگر تبدیل می‌نمایند. این فرایندها معمولاً با



فرایندهایی همچون جذب سطحی، فیلتراسیون و... دنبال می شوند. کاربرد فناوری نانو در این حوزه، عموماً براساس استفاده از ترکیبات نانویی (معمولاً ترکیبات بر پایه آلومینا) است که در اثر واکنش با یون سولفات منجر به ترسیب آن می شوند. ۲- فرایند تبادل یون: این فرایند مبتنی بر عبور آب از روی یک بستر رزینی هستند که عموماً حاوی گونه های یونی مختلفی است. در اثر عبور آب آلوده به سولفات از روی رزین ها، یون سولفات جایگزین یون های موجود در ساختار رزین شده و بدین ترتیب بر روی سطح رزین جذب می شوند و از آب حذف می شوند. نسل های جدید این رزین ها ساختار نانویی دارند که امروزه به صورت تجاری نیز در بازار در دسترس قرار دارند. ۳- فرایندهای مبتنی بر فیلتراسیون: در این روش ها از یک غشای نیمه تراوا برای حذف ترکیبات مختلف از آب استفاده می شود و اساس کار آن ها بر مبنای اعمال فشار به آب آلوده جهت عبور از حفرات غشاها استوار است. از جمله فرایندهای فیلتراسیون مبتنی بر فناوری نانو جهت حذف سولفات می توان به نانوفیلتراسیون یا اسمز معکوس تقویت شده با فناوری نانو (با استفاده از غشاهای اسمز معکوس نانو ساختار یا اصلاح شده به وسیله نانومواد) اشاره نمود.

حذف فلزات سنگین

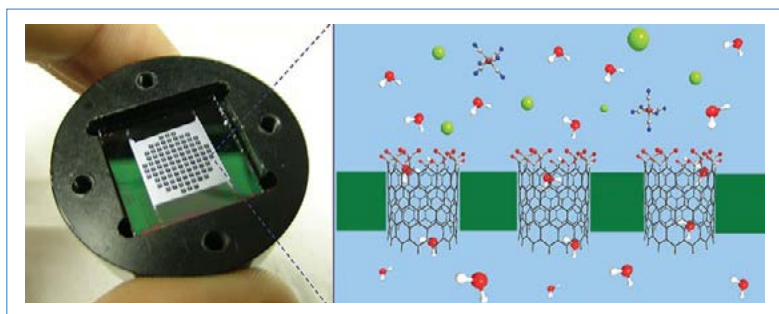


شکل ۱. یک نمونه نانوجاذب مبتنی بر نانوساختارهای کربنی جهت حذف فلزات سنگین از آب یا پساب

همانند روش های حذف یون سولفات، فلزات سنگین را نیز می توان توسط روش های فیلتراسیون (نانوفیلتراسیون و اسمز معکوس تقویت شده با فناوری نانو) از آب یا پساب جداسازی و حذف نمود. همچنین جهت حذف این دسته از یون ها، می توان از نانوجاذب ها یا جاذب های نانویی (شکل ۱) نیز بهره گرفت. نانو جاذب ها، دسته ای از جاذب ها هستند که به واسطه: ۱- سطح فعال بسیار زیادی که دارند (در نتیجه نانویی بودن) و ۲- به دلیل ساختار مهندسی شده، قادر هستند با گزینش پذیری، بازدهی و تمایل بسیار زیادی گونه های مختلف (به خصوص یون های فلزات سنگین) را بر روی سطح خود جذب نموده و آن ها را از آب ها یا پساب های آلوده حذف نمایند.

■ نمک‌زدایی

طی این فرایند که در صنعت معمولاً جهت تامین آب ورودی به صنایع مورد استفاده قرار می‌گیرد، نمک‌های موجود در آب حذف می‌شوند. نمک‌زدایی از آب‌های شور، می‌تواند منبع آب بسیار بزرگی (۹۷ درصد آب‌های زمین شور هستند) را در اختیار انسان‌ها قرار دهد. بدیهی است که ایران نیز به واسطه برخورداری از مرزهای آبی وسیع در جنوب کشور، می‌تواند بخش عمده‌ای از آب مورد نیاز خود را به خصوص در حوزه‌های صنعتی از طریق نمک‌زدایی آب دریا تامین نماید. روش‌های نمک‌زدایی به دو دسته روش‌های تقطیری و غشایی (فیلتراسیون) تقسیم بندی می‌شوند. در این میان، کاربرد فناوری نانو در فرایندهای نمک‌زدایی عموماً به طراحی غشاهای اسمز معکوس تقویت شده به وسیله فناوری نانو خلاصه می‌شود. شکل ۲ نمونه‌ای از این نوع غشاها را به نمایش می‌گذارد.

