

استفاده از فناوری نانوحباب در تصفیه آب، پساب‌های خانگی و فاضلاب‌های صنعتی



شناسنامه

ستاد توسعه فناوری‌های نانو و میکرو

گروه رصد و تولید محتوای بخش ترویج صنعتی

طراحی و اجرا:	توسعه فناوری مهرویژن	تلفن:	۰۲۱-۶۳۱۰۰
نظارت:	داود قراییلو	نمابر:	۰۲۱-۶۳۱۰۶۳۱۰
سندوق پستی:	۱۴۵۶۵-۳۴۴	پایگاه اینترنتی:	www.nano.ir
پست الکترونیک:	IND@nano.ir	سال انتشار:	۱۴۰۳
نویسنده:	عاطفه کاظم‌پور:	اینستاگرام نانو و صنعت:	@INDnano.ir
	شرکت توسعه مهندسی الماس‌واره دانش		

محتوای صنعتی و فناوریانه خود را از طریق پست الکترونیک و پایگاه اینترنتی نانو و صنعت (INDnano.ir) ارسال نمایید.

فهرست مطالب

- ۳ مقدمه
- ۴ اهمیت استفاده از فناوری نانو در تصفیه آب و فاضلاب صنعتی
- ۵ مواد و روش‌های تصفیه آب و پساب با استفاده از فناوری نانو
- ۶ تصفیه آب و فاضلاب با استفاده از فناوری نانو در جهان
- ۸ بهترین روش تصفیه آب و فاضلاب
- ۸ چگونگی عملکرد فناوری نانوحباب در تصفیه آب
- ۹ شرکت‌های خارجی و داخلی فعال در تصفیه آب با استفاده از فناوری نانوحباب
- ۱۰ بررسی بازار تصفیه آب و پساب‌های خانگی و فاضلاب صنعتی
- ۱۱ نتیجه‌گیری
- ۱۱ منابع

صنعت تصفیه آب وفاضلاب، از صنایع بزرگ و اساسی در جهان است و نیاز به راه‌حل‌های نوین برای تصفیه آب وفاضلاب در سطح جهانی بیشتر از قبل ضرورت پیدا کرده است. صنعت تصفیه آب وفاضلاب به دلیل رشد روزافزون جمعیت جهان، پیشرفت چشمگیری در سطح جهانی دارد و این نیاز در آینده همچنان افزایش خواهد یافت. استفاده از روش‌های نوین تصفیه آب وفاضلاب، بهبود قابل توجهی در کیفیت آب، کاهش هزینه‌های مرتبط با تصفیه آب، حفاظت از محیط‌زیست، فرصت‌های سرمایه‌گذاری و رشد صنعت اقتصادی به همراه دارد. استفاده از روش‌های نوین تصفیه آب وفاضلاب، مانند فیلترهای نانوفیبری و نانوکاتالیست‌ها، می‌تواند بهبود قابل توجهی در کیفیت آب وفاضلاب داشته باشد. این روش‌ها به طور مؤثر آلاینده‌های شیمیایی و ذرات ریز را از آب وفاضلاب حذف می‌کنند و از آبی که برای مصارف مختلف مانند شرب، آبیاری و صنعتی استفاده می‌شود، بهترین کیفیت را فراهم می‌کنند. تصفیه آب وفاضلاب به این روش می‌تواند هزینه‌های مرتبط با تصفیه آب را کاهش دهد. به عنوان مثال، فیلترهای نانوفیبری و نانوکامپوزیت، باعث کاهش هزینه‌های مربوط به استفاده از مواد شیمیایی تصفیه آب مانند کلر و تبدیل آن به یک فرایند ساده‌تر و کم هزینه‌تر می‌شوند. این روش‌ها می‌توانند به حفاظت از محیط‌زیست کمک کنند و باعث کاهش پسماند و آلاینده‌های شیمیایی در آب وفاضلاب می‌شوند و از آلودگی و تلفات بیشتر در محیط‌زیست جلوگیری می‌کنند. با توجه به رشد سریع جمعیت جهان، نیاز به آب شرب و تصفیه فاضلاب در سراسر جهان همچنان افزایش خواهد یافت. این نیاز به طور قطعی توسعه یک بازار بزرگ برای صنعت تصفیه آب ایجاد می‌کند و می‌تواند رشد اقتصادی قابل توجهی را به همراه داشته باشد. صنعت تصفیه آب وفاضلاب فرصت‌های سرمایه‌گذاری بسیاری را در اختیار سرمایه‌گذاران قرار می‌دهد. توسعه و سرمایه‌گذاری در این صنعت می‌تواند به توسعه فناوری‌های نوین و بهبود روش‌های تصفیه آب وفاضلاب کمک کند.



