

# کاربرد فناوری نانو در تصفیه پساب‌های صنعتی نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی

سال انتشار: ۱۳۹۷

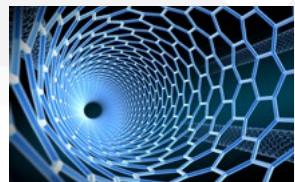
ویرایش نخست



## چکیده مدیریتی

با توجه به مسئله بحران آب که امروزه یکی از مشکلات اساسی اکثر کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه است، بی شک با توجهی دوباره به منابع آب آلوده شده، می توان به مقابله با این بحران پرداخت. تصفیه فاضلاب خانگی و نیز پساب های صنعتی از دیرباز مورد توجه بشر قرار گرفته است ولی آنچه فناوری نانو می تواند در اختیار ما قرار دهد، بهبود کیفیت فاضلاب تصفیه شده برای استفاده مجدد در کشاورزی، کشت آبی، مصارف صنعتی یا حتی شرب و شست و شو است. در این میان، پساب صنایع نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی به دلیل وجود مواد سمی آلی و برخی فلزات سنگین جایگاه ویژه ای دارند و ورود فاضلاب آن ها بدون تصفیه مناسب، دریاها، آب های زیرزمینی و خاک را آلوده می کند. از طرفی با توجه به افزایش قوانین و مقررات محیط زیستی و سخت گیرانه تر شدن آن ها، تصفیه پساب این صنایع اهمیت بالایی پیدا کرده است. در ایران نیز به دلیل وجود منابع سرشار نفت و گاز، صنایع مرتبط زیادی شکل گرفته است که تصفیه پساب آن ها مسئله بزرگی است. اخیراً با ورود فناوری های نوین مانند فناوری نانو، مواد و راهکارهای جدیدی برای تصفیه آب و فاضلاب های صنعتی و کشاورزی معرفی شده اند. استفاده از غشاهای نانوفیلتراسیون، نانوذرات، نانولوله های کربنی و فیلترهای نانوالیافی بی بافت تحول عظیمی را در تصفیه، بازیافت و استفاده مجدد از منابع آب ایجاد کرده است. ستاد ویژه توسعه فناوری نانو با هدف برطرف کردن نیازها و حل مشکلات صنایع با تکیه بر توان داخل، سعی می کند تا از طریق حمایت های مادی و معنوی خود مسیر رسوخ و انتقال فناوری های مبتنی بر فناوری نانو را در صنایع مختلف از جمله صنعت نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی هرچه بیشتر تسهیل کند.

## مقدمه



از لحاظ فنی کلمه «نانو» به معنی  $10^{-9}$  یا یک میلیاردیم هر مقداری است. نانومواد به عنوان موادی تعریف می شوند که حاوی قطعات ساختاری با حداقل یک بعد زیر  $100$  نانومتری هستند. به عبارتی دیگر فناوری نانو مطالعه، طراحی، ایجاد، سنتز، دست کاری و کاربرد مواد، ابزارها و سامانه های عملکردی از طریق کنترل ماده در مقیاس نانومتری (بین  $1$  تا  $100$  نانومتر) است. ساختارهای بزرگ تر از این

مقیاس میکرومتری بوده و ساختارهای کوچک تر از آن به عنوان مقیاس اتمی طبقه بندی می شوند. در روش ساخت اصلی در فناوری نانو مورد استفاده قرار می گیرد که اصطلاحاً روش ساخت از پایین به بالا و روش ساخت از بالا به پایین نام گذاری شده اند. در روش پایین به بالا مواد و ابزارها از قطعات مولکولی ساخته می شوند، این کار از طریق آرایش شیمیایی این مولکول ها و بر مبنای اصول تشخیص مولکولی صورت می گیرد. در راهکار بالا به پایین اشیا نانومقیاس بدون این که کنترلی در مقیاس اتمی وجود داشته باشد، از مواد بزرگ تر ساخته می شود.

