



شرکت مهندسی آب و فاضلاب گستر

کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵



1232P-NWWCE

## ارزیابی فن آوری نانو در تصفیه آب و تأثیرات زیست محیطی آن

محمدرضا فخری هروی<sup>۱</sup>، الناز زهتاب لطفی<sup>۲</sup>، علی رستمی ایراقی<sup>۳</sup>

۱-مدیر دفتر کنترل کیفیت آب و فاضلاب استان آذربایجان شرقی

۲- کارشناس مسئول کنترل کیفیت شرکت آب و فاضلاب استان آذربایجان شرقی

۳- کارشناس کنترل کیفیت شرکت آب و فاضلاب روستایی استان آذربایجان شرقی

elnazlo@yahoo.com

### خلاصه

چالش‌های مهم در مورد آب که ناشی از رشد جمعیت و تغییر آب و هوا است نیازمند نوآوری در تکنولوژی‌های تصفیه آب می‌باشد. بر این اساس انتخاب نانو تکنولوژی بسیار پیشرفته برای فرایندهای سنتی راهگشای متخصصان آب و فاضلاب جهت استفاده از فن آوری‌های پیشرفته خواهد بود. با توسعه فناوری نانو در صنعت آب و فاضلاب، می‌توان تحولی عظیم در تأمین آب مصرفی و بخش‌های وابسته به آن، به وجود آورد. کاربردهای فناوری نانو در تصفیه آب، گندزدایی، استفاده بهینه از آب سفره‌های زیرزمینی و بهبود سازه‌های آبی از جمله ویژگی‌هایی است که صنعت آب و فاضلاب با استفاده از این فناوری به دنبال تحقق آن است. با افزایش آلودگی آب‌ها از یک سو و کاهش بارندگی‌ها از سوی دیگر اهمیت استفاده از روش‌های مناسب در این صنعت بیش از پیش آشکار می‌گردد. در این مقاله پیشرفت‌های اخیر در نانو تکنولوژی برای فرایندهای آب و فاضلاب مورد بررسی قرار گرفته و مزایا و معایب هر کدام در مقایسه با روش‌های سنتی بیان گردیده است.

کلمات کلیدی: نانو جاذب، نانو مواد، نانو فیلتر، فتوکاتالیست

### ۱. مقدمه

پیشرفت‌های بلند مدت در جهان در مورد آب به شدت به رشد جمعیت و تغییر آب و هوا وابسته است. رشد ثابت جمعیت جهان که پیش‌بینی می‌شود در سال ۲۰۵۰ به ۶/۳ بیلیون نفر برسد، نیازمند به آب جهت آشامیدن و مقاصد کشاورزی می‌باشد. در بسیاری از کشورها کمبود آب از یک طرف و استفاده از آب برای مصارف کشاورزی و بدتر از همه آلودگی آب‌ها توسط فاضلاب از مشکلات عمده می‌باشد. در اکثر کشورهای پیشرفته و صنعتی میکروآلاینده‌ها با سرعت فزاینده‌ای وارد منابع آبی می‌شوند. روش‌های سنتی برای از بین بردن این آلاینده‌ها مانند کلریناسیون و ازناسیون علاوه بر اینکه مواد شیمیایی زیادی را مصرف می‌کنند، می‌توانند محصولات جانبی سمی ایجاد کنند. انتخاب نانو تکنولوژی بسیار پیشرفته نسبت به روش‌های سنتی موجود راه‌های جدیدی برای پیشرفت در صنعت آب و فاضلاب خواهد گشود. در این مطالعه پیشرفت‌های جدید در نانو تکنولوژی برای فرایندهای آب و فاضلاب بیان شده و کاربرد آن‌ها مزایا و معایب استفاده از این تکنولوژی در صنعت آب و فاضلاب بیان شده است.

### ۲. نانو مواد فرایند کاربردها

نانو مواد در مقایسه با مواد در ابعاد بزرگ دارای سطوح بسیار وسیع تری هستند. به علاوه این مواد قادر به بر هم کنش با گروه‌های شیمیایی مختلف به منظور افزایش میل ترکیبی آن‌ها با ترکیبات ویژه می‌باشند. همچنین نانو مواد می‌توانند به عنوان لیگندهای قابل بازیافت با ظرفیت و عملکرد انتخابی بسیار بالا برای یون‌های فلزی سمی به هسته‌های رادیواکتیو، حلال‌های آلی و معدنی به شمار می‌آیند.