شکل ۱- بحران جهانی کمبود آب

اهمیت استفاده از فناوری نانو در تصفیه آب و فاضلاب صنعتی

با توسعه صنعت و رشد مستمر جمعیت، موضوع آب آشامیدنی نقش مهمی در اقتصاد ملی و زندگی اجتماعی ایفا می کند. تصفیه آب و فاضلاب بخش مهمی از فرایند استفاده از آب آشامیدنی است و هدف اصلی از آن بهبود کیفیت آب و رسیدن به استانداردهای بهداشتی است. بسیاری از بیماری های منتقله از آب مانند حصه، وبا، هپاتیت و اسهال خونی از طریق آب آشامیدنی آلوده که حاوی اقیانوسی از ویروس ها و باکتری های بیماری زا است، منتقل می شوند. در مناطق توسعه نیافته، سالانه حدود ۵۰۰ هزار نفر بر اثر بیماری های منتقله از طریق آب جان خود را از دست می دهند. پساب شامل فاضلاب خانگی و فاضلاب صنعتی است که حاوی مقدار زیادی فلزات سنگین، آنتی بیوتیک ها، آرسنید و سایر آلاینده ها است. اگر فاضلاب به درستی تصفیه نشود، آلودگی زیادی برای بدن انسان و محیط آبی ایجاد می کند. بنابراین جستجوی روش های پیشرفته تصفیه آب که می تواند کارایی کار و بازده اقتصادی را بهبود بخشد، حیاتی است.

فناوری نانو به دلیل ویژگی های خاص خود می تواند در صنعت تصفیه آب و فاضلاب به شیوه های متعددی کمک کند. در ادامه به چند مورد از کاربردهای فناوری نانو در صنعت تصفیه آب و فاضلاب اشاره شده است:

- **جدایش و حذف ذرات کوچک:** با استفاده از نانومواد می توان ذرات کوچک تر از ۱۰۰ نانومتر را از آب حذف کرد. برای مثال از ممبران های (غشاهای) نانوفیلتراسیون برای جداسازی ذرات معلق استفاده می شود.

- **حذف مواد شیمیایی:** نانوذرات می توانند برای حذف مواد شیمیایی مضر مانند فلزات سنگین، آرسنیک و همچنین مواد آلی مورد استفاده قرار گیرند. برای مثال، از نانوذرات فعال شده کربن برای حذف مواد آلی و شیمیایی در آب و فاضلاب استفاده می شود.

- **حذف باکتری ها و ویروس ها:** نانوذرات نقره، نانوذرات تیتانیوم دی اکسید و نانوذرات آهن می توانند برای حذف باکتری ها و ویروس ها استفاده شوند. این نانوذرات به عنوان کاتالیزورها برای فرایندهای اکسیداسیون مواد آلی و یا با استفاده از فرایند فتوکاتالیستی تیتانیوم دی اکسید به عنوان فرایندی کارا برای حذف باکتری ها و ویروس ها در آب و فاضلاب استفاده می شوند.

- **کاهش هزینه و انرژی:** استفاده از نانوذرات و نانومواد در فرایندهای تصفیه آب و فاضلاب، هزینه های تصفیه و مصرف انرژی را کاهش می دهد. برای مثال، استفاده از ممبران های نانوفیلتراسیون، باعث کاهش مصرف انرژی و هزینه در فرایندهای تصفیه آب می شود.

- **کارایی بالا:** استفاده از نانوذرات و نانومواد، کارایی فرایندهای تصفیه آب و فاضلاب را بهبود می بخشد. به عنوان مثال، استفاده از نانوذرات آهن در فرایند تصفیه آب، باعث کاهش زمان و افزایش کارایی فرایند تصفیه می شود. بنابراین فناوری نانو به عنوان یک فناوری نوین، در صنعت تصفیه آب و فاضلاب به شیوه های متعددی می تواند کمک کند. استفاده از این فناوری ها بهبود کیفیت آب و فاضلاب و همچنین کاهش هزینه و مصرف انرژی را به همراه دارد.