با توجه به قدمت بالایی که صنعت نفت و گاز در ایران دارد و در طول این سالیان دراز توانسته است در ایران جایگاه ویژه ای برای خود رقم بزند و به گونه ای اقتصاد ایران را به خود وابسته کرده است. هم اکنون و با توجه به قدمت نسبتاً زیاد این صنایع و همچنین فضای رقابتی بین المللی این صنایع توجه ویژه ای به بهبود فناوری در حوزه خود دارند. به همین دلیل، صنایع نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی کمابیش از دایره نفوذ فناوری نانو دور نمانده و تا حدودی فناوری نانو در این صنایع وارد شده است. هرچند این صنعت در ابتدای راه این تحولات

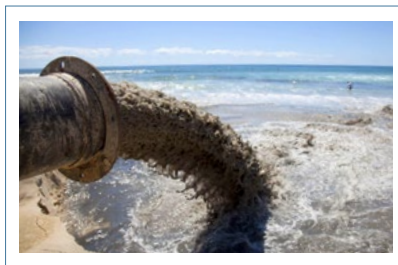
## ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

|               |                                                                  |                  |              |
|---------------|------------------------------------------------------------------|------------------|--------------|
| طراحی و اجرا: | توسعه فناوری مهر وین                                             | تلفن:            | ۰۲۱-۶۳۱۰۰    |
| نظارت:        | داود قزایلو<br>report@nano.ir                                    | نمابر:           | ۰۲۱-۶۳۱۰۶۳۱۰ |
| تهیه کنندگان: | سید آرین مرتضوی،<br>محمدرضا بسکابادی، علی طالبیان<br>oil@nano.ir | پایگاه اینترنتی: | www.nano.ir  |
|               |                                                                  | صندوق پستی:      | ۱۴۵۶۵-۳۴۴    |

## شناسنامه

## فهرست مطالب

|    |                                          |
|----|------------------------------------------|
| ۳  | چکیده مدیریتی                            |
| ۳  | مقدمه                                    |
| ۵  | نقش فناوری نانو در تصفیه پساب صنایع نفتی |
| ۸  | چشم انداز اقتصادی                        |
| ۹  | محصولات مؤسسات و شرکت های داخلی          |
| ۱۲ | محصولات شرکت های خارجی                   |



شکل ۲. ورود پساب پالایشگاه به دریا

به منظور افزایش بازیابی آب در سیستم های موجود و کاربرد نانوحسگرهای زیستی برای تشخیص سریع و کامل آلودگی آب از مهم ترین موارد کاربرد فناوری نانو در صنعت آب و فاضلاب است [۲].

پساب سمی آلی، آسیب های زیست محیطی فراوانی برای موجودات آبی، گیاهان و حیوانات به وجود می آورد و امکان بروز سرطان در انسان را افزایش می دهند. این پساب از منابع مختلف صنعتی از جمله صنایع نفت و گاز خارج شده و باعث

شکل گیری لایه ای روی سطح آب می شوند که اکسیژن حل شده آب را کاهش می دهد. وجود این مواد نفتی موجب کاهش اثربخشی فرآیند تصفیه پساب می شود زیرا قطرات نفت و روغن اطراف میکروب ها قرار گرفته و مانع حذف آن ها می شوند. روش متداول برای حذف نفت و روغن استفاده از تانک های سرریز کننده یا استفاده از گیاهان تصفیه کننده است که مهم ترین اشکال این روش ها بازده پایین آن ها است. استفاده از مواد کامپوزیتی از قبیل اکسید آلومینیم، نانوذرات و ژئولیت آمورف با ظرفیت جذب بالایی که دارند برای این گونه پساب ها مناسب هستند [۳].

### نقش فناوری نانو در تصفیه پساب صنایع نفتی

#### ■ محصولات غشایی نانو ساختار

غشاهای تنها فناوری تصفیه ای هستند که می توانند جامدات معلق و کلوئیدها و مواد آلی و معدنی همچون فلزات سنگین و میکروارگانیزم ها را از آب جدا کنند. به علاوه این فناوری چندکاره بوده و اطمینان پذیری بالایی دارد. آبی که با استفاده از فرآیندهای غشایی تصفیه می شود، برای استفاده مجدد یا بازگشت به آب های زیرزمینی مناسب است. بسته به ویژگی های پساب می توان همراه با غشاهای فرآیندهای پیشرفته دیگر و ترکیبی از غشاهای مختلف برای تصفیه استفاده کرد [۴].

#### ■ فیلترهای نانوالیافی بی بافت

فیلترهای الیافی بی بافت به طور معمول برای جدا کردن ذرات جامد معلق از جریان های پسابی مورد استفاده قرار می گیرند. هم چنین می توان بسیاری از ترکیبات آلی و فلزات ذره ای را نیز با استفاده از این فیلترها از فاضلاب جدا کرد. در تصفیه پساب های صنعتی ابتدا از چند فرآیند فیلتراسیون برای حذف ذرات معلق و آلاینده های دیگر استفاده شده و سپس مرحله بعدی تصفیه (همچون بسترهای مبادله یونی) انجام می گیرد. انواع مختلفی از فیلترهای الیافی بی بافت را می توان در مقیاس نانو و با بهره گیری از نانوالیاف و مواد دیگر تهیه کرد. نانوالیاف ها به عنوان الیافی تعریف می شوند که دارای قطر کمتر از ۱۰۰۰ نانومتر هستند [۴].