## ۱,۲ فرایند جذب

این تحقیق به طور عمده بر این سه نوع از نانو جاذب‌ها تکیه می‌کند:

- نانولوله‌های کربنی
- نانو جاذب‌های پلیمری
- زئولیت‌ها

### نانولوله‌های کربنی:

(CNTs) نانولوله‌های کربنی آلوتروپ‌های کربن با نانو ساختار استوانه‌ای هستند. CNTs ها خود به دو گروه تک دیواره و چند دیواره تقسیم می‌شوند. تخلخل‌های نانومتری نانولوله‌ها این فیلترها را از دیگر فناوری‌های فیلتراسیون بسیار انتخاب پذیرتر نموده است. همچنین نانولوله‌های کربنی دارای سطح ویژه بسیار بالا، نفوذپذیری زیاد و پایداری حرارتی و مکانیکی خوبی هستند. اگر چه چندین روش برای سنتز نانولوله‌های کربنی استفاده شده است، غشاهای نانولوله‌ای می‌توانند به وسیله پوشش‌دهی یک ویفر سیلیکونی با نانو ذرات فلزی به عنوان کاتالیز، که موجب رشد عمودی و فشردگی بسیار زیاد نانولوله‌های کربنی می‌شود، سنتز شوند و پس از آن برای افزایش پایداری، فضای بین نانولوله‌های کربنی را با مواد سرامیکی پر نمود. یون‌های فلزی توسط این نانو لوله‌ها به کمک جاذبه الکتروستاتیکی و پیوند شیمیایی جذب می‌شوند. به تازگی تیمی از محققان آمریکایی اسفنج‌هایی از نانو لوله‌ها و بور تهیه کرده‌اند که قابلیت جذب روغن از آب را دارد [۱]. با توجه به مزایای زیاد نانو لوله‌ها نسبت به کربن فعال ولی به نظر می‌رسد به خاطر هزینه زیاد این مواد نتوان به‌طور گسترده و در مقیاس وسیع از آن‌ها در تصفیه آب و فاضلاب استفاده کرد. در برخی موارد مانند حذف آنتی بیوتیک‌ها و مواد دارویی می‌توان علی‌رغم هزینه بالا از این ترکیبات استفاده نمود چون مقدار کمی مورد نیاز می‌باشد و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است.

### نانو جاذب‌های پلی مری:

نانو جاذب‌های پلیمری معمولاً برای حذف مواد آلی و فلزات سنگین به کار می‌روند. مواد آلی به لایه‌های داخلی آبرگیر آن‌ها جذب شده و فلزات سنگین به لایه‌های خارجی آن‌ها متصل می‌شوند. بیو جاذب‌هایی با کارایی بالا برای حذف ترکیبات آنیونی مانند رنگ‌دانه‌ها از فاضلاب چرم‌سازی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. بیو جاذب‌ها زیست تخریب پذیر و غیر سمی هستند و بازده حذف آن‌ها تا ۹۹ درصد می‌باشد.

### زئولیت‌ها:

زئولیت‌ها در ترکیب با اتم‌های نقره از سال ۱۹۸۰ مورد استفاده قرار گرفته‌اند. زئولیت‌ها مواد جاذب با ساختار شبکه‌ای جهت تشکیل تخلخل‌ها هستند. آن‌ها می‌توانند از منابع طبیعی به دست آمده و یا سنتز شوند. زئولیت‌های مصنوعی معمولاً از محلول‌های سیلیکون-آلومینیوم یا زغال‌سنگ ساخته شده و به عنوان جاذب یا ابزار تعویض یونی در کارتریج یا فیلترهای ستونی به کار می‌روند. هم CNTs و هم نانومتال‌ها، نانو جاذب‌های بسیار موثر برای حذف فلزات سنگین مانند آرسنیک می‌باشند. نانو فلزات و زئولیت‌ها از نظر اقتصادی مقرون به صرفه بوده و با سیستم‌های تصفیه موجود قابل تطبیق تر هستند.