مواد و روش‌های تصفیه آب و پساب با استفاده از فناوری نانو

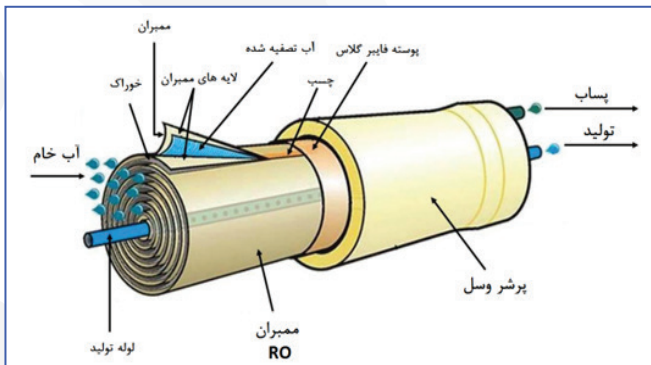
با صدها سال توسعه، فناوری تصفیه آب به بلوغ رسیده است. فرایندهای تصفیه آب آشامیدنی و فاضلاب از یکدیگر متفاوت هستند. برای تصفیه آب آشامیدنی از ضد عفونی کننده‌ها از جمله کلر عمدتاً برای تصفیه و ضد عفونی استفاده می‌شود، اما در سال‌های اخیر عوارض جانبی این ضد عفونی کننده‌ها مانند ایجاد سرطان و افزایش مقاومت برخی از باکتری‌های بیماری‌زا، ضد عفونی با کلر را محدود می‌کند. برای تصفیه فاضلاب، روش‌هایی مانند روش فنتون و روش جداسازی غشایی هزینه‌های گزافی را در پی دارد. برای رفع محدودیت‌های روش‌های سنتی تصفیه آب، انواع روش‌های جدید تصفیه آب متداول شده است. فناوری نانو در تصفیه آب و فاضلاب می‌تواند به عنوان یک روش نوین و کارا برای بهبود کیفیت آب و فاضلاب استفاده شود. در زیر به برخی از کاربردهای این فناوری در تصفیه آب و فاضلاب اشاره شده است:

■ **نانوذرات فلزی:** این روش شامل استفاده از نانوذرات فلزی مانند نانوذرات نقره، آهن، مس و... است که به عنوان کاتالیزورها برای اکسیداسیون مواد آلی و از بین بردن باکتری‌ها و ویروس‌ها در فاضلاب استفاده می‌شوند.

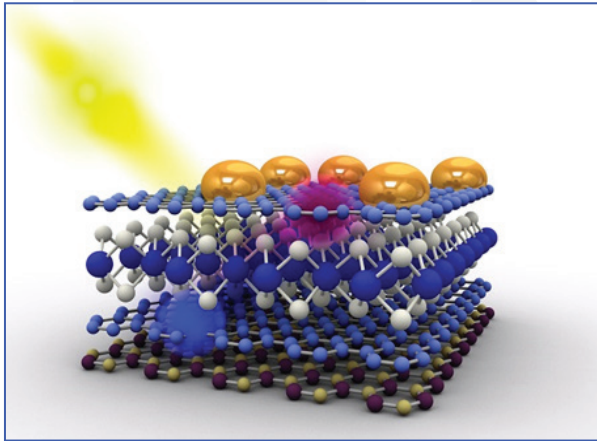
■ **ممبران نانوفیلتراسیون:** در این روش، ممبران‌ها (غشاها)یی با حفرات نانومتری برای جداسازی اجزای کوچک‌تر از آب مورد استفاده قرار می‌گیرند. این ممبران‌ها می‌توانند به عنوان جایگزینی برای فرایندهای تصفیه مانند فیلتراسیون و ته‌نشینی استفاده شوند.

■ **نانوذرات کامپوزیتی:** این روش شامل استفاده از نانوذراتی است که با مواد دیگری مانند پلیمرها و کربن سفید ترکیب شده‌اند. این کامپوزیت‌ها می‌توانند به عنوان جاذب مواد آلی و معدنی در آب و فاضلاب استفاده شوند.

■ **فوتوکاتالیست‌های نانو:** در این روش، نانوذراتی مانند دی‌اکسید تیتانیوم به عنوان کاتالیزورها در فرایندهای اکسیداسیون مواد آلی و حذف باکتری‌ها و ویروس‌ها استفاده می‌شوند. این روش می‌تواند به عنوان روشی برای حذف مواد آلی و تصفیه آب شور استفاده شود.



شکل ۲- طرح شماتیک ممبران در فرآیند نانوفیلتراسیون



شکل ۳- ساختار نانوذرات کامپوزیتی

■ نانوکاتالیست ها و نانوکریستال ها: در این روش، کریستال های نانویی از موادی مانند نانوذرات آلومینیوم، تیتانیوم و... به عنوان کاتالیزورها برای فرایندهای اکسیداسیون و ردوکشن (احیا و کاهش) مواد آلی مورد استفاده قرار می گیرند.