#### ■ نانوذرات

در تصفیه پساب صنایع نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی از نانوذرات مختلفی استفاده می شود که در ادامه به برخی آن ها اشاره می شود.

علمی قرار دارد (به ویژه در بخش بالادستی)، اما در گروه صنایعی به حساب می آید که پتانسیل و تأثیر موفقیت آمیز کاربرد فناوری نانو در بخش های مختلف آن (حتی در بعد میدانی) به اثبات رسیده است. آنچه در این گزارش آمده است، مروری بر کاربردها و تحقیقات انجام شده و نیز زمینه های قابل بررسی فناوری نانو در تصفیه پساب های صنایع نفت و گاز و صنایع وابسته است.

امروزه با گسترش کارخانه ها و مجتمع های صنعتی، تولید فاضلاب حاصل از فعالیت آن ها به امری اجتناب ناپذیر تبدیل شده است. تخلیه فاضلاب این واحدها به محیط زیست یا شبکه فاضلاب شهری خسارات جبران ناپذیری را مانند آلودگی خاک و آب های زیرزمینی، خوردگی تاسیسات شبکه فاضلاب و تأثیرات مخرب بر روی سیستم تصفیه بیولوژیکی فاضلاب بر جای می گذارد. از این رو لزوم تصفیه فاضلاب این واحدها، آلوده به آلاینده های متفاوتی خروجی کارخانه ها و مجتمع های تولیدی اغلب به فراخور زمینه فعالیت این واحدها، آلوده به آلاینده های متفاوتی از جمله نمک های معدنی، چربی و روغن، اسیدها و قلیاها، آب گرم، مواد پرتوزا، مواد آلی، رنگ، مواد جامد معلق و مواد شیمیایی سمی می شود [۱].

به طور کلی می توان آلاینده های متداول موجود در پساب صنایع نفتی را به چهار دسته زیر تقسیم کرد:



شکل ۱. ترکیبات مختلف متداول موجود در پساب صنایع نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی

یکی از مشکلات صنایع شیمیایی، وجود پساب های حاوی مواد آلوده کننده نفتی است که این پساب ها محیط زیست را به شدت آلوده می کنند. به همین علت اکنون صنایعی وجود دارد که کار آن ها تصفیه پساب های صنعتی است. علم و فناوری نقش مهمی را در ارتباط با توسعه روش های نوین، ابزارها و تکنیک ها برای حل مشکلات ویژه کمی و کیفی آب ایفا می کنند. استفاده از فناوری های نوین به خصوص فناوری نانو در راستای کاهش اثرات سوء آلودگی های زیست محیطی، به عنوان یکی از راهکارهای مدیریتی مطرح است. یکی از مواردی که این فناوری کاربرد خود را متبلور می کند در ارتباط با منابع آب است که در نظر گرفتن چالش های پیش رو ضرورت استفاده از آن را پررنگ تر کرده است. فناوری نانو در صنعت آب طی مدت کوتاهی که از ظهور آن می گذرد کاربردهای مختلفی در صنایع گوناگون یافته است. در نتیجه صنعت آب، به عنوان یکی از پایه های حیات از این مسئله مستثنی نیست و فناوری نانو در بخش های مختلف آن، شامل ساخت سدها، حفاظت خطوط لوله انتقال آب، تصفیه آب و پساب، شیرین سازی آب و غیره، کاربرد یافته است. بررسی فعالیت های پژوهشی در سطح دنیا نشان می دهد که تصفیه آب و پساب یکی از مهم ترین زمینه های کاربرد فناوری نانو در صنعت آب است و با بهره گیری از آن، هزینه های تصفیه به میزان قابل توجهی کاهش خواهد یافت. استفاده از فیلترهای نانومتری

ترکیبات آلی فرار و کاهش COD<sup>۲</sup>، موارد ایمنی و استانداردهای صنعت پتروشیمی نیز مورد توجه قرار گرفته است. پساب های صنایع پتروشیمی به دلیل داشتن ترکیبات فرار آروماتیکی مانند بنزین و تولوئن باعث ایجاد آلودگی های زیست محیطی بالایی در منطقه پیرامونی می شود [۶].

