

کاربرد فناوری نانو در حذف مواد دارویی از آب و فاضلاب

حسن شیخ زاده، امیرحسین حمیدیان*

گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

چکیده

امروزه مواد دارویی به عنوان آلاینده های نوظهور در محیط زیست مطرح شده است. داروها ترکیبات پیچیده ای هستند و سامانه های تصفیه معمولی قادر به حذف کامل آن ها از آب و فاضلاب نیست. از این رو، نیاز به روش های کارآمد برای حذف این ترکیبات است. مرور مطالعات نشان می دهد که استفاده از فناوری نانو ابزار امیدوارکننده ای در حذف مواد دارویی از آب و فاضلاب است. در این مطالعه، کاربرد مناسب ترین روش های موجود فناوری نانو مثل نورکاتالیزگری، نانوجاذب ها (نانوجاذب های کربن پایه، زئولیت و نانوجاذب های فلزی) و نانوفیلتراسیون، در حذف مواد دارویی از آب و فاضلاب بررسی شده است.

واژه های کلیدی: فناوری نانو، مواد دارویی، نورکاتالیزگری، نانوجاذب، نانوفیلتراسیون

ایمیل نویسنده مسئول: a.hamidian@ut.ac.ir

۱- مقدمه

یکی از چالش های عمده ای که جهان با آن مواجه شده، دسترسی مناسب به آب پاکیزه و مقرون به صرفه است که بتواند در برابر افزایش سریع تقاضاها دوام پیدا کند. رشد سریع جمعیت انسانی، تغییرات آب و هوایی و آلودگی آب بزرگ ترین چالش هایی هستند که سامانه های تأمین آب را تهدید می کنند. در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه، کمبود آب در نتیجه فعالیت های انسانی که بزرگ ترین نقش را در آلودگی منابع آب طبیعی بازی می کند تشدید شده است [۱]. به طوری که این آلودگی و کاهش کیفیت آب سبب حدود ۹۰٪ از تمام بیماری ها در بسیاری از کشورهای در حال توسعه است [۲].

در این بین داروها به دلیل استفاده زیاد از آن ها، تشخیص در محیط های مختلف در غلظت های بالا و خطر بالقوه برای اکوسیستم، به عنوان آلاینده های نوظهور در نظر گرفته شده است [۳]. به طوری که تشخیص انواع زیادی از ترکیبات دارویی حتی در غلظت های کم (میکروگرم بر لیتر و نانوگرم بر لیتر) در محیط های آبی به افزایش نگرانی های عمومی منجر شده است [۴].

داروها ترکیبات پیچیده ای بوده و دارای خواص درمانی مختلفی هستند و در طبیعت بیشتر به صورت آلی با ویژگی های فیزیکوشیمیایی متفاوت وجود دارند. داروها در طی فرآیند تولید و پس از مصرف، از طریق انتشار از منابع نقطه ای مثل مراکز تولید دارو، بیمارستان ها، فاضلاب های خانگی و مراکز دام پروری، در نهایت به بخشی از محیط زیست تبدیل می شوند [۵]. خطرات مرتبط با تخلیه مواد دارویی به محیط زیست نه تنها به دلیل سمیت حاد آن ها، بلکه ایجاد سمیت ژنی، افزایش مقاومت پاتوژن ها و اختلال در غدد درون ریز مورد توجه است. ترکیبات دارویی غیرقابل تجزیه بیولوژیکی طبیعی بوده و با غلظت های کم سبب ایجاد مقاومت در موجودات زنده می شوند [۶]. همچنین به دلیل مقاومت پاتوژن ها، در صورت بروز مشکل و

بیماری ها، مصرف مجدد این داروها برای درمان موثر نبوده و قادر به واکنش با ویروس ها و باکتری ها نخواهد بود [۷]. هرساله هزاران تن دارو توسط انسان و دام ها استفاده می شود و از طریق سیستم دفع وارد محیط زیست می شوند. پساب مواد دارویی شناسایی شده در تصفیه خانه های فاضلاب نشان می دهد که بسیاری از این داروها در طی فرآیند تصفیه حذف نمی شوند [۸].