## ۲,۲ نانو فلزات و نانو اکسید فلزات

### نانو نقره و نانو تیتانیوم دی اکسید:

ذرات نانو نقره فعالیت آنتی میکروبی قوی از خود نشان می‌دهند. و تا به حال گزارشی از مضرات آن برای انسان بیان نشده است. نانو تیتانیوم دی اکسید پایداری شیمیایی بالا و قیمت بسیار مناسبی را دارد که می‌تواند در فرایندهای ضد عفونی و حذف مواد مختلف آلاینده مورد استفاده قرار گیرد. مهم‌ترین مزیت نانو تیتانیوم دی اکسید به نانو نقره زمان نیمه عمر بی‌نهایت آن می‌باشد. و در حین فرایند حذف و ضد عفونی بدون تغییر می‌ماند و نیازی به تعویض آن نمی‌باشد [۲].

البته مزیت نانو نقره نسبت به نانو تیتانیوم دی اکسید عدم نیاز به نور فرابنفش جهت گندزدایی می باشد. و این مسئله باعث افزایش کاربرد نانو نقره در مناطق نسبتاً دور افتاده گردیده است.

### نانو ذرات مغناطیسی:

استفاده از نانو ذرات مغناطیسی برای جداسازی آلاینده های آب در آب های زیرزمینی به ویژه حذف آرسنیک مورد استفاده قرار گرفته است. نانو ذرات مغناطیسی می تواند به طور مستقیم به آب آلوده تزریق شود و سپس ذرات به کمک میدان مغناطیسی جداسازی می شود. از مزایای این نانو ذرات سمی نبودن آن ها و سهولت حذف باقیمانده آن ها به کمک میدان مغناطیسی می باشد.

### نانو آهن صفر ظرفیتی:

نانو آهن صفر ظرفیتی می تواند برای حذف هیدروکربن های کلردار و پرکلرات ها از آب های زیر زمینی مورد استفاده قرار گیرد. به دلیل سطح مخصوص بالا ذرات نانو آهن صفر ظرفیتی بسیار واکنش پذیر تر از ذرات گرانولی آهن می باشند. از طرفی به دلیل فعالیت بالای آن زمان نیمه عمر این ذرات بسیار پایین است. به همین دلیل تحقیقات بیشتر جهت پایداری و بهینه سازی این نانو ذرات نیاز است. جدول ۱ خواص مهم، کاربردها نانو فلزات و نانو اکسید فلزات را بیان می کند [۱].

جدول ۱- خواص و کاربردهای نانو فلزات و نانو اکسید فلزات

کاربردها	خواص		نانو فلزات و نانو اکسید فلزات
	منفی	مثبت	
گندزدایی آب حذف ترکیبات آلی	نانو نقره: مدت محدود استفاده نانو تیتانیوم دی اکسید: نیاز به فعال سازی با نور فرابنفش	نانو نقره: خاصیت باکتری کشی، سمیت کم برای انسان نانو تیتانیوم دی اکسید: پایداری شیمیایی بالا، نیمه عمر بالا	نانو نقره و نانو دی اکسید تیتانیوم
حذف آلاینده ها از آب های زیرزمینی	نیاز به تثبیت	بازیابی ساده به کمک میدان مغناطیسی	نانو ذرات مغناطیسی
حذف آلاینده ها از آب های زیرزمینی	نیاز به تثبیت	واکنش پذیری بالا	نانو آهن صفر ظرفیتی

در صورتی که بتوان ذرات تیتانیوم نانو را به کمک نور مرئی فعال کرد گامی بسیار مهم در تکنولوژی های تصفیه آب و فاضلاب برداشته خواهد شد. توجه به بازیابی مغناطیسی نانو ذرات مغناطیسی استفاده از این مواد بر استفاده از ذرات آهن صفر ظرفیتی ترجیح خواهد داشت.

## ۳،۲ غشا و فرایندهای غشایی

تاریخچه نانو فیلتراسیون به دهه هفتاد میلادی زمانی که غشاهای اسمز معکوس با فشارهای نسبتاً پایین همراه با جریان آب تصفیه ای قابل قبول، بسط و توسعه پیدا کردند باز می گردد. استفاده از فشارهای بسیار بالا در فرآیند اسمز معکوس، اگر چه منجر به تهیه آب با کیفیت بسیار عالی می شد، ولیکن به همان نسبت هزینه گزاف انرژی مصرفی عاملی نگران کننده به شماره می آمد. در نتیجه، تهیه آب با استفاده از این روش از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نبود. بنابراین استفاده از غشاهایی با میزان درصد حذف پایین تر ترکیبات محلول، اما با قدرت نفوذ آب بیشتر و به طبع آن، افزایش حجم آب تصفیه شده با کیفیتی مطلوب (در حد استانداردهای مورد نظر) در فناوری جداسازی یک پیشرفت قابل ملاحظه، به شمار می آمد. از این رو غشاهای اسمز معکوس با فشار پایین، به عنوان غشاهای نانو فیلتراسیونی شناخته شدند.