#### ■ نانوحباب ازن در تصفیه آب و پساب با استفاده از فناوری نانوکویتاسیون

این فناوری براساس فرآیند اکسیداسیون پیشرفته عمل می کند. این فناوری با استفاده از روش های ازن زنی، نانوکویتاسیون هیدرودینامیک و اکسیداسیون الکتروشیمیایی اقدام به از بین بردن باکتری ها، بیوفیلم، مواد آلی و اکسید فلزات سنگین از آب ها و پساب های مختلف می کند.

کویتاسیون به عنوان یک فرآیند فیزیکی عبارت است از تشکیل حباب هایی از بخار یک سیال مایع که معمولاً در نواحی کم فشار در داخل سیال تولید می شوند و متعاقباً متلاشی شدن حباب ها پس از افزایش فشار سیال را در پی خواهد داشت. ماهیت طبیعی پدیده کویتاسیون به خودی خود مضراست و عموماً این پدیده در پمپ ها مشاهده شده و در صورت وقوع، یکی از خسارات آن ایجاد خوردگی و حفره بر روی بدنه پروانه و پوسته پمپ است. در این میان یک شرکت دانش بنیان داخلی با ایده گرفتن از این پدیده طبیعی، راکتوری ساخته است که انرژی بالای تولید شده توسط پدیده فوق را در راستای اهداف مفید صنعتی و نیمه صنعتی از جمله توزیع نانوذرات جامد در مایعات و همچنین تولید نانوامولسیون های مایع-مایع هدایت می کند. در این راکتور با استفاده از فشار بسیار بالا و هم چنین به کارگیری نازل با طراحی ویژه، نانوحفرات در داخل سیال ایجاد می شود (نانوکویتاسیون). این فرآیند یک شبیه سازی از فرآیند اولتراسونیک است. نانوحفرات ایجاد شده در سیال به عنوان عامل توزیع کننده نانوذرات و یا عامل تولیدکننده امولسیون های همگن مایع-مایع هستند. با در اختیار داشتن این فناوری می توان نانوکلوئید و نانوامولسیون های گوناگون (برای مثال نفت-آب یا روغن-آب) در مقیاس صنعتی و نیمه صنعتی تولید کرد.

از مزایای این فناوری می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ارتقای کیفیت محصول
- قابلیت تولید در مقیاس های آزمایشگاهی، نیمه صنعتی و صنعتی در کاربردهای مختلف
- راندمان انرژی بالا
- زیست سازگاری
- مصرف انرژی پایین تر در مقایسه با سایر روش های مشابه

با توجه به وسعت حوزه کاربردی دستگاه نانوکویتاسیون هیدرودینامیک، بسته به شرایط کاری و صنعت مورد استفاده از دستگاه، طراحی و ویژگی دستگاه متفاوت خواهد بود. در هر کاربرد و با توجه به نیاز خروجی، طراحی دستگاه متفاوت خواهد بود. این دستگاه برای کاربردهای فراوانی قابل ارائه است که هر کدام از آن ها دارای ویژگی و طراحی منحصر به فردی است. تنوع این محصولات به حوزه های زیر قابل دسته بندی است:

- به عنوان یک روش اکسیداسیون پیشرفته در حوزه تصفیه آب و پساب
- تزریق نانوحباب های ازن، اکسیژن و... در حوزه تصفیه آب و پساب
- حوزه سبک سازی نفت

■ **ژئولیت:** ژئولیت ها ذراتی هستند که قادر به حذف مواد آلی خطرناک و همچنین یون های فلزات سنگین از آب هستند.

■ **اکسید تیتانیوم:** نانوذرات  $TiO_2$  از مهمترین کاتالیست هایی هستند که برای حذف آلودگی های ناشی از مواد آلی موجود در آب های آلوده به مواد نفتی و نیز پساب های صنعتی کاربرد دارند.

■ **نانوذرات  $SPM^1$ :** این مواد بدین جهت توسعه یافته اند که توانایی حذف آلودگی های فلزی و ترکیبات آلی را دارند. به نظر می رسد این شاخه از علم نانو برای از میان برداشتن آلاینده های آلی و حذف نمک ها و فلزات سنگین بسیار مناسب باشد.