حذف موثر باقی مانده های دارویی از پساب یک کار چالش برانگیز است. با توجه به اینکه با پیشرفت علم و ساخت داروهایی با ترکیبات جدید و پیچیده، اثرات بالقوه این ترکیبات نیز افزایش پیدا می کند، استفاده و توسعه روش هایی که قابلیت بالایی برای حذف ترکیبات مختلف دارویی دارند ضروری به نظر می رسد [۹]. روش های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی مختلفی مانند تبادل یونی، اکسیداسیون، فرآیند لجن فعال، فرآیند غشایی، جذب، کلریناسیون، از ناسیون، استفاده از نانو ذرات و کربن فعال جهت حذف مواد دارویی، بسته به هزینه و توانایی هر یک از این روش ها در حذف ترکیبات مختلف مورد استفاده قرار می گیرد [۱۰].

در این مطالعه به بررسی پیشرفت های اخیر در رابطه با استفاده از فناوری نانو در حذف مواد دارویی با تأکید بر استفاده بالقوه از روش هایی که توانایی از بین بردن این مواد و یا تبدیل آن ها به ترکیبات بی خطر برای انسان و محیط زیست را دارند پرداخته شده است.

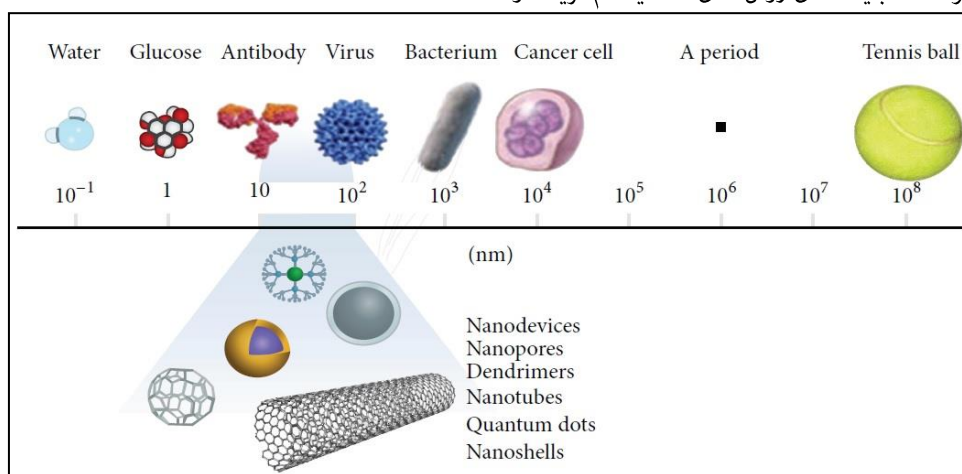
۲- اهمیت فناوری نانو و کاربرد آن در حذف مواد دارویی

یکی از روش های امیدبخش برای تغییرات اساسی در جهت پالایش محیط زیست، فناوری نانو است که به عنوان یک گروه از روش های نوظهور در نظر گرفته شده است و کارکرد آن در مقیاس نانومتر (۱ تا ۱۰۰ نانومتر) است (شکل ۱). در سال های اخیر

جدید را فراهم کرده و بر چالش‌ها و مشکلات پیش روی در روش‌های تصفیه مرسوم غلبه کند [۱۳]. لازم به ذکر است که مواد و ترکیبات استفاده شده در فناوری نانو برای تصفیه آب باید سازگار با محیط زیست و غیر سمی باشد. ذرات خطرناک و سمی می‌تواند به محض برخورد با بدن انسان موجب آسیب شدید بر اندام‌های حیاتی شود. در ادامه به معرفی و شرح روش‌های مختلف نورکاتالیزگری، نانوجاذب‌ها و نانوفیلتراسیون، با تمرکز بر روش‌های پرکاربرد و با کارایی بالا پرداخته شده است.