این روش ها و فناوری های نانو در تصفیه آب و فاضلاب، به دلیل دقت بالا، کارایی بالا، مصرف انرژی کمتر و کاهش هزینه ها، به عنوان روش های جدید و کارا در صنعت تصفیه آب و فاضلاب شناخته شده اند اما در عین حال، برخی مشکلات مانند استفاده از مواد شیمیایی خطرناک مثل نانوذرات و مسائل مربوط به سلامتی و محیط زیستی نیز وجود دارد که باید در نظر گرفته شوند. به همین دلیل در استفاده از فناوری نانو در تصفیه آب و فاضلاب، باید به مواردی مانند ایمنی، سلامت و محافظه محیطی توجه داشت و از مواد خطرناک استفاده نکرد. همچنین برای استفاده بهینه از این فناوری ها، به مطالعات بیشتر در زمینه عملکرد، کارایی و اثرات محیط زیستی نیاز است.

تصفیه آب و فاضلاب با استفاده از فناوری نانو در جهان

در حوزه استفاده از فناوری نانو در صنعت تصفیه آب و فاضلاب، تحقیقات و آزمایشات بسیاری انجام شده است که نشان می دهد استفاده از این فناوری ها می تواند به صنعتگران و متخصصان این صنعت کمک کند تا با کاهش هزینه ها، افزایش کارایی و بهبود کیفیت و امنیت آب، نیازهای آبی جامعه را تأمین کنند. در یک تحقیق انجام شده در سال ۲۰۲۰، استفاده از فیلترهای نانوسیلیکا در فرایند تصفیه فاضلاب، باعث کاهش ۹۵ درصدی آلاینده های آلی و شیمیایی در فاضلاب شد. در یک تحقیق دیگر، استفاده از نانوذرات آهن در تصفیه آب، باعث کاهش زمان و افزایش کارایی فرایند تصفیه می شود. در یک پژوهش انجام شده در سال ۲۰۱۹، استفاده از فیلترهای نانوکامپوزیت فلز اکسید برای حذف فلزات سنگین از آب، باعث حذف ۹۵ درصدی فلزات سنگین

شد. در سال ۲۰۱۸، استفاده از نانوذرات آلومینا تصفیه آب، باعث حذف ۹۹ درصدی برخی از آلاینده‌های آبی مانند نیترات، نیتریت و فسفات شد. همچنین در سال ۲۰۱۷، استفاده از فیلترهای نانوکامپوزیت کربن-فلز اکسید برای حذف مواد آلی از آب، باعث حذف ۹۹ درصدی آلاینده‌های آلی شد. این ارقام و آمارها نشان می‌دهند که استفاده از فناوری نانو در صنعت تصفیه آب وفاضلاب، باعث بهبود کیفیت آب، کاهش هزینه‌ها و افزایش کارایی فرایندهای تصفیه می‌شود و می‌تواند به صنعتگران و متخصصان این صنعت کمک کند تا بهترین تصمیمات را در این زمینه بگیرند و از فناوری‌های فناوری نانو برای بهبود صنعت تصفیه آب وفاضلاب استفاده کنند.

استفاده از فناوری نانو در صنعت تصفیه آب وفاضلاب در حال حاضر در بسیاری از کشورها انجام می‌شود. برخی از کشورهایی که از فناوری نانو برای تصفیه آب وفاضلاب استفاده می‌کنند عبارت‌اند از:

■ **چین:** یکی از کشورهای پیشرو در استفاده از فناوری نانو در صنعت تصفیه آب وفاضلاب، کشور چین است. در حال حاضر، بیش از ۵۰ درصد از کارخانه‌های تصفیه آب این کشور از فناوری‌های نانو استفاده می‌کنند.

■ **آمریکا:** در آمریکا، استفاده از فناوری نانو در تصفیه آب وفاضلاب در حال گسترش است. بسیاری از شرکت‌های بزرگ تصفیه آب مانند GE Water & Process Technologies، Dow Water & Process Solutions و Veolia Water استفاده از فناوری نانو را در فرایندهای تصفیه آب وفاضلاب به کار می‌برند.

■ **کره جنوبی:** در کره جنوبی، استفاده از فناوری نانو در تصفیه آب وفاضلاب از سال ۲۰۰۵ آغاز شده است. این کشور از فیلترهای نانوفیبری، فیلترهای نانوکامپوزیت و نانوکاتالیست‌ها در فرایندهای تصفیه آب استفاده می‌کند.

■ **استرالیا:** در استرالیا، استفاده از فناوری نانو در صنعت تصفیه آب وفاضلاب در حال گسترش است. برخی از شرکت‌های بزرگ تصفیه آب مانند Memstar و Merck استفاده از فناوری نانو را در فرایندهای تصفیه آب وفاضلاب به کار می‌برند.