■ **نانوذرات مبتنی بر آهن:** این ذرات در حذف هیدروکربن های مختلف و بسیاری از آلاینده های مقاوم دیگر از جمله آنبون هایی مثل پرکلرات، نیترات و دی کرومات، فلزات سنگین و رادیونوکلیدها مفید هستند. هزینه پایین، راحتی استفاده و ظرفیت حذف آلاینده ها بدون استفاده از مواد شیمیایی از دیگر جذابیت های این نانوذرات به شمار می روند [۴، ۵].

#### ■ نانولوله های کربنی

استفاده از نانولوله های کربنی مزایای زیادی در تصفیه آب و فاضلاب دارد. این مواد نانوساختار برخلاف غشاها می توانند به صورت مجدد مورد استفاده قرار بگیرند. به دلیل طبیعت آب گریز نانولوله های کربنی و جریان تقریباً بدون اصطکاک آب از درون آن ها، مصرف انرژی ابزارهای مبتنی بر این مواد کمتر از ابزارهای دیگر است و در نتیجه از نظر انرژی مقرون به صرفه تر هستند. به علاوه می توان انتخاب گری شیمیایی نانولوله های کربنی را از طریق عامل دار کردن افزایش داد تا بتوانند آلاینده های مختلفی همچون آرسنیک، فلورئور، فلزات سنگین و ترکیبات آلی سمی را مورد هدف قرار دهند [۴].

#### ■ فناوری پلاسما

تصفیه پساب های صنعتی با بهره گیری از فناوری پلاسما در داخل کشور به عنوان راهکاری بسیار سریع، کارآمد و همچنین کم هزینه انجام می شود. در این روش پس از تخلیه الکتریکی و ایجاد محیط پلاسمایی در داخل پساب، ذرات موجود در پساب با سرعت بالا به حرکت درآمده و با کمک پدیده کاویتاسیون پلاسمایی و تاباندن پرتو فرابنفش، مواد محلول در آب به هم چسبیده و با پلیمریزاسیون آن ها، لخته های درشت ناخالصی ایجاد و ته نشین می شود. با توجه به این موضوع که کل این



شکل ۳. تصفیه پساب صنعتی با بهره گیری از فناوری پلاسما

فرآیند در مدت زمان متوسط ۲ دقیقه و بدون استفاده از هرگونه مواد شیمیایی صورت می پذیرد، مشکلات رایج سایر روش های تصفیه پساب مانند زمان بردن را ندارد و می تواند نقش پررنگی در حفظ محیط زیست ایفا کند.

شرکت پتروشیمی تبریز از این روش برای تصفیه پساب خود با ظرفیت ۱۵۰ مترمکعب در ساعت استفاده می کند. سامانه مزبور در سه مقیاس آزمایشگاهی شامل ۲۰ مترمکعب در روز، پایلوت به میزان ۱۰۰ مترمکعب در روز و مقیاس صنعتی با ۲۰ مترمکعب در ساعت توسط دانشگاه تبریز در پتروشیمی انجام شده و علاوه بر سیستم و حذف



## محصولات مؤسسات و شرکت های داخلی



شکل ۶. دستگاه تصفیه پساب رنگی با پلاسما

**نام شرکت:** پالایش پلاسما صنعت  
شرکت پالایش پلاسما صنعت یکی از شرکت های دانش بنیان فعال در زمینه تصفیه آب و پساب و تصفیه هوا است. این شرکت توانسته است با به کارگیری کادر متخصص دانشگاهی و صنعتی چه در زمینه آب و پساب و هوا و چه در زمینه پلاسمای کاربردی، سیستم های پیشرفته پلاسمای صنعتی را طراحی کرده و تحویل دهد. سیستم تصفیه و پیش تصفیه آب و پساب عنوان محصولی است که با استفاده از تکنولوژی پلاسما طراحی شده است.

**نام محصول:** دستگاه تصفیه پساب رنگی دارای الکتروود پردازش شده با پلاسما

**کاربرد:** حذف آلاینده های آلی با افزایش تولید هیدروژن پراکسید

**حوزه ی کاربرد**

■ پساب صنایع نفت و پتروشیمی

■ سکوهای نفتی و نفت کش ها

**خصوصیات محصول**

■ نانودیواره های با اندازه لبه کوچک تر از ۱۰۰ نانومتر

■ تولید میزان  $H_2O_2$  بیشتر با استفاده از الکتروود اصلاح شده با فرایند پلاسما

■ حذف بیشتر آلاینده های آلی مانند رنگدانه ها و ید

**استانداردهای محصول:** گواهی نانومقیاس

|                 |                                                                      |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------|
| وب سایت         | http://ppsplasma.com                                                 |
| آدرس دفتر مرکزی | تبریز، بلوار ۲۹ بهمن، دانشگاه تبریز، واحد مرکز رشد و فناوری، واحد ۱۲ |
| تلفن            | ۰۵۱-۶۶۶۱۶۱۶۵                                                         |