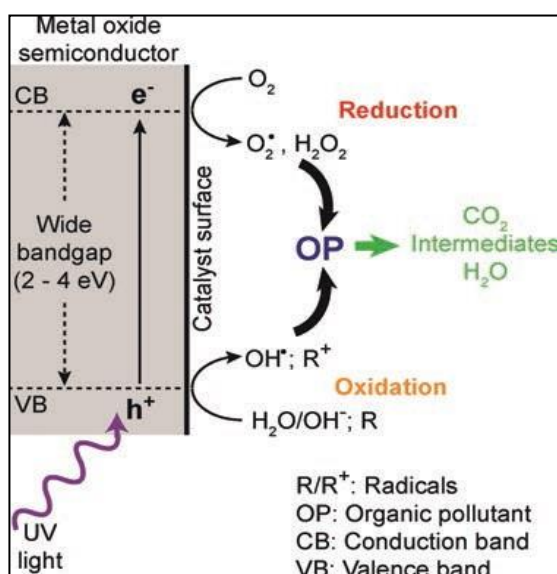
تحقیقات علمی در زمینه استفاده از فناوری نانو در جهت تصفیه موثر آب و فاضلاب به دلیل ویژگی‌های ممتاز این فناوری مثل سطح ویژه بیشتر، واکنش‌پذیری بالا و میل به سمت آلاینده‌های هدف، افزایش پیدا کرده است و این ویژگی و خصوصیات باعث شده است که تصفیه آب و فاضلاب با استفاده از فناوری نانو بدون عوارض جانبی زیاد بر محیط بوده و از نظر محیط زیستی و هزینه پایدار باشد [۱۱، ۱۲].

بنابراین، پیشرفت‌های اخیر فناوری نانو می‌تواند زمینه‌ساز توسعه بیشتر نسل آتی سامانه‌های تأمین آب باشد و امکان فراهم کردن آب مورد نیاز توسط قابلیت‌های روش‌های تصفیه کم‌هزینه و



شکل ۱. مقایسه اندازه نانو ذرات با مواد دیگر [۱۴].

تولید شده نوری از سطح کاتالیزورها به مولکول‌های آلاینده رخ دهد [۲]. در شکل ۲ فرایند نورکاتالیزوری در سطح یک نورکاتالیزور نیمه‌رسانای اکسید فلز نانوساختار نشان داده شده است.



شکل ۲. شماتیکی از فرایند نورکاتالیزوری در سطح یک نورکاتالیزور نیمه‌رسانای اکسید فلز نانوساختار [۲].

۲-۱- نورکاتالیزگری

اتحادیه بین‌المللی شیمی محض و کاربردی (IUPAC)، نورکاتالیزگری را «تغییر در میزان واکنش شیمیایی یا شروع آن با قرار گرفتن در معرض اشعه ماورا بنفش، نور مرئی یا فرورسرخ در حضور یک ماده نورکاتالیزوری که نور کوانتومی را جذب می‌کند و در تبدیل شیمیایی اجزای واکنش شرکت می‌کند» تعریف کرده است [۱۵]. نورکاتالیزگری یک پدیده سطحی بوده و مکانیسم آن یک فرایند پیچیده است که شامل پنج مرحله اصلی به شرح زیر است [۱۶]:

۱. پخش واکنش‌گرها به سطح نورکاتالیزور
۲. جذب واکنش‌گرها بر روی سطح کاتالیزور
۳. واکنش در سطح کاتالیزور
۴. واجدبی محصولات از سطح کاتالیزور
۵. جدا شدن محصولات از سطح کاتالیزور

در یک سیستم نورکاتالیزگری معمولی، یک ماده نیمه‌رسانا به‌عنوان کاتالیزور واسطه در جذب انرژی نوری بالاتر برای تولید باندگاف انرژی جفت الکترون-حفره ($e-h$) استفاده می‌شود. سپس جفت الکترون-حفره تولید شده توسط نور، رادیکال‌های اکسید و/یا کاهش مثل سوپراکسیدها (O_2^-)، یون‌های هیدروکسیل ($OH^\cdot$) یا رادیکال‌های دیگر در آب تولید می‌کنند. این رادیکال‌ها هر یک از مولکول‌های آلاینده آلی و غیرآلی موجود در آب را از طریق برخی واکنش‌های ثانویه کاهش می‌دهد. همچنین تخریب آلاینده‌ها از طریق انتقال مستقیم الکترون‌ها یا حفره‌های

۲-۲-۲ نانوجاذب‌ها

جذب سطحی متداول‌ترین فرایند فیزیکی برای حذف آلاینده‌های آلی کمیاب در آب بوده و یکی از فرایندهای اصلی در حذف مواد دارویی است [۲۰]. جذب سطحی به‌طور کلی با نیروی فیزیکی صورت می‌گیرد، اما برخی زمان‌ها می‌تواند به پیوندهای شیمیایی ضعیف نسبت داده شود [۱۹].