■ **اروپا:** در اروپا، استفاده از فناوری نانو در تصفیه آب وفاضلاب در حال گسترش است. برخی از کشورهایی مانند انگلستان، فرانسه، آلمان و اسپانیا از فناوری‌های نانو در تصفیه آب وفاضلاب استفاده می‌کنند.

■ **امارات عربی:** امارات عربی نیز از فناوری نانو در تصفیه آب وفاضلاب استفاده می‌کند. شرکت ملی آب این کشور (DEWA) از فناوری‌های نانو در فرایندهای تصفیه آب استفاده می‌کند.

این تنها چند نمونه از کشورهایی هستند که در حال حاضر از فناوری نانو در تصفیه آب وفاضلاب استفاده می‌کنند. اما بسیاری از کشورهای دیگر نیز در حال تحقیق و توسعه فناوری‌های نانو در این زمینه هستند و در آینده‌ی نه چندان دور ممکن است از این فناوری‌ها در صنعت تصفیه آب وفاضلاب استفاده شود.

فناوری‌هایی که در حال حاضر این کشورها در صنعت تصفیه آب وفاضلاب از آن‌ها استفاده می‌کنند، شامل فیلترهای نانوفیبری، فیلترهای نانوکامپوزیت، نانوکاتالیست‌ها و نانوممبران‌هاست. این فناوری‌ها در ترکیب با سایر فرایندهای تصفیه آب وفاضلاب مانند فرایند اکسیداسیون پیشرفته (AOP)، فرایند فعال‌سازی نانوذرات (NAA)، فرایند اسپری جت (SP)، فرایند اسپری دوار (DS)، فرایند اسپری الکتریکی (ES)، فرایند اسپری پلاسمایی (PS)، فرایند فلوکولاسیون (flocculation) و فرایند کواکسیال (coagulation) نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. به طور کلی استفاده از فناوری‌های نانو در تصفیه آب وفاضلاب می‌تواند باعث بهبود کیفیت آب و کاهش هزینه‌ها در فرایند تصفیه شود.

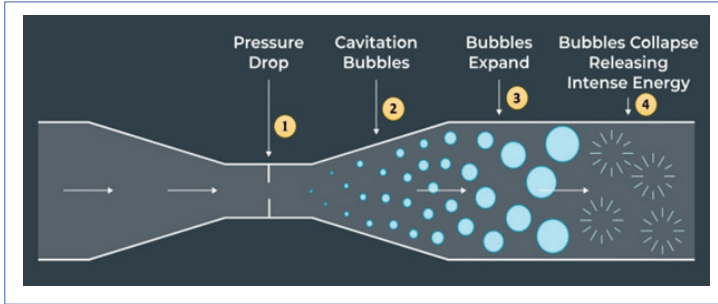
بهترین روش تصفیه آب و فاضلاب

هر یک از روش هایی که در صنعت تصفیه آب و فاضلاب استفاده می شوند، ویژگی های خاص خود را دارند و بسته به شرایط محیطی و ویژگی های آب و فاضلاب مورد استفاده، می شود بهترین روش را انتخاب کرد. به همین دلیل، مقایسه دقیق بین این فرایندها بسیار پیچیده است و باید با توجه به نوع آلودگی و ویژگی های آب و فاضلاب، روش مناسب برای تصفیه آن ها را انتخاب کرد. به عنوان مثال، فیلترهای نانوفیبری برای حذف ذرات ریز و آلاینده های شیمیایی از آب استفاده می شوند و در برخی موارد می توانند به عنوان یکی از بهترین روش های تصفیه آب در نظر گرفته شوند. اما در مواردی که آلودگی آب شامل آلاینده های شیمیایی آلی و بدون اتصال به ذرات باشد، نانوکاتالیست ها بهترین روش برای تصفیه آب هستند. به طور کلی، هر یک از روش هایی که در صنعت تصفیه آب و فاضلاب استفاده می شوند، دارای مزایا و معایب خاصی هستند. برای انتخاب بهترین روش، باید ویژگی های آب و فاضلاب مورد استفاده، نوع آلودگی، هزینه های مرتبط با روش های مختلف و دیگر عوامل را به دقت بررسی کرد. همچنین اغلب از ترکیب چند روش تصفیه در کنار هم به عنوان یک سیستم تصفیه استفاده می شود که باعث بهبود کیفیت آب و کاهش هزینه ها می شود. در نتیجه بهترین روش تصفیه آب، با توجه به شرایط و ویژگی های مختلف، ممکن است منحصر به فرد باشد و نمی توان به طور قطعی یک روش را بهتر از دیگری دانست. فناوری نانوحباب، یک فناوری جدید و پیشرفته برای تجزیه آلاینده های آب و جایگزینی با صرفه اقتصادی برای روش های متداول تصفیه آب است. استفاده از نانوحباب ها در فناوری های مهندسی محیط زیست باعث می شود، فرایندهای تصفیه آب و پساب بسیار مؤثر باشند. این فناوری که از محیط مایع حفره زا استفاده می کند، به دلیل امکان تخریب ترکیبات آلی، خطرناک و سرطان زا و آلودگی هایی شامل آفت کش ها و رنگ ها، می تواند به عنوان یک فناوری غیر آلاینده و سازگار با محیط زیست در نظر گرفته شود.

