مروری بر فناوری نانو در تصفیه پساب صنعت نساجی

ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

مقدمه

فناوری نانو علم و مهارت دستکاری مواد در مقیاس بسیار کوچک مانند ابعاد اتمی و مولکولی است. فناوری نانو سبز استفاده از محصولات و تجهیزات فناوری نانو در راستای ارتقای پایداری محیط زیست، مانند استفاده از انرژی کمتر در فرایندهای مختلف، توانایی بازیابی محصولات پس از مصرف و استفاده از ترکیبات دوستدار محیط زیست می‌باشد.

فناوری نانو سبز دو جنبه دارد:

۱) محصولات نانو که راه حلی برای مشکلات زیست محیطی ارائه می‌کند و غالبا این محصولات برای جلوگیری از خسارات ناشی از آلاینده‌ها بکار رفته و در فناوری‌های زیست محیطی برای زدودن آلاینده‌های خطرناک از آب استفاده می‌شود.

۲) محصولات نانو که برای کاهش میزان صدمات و خسارات وارده به سلامت انسان و محیط زیست استفاده می‌شوند.

بنابراین تصفیه، بازیابی و تولید آب سالم از محورهای اصلی فناوری نانو سبز است.

۱- پساب نساجی و ضرورت تصفیه آن

صنعت نساجی با توجه به نوع مواد خام مورد استفاده از آن به سه بخش عمده پنبه، پشم و الیاف مصنوعی تقسیم می‌شود. در بین صنایع دارای فرایند تر ، صنعت نساجی بیشترین حجم آب را در بخش رنگرزی و تکمیل مصرف کرده و در نتیجه بیشترین حجم پساب را تولید می‌کند. پساب حاصل از صنعت نساجی عموما حاوی رنگزا و ترکیبات آلی، مواد جامد معلق و فلزات سنگین با قابلیت تجزیه زیست‌محیطی کم بوده، pH پساب آن دارای نوسانات بسیاری است و شاخص COD (اکسیژن مورد نیاز شیمیایی) و BOD (اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی) آن نیز بسیار بالا می‌باشد. در جدول ۱ میانگین حجم پساب تولید شده در فرایندهای مختلف نساجی به همراه میانگین شاخص‌های BOD و TSS (کل ذرات جامد معلق) به تفکیک برای تولید پنبه، پشم و الیاف مصنوعی گزارش شده‌است.

با توجه به جدول ۱، مشهود است که تمامی فرایندهای نساجی به ازای هر تن محصول حجم قابل توجهی پساب با بار آلایندگی بالا ایجاد می‌کنند. هر متر مکعب پساب تصفیه نشده می‌تواند حدود ۵۰ متر مکعب آب را آلوده سازد. رها شدن این حجم بالای پساب با بار آلودگی بسیار بالا پیش از تصفیه، در محیط زیست علاوه بر آثار منفی بر زیبایی طبیعت، باعث ایجاد ترکیبات جانبی خطرناک از طریق واکنش‌های شیمیایی خودبه‌خودی شده و به‌علت جلوگیری از نفوذ نور خورشید به داخل آب، سبب ایجاد اختلال درعمل فتوسنتز می‌گردد. ایجاد انواع بیماری‌ها در موجودات زنده از دیگر عواقب ناشی از ورود آلاینده‌های خطرناک موجود در پساب به چرخه آبی می‌باشد.

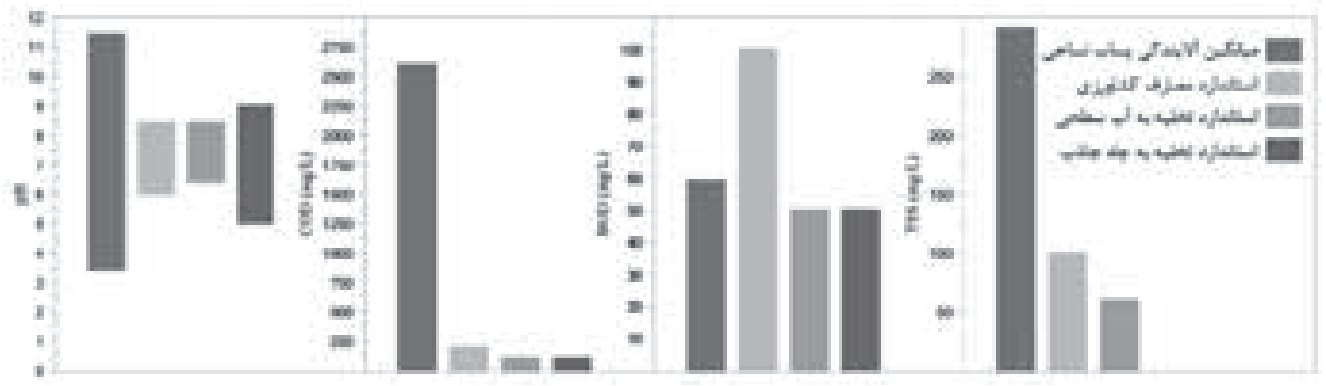
شکل ۱. تصویری از پساب خروجی صنایع نساجی (تصویر جهت استفاده گرافیست)