ویژگی‌های منحصر به فرد نانوجاذب‌ها مثل اندازه کوچک، پتانسیل کاتالیزوری، واکنش‌پذیری بالا، نسبت سطح به حجم بزرگ، سهولت در جدایی و تعداد زیاد محل‌های فعال برای واکنش با آلاینده‌های مختلف، این مواد را برای استفاده در فرایند تصفیه ایده آل ساخته است [۲۱]. در سال‌های اخیر نانوجاذب‌های کربن پایه، فلزی، پلیمری، اکسید کامپوزیت مغناطیسی یا غیرمغناطیسی و ژئولیت‌ها به‌عنوان فناوری نانوجاذب مورد استفاده قرار گرفته است [۱۹].

۱-۲-۲-۲ نانوجاذب‌های کربن پایه

۱-۲-۲-۲-۲ کربن فعال

کربن فعال به‌عنوان یک جاذب، به‌طور گسترده در تصفیه آب و در جذب مواد دارویی مورد استفاده قرار گرفته است. کربن فعال به دو شکل پودر کربن فعال (PAC) و کربن فعال گرانولی (GAC) است [۲۲].

به‌طور کلی کربن فعال دارای قابلیت حذف مواد دارویی است. باین‌حال، با گذشت زمان عمل دو مشکل رخ می‌دهد، یکی کاهش ظرفیت جذب و دیگری زوال کربن فعال در فاضلاب‌های پیچیده است [۲۰].

ظرفیت جذب کربن فعال برای مواد دارویی معمولاً به آب‌گریزی و بار مواد دارویی بستگی دارد. علاوه بر آب‌گریزی و بار، در هر دو مقیاس آزمایشگاهی و پیلوت، ماتریس آب نیز در جذب مواد دارویی توسط کربن فعال اثر دارد [۲۳]. در آزمایش‌های انجام‌شده در مقیاس پیلوت با استفاده از پودر کربن فعال به‌عنوان جاذب، مواد آلی موجود در آب می‌تواند با مواد دارویی برای اتصال به کربن فعال رقابت کند که این باعث کاهش ظرفیت جذب مواد دارویی توسط کربن فعال می‌شود. علاوه بر این، حذف مواد دارویی توسط کربن فعال به عوامل دیگری مثل زمان تماس، pH و ساختار کربن فعال بستگی دارد؛ بنابراین، برای به دست آوردن عملکرد بهتر کربن فعال در حذف مواد دارویی و برای ارزیابی شرایط بهینه، باید آزمایش‌های گسترده با زمان تماس مختلف و کربن فعال با ساختار مختلف انجام پذیرد [۲۰].

۲-۱-۲-۲-۲ گرافن و اکسید گرافن

گرافن یکی از مواد جدید ترکیب‌شده از اتم‌های کربن است. گرافن دارای یک ساختار دوبعدی است و اتم‌های کربن با پیوند کووالانسی از طریق اوربیتال‌های هیبرید sp^2 به شکل یک صفحه شش‌ضلعی (لانه‌زنبوری) به هم متصل شده‌اند. اکسید گرافن یک پیش ماده است و همیشه از طریق اکسیداسیون گرافن آماده می‌شود. در سال‌های اخیر گرافن و اکسید آن به دلیل خواص

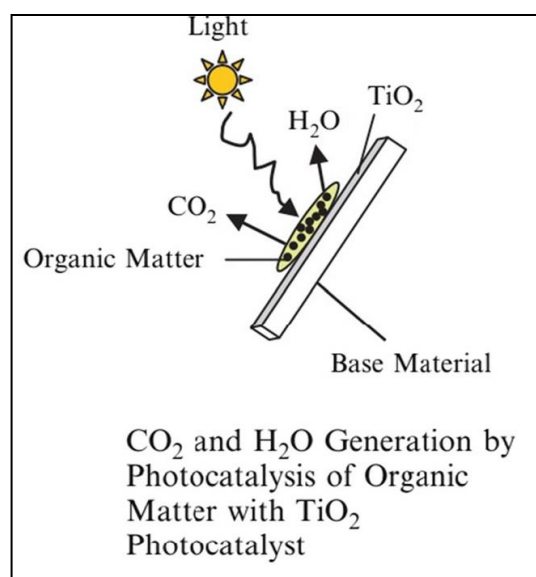
نورکاتالیزور ایده آل، باید ازنظر شیمیایی و بیولوژیکی بی‌اثر، نورفعال، نورپایدار، ارزان و غیر سمی باشد و به‌وسیله نور مرئی و نور فرابنفش (UV) و یا نزدیک به نور فرابنفش برانگیخته شود. علی‌رغم وجود نورکاتالیزورهای نیمه‌هادی کلکوژناید مختلف (اکسید و سولفید)، مثل روی اکسید (ZnO)، روی سولفید (ZnS)، فریک اکسید (Fe_2O_3)، کادمیوم سولفید (CdS)، سرب دی‌اکسید (CeO_2)، تنگستن تری اکسید (WO_3)، قلع دی‌اکسید (SnO_2) و تیتانیوم دی‌اکسید (TiO_2)، تمامی آن‌ها به‌عنوان یک نورکاتالیزور ایده آل در نظر گرفته نمی‌شود [۱۷].