**نام شرکت:** دانش پژوهان صنعت نانو

شرکت دانش پژوهان صنعت نانو در سال ۱۳۸۹ با هدف توسعه دانش فنی محصولات دانش بنیان به خصوص در زمینه تولید غشاهای نانو ساختار سرامیکی تأسیس و از سال ۱۳۹۳ با عنایت به دستاوردهای موفق در زمینه تولید غشاهای سرامیکی در مقیاس پالوت و نیمه صنعتی و توجه ویژه ستاد ویژه توسعه فناوری نانو در مرکز رشد واحدهای دانش بنیان دانشگاه صنعتی سهند، مستقر شد تا فعالیت های فناورانه را در این زمینه با جدیت دنبال کند.

**نام محصول:** غشاهای سرامیکی MF، UF و NF

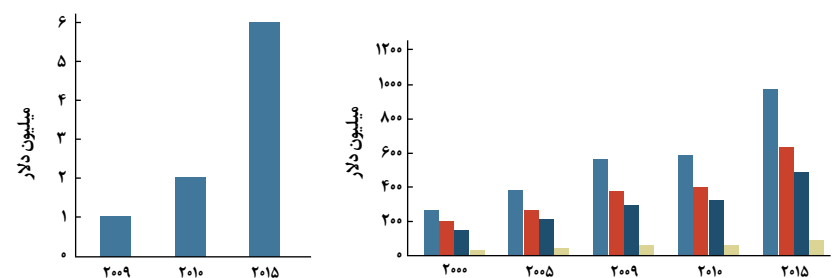
**کاربرد:** این فیلترها در محدوده وسیعی از دما و فشار و برای کاربردهای مختلفی از قبیل جداسازی باکتری ها

با توجه به کاربردها و قابلیت های فناوری نانو در صنعت آب و فاضلاب بسیاری از شرکت ها از این فناوری ها در تصفیه آب و فاضلاب استفاده می کنند و به همین دلیل امروزه استفاده از محصولات و تولیدات بر پایه فناوری نانو افزایش یافته است. این محصولات اغلب شامل نانوفیلترها و انواع حسگرهایی است که به منظور تشخیص مواد و ذرات موجود در آب مورد استفاده قرار می گیرند [۷].

## چشم انداز اقتصادی

شکل ۴ حجم بازار محصولات غشایی نانومقیاس در تصفیه آب و میزان رشد آن را به تفکیک کاربرد نشان می دهد. مبنای محاسبه حجم بازار و رشد آن، محصولات غشایی معمول هستند (اسمز معکوس، نانوفیلتراسیون و اولترافیلتراسیون) که در حال حاضر در بازار وجود دارند. با این حال تجاری سازی غشاهای نسل بعدی که از نانولوله های کربنی یا نانوذرات بهره می برند، احتمالاً در آینده ای نه چندان دور رخ خواهد داد، هرچند که این امر برای دوره زمانی مورد بررسی پیش بینی نشده است. با وجودی که از فرایندهای غشایی به طور وسیع در تصفیه آب آشامیدنی استفاده می شود، رشد بازار غشاهای تصفیه فاضلاب کندتر بوده است. این کندی پذیرش بیشتر از آن که مربوط به توانایی پایین غشاهای باشد، به دانش پایین کاربران بالقوه این فناوری ربط دارد. فرایندهای معمولی همچون زلال سازی، تقطیر و تبخیر و خشک کردن بسیار جا افتاده ای هستند که پیچیدگی کمتری نسبت به جداسازی غشایی دارند. با این حال هزینه این فرایندهای قدیمی در حال افزایش بوده و همچنان آب تصفیه شده امکان آزاد شدن یا استفاده مجدد را ندارد. این مشکلات به همراه پذیرش راکتورهای زیستی غشایی پیش ران هایی هستند که بازار محصولات غشایی را در این بخش به پیش می برند. بازار محصولات غشایی نانو ساختار که در سال ۲۰۱۰ در تصفیه فاضلاب مورد استفاده قرار گرفته اند، حدود ۳۱۶ میلیون دلار بوده است. این بازار با نرخ رشد سالیانه ترکیبی (CAGR) ۷.۹ درصد در سال ۲۰۱۵ به ۴۶۲ میلیون دلار رسیده است [۴].