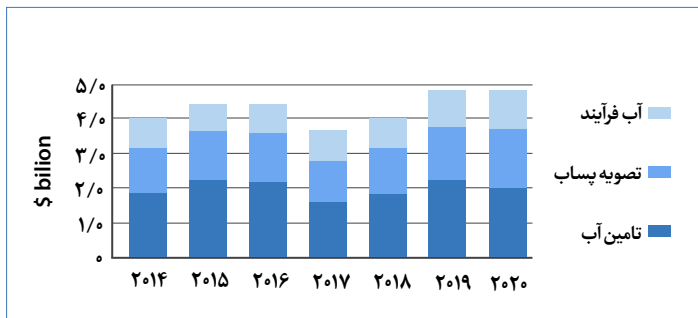


➤ شکل ۲. شمایی از یک غشای اسمز معکوس مبتنی بر نانولوله‌های کربنی جهت نمک‌زدایی از آب‌های شور

بررسی بازار

صنایع معدنی را می‌توان یکی از پردرآمدترین صنایع دنیا دانست. این صنایع در کنار درآمد بالا، نیازمند صرف هزینه‌های زیادی نیز هستند. یکی از اصلی‌ترین هزینه‌های مورد نیاز در این صنایع، مربوط به واحدهای تصفیه آب و پساب است. بنابراین بدیهی است که این حوزه بازار بسیار قدرتمندی را نیز در اختیار داشته باشد. براساس گزارش‌های بین‌المللی، بازار تصفیه آب در صنایع معدنی در سال ۲۰۱۴ چیزی در حدود ۹ میلیارد دلار بوده است و پیش‌بینی‌ها حاکی از این است که این بازار در سال ۲۰۱۹ به مبلغ ۱۷ میلیارد دلار برسد [۳]. همچنین براساس آمار ارائه شده توسط موسسه GWI، این بازار در کشورهای آمریکای لاتین، به عنوان یکی از مهم‌ترین قطب‌های معدنی جهان، در سال ۲۰۱۴ در حدود ۴ میلیارد دلار بوده است و پیش‌بینی می‌شود که این بازار در سال ۲۰۲۰ به حدود ۵ میلیارد دلار برسد (شکل ۳) [۴].

علیرغم وجود بازار قابل توجه تصفیه آب و پساب در صنایع معدنی و همچنین وجود محصولات متعدد مبتنی بر فناوری نانو در این حوزه، در حال حاضر گزارش دقیقی از حجم بازار محصولات مبتنی بر فناوری نانو در این حوزه منتشر نشده است. با این حال، به عقیده نگارنده متن، در بدترین شرایط شاید بتوان ۵ الی ۱۰ درصد از حجم کل بازار این حوزه را به محصولات مبتنی بر فناوری نانو نسبت داد.



شکل ۳. حجم بازار آب در صنایع معدنی کشورهای حوزه آمریکای لاتین و بازار پیش بینی شده تا سال ۲۰۲۰ [۴]

معرفی برخی شرکت های فعال

با توجه به تعدد کاربردهای توسعه یافته براساس فناوری نانو برای تصفیه آب و پساب صنایع معدنی، دور از انتظار نخواهد بود که تعداد محصولات موجود در این حوزه نیز قابل توجه باشد. لذا در ادامه صرفا به معرفی برخی از شرکت های فعال در این حوزه و محصولات آن ها پرداخته خواهد شد. بخشی از فعالیت های موسسه تحقیقاتی Mintek که در سال ۱۹۳۴ در کشور آفریقای جنوبی تاسیس شده است، بر روی توسعه نانومواد جهت کاربردهای مختلف متمرکز شده است. یکی از محصولات این مرکز، ترکیبی خاص از نانوذرات آلومینا است که قادر است با سولفات واکنش کرده و منجر به ترسیب آن شود (شکل ۴) [۵].



شکل ۴. تحقیق و توسعه در موسسه تحقیقاتی Mintek [۶]

شرکت کانادایی BQE Water از شرکت هایی است که به طور تخصصی در حوزه تصفیه آب و پساب صنایع معدنی فعالیت دارد. یکی از محصولات این شرکت، رزین نانویی جهت حذف سولفات است که حق اختراع آن را نیز به ثبت رسانده است. براساس ادعای این شرکت، این محصول حتی در شرایطی که میزان سختی بسیار بالا باشد، نیز قادر به حذف سولفات خواهد بود (شکل ۵) [۷].