بنابراین در چند سال گذشته قوانین زیست محیطی شدیدی به همراه افزایش محدودیت در تخلیه پساب در اکثر کشورها وضع شده است. سازمان محیط زیست برای تخلیه پساب‌ها بعد از انجام فرایندهای صنعتی استانداردهایی را وضع کرده است. در شکل ۲ میانگینی از شاخص‌های پساب خروجی چند کارخانه نساجی به همراه استاندارد تخلیه سازمان

جدول ۱. مشخصات پساب خروجی فرایندهای نساجی

فرایند نساجی	نام مرحله	حجم پساب (m_3/ton)	BOD(kg/ton)	TSS (kg/ton)	سایر آلاینده‌ها
پشم (به ازای هر تن)	میانگین پشم خام شسته نشده	۵۴۴	۳۱۴	۱۹۶	روغن‌ها آمونیاک انواع سطح فعال: صابون، یکنواخت کننده، ریتاردر و ... فنل رزین‌ها نرم‌کن‌ها ترکیبات کلردار حلال‌ها انواع فلزات سنگین: کروم، روی، نیکل، مس، آهن، کادمیوم و ...
	میانگین پشم خام شسته شده	۵۳۷	۸۷	۴۳	
	فرایندهای خاص				
	شست و شوی اولیه	۱۷	۲۲۷	۱۵۳	
	رنگرزی	۲۵	۲۷	—	
	شست و شو	۳۶۲	۶۳	—	
	کربونیزه کردن	۱۳۸	۲	۴۴	
	سفیدگری	۱۲/۵	۱/۴	—	
پنبه (به ازای هر تن)	میانگین	۲۶۵	۱۱۵	۷۰	
	فرایندهای خاص				
	آهارزنی نخ	۴/۲	۲/۸	—	
	آهارگیری	۲۲	۵۸	۳۰	
	پخت	۱۰۰	۵۳	۲۲	
	سفیدگری	۱۰۰	۸	۵	
	مرسریزه کردن	۳۵	۸	۲/۵	
	رنگرزی	۵۰	۶۰	۲۵	
	چاپ	۱۴	۵۴	۱۲	
سایر الیاف مصنوعی (به ازای هر تن)	ریون	۴۲	۳۰	۵۵	
	استات	۷۵	۴۵	۴۰	
	نایلون	۱۲۵	۴۵	۳۰	
	اکریلیک	۲۱۰	۱۲۵	۸۷	
	پلی استر	۱۰۰	۱۸۵	۹۵	

حفاظت از محیط زیست ایران نشان داده شده‌است. با توجه به این نمودارها، تمامی شاخص‌ها خارج از محدوده استاندارد تعریف شده هستند و تصفیه پساب نساجی پیش از تخلیه به محیط زیست کاملا ضروری و حیاتی است. از آنجایی که ایران و خاورمیانه از لحاظ جغرافیایی در کمربند خشک جهان قرار دارند و ایران در ده سال گذشته با خشکسالی روبه‌رو بوده است. بنابراین با توجه به کاهش ۷۵ درصدی میزان بارش‌ها و محدود بودن منابع آبی، تصفیه مناسب پساب پیش از ورود به محیط زیست امری اجتناب ناپذیر است.



شکل ۲. مقایسه شاخصهای پساب خروجی چند کارخانه و استاندارد تخلیه در ایران

۲-روش‌های تصفیه پساب نساجی

۲-۱-روش‌های متداول

تصفیه پساب به فرایندهایی اطلاق می‌شود که برای حذف آلاینده‌های موجود در پساب مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش‌های گوناگونی برای تصفیه پساب نساجی وجود دارد که می توان آنها را به سه بخش فیزیکی، شیمیایی و زیستی تقسیم نمود که از نظر بازده، هزینه‌های اقتصادی و آثار زیست محیطی با یکدیگر تفاوت دارند (شکل ۳). انتخاب روش مناسب برای تصفیه به خصوصیات پساب، صرفه اقتصادی، سهولت عملیات، استاندارد تخلیه و ... بستگی دارد:

۲-۲-روش‌های پیشرفته

امروزه با توجه به نیازهای رو به رشد بشر و حضور ترکیبات پیچیده و سمی در پساب، روش‌های متداول نام برده پاسخگوی دستیابی به استانداردهای تخلیه پساب در محیط زیست نبوده و از این‌رو معرفی روش‌های کارا و موثر در تصفیه پساب در راس کار پژوهشگران و صنعتگران قرار گرفته‌است و روش‌های پیشرفته تصفیه پساب برای حل این مشکل مطرح شده‌اند.