با توجه به شکل ۵ در سال ۲۰۱۰ حجم بازار محصولات نانولوله ای کربنی مورد استفاده در تصفیه آب حدود ۲ میلیون دلار بوده است و در سال ۲۰۱۵ به ۶ میلیون دلار رسیده است [۴].



شکل ۵. حجم بازار نانولوله های کربنی برای تصفیه آب

شکل ۴. حجم بازار محصولات غشایی نانومقیاس در بخش های مختلف تصفیه آب

|                 |                                                      |
|-----------------|------------------------------------------------------|
| وب سایت         | http://ifapco.com                                    |
| آدرس دفتر مرکزی | تهران، خیابان اسدآبادی، خیابان ششم، شماره ۲۴، طبقه ۴ |

**نام شرکت:** پیام آوران نانوفناوری فردانگر  
شرکت پیام آوران نانوفناوری فردانگر (PNF) در سال ۱۳۸۶ با هدف ایجاد و توسعه فناوری نانو تأسیس شد. شرکت PNF در زمینه فرآیندهای فناوری نانو و اصلاح محصولات نانو، طرح های گوناگونی را دنبال کرده است. در حال حاضر شرکت PNF علاوه بر فعالیت های گذشته با توسعه تکنولوژی های الکترو دیالیز انتخابی و معرفی روش CaviZone بر حوزه تصفیه آب و پساب متمرکز شده است.

**محصولات و فناوری ها:**

**۱. سیستم الکترو دیالیز انتخابی**  
**کاربرد:** سیستم الکترو دیالیز انتخابی یکی از روش های نوین نمک زدایی با مصرف انرژی پایین و تولید پساب کم نسبت به سایر روش های مشابه است. این سیستم قابلیت حذف انتخابی یون های آلاینده موجود در آب از قبیل نیترات را دارا است.

**۲. روش CaviZone**  
**کاربرد:** فناوری CaviZone بر اساس فرآیند اکسیداسیون پیشرفته عمل می کند. این فناوری با استفاده از روش های ازن زنی و نانوکویتاسیون هیدرودینامیک اقدام به از بین بردن باکتری ها، بیوفیلم، مواد آلی و اکسید فلزات سنگین از آب ها و پساب های مختلف می کند. زمانی که آب در چرخه فرآیند CaviZone قرار می گیرد دیواره سلولی باکتری ها متلاشی می شود، فلزات سنگین اکسید می شوند و سپس آب برای تصفیه نهایی آماده می شود. فناوری CaviZone متشکل از دو فرآیند اکسیداسیون کارآمد است که به کمک هم، فناوری مقرون به صرفه و پربازده ای را در مقایسه با سایر فناوری های جایگزین معرفی می کنند.

این فناوری به همراه روش های انعقاد الکتریکی (EC)، اکسیداسیون الکتروشیمیایی (EO) و نانو آهن (NZVI) در تصفیه پساب های صنایع الکل سازی، نساجی، پتروشیمی، پلیمری، غذایی و... نتایج چشم گیری را به ارمغان آورده است.

#### مزایای فناوری

- اکسیداسیون بدون استفاده
- قابلیت افزایش ظرفیت در
- سازگار با محیط زیست
- از مواد شیمیایی
- مقیاس های مختلف صنعتی
- مقرون به صرفه
- بازدهی بالا
- قابل حمل

**استانداردهای محصول:** گواهی نانومقیاس

|                 |                                         |
|-----------------|-----------------------------------------|
| وب سایت         | http://pnf-co.com                       |
| آدرس دفتر مرکزی | تهران، خیابان ظفر، شماره ۲۴۸، طبقه همکف |
| ایمیل           | info@pnf-co.com                         |

در صناعی از جمله صنایع لبنی و آب میوه، مواد معلق و مواد پلیمری، جداسازی امولسیون آب و روغن و بازیابی فلزات استفاده می شود.

#### کاربرد

- صنایع لبنی و آب میوه
- تصفیه آب و فاضلاب

#### خصوصیات محصول

- از جنس سرامیک مهندسی آلفا-آلومینا هستند.
- سایز حرارت در محدوده ۱-۰/۱ میکرومتر (ذرات بزرگ تر از ۱ نانومتر را از خود عبور نمی دهند).