چگونگی عملکرد فناوری نانوحباب در تصفیه آب

در این روش با استفاده از طراحی مکانیکی کانال های موجود در راکتورهای تصفیه آب، سرعت مایع در داخل کانال های تصفیه آب به چندین ماخ (سرعت صوت) می رسد و پس از کاهش فشار ناگهانی در سیال ریزحباب هایی در حد نانومتر به وجود می آید. پس از تجمع و رشد حباب ها در محفظه، انفجار صورت می گیرد. با انفجار هر حباب، حجم زیادی انرژی آزاد می شود. این انرژی بالای آزاد شده، شکستن پیوند ذرات و آلاینده های معلق در آب را در پی دارد. تداوم و تکرار این عمل باعث از بین رفتن آلودگی های آب، تخریب و خنثی سازی آلاینده های آلی حاصل از فاضلاب های صنعتی، معادن، خانگی و تصفیه پساب ها می شود. این فناوری می تواند میزان جذب را در جاذب های مورد استفاده افزایش داده و موجب کاهش دو تا سه برابری هزینه عملیاتی واحد تصفیه شود.

این فناوری برخلاف سایر روش های متداول تصفیه آب (روش فنتون، روش جداسازی غشایی، جذب بیولوژیکی و فناوری فوتوکاتالیستی) قابلیت استفاده مداوم بدون نیاز به تجدید منابع و مواد را دارد. از طرفی هزینه های مواد شیمیایی، حمل و نقل و دفع و هزینه های مرتبط با آن را کاهش می دهد. همچنین با استفاده از این روش هزینه های عملیاتی را می توان به طور چشمگیری کاهش داد. کاهش لجن تولیدی در مقایسه با روش های شیمیایی معمولی می تواند به ۶۰ درصد برسد. مزایای دیگر عبارتند از نیاز به توان کم، هزینه های سرمایه و نگهداری کم، حداقل توجه اپراتور، عدم افزودن مواد شیمیایی، نتایج ثابت و قابل اعتماد (۵ و ۶).



شکل ۴- عملکرد فناوری نانوحباب (۱) افت فشار ناگهانی (۲) ایجاد حباب (۳) بزرگ شدن نانوحباب (۴) انفجار حباب‌ها و تولید انرژی

شرکت‌های خارجی و داخلی فعال در تصفیه آب با استفاده از فناوری نانوحباب

شرکت CTi درنواداکالیفرنیا تلاش قابل توجهی برای تحقیق و توسعه برای طراحی یک سیستم کاویتاسیون و انعقاد الکتریکی انجام داده است. این شرکت یک رهبر نوآور در پردازش مایعات، مخلوط‌های سیال، امولسیون‌ها و جامدات معلق است. تمرکز این شرکت بر اجرای عملی نوآوری‌ها و پیشرفت‌های داخلی است و مأموریت اصلی خود را رسیدگی به نیازهای فعلی و آینده صنایع بزرگ می‌داند. CTi که در سال ۲۰۰۷ تأسیس شد، دستگاه‌ها و سیستم‌های پیشرفته، جریان‌پذیر، قوی و مبتنی بر کاویتاسیون هیدرودینامیکی را طراحی و تولید می‌کند. این شرکت فناوری‌های فرآوری با کارایی بالا را برای استفاده در پالایش روغن خوراکی، استخراج روغن جلبک و تولید سوخت تجدیدپذیر، بیودیزل، تصفیه آب و ارتقای سریع نفت توسعه می‌دهد. این شرکت متعهد به فعالیت به شیوه‌ای مسئولانه است که تأثیرات محیط‌زیستی خود را بهبود می‌بخشد و فناوری‌هایی را پیشگام می‌کند که منابع طبیعی را صرفه‌جویی و محافظت می‌کند.