انتخاب کاتالیزور در مطالعات نورکاتالیزوری برای تجزیه مواد دارویی اغلب محدود به تیتانیوم دی‌اکسید است [۱۷].

۱-۱-۲-۲ نانونورکاتالیزور TiO_2

در میان نورکاتالیزورهای ذکرشده، TiO_2 با توجه به دارا بودن خصوصیات مثل هزینه پایین، غیر سمی بودن، نورپایداری، هدایت نور بالا، بی‌اثر بودن ازنظر شیمیایی و بیولوژیکی و در دسترس بودن تجاری، در پژوهش‌های مربوط به تصفیه آب از جمله تخریب نوری آلاینده‌های آلی (مثل داروها)، کاهش نوری آلاینده غیرآبی و غیرفعال کردن میکروارگانیسم‌ها توجه ویژه‌ای به آن شده است [۱۷، ۱۸].

زمانی که TiO_2 توسط نور UV در محدوده ۲۰۰-۳۰۰ نانومتر تابش داده می‌شود، جفت الکترون-حفره (e^-h^+) برانگیخته می‌شوند. جفت الکترون-حفره به سمت نوار ظرفیت (VB) و نوار رسانایی (CB) حرکت می‌کند که منجر به اکسایش یا کاهش آلاینده‌ها در سطح کاتالیزور می‌شوند. در محلول‌های آبی، یون‌های هیدروکسیل یا مولکول‌های آب به رادیکال‌های هیدروکسیل تبدیل می‌شوند. واکنش رادیکال‌های هیدروکسیل با مواد آلی منجر به تولید آب و دی‌اکسید کربن می‌شود (شکل ۳) [۱۹].



شکل ۳. جذب نور توسط نورکاتالیزور TiO_2 [۱۹].

به صورت طبیعی وجود دارد و می توان به صورت تجاری نیز تولید کرد. هگزاسیل تری متیل آمونیوم، ژئولیت اصلاح شده ای است که توسعه یافته است. مولکول های هگزاسیل تری متیل آمونیوم، از طریق میسل دولایه، ظرفیت جذب نانوجاذب ها را افزایش می دهد [۲].

Cincinelli و همکاران (۲۰۱۵)، در مطالعه خود به شرح کامل استفاده از ژئولیت در حذف مواد دارویی پرداخته اند [۲۷].

۳-۲-۲- نانوجاذب های فلزی

اکسیدهای متداول استفاده شده به عنوان جاذب، عمدتاً اکسیدهای آهن (Fe)، منگنز (Mn)، سیلیکون (Si)، تیتانیوم (Ti) و تنگستن (W) هستند. این اکسیدهای فلزی دارای مزایایی هستند، مثل کم هزینه بودن و همچنین به راحتی می توان آن ها را برای جذب انتخابی، عامل دار کرد [۲].

در بین نانوجاذب های فلزی، نانوذرات آهن صفر ظرفیتی (nZVI)، یک نانو مواد نوظهور برای حذف آلاینده های مختلف آلی و غیر آلی از آب است. واکنش پذیری بالا، نسبت سطح به حجم زیاد، ارزان بودن، فراوانی و کارایی بالا، باعث شده تا توجه ویژه ای به نانو آهن صفر ظرفیتی شود [۲].

