

مروری بر فناوری‌های نوین در سنتز نانو ساختارهای مورد استفاده در تصفیه پساب‌ها

نگین سرمدی، مهدی قراباگی، سهیلا اصلانی

دوره ۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۶، صفحات ۲۸۰-۲۹۷

Vol. 3(3), Autumn 2017, 280 – 297

**New Technologies in the Synthesis of Nano-
Structures used in Wastewater
Treatment- A Review**

Sarmadi N., Gharabaghi M. and Aslani S.



www.jewe.ir

OPEN ACCESS

ارجاع به این مقاله: سرمدی ن.، قراباگی م. و اصلانی س. (۱۳۹۶). مروری بر فناوری‌های نوین در سنتز نانو ساختارهای مورد استفاده در تصفیه پساب‌ها. محیط‌زیست و مهندسی آب، دوره ۳، شماره ۳، صفحات: ۲۸۰- ۲۹۷

Citing this paper: Sarmadi N., Gharabaghi M. and Aslani S. (2017). New technologies in the synthesis of nano-structures used in wastewater treatment- A review. J. Environ. Water Eng., 3(3), 280 – 297.

مروری بر فناوری‌های نوین در سنتز نانو ساختارهای مورداستفاده در تصفیه پساب‌ها نگین سرمدی^۱، مهدی قراباغی^{۲*} و سهیلا اصلانی^۲

^۱ کارشناسی ارشد، گروه مهندسی معدن، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران، تهران، ایران
^۲ استادیار، گروه مهندسی معدن، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران، تهران، ایران
* نویسنده مسئول: mahdigharabaghi@yahoo.com

مقاله مروری

تاریخ دریافت: [۱۳۹۵/۱۱/۱۰]

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۶/۰۵/۲۹]

چکیده

در میان آلودگی‌های شناخته‌شده، آلودگی آب یکی از بزرگ‌ترین نگرانی‌هایی است که به شدت بقای موجودات زنده را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در سال‌های اخیر افزایش فعالیت‌های صنعتی باعث تولید میزان بالای پساب‌های آلوده حاوی مواد سمی و خطرناک شده است که آلودگی آب‌ها را به دنبال دارد. این آلودگی باعث تأثیر بر زندگی انسان و حیوانات می‌شود. وجود آب سالم و عاری از آلودگی برای فعالیت‌های متعدد بیشترین محرک برای تحقیقات در زمینه تصفیه پساب‌ها است. برخی تلاش‌های صورت گرفته در زمینه کنترل آلودگی آب شامل شناورسازی، صاف‌سازی، تبادل یون، انعقادسازی، رسوب و جذب است. از چندین سال قبل به دلیل قابلیت‌های گسترده فناوری نانو توجهات فراوانی به این علم در این زمینه شده است. فناوری نانو که مهندسی سیستم‌های عملکردی در مقیاس مولکول است به معنای توانمندی تولید مواد، ابزارها و سیستم‌های جدید با در دست گرفتن کنترل در سطوح مولکولی و اتمی و استفاده از خواص ذرات در ابعاد نانو هست. کاهش اندازه نانو ذرات منجر به افزایش سطح ذرات و ایجاد خواص ویژه‌ای خواهد شد که بر اساس سازوکار کوانتمی، این فرایند منجر به تغییر برخی از خواص فیزیکی و شیمیایی مواد و ایجاد خواص غیرمعمولی می‌شود که در موارد تصفیه پساب‌ها بسیار پرکاربرد است. تمرکز این پژوهش بیشتر در زمینه‌های جذب سطحی توسط نانوذرات هست. از مهم‌ترین نانو ساختارهای کاربردی در این زمینه می‌توان به نانولوله‌های کربنی، نانو اکسیدهای فلزی اشاره کرد.

واژه‌های کلیدی: فناوری نانو؛ پساب‌های آلوده؛ جذب سطحی؛ نانولوله کربنی؛ نانو اکسید فلزی

۱- مقدمه

آب سالم یکی از مهم‌ترین المان‌های حیات برای تمام موجودات زنده است. به همین دلیل در هر قرن به اهمیت و کیفیت وجود این عنصر حیاتی توجه ویژه‌ای شده است؛ اما امروزه با پیشرفت صنعت و اهمیت حضور آن در زندگی انسان عوارض بسیار مخربی متوجه آب‌ها شده است (Nemerow and Dasgupta 1991). ورود پساب‌های صنعتی، فاضلاب شهری، کودهای شیمیایی و آلاینده‌های بسیار زیاد دیگری در آب‌های سطحی و زیرزمینی باعث شده آلودگی به صورت کنترل نشده‌ای گسترش یابد و حیات انسان و زیست‌بوم آن منطقه را به خطر اندازد (Ali and Aboul-Enein 2005).

از میان مهم‌ترین منابع آلوده‌کننده آب به صورت کمی می‌توان به آلاینده‌های حاصل از کود و صنایع کشاورزی در مقیاس ۷۰٪، آلاینده‌های حاصل از پساب‌های صنعتی و معدنی در مقیاس ۲۲٪ و آلاینده‌های حاصل از فاضلاب شهری در مقیاس ۸٪ اشاره کرد. در جدول (۱) به طور اختصاری بخشی از آلاینده‌های موجود در پساب صنایع آورده شده است (Helmer et al. 1997). از خطرناک‌ترین و محتمل‌ترین آلاینده‌هایی که از میان آلاینده‌های حاصل از موارد فوق که در آب‌های سطحی و زیرزمینی حضور دارند می‌توان به فلزات سنگین، رنگ‌دانه‌ها، مواد آلی سمی اشاره کرد.

وجود آلاینده‌های فوق‌الذکر علاوه بر اینکه زیست‌بوم منطقه را کاملاً در معرض نابودی قرار می‌دهند باعث ایجاد بیماری‌هایی چون زردی، حصبه، اسهال خونی، بیماری‌های پوستی و غیره در انسان‌ها نیز می‌شوند (Ali et al. 2011). به دلیل اهمیت این موضوع از سال‌های قبل تحقیقات بسیاری جهت تصفیه و پاک‌سازی آب‌های آلوده انجام شده که منجر به تولید و ابداع روش‌های متنوعی شده است. از جمله این روش‌ها می‌توان به رسوب، تبادل یونی، فناوری صافی غشایی، فرآیندهای الکتروشیمیایی و فرآیند جذب اشاره کرد (Saleh and Gupta 2012). که در این روش‌ها وجود ۳ نکته بسیار حائز اهمیت است، در دسترس بودن، دوستدار محیط‌زیست و ارزان قیمت بودن آن‌ها که با توجه به فاکتورهای ذکر شده جذب یکی از روش‌های مطلوب محققین در فرآیند تصفیه پساب‌ها نام برده شده است (Savage and Diallo 2005).

به طور کلی در مقایسه‌ای می‌توان تأثیر فرایندهای پاک‌سازی را به این صورت دید:

جذب سطحی < تبخیر < تبادل یونی < الکترو دیالیز < میکرو و الترافیلتراسیون < اسمز معکوس < رسوب < تقطیر < اکسیداسیون < استخراج حلالی (Sonune and Ghate 2004).