**استانداردهای محصول:** گواهی نانومقیاس

|                 |                                                             |
|-----------------|-------------------------------------------------------------|
| وب سایت         | http://dpsn.co.ir                                           |
| آدرس دفتر مرکزی | تهران، بلوار ملت، مرکز رشد واحدهای فناور دانشگاه صنعتی سهند |

#### نام شرکت: ایفا پژوهش

شرکت ایفا پژوهش یک هلدینگ فعال در پروژه های صنعتی در ایران است که از سال ۲۰۰۱ با دو شرکت تابعه برای راه حل های محیط زیستی و برنامه های کاربردی صنعتی به وجود آمد. مأموریت این شرکت ارائه جدیدترین طراحی و راه حل ها در پروژه های نفت، گاز، پتروشیمی، توزیع آب و فاضلاب است.

**نام محصول:** غشاهای نانوکامپوزیتی

**کاربرد:** اولترافیلتراسیون فناوری جداسازی آلاینده های آبی توسط

غشا است. غشاهای هالوفایبر (الیاف نازک توخالی) از جمله غشاهای مورد استفاده در فرآیند اولترافیلتراسیون است. این غشاها کاربرد فراوانی دارند، از جمله: کاربرد برای آب آشامیدنی، خالص سازی اولیه آب های صنعتی، تصفیه فاضلاب و غیره.

#### حوزه کاربرد

- صنایع دارویی و لبنی
- تصفیه آب و فاضلاب
- صنایع نفت و گاز

#### خصوصیات محصول

- قطر: ۰/۲ تا ۰/۲ میکرون
- جنس: پلیمرهای PE-PP-PVC کامپوزیت شده با Nano-TiO<sub>2</sub> و Nano-ZnO

**استانداردهای محصول:** گواهی نانومقیاس



شکل ۷. غشا هالوفایبر

## محصولات شرکت‌های خارجی

### نام شرکت:

Koch Membrane Systems

### کشور: ایالات متحده آمریکا

### برخی محصولات و خدمات:

محصولات این شرکت در صنعت آب عبارت‌اند از آب فوق خالص، آب آشامیدنی، تصفیه پساب‌های صنعتی و نمک‌زدایی از آب. این شرکت غشاهای نانوفیلتر در اشکال لوله‌ای، مارپیچی و صفحه تخت تولید می‌کند. غشاهای شرکت با نام‌های تجاری SelRO, SR, TFC و TFC-S به بازار ارائه می‌شود.

### وب سایت:

www.kochmembrane.com



شکل ۹. فیلتر شرکت Koch Membrane Systems

### نام شرکت: new logic international

### کشور: ایالات متحده آمریکا

شرکت new logic international تولیدکننده VESP (فراوری بهبود یافته توسط برش ارتعاشی) به شمار می‌رود. VESP یک سامانه غشایی مقاوم در برابر کثیفی با حجم خروجی نیروی برشی بالا است که در تصفیه آب و فاضلاب، فراوری شیمیایی و کاربردهای خالص سازی به کار می‌رود. این شرکت بیش از ۲۰۰ نوع غشا از جمله غشاهای اولترافیلتراسیون، نانوفیلتراسیون، میکروفیلتراسیون، اسمز معکوس و غبال‌های درشت ارائه می‌دهد.

فناوری VSEP در تصفیه و بازیافت آب و فاضلاب، صنایع شیمیایی، تولید برق، تولید و فناوری نفت، صنایع الکترونیک، تولید رنگ و رنگدانه و خودروسازی به کار می‌رود.

### برخی محصولات:

سیستم‌های اسمز معکوس

مارپیچ

سیستم‌های غشایی VSEP

### وب سایت:

www.vsep.com



شکل ۸. یکی از سامانه‌های تصفیه VSEP

### پی‌نوشت‌ها

- ۱ Superparamagnetism
- ۲ Chemical oxygen demand
- ۳ Compound Annual Growth Rate
- ۴ Electrocoagulation

- ۵ Electrochemical Oxidation
- ۶ Nano Zerovalent Iron
- ۷ Vibratory Shear Enhanced Processing

### مراجع

- ۱ http://abzistco.com
- ۲ https://www.civilica.com
- ۳ Oil and Grease Removal from Industrial Wastewater Using New Utility Approach, H. S. Abd El-Gawad, May 2014
- ۴ http://irannano.org

- ۵ بررسی کاربردهای فناوری نانو در صنعت آب، کاوه خیرخواه، علیرضا فخاریان، محمد قدیریان
- ۶ www.nanoindustry.ir/inst/news/59507
- ۷ http://icanano.ir/platform.php?id=16