۳-۲-۲- نانوفیلتراسیون

نانوفیلتراسیون یک فرایند جداسازی غشایی تحت فشار است و به سرعت در زمینه تصفیه آب در حال پیشرفت است. با توجه به الزامات فشار کمتر (۳-۷ atm)، در مقایسه با فرایند اسمز معکوس (۱۰-۲۰ atm)، نانوفیلتراسیون به دلیل مصرف انرژی کمتر محبوبیت بیشتری دارد. خاصیت غشای استفاده شده در نانوفیلتراسیون حدفاصل بین غشای اسمز معکوس غیرمتخلخل و غشای اولترافیلتراسیون متخلخل است و در نتیجه انتقال در نانوفیلتراسیون بیشتر از طریق انتشار رخ می دهد.

برخی غشاهای نانوفیلتراسیون دارای بار سطحی ثابت شده است که اتصال انتخابی آلاینده های مختلف در آب را در کنار تفکیک فیزیکی برای غشا فراهم می کند. از این رو، غشاهای نانوفیلتراسیون یک گام جلوتر از غشاهای اسمز معکوس در مدت فرایند تفکیک هستند.

اندازه منافذ غشای نانوفیلتراسیون به قدری کوچک است (۵-۱ نانومتر) که از نفوذ تقریباً تمام املاح جلوگیری می کند. با این حال، بار سطحی غشاها اجازه می دهد یون های تک ظرفیتی در آب سخت عبور کنند، در حالی که اجازه عبور به یون های چند ظرفیتی داده نمی شود.

اغلب غشاهای نانوفیلتراسیون به دلیل فرایند آماده سازی ساده، انعطاف پذیری بالا و هزینه کم، از پلیمرهای مصنوعی ساخته می شوند. با این حال، غشاهای پلیمری مقاومت شیمیایی پایین تر و نرخ بالای رسوب دارند و در نتیجه طول عمر آن ها کوتاه است. در مقابل، غشاهای ساخته شده از سفال های معدنی مقاومت شیمیایی و حرارتی بالایی داشته و طول عمر طولانی تر دارند؛ اما هزینه ساخت این غشاها زیاد است و انعطاف پذیری ندارند. در این راستا، نانومواد های توسعه یافته جدید می توانند نقش مهمی

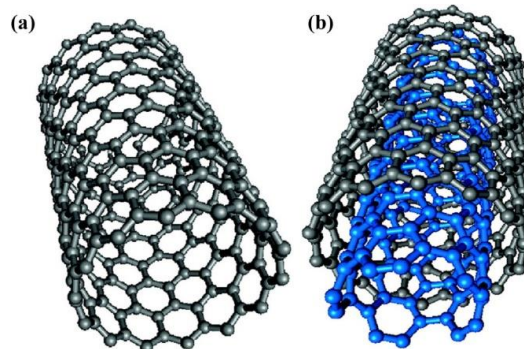
قابل توجه آن ها در حذف مواد دارویی مورد توجه قرار گرفته است [۲۰].

راندمن حذف داروها توسط گرافن و اکسید گرافن با توجه به خصوصیات مواد دارویی متفاوت است. همانند کربن فعال، زمان تماس و pH، اثر آشکار بر عملکرد گرافن و اکسید گرافن در حذف مواد دارویی دارد [۲۴].

گرافن و اکسید آن، سطح ویژه بیشتری نسبت به کربن فعال دارد. از این رو، اعتقاد بر این است که گرافن و اکسید آن می تواند به طور بالقوه جاذب امیدبخشی برای حذف مواد دارویی باشد. با این حال، باید مطالعات بیشتری در بررسی استفاده از گرافن و اکسید آن، با در نظر گرفتن ماتریس آب و واکنش های بین مواد دارویی و گرافن و اکسید گرافن در حذف مواد دارویی انجام بگیرد [۲۰].

۳-۱-۲-۲ نانولوله های کربن

نانولوله های کربن (CNTs)، یکی از فرم های کربن هستند و به عنوان شکل های ساختاری مختلف کربن در نظر گرفته شده اند. اساساً، نانولوله های کربن به شکل استوانه ای پیچیده در یک ساختار لوله مانند تشکیل شده اند. نانولوله های کربن دو نوع هستند، نانولوله های کربن تک جداره (SWCNTs) و نانولوله های کربن چند جداره (MWCNTs) که نانولوله های کربن تک جداره از یک صفحه گرافن هم محور و نانولوله های کربن چند جداره از چند گرافن صفحه ای تشکیل شده است (شکل ۴) [۲۵].



شکل ۴. ساختار نانولوله های کربن تک جداره (a) و نانولوله های کربن چند جداره (b) [۲۵].