نانو فیلتراسیون فرآیند غشایی جدیدی است که خواص آن بین فرایندهای اسمز معکوس و اولترافیلتراسیون قرار دارد و در اختلاف فشار پایین (۱۰-۲۰ بار) قابل استفاده می باشد. به علت عمل نمودن در فشار پایین و بازیابی بالاتر، هزینه های عملیاتی و نگه داری این فرآیند به مواد شیمیایی نیاز

نبوده و پساب تولیدی فشرده و غلیظ می‌باشد. لذا هزینه حمل و نقل و دفع آن کمتر است. به کمک تجهیزات خاص غشاء ها به‌طور خودکار تمیز می‌شود. در مورد فرآیند نانو فیلتراسیون، هزینه انرژی به مراتب از اسمز معکوس کمتر می‌باشد. نکته حائز اهمیت در مورد نانو فیلترها نسبت به سایر غشاها، قدرت انتخاب گری در حذف یون هاست.

غشاهای نانو فیلتراسیون معمولاً از دو لایه تشکیل می‌شود. لایه نازک و متراکم عمل جداسازی و لایه محافظ، عمل حفاظت در برابر فشار سیستم را انجام می‌دهد. غشاهای نانو فیلتراسیون معمولاً در دو نوع باردار و غیر باردار موجود هستند. مکانیسم اصلی در حذف مولکول‌های بدون بار، خصوصاً ترکیبات آلی بر پایه غربال‌سازی استوار می‌باشد. در حالی که حذف ترکیبات یونی به دلیل برهم کنش‌های الکتروستاتیک بین سطح غشا و گونه‌های باردار، حذف می‌باشد [۶].

امروزه غشاهای نانویی تجاری، در اشکال متفاوتی استفاده می‌گردند. این اشکال شامل، سیستم‌های ماریجی، صفحه‌ای، جعبه‌ای، لوله‌ای و فیبری می‌باشد. شکل هر یک از غشاهای نانویی براساس نوع غشا و به منظور بالا بردن بازده و عملکرد آن انتخاب می‌گردد. .

نانو فیلترها برای حذف محدوده وسیعی از ترکیبات به کار گرفته شده است [۳]، از جمله:

- حذف آفت‌کش‌ها از جمله آترازین، سیمازین، دیورن و ایزوپروتون
- حذف ترکیبات آلی فرار مانند مشتقات کلردار آلی سبک مانند کلروفرم، تری کلرواتیلن و تتراکلرواتیلن
- حذف محصولات جانبی حاصل از واکنش گندزدا با ترکیبات آلی آب از جمله هالومتان ها
- حذف کاتیون‌ها و سختی
- حذف کروم (VI)، اورانیم، آرسنیک
- حذف آنیون‌ها
- حذف پاتوژن ها

## ۴،۲ نانوفتوکاتالیست

فتوکاتالیست ماده‌ای است که در اثر تابش نور بتواند منجر به بروز یک واکنش شیمیایی شود، در حالی که خود ماده، دست خوش هیچ تغییری نشود. فتوکاتالیست‌ها مستقیماً در واکنش‌های اکسایش و کاهش دخالت ندارند و فقط شرایط موردنیاز برای انجام واکنش‌ها را فراهم می‌کنند. تیتانیم دی اکسید  $TiO_2$  (با گستره اندازه بین خوشه‌ها تا کلئوئیدها - پودرها و تک بلورهای بزرگ)، نزدیک به یک فتوکاتالیست ایده‌آل است و تقریباً تمامی این خصوصیات را دارد. تنها استثناء آن این است که نور مرئی را جذب نمی‌کند. نانو ذرات دی اکسید تیتانیم، بر سطح زیرلایه‌های مناسبی از جمله شیشه و یا ترکیبات سیلیسی، پوشش داده می‌شوند و در حوضچه‌های تحت تابش نور ماوراء بنفش، قرار می‌گیرند [۴].