سایر شرکت‌های خارجی ولتک واتر Voltek water، واتر نایت Water Knight، اچ دی سی پروداکت HDC



شکل ۵- دستگاه نانوحباب‌ساز شرکت CTi

Product و... تصفیه آب خانگی و شهری را با استفاده از روش نانوحباب انجام می‌دهند که سال‌هاست در این زمینه مشغول به فعالیت هستند [۷].

شرکت پیام‌آوران نانوفناوری فردانگر با دستگاه‌های آرسنیک‌زدا و نانوحباب‌ساز و شرکت‌های نانوحباب انرژی و نانوفناوری سراج با دستگاه نانوحباب‌ساز از جمله شرکت‌های داخلی پیشرو در حوزه تصفیه آب با نانوحباب هستند.

بررسی بازار تصفیه آب و پساب‌های خانگی و فاضلاب صنعتی

اندازه بازار جهانی دستگاه‌های تصفیه آب در سال ۲۰۲۰ به ۲۹۹۹۸٫۱۵ میلیون دلار می‌رسد و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۳۱ به ۹۲۰۸۲٫۶۰ میلیون دلار برسد و از سال ۲۰۲۲ تا ۲۰۳۱ با CAGR ۱۰٫۱ درصد رشد کند.

تقاضا برای سیستم‌های تصفیه آب در کشورهای در حال توسعه با افزایش تقاضای آب سالم و تصفیه پساب‌ها، بیشتر می‌شود. برخی از کشورهای نوظهور، مانند برزیل و چین، شاهد افزایش درآمد قابل توجه به دلیل توسعه جمعیت و افزایش اشتغال در صنایع خدمات محور بودند. این امر تقاضا برای سیستم‌های تصفیه آب در این زمینه‌ها را افزایش داد. افزایش نگرانی‌ها نسبت به سلامت و رفاه در میان جمعیت جهان منجر به اتخاذ شیوه‌های بهداشتی شده است و به عنوان یکی عامل کلیدی است که به طور قابل توجهی به رشد بازار جهانی کمک می‌کند. افزایش جمعیت و نیاز حیاتی به تأمین آب سالم با تصفیه پساب‌ها، از یک سو و افزایش آگاهی عمومی و اتخاذ شیوه‌های بهداشتی، در کشورهای پیشرفته از سوی دیگر، باعث رشد تقاضا در سیستم‌های تصفیه آب شده است.

بر اساس گزارش سازمان ملل متحد و سازمان جهانی بهداشت، در کشورهای در حال توسعه در هر ۲۱ ثانیه یک کودک به دلیل بیماری‌های ناشی از نوشیدن آب آلوده جان خود را از دست می‌دهد. وضعیت در کشورهای فقیر به دلیل کمبود آب شیرین، افزایش آلودگی و رشد نامتوازن جمعیت بحرانی‌تر است. از این منظر، تقاضا برای به کارگیری سیستم‌های تصفیه آب در تمامی کشورها از اهمیت خاصی برخوردار است. کاهش کیفیت آب یک خطر جدی برای سلامتی است و باعث بیماری‌های مختلف از طریق آب می‌شود. کاهش کیفیت آب در نتیجه ریختن فاضلاب تصفیه نشده، مواد شیمیایی، آفت‌کش‌ها، مواد زائد، زباله‌های صنایع، کشاورزی و شرکت‌های شهری به بدنه‌های آبی است. بیشتر آب تأمین شده در مناطق شهری برای آشامیدن نایمن است و نیاز به ضد عفونی بیشتر از فلزات سنگین، ویروس‌ها، کیست‌ها، باکتری‌ها و سایر سموم دارد. انتظار می‌رود صنعتی سازی افزایش یابد و منجر به افزایش آلودگی آب در سال‌های آینده شود و در نتیجه افزایش تقاضا برای دستگاه‌های تصفیه آب ایجاد شود.

بنابراین بازیگران اصلی بازار روی عرضه محصولات مجهز با فناوری‌های پیشرفته تصفیه آب تمرکز می‌کنند. این بازیگران در حال سرمایه‌گذاری روزافزون در فعالیت‌های تحقیق و توسعه برای معرفی و ساخت دستگاه‌های تصفیه آب مجهز به فن‌آوری‌های نوین هستند [۳].