روش‌های اکسیداسیون پیشرفته (AOPs)، فرایندهایی بر پایه تولید رادیکال‌های بسیار فعال هستند که می‌توانند اکثر ترکیبات پیچیده موجود در پساب را تخریب کرده و آنها را به دی‌اکسید کربن و آب تبدیل نماید. از جمله این روش‌ها می‌توان به فرایندهای فتوکاتالیستی بر پایه پرتوفرابنفش (UV) و یا نور مرئی، اکسیداسیون الکتروشیمیایی (الکترودهایی نظیر پلاتین، اکسیدهای فلزی و ...)، اُزن‌دهی، روش فراصوت، فنتون و .... اشاره نمود.

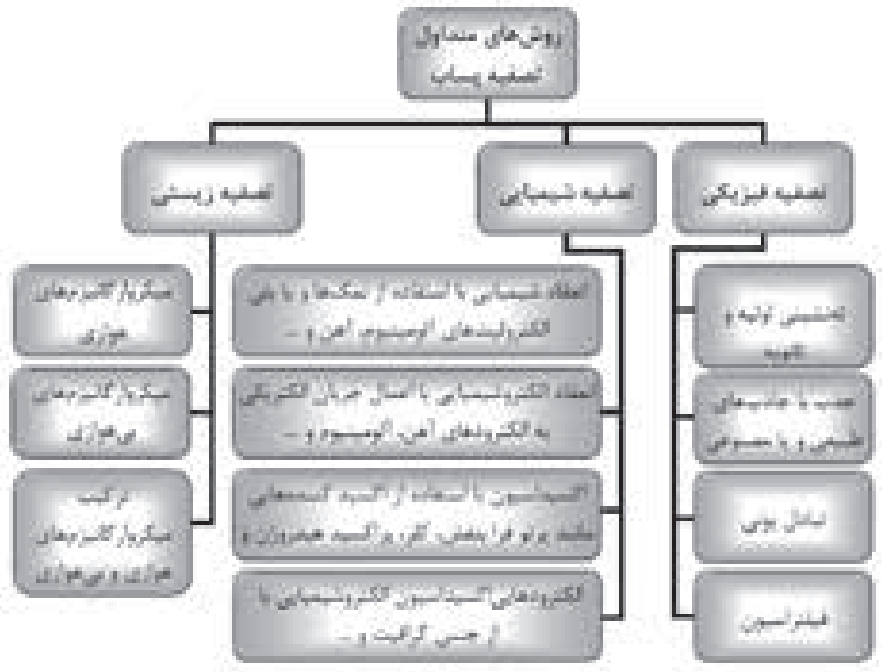
تمام روش‌های ذکر شده اعم از متداول و پیشرفته دارای مزایا و معایبی هستند و بسیاری از آنها به دلایل اقتصادی، مشکلات دفع، زمان طولانی فرایند، بازده نامناسب، پیچیدگی فرایند و یا نیاز به فضای زیاد برای تجهیزات تصفیه پساب در مقیاس صنعتی قابل قبول نمی‌باشند. به همین دلیل معمولاً از ترکیبی از فرایندهای مختلف، برای دستیابی به بازده مناسب و کیفیت مطلوب استفاده می‌شود و تا کنون فرآیند واحدی برای تصفیه مناسب و کارای پساب ارائه نشده است.

۳-فناوری‌نانو در تصفیه پساب

امروزه با معرفی فناوری نانو به انواع فرایندهای تصفیه پساب مانند استفاده از نانو جاذب‌ها و یا اصلاح جاذب‌ها با نانو ساختارها، پوشش‌دهی سطح الکترودها با نانو مواد، نانو فیلترها ، نانو فتوکاتالیست‌ها ، نانو ذرات مغناطیسی و غیره، به دلیل تغییر در خواص فیزیکی، شیمیایی و زیستی مواد، بهبود چشمگیری در کارایی روش‌های مذکور حاصل شده‌است. به‌نظر می‌رسد که با به‌کارگیری فناوری نانو در تصفیه پساب نه تنها بتوان با بسیاری از مشکلات پیش روی فناوری‌های فعلی مقابله کرد، بلکه با افزایش توانایی تصفیه، امکان تصفیه منابع آبی غیر متداول و در نتیجه وسیع‌تر شدن ذخایر آبی نیز وجود خواهد داشت.