در فرایند جذب همیشه رسیدن به بالاترین ظرفیت جذب آلاینده یکی از مهم‌ترین اهداف بوده است و این مهم تنها با بالا بردن سطح دسترسی محقق می‌شود. از این رو پژوهشگران به سراغ نانو ساختارهایی می‌روند که قابلیت افزایش سطح در مقیاس بسیار زیاد را دارا هستند. با کوچک‌تر کردن ذرات ماده می‌توان نسبت سطح به حجم را در آن‌ها افزایش داد. هرچه اندازه ابعاد یک ماده کوچک‌تر می‌شود، نسبت سطح به حجم در آن افزایش می‌یابد و نسبت اتم‌های سطحی به کل اتم‌ها بیشتر می‌شود.

از آنجایی که اتم‌های سطحی تعیین‌کننده خواص از جمله واکنش‌پذیری سطحی مواد هستند، می‌توان نتیجه گرفت تأثیر اتم‌های سطحی در تعیین خواص مواد، در ماده‌ای با ابعاد کوچک‌تر نسبت به مواد با ابعاد بزرگ‌تر، خیلی بیشتر و مشهودتر است و این امر پیوند ناگسستنی بین فناوری نانو و فرایندهای جذب در تصفیه پساب‌ها ایجاد می‌کند (Kramer et al. 2004). از جمله نانو ساختارهایی که در تصفیه استفاده می‌شود می‌توان از نانولوله‌های کربنی و نانو اکسیدهای فلزی نام برد (Savage and Diallo 2005).

۲- مفاهیم سنتز نانو ذرات

روش‌های سنتز نانو ذرات به دو دسته کلی بالا به پایین و پایین به بالا تقسیم می‌شوند. یکی از تفاوت‌های اصلی این دو روش، مواد آغازگر سنتز هستند. در روش بالا به پایین، این مواد در مقیاس نانو نبوده و مرحله به مرحله ابعادشان کاهش می‌یابد تا به محدوده نانومتری برسد؛ اما در روشی پایین به بالا، مواد آغازگر، اتم به اتم و یا مولکول به مولکول به یکدیگر متصل شده و نانو ذرات و نانو ساختارها را شکل می‌دهند. امروزه مزایای روش‌های مختلف، بستگی به میزان پایداری آن‌ها در مقیاس آزمایشگاهی و یا صنعتی داشته و اخیراً نیز جهت دستیابی به نانو ذراتی با ویژگی‌های منحصر به فرد، از ترکیب دو یا چند روش استفاده می‌شود. شکل (۱) استفاده از این دو روش کلی را در دهه‌های مختلف نشان می‌دهد (Bonini et al. 2013).

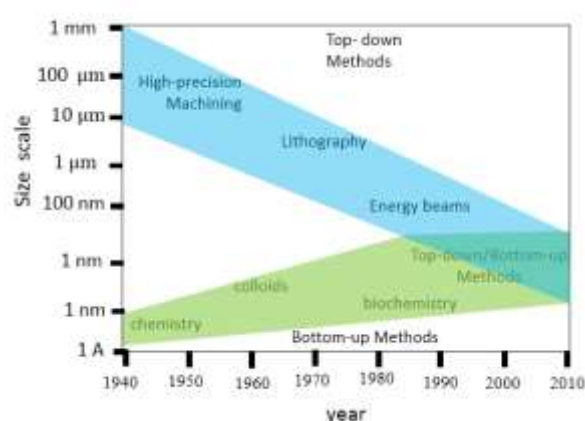
جدول ۱- وجود آلاینده‌ها در پساب صنایع مختلف (Patterson 1985)

صنعت	آلاینده‌های موجود در پساب‌ها
خودروسازی	فلزات، گلیکول‌ها، روغن‌ها و گریس‌ها، رنگ، حلال‌های آلی
فلزات پایه	فلزات سنگین، اسیدها
لبنیات	BOD، شوینده‌ها
تولید انرژی الکتریکی	تریتیوم، ترکیبات کلردار
ساخت قطعات الکترونیکی	اسیدها، فلزات سنگین، حلال‌های آلی
آبکاری	اسیدها، فلزات سنگین، سیانید
ساخت شیشه	بازهای قوی، جامدات بی‌اثر غیرفعال، اسیدهای قوی همچون اسید هیدروکلریک
ساخت تجهیزات سنگین	روغن‌ها، گریس‌ها، فلزات سنگین
فرآوری غذا و نوشیدنی	BOD، شوینده‌ها، نمک‌ها، بازهای قوی

متفاوتی پیدا کنند. جهت رسیدن به این هدف، از آسیاهای مختلفی از جمله آسیای سایشی، آسیای لرزان و آسیای سیاره‌ای استفاده می‌شود. هر کدام از این آسیاها نقاط ضعفی دارند که مهمترین آن، ناتوانی در کنترل ابعاد ذرات است. نانوپودرهای حاصل از این روش اغلب بسیار پراکنده و غیر هم‌اندازه بوده و معمولاً به صورت خوشه‌های میکرومتری به یکدیگر متصل می‌شوند (Bonini et al. 2013). با وجود نقاط ضعف روش بالا به پایین، این راهکار اخیراً در ترکیب با روش پایین به بالا، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. برای مثال در تولید نانوذرات SrCO_3 با ابعاد ۲۰ تا ۵۰ نانومتر، از ترکیب آسیای گلوله‌ای و سپس پراکنده‌سازی در پروپانول استفاده شده و در حفاظت از میراث فرهنگی به‌ویژه اسیدزدایی از چوب کشتی مری رز متعلق به هنری هشتم به کار گرفته شد (Schofield et al. 2011).

۲-۲- روش پایین به بالا

روش پایین به بالا با اتم‌هایی سروکار دارد که تحت شرایط مناسب به یکدیگر متصل شده تا ابعاد مورد نظر را تشکیل دهند؛ لذا شباهت زیادی با ساختن یک خانه آجری دارد که در آن اتم‌ها یا مولکول‌ها جایگزین آجرها شده‌اند. در مقایسه با روش بالا به پایین، فرآیند کنترل ابعاد، شکل و ساختار بسیار مناسب‌تر است (Bonini et al. 2013). در این روش، دو راهکار عمومی جهت کنترل شکل‌گیری و رشد نانوذرات وجود دارد: الف) ته‌نشینی ناگهانی که بر پایه تقلیل پیش ماده در زمان تولید نانومواد بوده و یا در اثر حضور یک ماده شیمیایی است، که منجر به توقف فرآیند رشد و یا شکل‌گیری ذرات می‌شود.