همانند گرافن، نانولوله های کربن دارای خواص ویژه ای است که آن را برای استفاده در حذف مواد دارویی مناسب کرده است. مطالعات مختلفی در زمینه استفاده از نانولوله های کربن در حذف مواد دارویی مختلف مثل استامینوفن، ایبوپروفن، سولفامتوکسازول، کاربامازپین، کتوپروفن و انواع مختلفی از آنتی بیوتیک ها انجام گرفته است [۲۰]. اطلاعات دقیق تر در رابطه با استفاده از نانولوله های کربن در حذف مواد دارویی مختلف در مطالعه Wang و همکاران (۲۰۱۶) به تفصیل آمده است [۲۶].

۳-۲-۲- ژئولیت به عنوان جاذب

ژئولیت سطح ویژه و ظرفیت تبادل یونی بالایی دارد که آن را به عنوان جاذب مناسب مطرح کرده است. بسیاری از ژئولیت ها

Fernandez-Alba; Occurrence of Emerging Pollutants in Urban Wastewater and Their Removal Through Biological Treatment Followed by Ozonation. *Water Research* 44 (2):578-588, 2010.

7. S, Kurwadkar; V, Sicking; B. Lambert; A, McFarland; F, Mitchell; Preliminary Studies on Occurrence of Monensim Antibiotic in Bosque River Watershed. *Journal of Environmental Science* 25 (2):268-273, 2013.

8. A, Wick; G, Fink; A, Joss; H, Siegrist; TA, Ternes; Fate of Beta Blockers and Psycho-Active Drugs in Conventional Wastewater Treatment. *Water Research* 43 (4):1060-1074, 2009.

9. C, Zwienen; FH, Frimmel; Oxidative Treatment of Pharmaceutical in Water. *Water Research* 34 (6):1881-1885, 2000.

10. RK, Ibrahim; M, Hayyan; MA, AlSaadi; A, Hayyan; S, Ibrahim; Environmental Application of Nanotechnology; Air, Soil, and Water. *Environmental Science and Pollution Research* 23:13754-13788, 2016.

11. GA, Mansoori; TAF, Soelaiman; Nanotechnology-An Introduction for the Standards Community. *Journal of ASTM International* 2 (6):1-21, 2005.

12. A, Ghosh; AK, Nayak; A, Pal; Nano-Particle-Mediated Wastewater Treatment: a Review. *Current Pollution Reports* DOI: 10.1007/s40726-016-0045-1.

13. X. Qu; PJJ, Alvarez; Q, Li; Applications of Nanotechnology in Water and Wastewater Treatment. *Water Research* 47 (12):3931-3946, 2013b.

14. MT, Amin; AA, Alazba; U, Manzoor; A Review of Removal of Pollutants from Water/Wastewater Using Different Types of Nanomaterials. *Advances in Materials Science and Engineering* 2014:1-24, 2014.

15. D, Kanakaraju; BD, Glass; M, Oelgemöller; Titanium Dioxide Photocatalysis for Pharmaceutical Wastewater Treatment. *Environmental Chemistry Letters* 12 (1):27-47, 2014.

16. TA, Saleh; S, Agrawal; VK, Gupta; Synthesis of MWCNT/MnO₂ and Their Application for Simultaneous Oxidation of Arsenite and Sorption of Arsenate. *Applied Catalysis B: Environmental* 106 (1-2):46-53, 2011.

17. D, Friedmann; C, Mendive; D, Bahnmann; TiO₂ for Water Treatment: Parameters Affecting the Kinetics and Mechanisms of Photocatalysis. *Applied Catalysis B: Environmental* 99 (3-4):398-406, 2010.

18. MN, Chong; B, Jin; CWK, Chow; C, Saint; Recent Developments in Photocatalytic Water Treatment

در ساخت غشاهای نانوفیلتراسیون انعطاف‌پذیر و کم‌هزینه، بازی کنند.

استفاده از نانوفیلتراسیون در حذف مواد دارویی یک روش جدیدی است و توجه ویژه‌ای در سال‌های اخیر به آن شده است [۲].

Cincinelli و همکاران (۲۰۱۵)، در مطالعه خود به شرح کامل استفاده از نانوفیلتراسیون در حذف مواد دارویی پرداخته‌اند [۲۷].