۳-۱-فرایند جذب

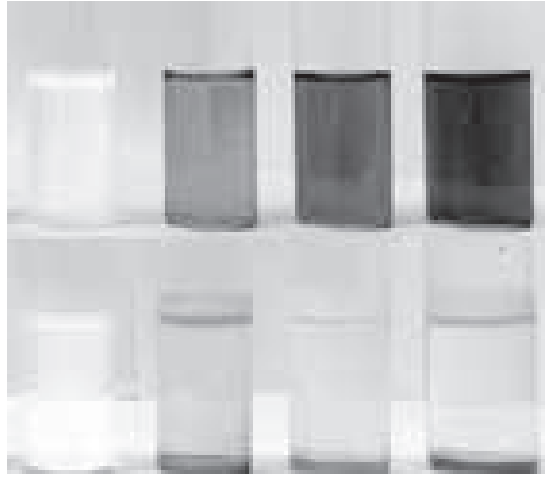
به دلیل سطح جانبی و مکان‌های فعال جذب کم و سرعت پایین، فرایند جذب با استفاده از جاذب‌های متداول محدودیت زیادی دارد.



شکل ۳. روش‌های متداول تصفیه پساب [۸-۱۰]

استفاده از مواد نانو جاذب با دارا بودن سطح جانبی بیشتر، مکان‌های جذب بسیار زیاد، سرعت بالای نفوذ آلاینده در آنها و قابلیت تنظیم اندازه حفره‌های ساختاری، سبب افزایش کارایی فرایند جذب شده است. انواع مختلفی از نانو مواد جاذب برای حذف آلاینده‌ها از پساب مورد استفاده قرار گرفته‌اند که از پرکاربردترین آنها می‌توان نانو لوله‌های کربنی تک دیواره و چند دیواره، اکسید گرافن و گرافن را نام برد. به‌عنوان مثال هر گرم پودر گرافیت سطحی با مساحت ۰/۶ متر مربع را می‌پوشاند، در حالی‌که هر گرم پودر نانو لوله کربنی و گرافن به‌ترتیب سطوحی با مساحت ۲۵۴ و ۲۶۳۰ متر مربع را پوشش می‌دهند، بنابراین میزان مصرف این مواد برای حذف آلاینده‌ها بسیار کاهش می‌یابد. دلیل دیگر توجه به این مواد، امکان بازیابی و استفاده مجدد از آنها بدون کاهش چشمگیر بازده است. از دیگر جاذب‌های نانو می‌توان به پلیمرهای درختسان و پرشاخه اشاره کرد که مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته‌اند. حضور گروه‌های فعال انتهایی و همچنین حفره‌های میانی در ساختار این مواد، آنها را به ابر جاذب‌هایی برای حذف ترکیبات آلی و فلزات سنگین تبدیل کرده‌است. از پرکاربردترین پلیمرهای درختسان در حوزه تصفیه پساب می‌توان به پلی آمیدو آمین (PAMAM) و پلی پروپیلن ایمین (PPI) اشاره کرد.

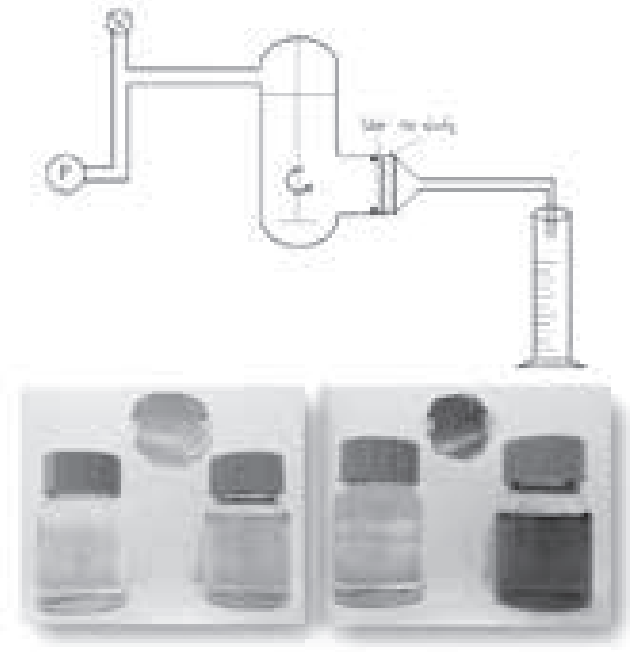
یکی دیگر از روش‌ها برای استفاده از فناوری نانو در فرایند جذب، اصلاح مواد جاذب با نانوساختارها و یا تهیه نانو کامپوزیت‌ها برای حذف آلاینده‌ها می‌باشد.