شکل ۱- روش‌های سنتز نانو مواد در سال‌های مختلف (استفاده از دو روش بالا به پایین و پایین به بالا در دهه‌های مختلف) (Bonini et al. 2013)

۲-۱- روش بالا به پایین

این روشی از یک ماده در حالت توده‌ای آغاز شده و به روش‌های مکانیکی، شیمیایی و یا سایر گونه‌های انرژی، آن را به قطعات کوچکتر تقسیم می‌کنند. چنین کاری شباهت زیادی به ساختن مجسمه از سنگ دارد به این ترتیب که مواد اضافی به تدریج از توده اولیه حذف شده تا شکل مورد نظر حاصل شود. این روش‌ها اغلب برای تولید در مقیاس صنعتی مناسب است اگرچه از روش‌هایی مثل آسیای سیاره‌ای و سونش در مقیاس آزمایشگاهی نیز استفاده می‌شود (Bonini, Baglioni et al. 2013). همان‌طور که گفته شد نمونه‌ای از این روش، آسیا کردن است که در آن پودر تحت ضربه‌هایی بانرژی زیاد قرار می‌گیرد تا ذراتی با ابعاد کوچکتر شکل گرفته و ترکیب‌بندی و ساختار

رسوبی، کاهش و هیدرولیز سنتز می‌شوند. سنتز در میکروامولسیون‌ها می‌تواند منجر به ایجاد ذرات تک‌پخش با پخش اندازه محدود شود. روش‌های تولید نانومواد به صورت تک‌پخش و با توزیع اندازه محدود منجر به افزایش کیفیت محصول می‌شوند. یکی از راهکارهای سنتزی جهت نیل به این هدف، استفاده از نانوراکتورها جهت سنتز نانوذرات می‌باشد. از جمله ساده‌ترین نانوراکتورهای مولکولی مایسل‌ها هستند. این اجتماعات مولکولی حاصل خودآرایی مولکول‌های سورفکتانت در حدفصل فاز آبی و آلی است. میکروامولسیون‌ها مخلوط‌های همگن و تک‌پخش از مایسل‌ها هستند که از مخلوط کردن فاز آلی (روغنی)، فاز آبی و پایدارکننده‌ها (سورفکتانت‌ها) با نسبت مشخصی تهیه می‌شوند (Eriksson et al. 2004).

۲-۲-۳- روش تجزیه حرارتی

در این روش به‌طور معمول یک پیش‌ماده فلز-آلی که هیبریدی آلی-معدنی است تحت شرایط حرارتی معین دچار تخریب شیمیایی برگشت‌ناپذیر می‌شود. بر اثر شرایط اعمال شده بر محیط واکنش، تولید محصول می‌تواند در محدوده ابعاد نانو کنترل شود و نانوذرات موردنظر سنتز می‌شوند. استفاده از پلیمرها، سورفکتانت‌ها، عوامل پوشاننده و پایدارکننده متفاوت از این دست است. این روش بخصوص در تهیه نانوذرات مغناطیسی اکسید فلزی (مثل اکسید آهن مغناطیسی) به‌مراتب مورد استفاده قرار گرفته است (Salavati-Niasari and Davar 2009).

۲-۲-۴- روش سل-ژل

فرآیند سل-ژل یک روش شیمیایی تر برای سنتز انواع نانوساختارها به‌ویژه نانوذرات اکسید فلزی می‌باشد. در این روش پیش‌ماده مولکولی (معمولاً آلکوکسید فلزی) در آب یا الکل حل شده و با حرارت و همزدن در اثر هیدرولیز/الکلیز به ژل تبدیل می‌شود. سپس باید ژل را خشک کرد که برای محلول الکلی می‌تواند با سوختن الکل انجام پذیرد. پس از خشک کردن ژل آن را پودر می‌کنند و پودر حاصله را جهت کلسینه شدن حرارت می‌دهند. روش سل-ژل روش ارزانی است و به دلیل دمای پایین واکنش می‌توان کنترل مناسبی بر ترکیب شیمیایی محصولات داشت. سل-ژل می‌تواند در فرآیند ساخت سرامیک‌ها به‌عنوان ماده قالب‌گیری در قالب استفاده شود یا به‌عنوان حد واسط فیلم‌های خیلی نازک از اکسیدهای فلزی

(ب) راهکار دیگر محدود کردن فضای فیزیکی برای رشد هر یک از نانوذرات، با استفاده از یک قالب است. هر دو راهکار ساخت مواد از اتم‌ها یا مولکولی‌ها مستلزم صرف زمان زیادی هستند. به همین دلیل از شیوه خود پیوندی استفاده می‌شود که در آن اتم‌ها یا مولکول‌ها به‌طور منطقی قادر به شکل‌دهی خود هستند (Bonini et al. 2013). در سال‌های اخیر روش‌های زیادی جهت سنتز نانوذرات با امکان کنترل شکل، ساختار، اندازه، پراکنش ابعادی و ترکیب‌بندی توسعه داده شد که مهمترین آن‌ها عبارتند از: هم رسوبی، میکرو امولسیون، سل-ژل، هیدروترمال، تجزیه حرارتی، سنتز قالبی و سنتز زیست تقلید که به‌طور مختصر توضیحی در رابطه با هر روش آورده شده است.

۲-۲-۱- روش هم‌رسوبی

تئوری هم رسوبی تا حد زیادی نامشخصی بوده و تاکنون کتاب Ring (1996) و مقالات زیادی به بررسی آن پرداخته‌اند. به‌طور خلاصه می‌توان فرآیند هم رسوبی را به گونه زیر شرح داد (Cushing et al. 2004).

- محصولات واکنش هم رسوبی، معمولاً گونه‌هایی هستند که در شرایط فوق اشباعیت بالا، انحلالی پذیری بسیاری اندکی دارند.
- چنین شرایطی منجر می‌شود که هسته‌زایی نقش کلیدی در فرآیند هم رسوبی ایفا کرده و تعداد بسیار زیادی از ذرات کوچک تشکیل شوند. فرآیندهای ثانویه‌ای مانند عمل‌آوری استوالد و انبوهش، تأثیر قابل توجهی بر اندازه، ریخت‌شناسی و خصوصیات محصول خواهند داشت.
- حالت فوق اشباعیت برای فرآیند هم رسوبی ضروری بوده، که معمولاً در اثر واکنش‌های شیمیایی حاصل می‌گردد. همچنین کلیه شرایط از قبیل سرعت افزودن واکنش‌گرها و سرعت هم زدن، می‌بایست به‌عنوان عوامل تأثیرگذار بر اندازه، ریخت‌شناسی و پراکنش ابعادی در نظر گرفته-شوند. (Petcharoen and Sirivat 2012)

۲-۲-۲- روش مایکروامولسیون

استفاده از میکروامولسیون‌ها و به‌خصوص مایسل معکوس یکی از راه‌های سنتز کنترل‌شده نانوذرات است. بسیاری از نانوذرات در نانوراکتورهای مایسلی و تحت واکنش‌هایی نظیر فرآیندهای

ماده‌ها در محلول، از امواج اولتراسونیک استفاده می‌شود. سپس محلول مواد اولیه درون اتوکلاو ریخته شده و اصطلاحاً مهروموم می‌شود. سپس اتوکلاو حاوی محلول واکنش‌دهنده‌ها، تا دمای مناسب حرارت دهی می‌شود. در اثر این حرارت‌دهی فشار درون اتوکلاو بالا رفته و شرایط مناسب برای واکنش پیش‌ماده‌ها فراهم می‌شود. پس از گذشت زمان کافی برای انجام واکنش شیمیایی درون اتوکلاو، حرارت دهی متوقف‌شده، محصولات از درون آن بیرون آمده و در صورت نیاز برای خشک یا کلسینه شدن حرارت دهی می‌شوند (Peng et al. 2011). جدول (۲) بخشی از پراستفاده‌ترین روش‌های سنتز را باهم مقایسه می‌نماید.