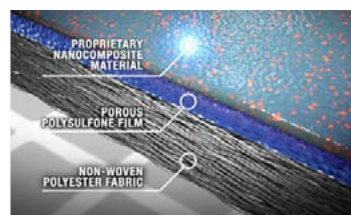
◀ شکل ۵. شمایی از سامانه
روزینی شرکت BQE Water
جهت حذف سولفات از
پساب صنایع معدنی [۷].



شرکت شناخته شده GE Water (از زیر مجموعه های هلدینگ جنرال الکتریک)، از جمله شرکت هایی است که در حوزه آب صنایع معدنی فعالیت قابل ملاحظه ای دارد. از جمله محصولات آن می توان به غشاهای نانوفیلتراسیون جهت تصفیه پساب این صنایع و حذف سولفات اشاره نمود (شکل ۶) [۸].

▶ شکل ۶. غشای نانوفیلتراسیون ساخت شرکت
GE Water جهت حذف سولفات و برخی املاح [۹]

یکی از اولین شرکت ها در زمینه ساخت غشاهای اسمز معکوس تقویت شده با فناوری نانو، شرکت NanoH_2O است که فعالیت خود را در سال ۲۰۰۵ شروع نموده و پس از آن رشد بسیار سریعی را تجربه نمود؛ به نحوی که در سال ۲۰۱۳ بخش توسعه فناوری های حوزه آب شرکت بزرگ LG Electronics اقدام به خریداری آن نمود و امروزه غشاهای ساخته شده توسط فناوری این شرکت بزرگ ترین سهم را در بازارها به خود اختصاص داده اند و به نوعی شناخته شده ترین محصول مبتنی بر فناوری نانو در بازار می باشند (شکل ۷) [۱۰].



▶ شکل ۷. غشای اسمز معکوس تقویت شده با فناوری نانو ساخته شده توسط شرکت LG و شمایی کلی
از فناوری ساخت این غشاء که توسط شرکت NanoH_2O توسعه یافته است [۱۱].

معرفی شرکت های فعال داخلی



شکل ۸. سامانه نمک زدایی با استفاده از روش الکترودیالیز تقویت شده با فناوری نانو؛ تولید شرکت پیام آوران نانوفناوری فردانگر

در حال حاضر در کشور ما، شرکت های بسیاری در حوزه تصفیه آب و پساب صنایع معدنی فعالیت دارند، هرچند به صورت مستقیم گزارشی از فعالیت این شرکت ها در حوزه تصفیه آب معادن وجود ندارد. با این حال، یکی از محصولات داخلی که شاید بتواند در این حوزه مورد استفاده قرار گرفته و برخی مشکلات را مرتفع سازد، سامانه نمک زدایی مبتنی بر روش الکترودیالیز است که توسط شرکت پیام آوران نانوفناوری فردانگر (PNF) طراحی و ساخته شده است (شکل ۸). غشاهای یون گزین مورد استفاده در این سامانه به وسیله فناوری نانو بهبود یافته اند که در کنار افزایش راندمان بازیابی آب، افزایش طول عمر سیستم را نیز به همراه داشته است [۱۲]. همچنین، شرکت فوق سامانه حذف فلزات سنگین از پساب را نیز جهت مصارف شرب و کشاورزی فراهم تولید می نماید.

جمع بندی



یکی از اصلی ترین ملزومات توسعه پایدار، توسعه صنایع و ایجاد زیرساخت های صنعتی مناسب است. در این میان، صنایع معدنی به عنوان یکی از صنایع زیرساختی کشور نقش غیر قابل انکاری در این مبحث خواهند داشت. در کشور ما معادن و صنایع معدنی بسیار شاخصی در حال فعالیت هستند، اما متأسفانه اکثر این واحدهای معدنی در نقاط خشک و کم آب قرار گرفته اند و با

توجه به وضعیت بحرانی کشور از نظر منابع آب، این صنایع نیز به نوعی دچار بحران آب شده‌اند. در این شرایط، استفاده از فناوری‌های روز دنیا و سعی در بومی سازی آن‌ها می‌تواند نقش بسیار موثری در کاهش مشکلات این صنایع داشته باشد. امروزه فناوری نانوبه عنوان یک فناوری پیش‌رو در اکثر حوزه‌های صنعتی شناخته شده و محصولات قابل توجهی نیز در حوزه تصفیه آب و پساب صنایع معدنی عرضه نموده است. استفاده از این محصولات که به صورت تجاری در دسترس هستند، از یک طرف می‌تواند منجر به افزایش بازیابی آب و در نتیجه کاهش میزان هدررفت آب در این صنایع شده و از طرف دیگر استفاده از برخی منابع آب غیرمتعارف را نیز برای این صنایع به ارمغان آورد.