شکل ٤. حذف رنگزا با استفاده از جاذب، قبل و بعد از فرایند جذب

۳-۲-فرایند فیلتراسیون

در فرایند فیلتراسیون با قرار دادن مانعی بر سر راه جریان پساب، می‌توان آلاینده‌ها را بر اساس اندازه آنها جدا نمود. مصرف بالای انرژی، انسداد غشاها و پیچیدگی طراحی فرایند از جمله معایب این روش به‌شمار می‌رود. استفاده از فرایند الکتروریسی برای تولید نانو الیاف روشی ساده، ارزان و موثر برای تولید فیلتر می‌باشد و نانو الیاف تولید شده دارای سطح مخصوص و خلل و فرج بسیار بالا هستند که می‌توان قطر، ساختار، ترکیب درصد و آرایش یافتگی آنها را با تنظیمات دستگاه الکتروریسی تغییر داد. این غشاها معمولا به عنوان فیلتراسیون اولیه پیش از اولترافیلتراسیون و یا اسمز معکوس بکار می‌روند. غشاهای نانو الیاف بدون آنکه از فشار آب بکاهند، می‌توانند ذرات درشت و یا باکتری‌ها را از پساب جدا کنند تا طول عمر غشاهایی مانند اسمز معکوس افزایش یابد. امروزه تهیه غشاهای نانو کامپوزیتی نیز مورد توجه بسیاری از محققان است، بدین صورت که با استفاده از نانو ذرات اکسید فلزی (TiO_2، Al_2O_3) یا نانو کلی‌ها می‌توان آبدوستی غشاها را افزایش داد و در نتیجه باعث انسداد کمتر آنها شد. نانو نقره و نانو لوله‌های کربنی برای ایجاد خواص ضد میکروبی در غشاها مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نانو ذرات فتوکاتالیستی نیز برای تهیه غشاهای کامپوزیتی و تخریب آلاینده‌ها مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. همچنین می‌توان با تهیه لایه نازک از ترکیبات نامبرده، سطح غشاها را اصلاح نمود.

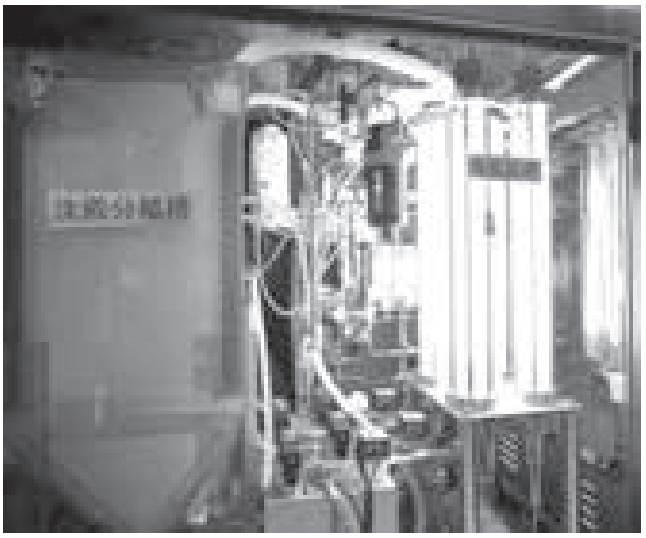


شکل ۵. حذف رنگزا با استفاده از فرایند فیلتراسیون

۳-۳-فرایندفتوکاتالیستی

به فرایندهایی که در آنها از تاثیر نور فرابنفش بر عملکرد کاتالیست‌ها در شرایط واکنش استفاده می‌شود، فرایند فتوکاتالیستی می‌گویند که در آن با تابش پرتوی فرابنفش امکان تخریب آلاینده‌ها بوجود می‌آید. این فرایند جزء روش‌های اکسیداسیون پیشرفته محسوب شده و رادیکال‌های اکسید کننده تولید شده در آن می‌توانند به‌سرعت به گروه‌های بسیاری از مواد شیمیایی آلی حمله کرده و آنها را به طورکامل تخریب و یا به ترکیبات ساده‌تر تبدیل کند.

از جملـه کاتالیسـت‌های نیمه‌هـادی می‌تـوان بـه نانـو ذرات TiO_2، ZnO، Fe_2O_3 و ... اشـاره کـرد کـه TiO_2 شـاخص‌ترین و پرکاربردتریـن آنهـا بـه شـمار مـی‌رود. نانـو فتوکاتالیسـت‌ها را می‌تـوان روی سـطوح شـفاف (شیشـه، سـیلیکای ذوب شـده و ...) و یـا غیـر شـفاف (فلـزات، کربـن فعـال و ...) به‌منظور جلوگیـری از ورود آنهـا بـه عنـوان آلاینـده ثانویـه بـه پسـاب تثبیـت کـرد. همچنیـن روش‌هـای مختلفـی بـرای اصـلاح TiO_2 با اسـتفاده از فلزاتـی مانند نیـکل، روی، مـس، کـروم و آهـن پیشـنهاد شده‌اسـت کـه امـکان اسـتفاده از نـور مرئـی را به‌جـای فـرا بنفـش فراهـم می‌کنـد.