۳- نانو مواد به‌عنوان جاذب در تصفیه پساب

۳-۱- نانولوله‌های کربنی

نانولوله‌های کربنی، ساختارهای حلقوی توخالی و متشکل از اتم‌های کربن هستند که می‌توانند به شکل تک یا چند جداره آرایش یابند و دارای خواص فلزی و شبه رسانایی نیز هستند. نانولوله‌های کربنی دارای سطح ویژه بسیار بالا، نفوذپذیری زیاد و پایداری مکانیکی و حرارتی خوبی هستند. تخلخل‌های نانولوله‌های کربنی به‌طور قابل‌توجهی کوچک است. این مواد بادوام و در مقابل گرما مقاوم‌اند و نیز تمیز کردن و استفاده مجدد از آن‌ها در فرایندهای تصفیه‌ای مانند آب و فاضلاب ساده است. غشاهای نانولوله‌ای می‌توانند تقریباً تمام آلودگی‌های آب اعم از باکتری، ترکیبات آلی و فلزات سنگین را حذف نمایند (Ajayan and Zhou 2001).

نانولوله‌های کربنی به دودسته تک دیواره و چند دیواره تقسیم می‌شوند که به ترتیب از یک صفحه استوانه‌ای شکل گرافن و دو صفحه استوانه‌ای شکل از گرافن تشکیل می‌شوند. شکل (۲) دو نوع ساختار این نانولوله‌ها را نشان می‌دهد (Schönenberger and Forró 2000; Odom et al. 2002). در نانولوله‌های کربنی ظرفیت جذب به میزان زیادی به گروه‌های عاملی موجود در سطح و ماهیت جذب‌شونده برمی‌گردد. برای مثال برای جذب گونه‌های قطبی، خواص اسیدی سطح (مانند وجود گروه‌های عاملی کربوکسیلیک، لاکتونیک و گروه فنولیک) کاربردی‌تر است (Kong et al. 2004).

برای فرآیندهای مختلف استفاده شود. مواد حاصل از روش تهیه سل-ژل می‌تواند در کاربردهای متفاوت نوری، الکترونیک، انرژی، سطح، حسگرهای زیستی، دارویی و تکنولوژی جداسازی مثل کروماتوگرافی به‌کاربرده شود (Chen and He 2001).

۲-۲-۵- روش هیدروترمال

از میان تمامی روش‌های پیشرفته تولید نانوذرات، روش هیدروترمال توجه بسیار زیادی را به خود جلب کرده است. واژه هیدروترمال دارای منشأ زمین‌شناختی است (از این واژه برای اولین بار یک زمین‌شناس انگلیسی در توصیف عمل آب در دما و فشارهای بالا، که باعث ایجاد صخره‌ها و کانی‌های گوناگون می‌شود، استفاده کرد). منشأ تولید بزرگ‌ترین تک‌بلورهای موجود در طبیعت و مقدار بسیار زیادی از تک‌بلورهای مصنوعی ساخته‌شده در آزمایشگاه‌ها، هیدروترمال است. در ابتدا فرآیند هیدروترمال به واکنش‌های شیمیایی (همگن یا ناهمگن) در حضور حلال در دما و فشار بالا اطلاق می‌شد. در اواخر قرن بیستم، همایشی بین‌المللی بین‌رشته‌ای با عنوان فرآیند هیدروترمال برگزار گردید. دستاورد این همایش گسترش اطلاعات در مورد ترمودینامیک این فرآیند بود و منجر به کاهش چشمگیر شرایط دما و فشار این فرآیند و سوق یافتن آن به سمت شیمی سبز گردید. امروزه روش تولید هیدروترمال سهمی تقریباً معادل ۶ درصد را در تولید مواد پیشرفته دارد. گستره وسیعی از اکسیدهای فلزی، هیدروکسیدها، سیلیکات‌ها، کربنات‌ها، فسفات‌ها، سولفیدها، نیتريد‌ها با نانو ساختارهایی همچون نانولوله، نانوسیم، نانومیل و ... با استفاده از این روش تهیه می‌شوند (Adschiri 2007).

هیدروترمال به‌عنوان روشی بر پایه شکل‌گیری و رشد کریستال‌ها در اثر واکنش‌های شیمیایی و تغییرات قابلیت انحلال مواد در یک محلول آبی تحت دما و فشار مناسب شناخته می‌شود. در گذشته سنتز هیدروترمال در دما و فشار بالا و بیشتر در حالت بحرانی صورت می‌گرفت، اما امروزه با شناخت حلال‌های مناسب برای هر واکنش و با کمک روش‌های جدید انرژی‌دهی به سیستم (مانند استفاده از امواج ماکرو و یا میدان‌های مغناطیسی) این روش در دما و فشارهای پایین‌تر نیز استفاده می‌شود.

به‌طور کلی، در این روش ابتدا واکنش‌دهنده‌ها در حلال مناسب حل می‌شوند. در صورت نیاز برای حل شدن یا توزیع بهتر پیش

جدول ۲- مقایسه بخشی از پراستفاده ترین روش‌های سنتز

روش	شرایط	دمای واکنش	زمان	حلال	پوشش سطح	پراکنش ابعادی	کنترل شکل	محصول
هم‌رسوبی	بسیار ساده، فشار محیط	۲۰-۹۰	چند دقیقه	آب	نیاز دارد، در طول واکنش یا پس از آن افزوده می‌شود.	نسبتاً خوب	نامناسب	زیاد و قابل بزرگ‌سازی
تجزیه حرارتی	پیچیده، اتمسفر خنثی	۱۰۰-۳۲۰	چند ساعت تا چند روز	ترکیبات آلی	نیاز دارد، در طول واکنش افزوده می‌شود.	بسیار خوب	بسیار مناسب	زیاد و قابل بزرگ‌سازی
میکروامولسیون	پیچیده، اتمسفر خنثی	۲۰-۵۰	چند ساعت	ترکیبات عالی	نیاز دارد، در طول واکنش افزوده می‌شود.	نسبتاً خوب	مناسب	کم
هیدروترمال	ساده، فشار زیاد	۲۲۰	چند ساعت تا چند روز	آب یا اتانول	نیاز دارد، در طول واکنش افزوده می‌شود.	بسیار خوب	بسیار مناسب	متوسط

می‌دهند (Kong et al. 2004).

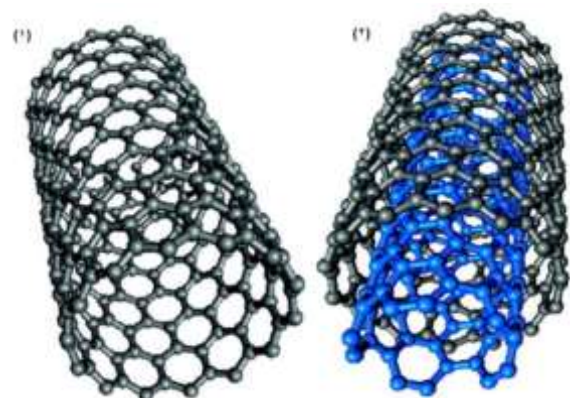
در جدول (۳) تعدادی از نانولوله‌های تک دیواره و دو دیواره با گروه‌های عاملی متفاوت برای جذب فلزات سنگین در محلول‌های آبی با ظرفیت‌های جذب هر یک آورده شده است. در یک تحقیق سیستماتیک مقدار جذب یون دو ظرفیتی فلزات سنگین به نانولوله‌های کربنی مورد مقایسه قرار گرفت و ظرفیت جذب در محدوده pH بین ۷ تا ۹ به این صورت تقسیم‌بندی شد: $Cu > Pb > Zn > Co > Ni > Cd > Mn$