مراجع

1. <https://www.battelle.org/>.
2. http://pubs.acs.org/cen/_img/86/i25/CNTIONimg1.jpg.
3. <https://bluefieldresearch.com/water-treatment-for-global-mining-competition-costs-demand-outlook-2014-2019/>.
4. <https://www.globalwaterintel.com/market-intelligence-reports/water-mining-latin-america#section4>.
5. <http://www.mintek.co.za/technical-divisions/advanced-materials-amd/nanotechnology/>.
6. Sehaqui H, Zhou Q, Ikkala O, Berglund LA. 2011. Strong and tough cellulose nanopaper with high specific surface area and porosity. *Biomacromolecules*. 12:3638–3644.
7. <http://www.mintek.co.za/>.
8. <https://www.bqewater.com/>.
9. <https://www.gewater.com/>.
10. <https://www.gewater.com/products/seawater-sulfate-nanofiltration-nf-membrane>.
11. <http://www.lgwatersolutions.com>.
12. <http://www.lgwatersolutions.com/technology>.
13. <http://www.pnf-co.com/>.

از مجموعه گزارش های صنعتی فناوری نانو منتشر شده است



- پوشش ها، کفپوش ها و سازه های مقاوم در برابر لغزش
- بررسی و کاربرد نانوفوتوکاتالیست ها در حوزه های مختلف
- کاربرد فناوری نانو در روش فیلتراسیون اسمز مستقیم
- آزمایشگاه روی تراشه
- کاربرد نانولوله های کربنی در فلزات
- کاربردهای نانومواد سلولز در صنایع مختلف، حوزه کامپوزیت و پلیمر
- کاربرد فناوری نانو در خازن ها
- کاربرد نانوکاتالیست ها در بهبود عملکرد پیل های سوختی
- سلول های خورشیدی شفاف
- کاربردهای فناوری پلاسمای قوسی خزنده در صنایع
- نانوذرات مغناطیسی، تشخیص و درمان هدفمند بیماری ها
- کاربرد فناوری نانو در منسوجات پزشکی و بهداشتی
- کاربرد نانومواد سلولز در فیلم های بسته بندی خوراکی
- کاربردهای نانوذرات نورتاب در بهبود سلول های خورشیدی
- نانوحسگرهای تشخیص و اندازه گیری گاز دی اکسید گوگرد
- راهکارهای مقابله با آلودگی هوا توسط فناوری نانو
- نانوحسگرهای تشخیص و اندازه گیری گاز دی اکسید کربن
- نانوحسگرهای تشخیص توالی دی ان ای و ژن های معیوب
- نانوذرات دارورسانی به چشم
- کاربرد منسوجات نانوفارانه در وسایل نقلیه
- کاربرد فناوری نانو در تصفیه آب خاکستری
- کاربرد نانوسلولز در چاپ سه بعدی
- کاربرد نانوکاتالیزورها در کنترل و رفع آلودگی محیط زیست
- کاربرد نانومواد سلولزی در روکش های خوراکی
- بهبود شرایط بهداشتی سطوح تجهیزات در صنایع غذایی، نوشیدنی و دارویی با استفاده از فناوری نانو
- کاربردهای فناوری نانو در انرژی
- نانو امولسیون، نقش و کاربرد آن در پزشکی
- کاربرد فناوری نانو در تولید منسوجات عایق گرمایی
- کاربرد فناوری نانو در تولید منسوجات عایق صوتی
- بهبود عملکرد پوشش های مقاوم به خوردگی با استفاده از نانولوله های کربنی
- کاربرد فناوری نانو در صنعت چرم
- کاربرد فناوری نانو در حذف آلودگی آرسنیک از آب
- کاربرد فناوری نانو در منسوجات بی بافت
- کاربرد نانومواد سلولز در مقوا
- نانو بارکدها
- کاربرد فناوری نانو در چاپ منسوجات
- کاربرد فناوری نانو در تولید الیاف
- کاربرد فناوری نانو در وسایل نقلیه
- فناوری نانو؛ نقش و کاربرد آن در دندانپزشکی
- کاربرد سیالات فوق بحرانی در صنعت داروسازی
- فناوری پلاسمای نقش و کاربرد آن در زیست پزشکی
- بررسی فنی و اقتصادی نانوپوشش های جاذب امواج الکترومغناطیسی
- بررسی فنی و اقتصادی رنگ های دریایی (معمولی و نانویی)
- کاربرد فناوری نانو در صنعت حمل و نقل ریلی