شکل ٦. راکتور تصفیه فتوکاتالیستی با لامپ نور فرابنفش

۳-٤-فرایندالکتروشیمیایی

فرایندهـای اکسیداسـیون الکتروشـیمیایی پیشـرفته (EAOPs) کـه براسـاس واکنـش فنتـون عمـل می‌کننـد، روش‌هـای دوسـتدار محیـط زیسـت هسـتند کـه اخیـرا توجـه بسـیاری از محققیـن را در زمینـه تصفیه پسـاب به خـود جلب نموده‌انـد. مزیـت فراینـد الکتروفنتـون در مقایسـه بـا روش معمـول فنتـون، کنتـرل بهتـر فراینـد و جلوگیـری از ذخیـره و نقـل و انتقال پراکسـید هیـدروژن می‌باشـد. همچنیـن از آنجـا کـه جریـان الکتریسـیته یـک منبـع سـالم انـرژی محسـوب می‌شـود، طـی واکنـش آلاینـده ثانویـه‌ای تولیـد نمی‌شـود. از سـویی عـدم اسـتفاده ازمـواد مضـر در ایـن فراینـد، آن را بـه روشـی دوسـتدار محیـط زیسـت بـرای آب و تصفیـه پسـاب تبدیـل کرده‌اسـت. ورقه‌هـای پلاتیـن، فـولاد ضـد زنـگ، تیتانیـوم و کاتدهـا از جنـس مـواد کربنـی مانند ورقـه کربن، گرافیـت، الیـاف کربـن فعـال (ACF) و غیـره از جملـه کاتدهایـی هسـتند کـه اخیـرا در تصفیـه پسـاب اسـتفاده شـده‌اند. اخیـرا اسـتفاده از الکترودهـای نانـو کامپوزیتـی در روش فنتـون نیـز رونـد رو بـه رشـدی دارد. بـه عنـوان مثـال ابعاد نانـو، سـطح مخصـوص بسـیار بـالا و بویـژه خـواص الکتریکـی فوق‌العـاده نانو لوله‌هـای کربنـی، آنهـا را بـرای اصـلاح سـطح الکترودهـا به‌منظـور اسـتفاده در فرایندهـای الکتروشـیمیایی جهـت کاربردهـای متنـوع مـورد توجـه بسـیاری از

شکل ۷. طرح‌واره‌ای از اصلاح سطح الکترود با نانو لوله‌های کربنی و سطح فعال در فرایند ته‌نشینی الکتریکی

محققیـن قـرار داده‌اسـت. روش‌هـای بـکار گرفتـه شـده جهـت تهیـه فیلم‌های CNTs بـر روی سـطوح مختلـف عبارتنـد از: روش‌هـای تبخیـر حـلال، ته‌نشـینی الکتریکـی (شـکل ۷)، رسـوب‌دهی لایـه لایـه و غیـره.

۳-۵- نانو ذرات مغناطیس

اخیـرا بکارگیـری ذرات اکسـید آهـن مغناطیسـی بـه عنوان نانـو مـوادی مهم با کاربردهـای بسـیار گسـترده در زمینه‌هـای مختلـف مشـاهده می‌شـود. از این‌رو تولیـد نانـو ذرات اکسـید آهـن بـا خـواص دلخـواه و پتانسـیل بـالای کاربـرد به طـور عمـده مدنظـر می‌باشـد.

اکسـید آهـن ماده‌ایسـت کـه بـه دلیـل زیسـت سـازگاری مناسـب، مـورد توجه و بررسـی قـرار گرفته‌اسـت. نانـو ذرات مغناطیـس آهـن می‌تواننـد جهـت حذف آلاینده‌هـا از پسـاب سـمی بـه کار گرفتـه شـوند. اکسـید آهـن می‌توانـد بـه عنـوان عامـل احیـا کننـده و تخریـب ترکیبـات شـیمیایی سـمی و متنـوع در محیط‌هـای آبـی عمـل کنـد. ایـن نانـو ذرات می‌تواننـد بـه عنـوان جـاذب، یون‌هـای سـرب و کـروم را از محلول‌هـای آبـی جـدا کننـد. سـهولت کاربـرد، زیسـت سـازگاری، غیرسـمی بـودن، امـکان بازیابی آسـان با میدان مغناطیسـی و فعالیـت کاتالیسـتی بـالا در تخریـب مـواد آلـی مختلـف، از مزایـای قابل توجه کاربـرد اکسـید آهـن در زمینـه تصفیـه پسـاب بـه شـمار می‌رونـد. نانـو ذرات مغناطیـس آهـن، بـرای ایجـاد خاصیـت مغناطیسـی در نانـو سـاختارها جهـت جـدا شـدن آسـان‌تر آنهـا از پسـاب تصفیـه شـده نیـز کاربـرد دارنـد.