۴. نتیجه‌گیری

مواد دارویی با توجه به ساختار پیچیده‌ای که دارند، طی فرایند معمولی تصفیه از بین نمی‌روند. ازاین‌رو، نیاز به روش‌هایی است که در حذف این ترکیبات از آب و فاضلاب موثر باشد. با توجه به مطالب ارائه‌شده در این مطالعه و یافته‌های پژوهش‌های متعدد در زمینه استفاده از فناوری نانو در حذف مواد دارویی، روش‌های مختلف این فناوری مثل فرایند نورکاتالیزگری، استفاده از نانوجاذب‌ها و فرایند نانوفیلتراسیون، نتایج امیدبخشی داشته است. باین‌حال، به‌منظور بهبود و توسعه هرچه بیشتر این روش‌ها، نیاز به آزمایش‌ها و تجربیات بیشتری است.

۵. منابع

1. X, Qu; J, Brame; Q, Li; PJJ, Alvarez; Nanotechnology for a Safe and Sustainable Water Supply: enabling Integrated Water Treatment and Reuse. *Accounts of Chemical Research* 46 (3):834-843, 2013a.
2. T, Bora; J, Dutta; Application of Nanotechnology in Wastewater Treatment-A Review. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* 14:613-626, 2014.
3. M, Lombardo-Agui; C, Cruces-Blanco; AM, Garcia-Campana; L, Gamiz-Gracia; Multiresidue Analysis of Quinolones in Water by Ultra-High Performance Liquide Chromatography with Tandem Mass Spectrometry Using a Simple and Effective Sample Treatment. *Journal of Separation Science* 37 (16):2145-2152, 2014.
4. Z, Zhou; JQ, Jiang; Treatment of Selected Pharmaceutical by Ferrate (VI): Performance, Kinetic Studies and Identification of Oxidation Products. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis* 106:37-45, 2015.
5. M, Ashfaq; KN, Khan; MSU, Mustafa; MF, Nazar; Q, Sun; J, Iqbal; SI, Mulla; CP, Yu; Assessment of Pharmaceutical in the Receiving Environment of Pharmaceutical of Pharmaceutical Wastewater in Pakistan. *Ecotoxicology and Environment Safety* 136:31-39, 2017.
6. R, Rosal; A, Rodriguez; JA, Perdigon-Melon; A, Petre; E, Garcia-Calvo; MJ, Gomez; A, Aguera; AR,



Technology: A Review; Water Research. 44 (10):2997-3027, 2010.

19. Nanotechnology for Water Purification: Applications of Nanotechnology Methods in Wastewater Treatment. Water Purification 33-47, 2017.

20. J, Wang; S, Wang; Removal of Pharmaceutical and Personal Care Products (PPCPs) from Wastewater: A Review. Journal of Environmental Management 182:620-640, 2016.

21. I, Ali; New Generation Adsorbents for Water Treatment. Chemical Reviews 112:5073-5091, 2012.

22. ZH, Liu; Y, Kanjo; S, Mizutani; Removal Mechanisms for Endocrine Disrupting Compounds (EDCs) in Wastewater Treatment-Physical Means, Biodegradation, and Chemical Advanced Oxidation: A Review. Science of the Total Environment 407 (2):731-748, 2009.

23. E, Rodriguez; M, Campinas; JL, Acero; MJ, Rosa; Investigation PPCP Removal from Wastewater Powdered Activated Carbon/Ultrafiltration. Water, Air, & Soil Pollution 227 (6):1-4, 2016.

24. GC, Yang; PL, Tang; Removal of Phthalates and Pharmaceuticals from Municipal Wastewater by Grapheme Adsorption Process. Water Science & Technology 73 (9):2268-2274, 2016.

25. Z, Zhou; JQ, Jiang; Treatment of Selected Pharmaceuticals by Ferrate (VI): Performance, Kinetic Studies and Identification of Oxidation Products. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis 106:37-45, 2015.

26. Y, Wang; J, Ma; J, Zhu; N, Ye; X, Zhang; H, Huang; Multi-walled carbon nanotubes with Selected Properties for Dynamic Filtration of Pharmaceuticals and Personal Care Products. Water Research 92:104-112, 2016.

27. A, Cincinelli; T, Martellini; E, Coppini; D, Fibbi; A, Katsoyiannis; Nanotechnologies for Removal of Pharmaceutical and Personal Care Products from Water and Wastewater. A Review. Journal of Nanoscience and Nanotechnology 15 (5): 3333-3347, 2015.