شکل ۶- بازار جهانی دستگاه‌های تصفیه آب

نتیجه‌گیری

فناوری نانوحباب (نانوکاویتاسیون) یک روش پیشرفته در تصفیه آب است که با استفاده از نانوذرات به اندازه بسیار کوچک (از حدود ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر)، برای حذف آلودگی‌ها و ناخالصی‌های موجود در آب استفاده می‌شود. این روش به ویژه برای حذف آلودگی‌هایی که با روش‌های سنتی تصفیه آب قابل حذف نیستند، مانند آلودگی‌های ناشی از فلزات سنگین، رنگ، بو و طعم نامطلوب و همچنین مواد آلی و میکروارگانیسم‌هایی که برای سلامتی مضر هستند، مناسب است. در فناوری نانوحباب، نانوذراتی با اندازه کوچک‌تر از ذرات آلودگی به آب اضافه می‌شوند، سپس با استفاده از امواج فراصوتی، ذرات آلوده‌کننده آب از بین می‌روند. در این فرایند، نانوذرات با سرعت بالا به آب برخورد می‌کنند و انرژی کافی را برای شکستن اتصالات مولکولی آلودگی‌ها دارند. این فرایند باعث جداسازی آلودگی‌ها از آب و حذف آن‌ها می‌شود. از مزایای استفاده از فناوری نانوحباب در تصفیه آب می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- حذف ناخالصی‌هایی که با روش‌های سنتی تصفیه آب قابل حذف نیستند؛
- دقت بالا در حذف آلودگی‌ها و ناخالصی‌های موجود در آب؛
- کاهش مصرف مواد شیمیایی در تصفیه آب؛
- افزایش کارایی و کاهش هزینه در تصفیه آب به دلیل مصرف کمتر انرژی و مواد شیمیایی در مقایسه با روش‌های سنتی؛
- حذف مواد آلی و میکروارگانیسم‌هایی که برای سلامتی آدمیان مضر هستند؛
- کاهش زمان تصفیه آب به دلیل افزایش کارایی فرایند تصفیه.

نانوحباب می‌تواند استفاده اخیر از معرف‌های شیمیایی گران قیمت را برای فرایند تصفیه پیشرفته کاهش دهد. این مواد شیمیایی در هنگام رسوب در محیط، مشکلات بیشتری ایجاد می‌کنند. در نهایت، از آنجایی که امروزه توجه زیادی به آلاینده‌ها می‌شود، انتظار می‌رود که فرایند توسعه یافته تصفیه آب وفاضلاب با کمک نانوحباب، حضور آن‌ها را در آب تصفیه شده به میزان قابل توجهی کاهش دهد. به طور کلی، فناوری نانوحباب در تصفیه آب می‌تواند جایگزینی مناسب برای روش‌های سنتی تصفیه آب باشد و با استفاده از آن می‌توان به بهبود کیفیت آب و حفظ سلامتی عمومی جامعه کمک کرد.

منابع

- ۱ Gorjian, S., & Ghobadian, B. (2015). Solar desalination: A sustainable solution to water crisis in Iran. *Renewable and Sustainable energy reviews*, 48, 571-584.
- ۲ Mirzavand, Mohammad, and Rahim Bagheri. "The water crisis in Iran: Development or destruction?" *World Water Policy* 6.1 (2020): 89-97.
- ۳ <https://www.alliedmarketresearch.com/water-purifier-market>

- ۴ Albanese, L., Baronti, S., Liguori, F., Meneguzzo, F., Barbaro, P., and Vaccari, F. P. (2019). Hydrodynamic cavitation as an energy efficient process to increase biochar surface area and porosity: a case study. *J. Clean. Prod.* 210, 159–169. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.10.341
- ۵ <https://www.omicsonline.org/open-access/an-overview-of-the-application-of-hydrodynamic-cavitation-for-the-intensification-of-wastewater-treatment-applications-a-review-ier-1000137.php?aid=75158>
- ۶ <http://www.ctinanotech.com/>
- ۷ Khataee, A., & Rostami, S. (2019). Applications of nanotechnology in water and wastewater treatment – A review. *Desalination*, 451, 4-15.
- ۸ Shahwan, T., Abu Sirriah, S., Nairat, M., Boyacı, E., Eroğlu, A. E., & Scott, T. B. (2011). A review on the latest development of nanotechnology-based treatment for industrial wastewater. *Desalination*, 277(1-3), 1-11.
- ۹ Song, S., Zhang, T., Zhang, X., Li, P., & Li, F. (2021). Overview of nanotechnology applications for wastewater treatment: Current status and prospects. *Science of the Total Environment*, 780, 146602.
- ۱۰ Gao, Y., Li, Y., Zhang, Y., & Xu, Q. (2019). Nanotechnology for wastewater treatment: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 17(4), 1461-1483.
- ۱۱ Wang, J., Wang, C., & Kang, Y. (2020). Nanotechnology for sustainable water management. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 17, 47-54.