شکل ۸. حذف رنگزا با استفاده از اکسید گرافن مغناطیس شده

٤- فعالیت‌های صورت گرفته در ایران

با توجه به رشد بسیار زیاد استفاده از غشاهای نانوفیلتراسیون در دنیا، در سال‌های اخیر در کشور ما هم استفاده از این غشاها برای تصفیه آب و پساب در حال گسترش است. طراحی تجهیزات مورد نیاز تولید نانو غشاء سرامیکی لوله‌ای شکل با حمایت ستاد ویژه فناوری نانو در مرکز تحقیقات مواد نانو ساختار دانشگاه صنعتی سهند به اجرا درآمده است. از جمله دستاوردهای اصلی این طرح می‌توان به طراحی تجهیزات موردنیاز تولید غشا سرامیکی؛ ساخت سامانه‌های شکل‌دهی، قالب، سینترینگ، ماشین‌کاری و آماده‌سازی خط تولید؛ طراحی سامانه پالایشگاهی بر اساس غشا سرامیکی به سفارش پالایشگاه تبریز؛ تولید غشا سرامیکی لوله‌ای شکل با قابلیت استفاده در تصفیه آب در مقیاس آزمایشگاهی اشاره کرد. از دیگر شرکت‌های موفق را می‌توان شرکت مهندسی و ساخت آب روبش رسوب مهسار نام برد که دستگاه تصفیه پساب صنعتی نانو غشایی هارمودینامیکی وارد بازار کرده است (شکل ۹). این دستگاه، با به وجود آوردن تنش در سطح سیال مانع از رسوب آلودگی بر سطح غشایی نانویی گردیده و طول عمر غشاء افزایش می‌یابد.

شکل ۹- دستگاه تصفیه پساب با استفاده از سیستم فیلتراسیون غشایی به روش هارمودینامیکی

در ایران، فناوری نانو کویتاسیون با موفقیت در پایلوت‌های متعددی به اجرا درآمده است. یکی از شرکت‌های فعال در ایران را شرکت پیام‌آوران نانو فناوری فردانگر است. این شرکت موفق به معرفی یک فناوری نوین جهت توزیع نانو ذرات جامد در مایعات شده است (شکل ۱۰). این شرکت این قابلیت را دارا است که با توجه به شرایط هر منطقه و یا نوع آلودگی آب، فناوری نانو کویتاسیون مورد نیاز را راه اندازی نماید.

٥- تجاری‌سازی فناوری نانو

بازار جهانی برای محصولات فناوری نانو که در تصفیه آب مورد استفاده قرار گرفت، ۱/۴ میلیون دلار در سال ۲۰۱۰ ارزیابی شد. بخش عمده

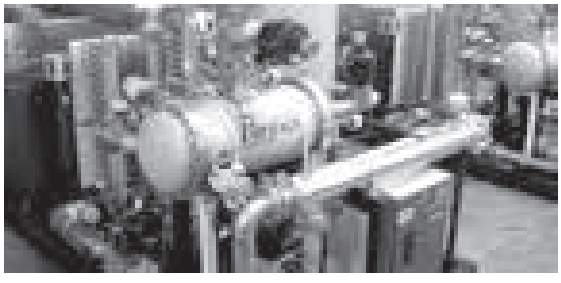
شکل ۱۰- دستگاه تولید کننده نانو میکروب حباب ساخت شرکت پیام‌آوران نانو فناوری فردانگر

این بازار مربوط به فرایندهای فیلتراسیون غشایی مورد استفاده در اسمز معکوس، نانو فیلتراسیون و اولترا فیلتراسیون بوده که با رشد سالانه ۹/۷٪ به ۲/۵ میلیون دلار در سال ۲۰۱۵ رسیده‌است. نمونه‌های پرکاربرد بسیاری، نظیر نانو لوله‌های کربنی، نانو الیاف و نانو ذرات بسیاری دیگری هنوز به‌طور کامل تجاری‌سازی نشده‌اند.

یکی از شرکت‌های موفق در زمینه تصفیه پساب‌های نساجی با استفاده از فناوری نانو، شرکت Fraunhofer آلمان می‌باشد که غشاهای سرامیکی نانوفیلتراسیونی به مرحله تولید رسانده که انواع آلاینده‌های رنگی حاصل از پساب نساجی را تصفیه می‌کند (شکل ۱۱).