در مورد نانولوله‌های بدون گروه‌های عاملی جذب در نمونه‌های غیر قطبی قابلیت بهتری نشان داده است. در یک دسته‌بندی متفاوت قابلیت جذب در نانولوله‌های کربنی به اندرکنش شیمیایی برای گونه‌های قطبی و اندرکنش فیزیکی برای گونه‌های غیر قطبی تنظیم می‌شود. مورد بعدی تأثیرگذار در ظرفیت جذب این نانولوله‌ها محدوده pH بهینه آن‌ها است که عموماً در محدوده pH، ۷ تا ۱۰ بهترین جذب را نشان

جدول ۳- ظرفیت جذب نانولوله‌های کربنی بر انواع یون‌های فلزی

شماره	جاذب	یون‌های فلزی	ظرفیت جذب	منابع
۱	CNTs	Pb^{+2}	۱۷/۴۴ میلی‌گرم بر گرم	(Stafiej and Pyrzynska 2008)
۲	CNTs(HNO ₃)	Pb^{+2}	۴۹/۹۵ میلی‌گرم بر گرم	(Li et al. 2002)
۳	MWCNTs	Ni^{+2}	۷/۵۳ میلی‌گرم بر گرم	(Lu and Liu 2006)
۴	SWCNTs	Ni^{+2}	۹/۲۲ میلی‌گرم بر گرم	(Lu and Liu 2006)
۵	MWCNTs	Pb^{+2}	۹۷/۰۸ میلی‌گرم بر گرم	(Li et al. 2003)
۶	MWCNTs(HNO ₃)	Pb^{+2}	۱/۴۰۶ میلی‌مول بر گرم	(Anitha et al. 2015)
۷	CNTs	Pb^{+2}	۲/۰۷ میلی‌مول بر گرم	(Anitha et al. 2015)
۸	CNT-OH	Pb^{+2}	۱/۹۰۷ میلی‌مول بر گرم	(Anitha et al. 2015)
۹	CNT-CONH ₂	Pb^{+2}	۴/۶۲۷ میلی‌مول بر گرم	(Anitha et al. 2015)
۱۰	CNT-COO ⁻	Cu^{+2}	۱/۲۱۹ میلی‌مول بر گرم	(Anitha et al. 2015)
۱۱	CNTs	Cu^{+2}	۱/۳۴۲ میلی‌مول بر گرم	(Anitha et al. 2015)
۱۲	CNT-OH	Cu^{+2}	۱/۷۵۵ میلی‌مول بر گرم	(Anitha et al. 2015)
۱۳	CNT-CONH ₂	Cu^{+2}	۳/۵۶۵ میلی‌مول بر گرم	(Anitha et al. 2015)
۱۴	CNT-COO ⁻	Cd^{+2}	۱/۲۹۱ میلی‌مول بر گرم	(Anitha et al. 2015)
۱۵	CNTs	Cd^{+2}	۱/۵۱۳ میلی‌مول بر گرم	(Anitha et al. 2015)
۱۶	CNT-OH	Cd^{+2}	۱/۵۶۳ میلی‌مول بر گرم	(Anitha et al. 2015)
۱۷	CNT-CONH ₂	Cd^{+2}	۳/۳۲۵ میلی‌مول بر گرم	(Anitha et al. 2015)
۱۸	CNTs	Hg^{+2}	۱/۰۶۸ میلی‌مول بر گرم	(Anitha et al. 2015)
۱۹	CNT-OH	Hg^{+2}	۱/۲۸۴ میلی‌مول بر گرم	(Anitha et al. 2015)
۲۰	CNTs-CONH ₂	Hg^{+2}	۱/۶۵۸ میلی‌مول بر گرم	(Anitha et al. 2015)
۲۱	CNT-COO ⁻	Hg^{+2}	۳/۳ میلی‌مول بر گرم	(Anitha et al. 2015)

(Stafiej and Pyrzynska 2008). در بررسی دیگر بین سه فلز، Pb^{+2} ، Cu^{+2} و Cd^{+2} ظرفیت جذب توسط یک نانولوله کربنی چند دیواره در غلظت تعادلی ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر بررسی شد و نتایج به صورت ۹۷/۰۸ میلی‌گرم بر گرم ظرفیت جذب برای Pb^{+2} ، ۲۴/۴۹ میلی‌گرم بر گرم ظرفیت جذب برای Cu^{+2} ، ۱۰/۸۶ میلی‌گرم بر گرم ظرفیت جذب برای Cd^{+2} اعلام شد؛ که مدل لانگمویر به میزان خوبی بر نمودارهای دو عنصر Pb^{+2} و Cu^{+2} منطبق می‌شد اما تطبیق مناسبی بر نمودار Cd^{+2} نداشتند است. در نمودار (۳) و نمودار (۴) ایزوترم جذب در دو حالت یون مستقل و همراه هم نشان داده شده است. سپس آزمایش‌های ایزوترم برای مقادیر مختلف یون فلزی (۱/۰) مولار، ۰/۰۵ مولار، ۰/۱ مولار) در pH های مختلف و دماهای متفاوت اندازه‌گیری شد. در بازیابی یون‌های فلزی از نانولوله‌های

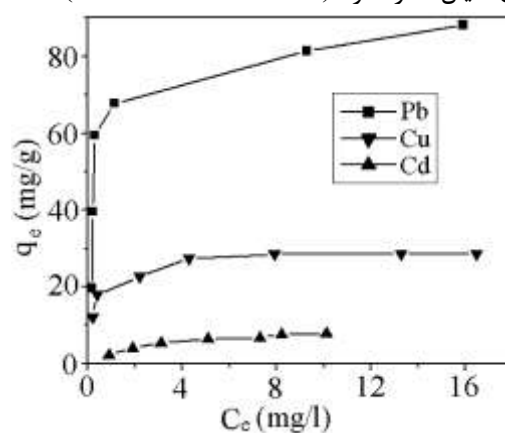


شکل ۲- (۱) - نانولوله تک دیواره و (۲) نانولوله چند دیواره (Schönenberger and Forró 2000; Odom et al. 2002)

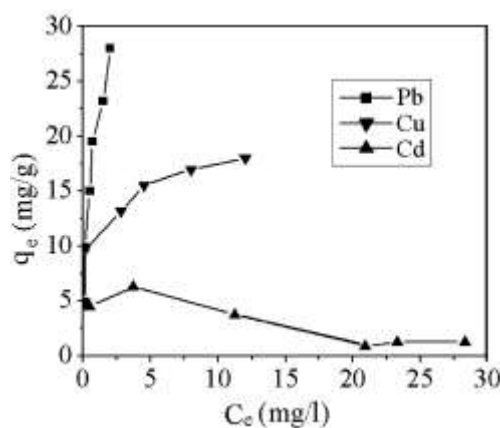
با توجه به مقایسه بالا مس که بیشترین قابلیت جذب را داشته تحت شرایط محلول ۱۵۰ میلی‌لیتر و pH ۸/۲، ظرفیت جذبی معادل ۱/۳۴۲ میلی‌مول بر گرم را نشان داده و پس از جذب با محلول ۰/۱ مولار نیتریک اسید کاملاً از سطح نانولوله شسته شد