## ۳. محدودیت‌های استفاده از مواد بر پایه نانو برای کاربردهای تصفیه آب

مطالعات زیادی در مورد سمی بودن، نیمه عمر... برای ارزیابی خطرات نانو مواد در آب انجام شده است. نانو مواد به‌طور مستقیم در آب تأثیری بر انسان ندارند ولی تأثیر آن‌ها روی ارگانیسم‌های آبی نیاز به بررسی دارد. اثرات نانو مواد بر ارگانیسم‌های آبی مستقیماً به نانو ذرات وابسته است. در یک مطالعه موردی که توسط EPA در سال ۲۰۱۰ منتشر شد، انواع مختلف نانو دی اکسید تیتانیوم و تأثیر آن روی انواع مختلف ارگانیسم‌ها مانند باکتری‌ها، آلگا، ماهی‌ها و گیاهان مورد بررسی قرار گرفت. تأثیرات گزارش شده روی ارگانیسم‌های آبی عبارت بودند از: کاهش تولید دافنیا، تغییرات رفتاری در ماهی‌ها و... تأثیرات مختلف روی آلگا بسته به نوع و غلظت تیتانیوم دی اکسید متفاوت است. عامل مهم دیگر در تعیین سمیت نانو ذرات زمان تماس می‌باشد به عنوان مثال تیتانیوم دی اکسید در مدت زمان تماس ۴۸ ساعت کمترین سمیت را ایجاد می‌کند در صورتی که هنگامی که زمان تماس به ۷۲ ساعت افزایش می‌یابد، باعث سمیت بالایی می‌شود [۵].

ورود نانو ذرات به طبیعت از راه‌های مختلف صورت می‌گیرد. به عنوان مثال مقدار مشخصی از نانو نقره از طریق شستن لباس‌ها می‌تواند وارد چرخه آب گردد. که این بسته به چسبندگی این ذرات و شرایط شستشو دارد. جوراب‌های نانو موجود در بازار ۲۵ درصد از نانو نقره خود را در  $PH=10$  در عرض یک دقیقه وارد محیط می‌کنند.



شرکت مهندسی آب و فاضلاب کتور

کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵



#### ۴. نتیجه گیری

هرچند که نانوتکنولوژی امتیازات فراوانی دارد اما مطالعات نشان می‌دهد که ذرات نانو دارای اثرات زیان‌بخش نیز می‌باشند زیرا ذرات نانو توسط سلول‌های پستانداران جذب شده و از غشای سلولی شان عبور کرده و توسط پروتئین‌های سلولی جانداران پوشیده شده و جایگزین ذرات اولیه می‌شوند. این ذرات همچنین برای ارگانسیم‌های آبی، هم برای تک‌سلولی‌ها (باکتری و پروتوزوا) و هم برای جانوران بزرگ (دلفین و ماهی) سمی است. این ذرات همچنین در جری بدن موجودات ذخیره شده و در زنجیره غذایی به مرور انباشته می‌شوند. بنابراین انتظار می‌رود قدم بعدی در زمینه نانوتکنولوژی ارزیابی خطرات ذرات نانو بر محیط‌زیست باشد ولی از آنجایی که نانوتکنولوژی فرصت‌های جدیدی را برای گسترش تصفیه و نمک‌زدایی آب فراهم کرده است می‌تواند در آینده جایگزین بهتر و مقرون به صرفه‌تری نسبت به مواد و روش‌های متداول در صنعت آب باشد.

#### ۵. مراجع

1. Ilka , Gehrke, Andreas , Geiser, Annette Somborn-Schulz, (2015). Innovation in nanotechnology for water treatment. *Nanotechnology, Science and Applications 2015*:8, pp.1-17.
2. Nora Savage and Mamadou S. Diallo, 2009, Nanomaterials and water purification: Opportunities and challenges, National Center for Environmental Research, Protection Agency , Materials and Process Simulation Center, Beckman Institute 139-74 California Institute of Technology.
3. John F. Sargent Jr 2011, Nanotechnology and Environmental, Health, and Safety Congressional Research Service, 7-5700.
4. Keya Sen and Nicholas J. Ashbolt , 2010, Current Technology and Water Applications, c. 310 pp, ISBN: 978-1-904455-70-7.
5. Egger S, Lehmann RP, Height MJ, Loessner MJ, Schuppler M. Antimicrobial properties of a novel silver-silica nanocomposite material. *Appl Environ Microbiol.* 2009;75:2973–2976.
6. Matlochova A, Plachá D, Rapantová N. The application of nanoscale materials in groundwater remediation. *Pol J Environ Stud.* 2014;22: 1401–1410.