شکل ۱۱- ساخت غشاء تصفیه کننده پساب نساجی توسط شرکت Fraunhofer

از نمونه‌های تجاری‌سازی شده برای تصفیه غشایی با فناوری نانو می‌توان به نانو فیلترهای غشایی تولید شده توسط شرکت‌ها inopor اشاره کرد که برای حذف آلاینده‌های کاملا متفاوت مورد استفاده قرار می‌گیرد. یک نمونه از این غشاها در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود.

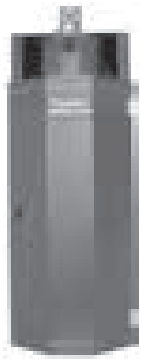


شکل ۱۲. نانو غشای سرامیکی ساخت شرکت Inopor

یـک نمونـه تجاری‌سـازی شـده بـرای تصفیـه فتوکاتالیسـتی بـا بکارگیـری فنـاوری نانـو، سـامانه Purifics Photo-CatTM (شـکل ۱۳) می‌باشـد کـه توسـط شـرکت Purifics در کشـور کانـادا سـاخته شـده و ظرفیـت تصفیـه آن ۷/۶ میلیـون لیتـر در روز اسـت. ایـن سـامانه تنهـا ۲۰۷ متـر مربـع فضـا اشـغال کـرده و $4\ kWh/m^3$ انـرژی مصـرف می‌کنـد، به‌عـلاوه هیچگونـه آلاینـده ثانویـه‌ای تولیـد نمی‌کنـد [۲۵].

شکل ۱۳. سامانه Purifics Photo-CatTM تجاری‌سازی شده برای تصفیه فتوکاتالیستی با استفاده از فناوری نانو

شـرکت puroxi بـا اسـتفاده از فنـاوری نورتابـی توسـط لامـپ LED و همچنیـن اسـتفاده از نانـو مـواد فتوکاتالیسـت، سیسـتمی را طراحـی نمـوده که می‌توانـد مقادیـر بسـیار زیـادی از آلاینده‌هـای رنگـی را در محیـط آبـی از بیـن ببـرد (شـکل ۱۴).



شکل ۱۴: دستگاه نانوفتوکاتالیست جهت حذف آلاینده‌های آلی ساخت شرکت شرکت puroxi

محققـان سـنگاپوری بـا همـکاری شـرکت چینـی CCIEC پـروژه ۳ میلیـون دلاری جهـت تولیـد انبـوه غشـاء نانوالیـاف بـا لایه‌هـای اکسـید تیتانیـوم بـه اجـرا رسـانده‌اند کـه قابلیـت خـود تمیزشـوندگی دارد. با اسـتفاده از این فنـاوری، می‌تـوان پسـاب‌های صنعتـی به‌خصـوص پسـاب نسـاجی را، در ابعـاد گسـترده تصفیه کـرد (شـکل ۱۵).

شکل ۱۵ : سیستم غشاء نانوفیبر تصفیه کننده پساب ساخت شرکت CCIEC

از جملـه نانـو جاذب‌هـای تجاری‌سـازی شـده بـرای حـذف فلـز آرسـنیک، می‌تـوان ArsenXnp سـاخت شـرکت Systematix در ایـالات متحـده را نـام بـرد، کـه از ترکیبـی از نانـو ذرات اکسـید آهـن و یـک نـوع پلیمـر سـاخته شده‌اسـت (شـکل ۱۶). هزینـه فراینـد تصفیـه بـا ایـن نانـو جـاذب در حـدود ۰/۰۹-۰/۰۷ دلار در هـر ۱۰۰۰ لیتـر پسـاب بـرآورد شده‌اسـت.

شکل ۱۶. نانو جاذب ArsenXnp تجاری‌سازی شده برای تصفیه پساب حاوی آرسنیک

۶-جمع‌بندی

بـه نظـر می‌رسـد کـه یکـی از بزرگتریـن مشـکلات صنایـع نسـاجی، ازبیـن بـردن آلودگی‌هـای ناشـی از پسـاب خروجـی از ایـن صنایـع می‌باشـد. بـه دلیـل تنـوع زیـاد آلاینده‌هـای ایـن نـوع صنایـع، رفـع ایـن آلودگی‌هـا بسـیار دشـوار و هزینه‌بـر خواهـد بـود. فنـاوری نانـو می‌توانـد جهـت افزایـش بازدهـی و طـول عمـر تجهیـزات تصفیه‌خانه‌هـای شـهرک‌های صنعتـی نقـش قابـل توجهـی ایفـا کنـد. اسـتفاده از فنـاوری نانـو جهـت حـذف آلاینده‌هـای آلـی و فلـزات سـنگین مثـل کـروم، بسـیار کارآمـد خواهـد بـود و مـی توانـد از آلودگی‌هـای زیسـت محیطـی ناشـی از صنایـع نسـاجی جلوگیـری نمایـد.

منابع در دفتر مجله موجود است.