رنگ‌دانه‌های آنیونی و کاتیونی هستند. به‌طور کلی این ترکیبات به‌وسیله فعالیت‌های انسانی، از راه‌های متفاوتی تولید می‌شوند. زائدات ناشی از فعالیت‌های انسانی، هم به‌صورت متمرکز و هم پراکنده با فرایندهای صنعتی، دفع مواد زائد، نشت و ریزش‌های نفتی و احتراق مواد سوختی، همراه می‌باشند. پاک‌سازی این ترکیبات به‌آسانی امکان‌پذیر نیست، برای اینکه اکثر این مواد نسبتاً فرارند، فعالیت و پراکندگی دوباره آن‌ها از طریق جو اغلب شناسایی این منابع ویژه را دچار مشکل می‌سازد. این مواد، نیمه‌عمر زیست‌محیطی طولانی دارند؛ بنابراین رهاسازی متوالی آن‌ها در طول زمان منجر به ذخیره دائم و حضور آن‌ها در همه جای محیط‌زیست جهانی می‌شود. از راه‌های انتقال اولیه این مواد به محیط‌زیست دریایی و ساحلی، ذخیره جوی و آب‌های روان است. انتقال جهانی و منطقه‌ای این‌ها غالباً توسط جریانات جوی و همچنین از طریق انتقال رسوبات و جریانات اقیانوسی صورت می‌گیرد (Ali et al. 2012). آلاینده‌های آلی پایدار مانند آفت‌کش‌های آلی کلره و بی‌فنیل‌های پلی‌کلرینه یکسری مواد هستند که در همه اجزای محیط‌زیست یافت می‌شوند. این مواد به خاطر ویژگی‌های جهش‌زایی، سرطان‌زایی و سمیت بالایی که دارند برای محیط‌زیست و موجودات زنده خطرناک هستند (Chilom and Rice 2013). از معروف‌ترین آلاینده‌های آلی پایدار می‌توان به آفت‌کش‌های کلره، آلدین، ددت، دیوکسین، بی‌فنیل‌ها اشاره نمود (Meagher 2000). در جدول (۴) جمع‌بندی از انواع آلاینده‌ها و ظرفیت جذبی که اقسام نانولوله روی آن‌ها نشان می‌دهند آورده شده است. در پژوهشی از یک نانولوله کربنی چند دیواره که دیواره‌های آن از نانوذرات اکسید فلزی مغناطیسی پوشانده شده بود برای جذب یک رنگ‌دانه کاتیونی استفاده شد که جذب بسیار قابل قبولی را نشان داد. قابلیت مغناطیسی سطح آن ساختار با آنالیز X-ray و افزایش سطح دسترسی آن با آنالیز محاسبات سطح ویژه (BET) اندازه‌گیری شد. نتایج ریخت-شناسی توسط میکروسکوپ الکترونی رویشی این ساختار در شکل (۵) قابل مشاهده است. نانولوله‌ها با قرارگیری یک پوشش لیگاند روی سطح آن‌ها به‌راحتی قابلیت جذب رنگ‌دانه‌های آنیونی، کاتیونی، رنگ‌های نساجی و ترکیبات آلی را دارا خواهند بود. برای تمام موارد سه پارامتر pH، دما و زمان هم‌زمانی مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر ظرفیت جذب هستند (Gong et al. 2009). همان‌طور که در جدول (۴) آمده این جاذب‌ها

کربنی، نانولوله‌های تک دیواره رفتار مناسب‌تری را از خود نشان دادند و با یک محلول منتخب مناسب تا حد بسیار قابل قبولی شستشو انجام می‌شود. در این امر قطبی یا ناقطبی بودن محلول منتخب جهت شستشو بسیار تأثیرگذار است به این دلیل که جذب سطحی در این نانو مواد یک خاصیت فیزیکی است و از نظر برآیند نیروها پدیده جذب زمانی رخ می‌دهد که برآیند نیروها مثبت باشد اما در مرحله شستشو باید برآیند نیروها به سمت منفی و پدیده واجذب حرکت کند (Ding et al. 2003). ددر نانولوله‌های کربنی از دیگر پارامترهایی که در فرایند جذب مؤثر هستند می‌توان به قطر نانولوله، غشای محیط و دبی عبوری سیال اشاره کرد (Lin and Tiwari 2006).



نمودار ۳- ایزوترم جذب برای یون‌های مستقل Pb، Cu و Cd بر نانولوله چند دیواره در دمای اتاق و pH=5 (Li et al. 2003).



نمودار ۴- ایزوترم جذب انتخابی برای یون‌های Pb، Cu و Cd بر نانولوله چند دیواره در دمای اتاق و pH=5 (Li et al. 2003)

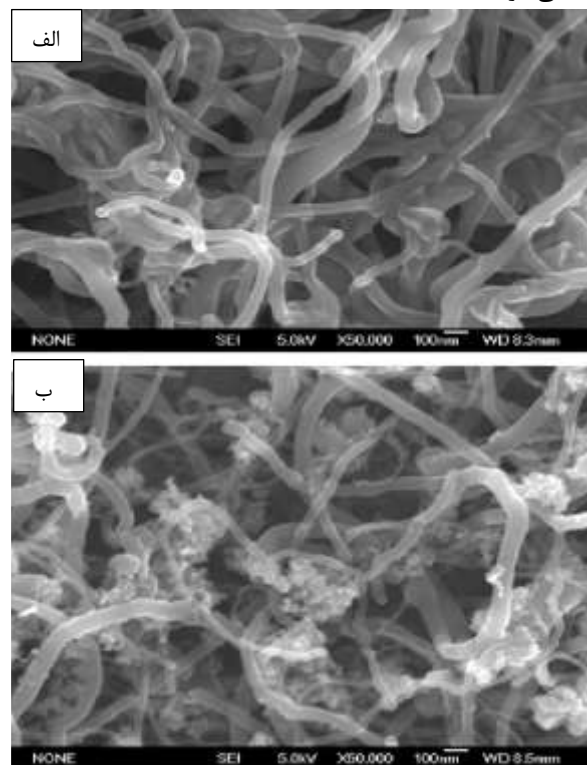
از مواد دیگری که نانولوله‌های کربنی جذب مناسبی روی آن‌ها نشان می‌دهند اقسام مختلف آلاینده‌های آلی سمی و

کمک به حفاظت از محیط زیست، مناسب می‌باشند. ظرفیت جذب انواع پسماندهای کشاورزی در حذف آلاینده‌های خطرناک مانند فلزات سنگین و رنگ‌های آلی از محیط‌های آبی بررسی شده‌است. بررسی منابع نشان داد که پسماندهای کشاورزی پتانسیل خوبی برای تولید نانولوله‌های کربنی و حذف آلاینده‌های مورد نظر دارند. از میان منابع مورد بررسی، در مورد فلزات سنگین، بیشترین کارایی جذب مربوط به پسماند سبوس برنج، پوست سبز پسته و پوست پرتقال با کارایی بیش از ۹۹ درصد جذب و کمترین آن مربوط به پوست انار با ۵۵ درصد جذب می‌باشد. در مورد رنگ‌ها، بیشترین کارایی حذف رنگ مربوط به پسماند پوست فندق، ساقه ذرت و پوست پسته با بازدهی بیش از ۴۴ درصد و کمترین کارایی حذف رنگ مربوط به پسماند پوست سیب زمینی با ۴۴ درصد حذف رنگ انتخابی می‌باشد (Zhuo et al. 2012).

۳-۲- نانو اکسیدهای فلزی

نانو اکسیدهای فلزی نانو ساختارهایی هستند که از روش‌های مختلف سنتز اعم از چگالش از بخار، سنتز شیمیایی و فرآیندهای حالت جامد از فلزات معدنی تهیه می‌شوند (Rao et al. 2006). این نانو ساختارها به دودسته اصلی نانو ساختارهای بدون ساپورت و نانو ساختارهای با بستر ساپورت کننده تقسیم می‌شوند. این ذرات به دلیل تفاوت ترکیب شیمیایی، ساختار بلوری، مورفولوژی و اندازه ذره در ابعاد با خواص متفاوت سنتز می‌شوند که این تفاوت ساختاری باعث مصارف وسیع در تصفیه پساب‌ها و همچنین پاسخ‌های متفاوتی میشود (Comini 2006). از معروف‌ترین نانو اکسیدهای فلزی می‌توان به نانو ساختارهای اکسید آهن، اکسید منگنز، اکسید آلومینیوم، اکسید تیتانیوم، اکسید منیزیم و اکسید سرب اشاره کرد (Poizot et al. 2000). از موادی که در تهیه نانو ساختارهای فلزی به آن توجه ویژه‌ای می‌شد ترکیبات Fe مانند ژئوتایت و هماتیت است. نانو هماتیت از طریق واکنش محلول HCl و $FeCl_3$ در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۲ روز تهیه می‌شود. نانو ژئوتایت از طریق اضافه کردن $Fe_2(SO_4)_3$ به محلول ۲/۵ مولار NaOH به مدت ۴ ساعت و سپس حرارت دادن به میزان ۴۰ درجه سلسیوس به مدت ۲ روز تهیه می‌شود. در شرایط آزمایشگاهی با جریان ناپیوسته جذب یون Cu دو ظرفیتی برای هردو نمونه انجام می‌شود و ظرفیت جذبی معادل ۱۲۹/۲۵ و ۸۴/۴۶

می‌توانند طیف وسیعی از آلاینده‌های آلی را متغیر از ظرفیت جذب ۲ میلی‌گرم بر گرم تا ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر گرم را حذف کنند؛ که عموماً ظرفیت‌های جذب بالا را در نانولوله‌هایی مشاهده می‌کنیم که سطح آن‌ها اصلاح شده است. به‌طور کلی نانولوله‌های کربنی هم در رابطه با یون‌های فلزی هم آلاینده‌های آلی مقادیر جذب بالایی را نشان می‌دهند این مواد مشروط به اینکه در دسترس باشند و از نظر اقتصادی به صرفه باشند به دلیل جدایش آسان بعد از جذب از محیط آبی نانو ساختارهای بسیار پرکاربرد هستند. زمانی که تولید نانولوله به صورت انبوه امکان پذیر شود، نانولوله‌ها مواد اصلی و اساسی قرن ۲۱ خواهند شد، چراکه هم‌اکنون از آن‌ها به‌عنوان ماده راهبردی این قرن یاد می‌شود (Shawky et al. 2011).



شکل ۵- تصاویر میکروسکوپ الکترونی رویشی (SEM): (الف) - برای نانولوله چند دیواره (MCNTs) و (ب) - نانولوله چند دیواره با ذرات مغناطیسی در سطح (MMCNTs) (Gong et al. 2009).

تاکنون تلاش‌های زیادی به منظور توسعه جاذب‌های ارزان قیمت با استفاده از پسماندهای کربنی کشاورزی، صنعتی و شهری انجام شده است. استفاده از پسماندهای کربنی در زمینه کشاورزی به‌عنوان مواد اولیه کم‌هزینه در تولید نانولوله‌ها، باتوجه به سهم خود در کاهش هزینه‌ها برای دفع پسماند و

میلی‌گرم بر گرم محاسبه شده است. فرایند جذب مس دو ظرفیتی به نانو ذرات هماتیت و ژئوتایت یک فرایند خود به خودی و زمان محور است (Chen and Li 2010). در شکل (۶) تصاویر نانوزئوتیت و نانوهیاتیت را نشان می‌دهد.

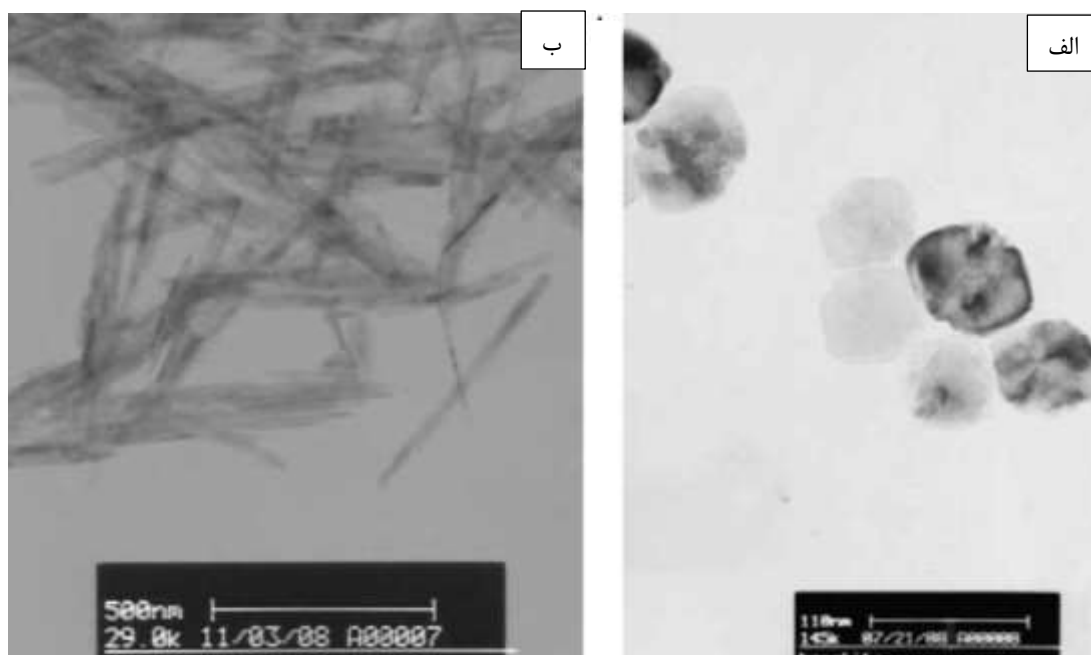
جدول ۴- ظرفیت جذب نانولوله‌های کربنی برای انواع آلاینده‌های آلی

شماره	مدل نانولوله کربنی	آلاینده‌های آلی	ظرفیت جذب (mg/g)	منابع
۱	Alkali-activated MWCNTs	Methylene blue	۳۹۹	(Ma et al. 2012)
۲	Untreated MWCNTs	Methylene blue	۵۹/۷	(Wang et al. 2012)
۳	Untreated SWCNTs	Reactive red 120	۴۲۶/۴۹	(Bazrafshan, Mostafapour et al. 2012)
۴	Oxidized SWCNTs	Basic red 46	۴۹/۴۵	(Moradi 2013)
۵	Untreated MWCNTs	Tetracycline	۲۶۹/۵۴	(Zhang, Song et al. 2011)
۶	MWCNTs	Olaquinox	۹۹/۷٪	(Zhang, Xu et al. 2011)
۷	SWCNTs	4-chloro-2-nitrophenol	۱/۴۴	(Aghaie et al. 2012)
۸	MWCNTs	4-chloro-2-nitrophenol	۴/۴۲	(Aghaie et al. 2012)
۹	Untreated SWCNTs	Dissolved organic matter	۲۰/۸	(Lou et al. 2011)
۱۰	KOH activated MWCNTs	Toluene	۸۷/۱۲	(Yu et al. 2012)
۱۱	MWCNTs	Methylene orange	۵۲/۸۶	(Zhao et al. 2013)
۱۲	Chitosan/Fe ₂ O ₃ /MWCNTs	Methylene orange	۶۶/۹	(Zhu et al. 2010)
۱۳	Calcium alginate/MWCNTs	Methylene orange	۱۲/۵	(Zhu et al. 2010)
۱۴	MWCNTs	Tetracycline	۱۹۲/۷	(Álvarez-Torrellas, Rodríguez et al. 2016)
۱۵	CNTs-chitosan composite	Tetracycline	۱۰۴	(Ma et al. 2015)
۱۶	Single, double and multiwalled carbon nanotube	Oxytetracycline	۵۵۴	(Ncibi and Sillanpää 2015)
۱۷	Single, double and multiwalled carbon nanotube	Ciprofloxacin	۹۳۳/۸	(Ncibi and Sillanpää 2015)
۱۸	MWCNTs/CoFe ₂ O ₄	Sulfamethoxazole	۶/۹۸	(Wang et al. 2015)
۱۹	Pristine and hydroxylated MWCNTs	Sulfomethazine	۲۴/۷۸	(Yang et al. 2015)
۲۰	Carboxylated multiwalled carbon nanotubes	Norfloxacin	۹۰/۳	(Yang et al. 2015)

سه ظرفیتی Cr مورد بررسی قرار گرفت. بیشترین جذب در حالت مخلوط یونی مربوط به عناصر Cr، Pb و Cd بوده است. بهترین مدل تجربی برای ایزوترم جذب، مدل فرندلیچ برای فلزات Mn، Pb، Cr و Cd و مدل لانگمویر برای فلزات Ni، Co اثبات شد. همچنین این نانو ساختار قابلیت شستشو با محلول اسید نیتریک و متانول را داراست (Afkhami et al. 2010). در جدول (۵) ظرفیت جذب تعدادی از یون‌های فلزی توسط نانو

در فرایند جذب نانو اکسیدهای فلزی پارامترهایی مانند شرایط آزمایش، شرایط محلولی (pH، Eh، نیرو یونی، نوع یون)، دما و فرم آزمایش (شرایط ناپیوسته یا تست ستونی) بسیار تأثیرگذار هستند (Zhong et al. 2006). در پژوهشی دیگر سطح نانو ساختاری از آلومینیوم اکسید را با یک لیگاند به نام ۲-۴ دینیتروفنیل هیدرازین پوشش داده شده است و جذب یون‌های کاتیونی Pb، Cd، Co، Ni و Mn و یون کاتیونی

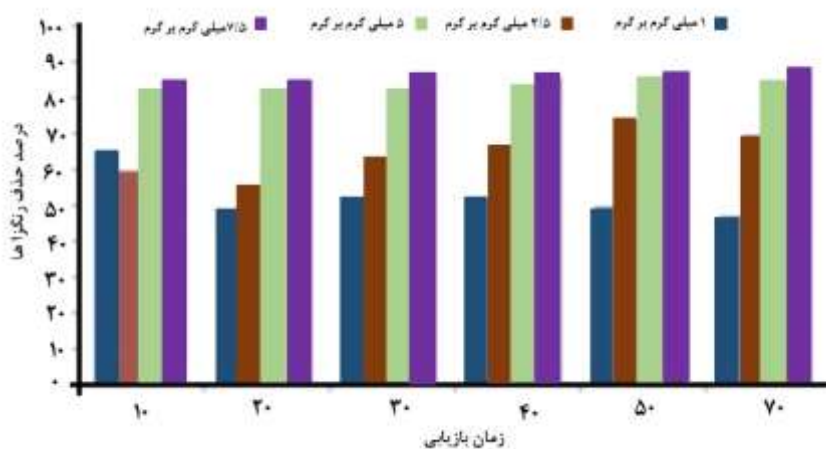
اکسیدهای فلزی آورده شده است.



شکل ۶- تصاویر TEM: (الف)- نانوهما تیت و (ب) نانو ژئوتیت (2010 Chen and Li).

جدول ۵- ظرفیت جذب نانو ذرات اکسید فلزی بر یون‌های فلزی

شماره	جاذب	دما	آلاینده (ماده جذب شده)	ظرفیت جذب (mg/g)	منابع
۱	Goethite ($\alpha - FeOOH$)	25C	Cu^{+2}	۱۴۹/۲۵	(Grossl et al. 1994)
۲	Hematite ($\alpha - Fe_2O_3$)	25C	Cu^{+2}	۸۴/۴۶	(Chen and Li 2010)
۳	$\gamma - Fe_2O_3$	25C	Cu^{+2}	۲۶/۸	(Hu et al. 2006)
۴	ZnO	28C	Pb^{+2}	۶/۷	(Ma et al. 2010)
۵	CeO_2	28C	Pb^{+2}	۹/۲	(Cao et al. 2010)
۶	TiO_2	25C	Pb^{+2}	۴۰۱/۱۴	(Engates and Shipley 2011)
۷	Modified Al_2O_3	25C	Cd^{+2} و Pb^{+2}	۱۰۰ و ۸۲/۳۳	(Afkhami et al. 2010)



شکل ۷- نمودار درصد بازیابی رنگ‌زای کاتیونی (Qadri et al. 2009).

ساختار به‌وسیله تبخیر چرخشی در استون تا ۶۰ الی ۹۰ درصد تخمین زده شد. در نمودار شکل (۷) مقدار بازیابی در زمان‌های مختلف بر اساس ظرفیت جذب متفاوت رنگ‌زا نشان داده شده است (Qadri et al. 2009). همچنین در جدول (۶) مواردی از جذب آلاینده‌های آلی توسط نانو ساختارهای اکسید فلزی آورده شده است.

۳-۳- نانو اکسیدهای فلزی ساپورت شده بر روی بستر

نظریه‌ای که همواره مطرح شده این است که آیا علاوه بر سود فراوان نانو ذرات زیان آن‌ها قابل پذیرش است؟ یکی از مشکلات استفاده از این ساختار بسیار ریز عدم کنترل آن‌ها در محیط است، مخصوصاً چون موارد استفاده مورد بررسی، محیط‌های آبی است در نتیجه این یک معضل است. در سنتزهای جدید، نانو ذرات روی یک بستر فعال پوشانده می‌شوند و این روش علاوه بر اینکه یک پوشش یکنواخت را ایجاد می‌کند باعث جمع‌آوری راحت‌تر جاذب بعد از فرآیند جذب می‌شود.

نانو ساختارهای اکسید فلزی برای جذب آلاینده‌های آلی هم استفاده شده‌اند، مانند رنگ‌زاهای اسید نارنجی، متیلن نارنجی، و کارگو قرمز (Saud et al. 2015). برای مثال، نانو زیست‌جاذب اصلاح‌شده کیتوسان/SiO₂/γ-Fe₂O₃ اصلاح شده، تحت شرایط امولسیون‌ساز آب و روغن ساخته شده و برای حذف آلاینده متیلن نارنجی مورد بررسی قرار گرفته است. طبق این بررسی‌ها ظرفیت جذب در کنار پارامترهای غلظت اولیه رنگ‌زا، pH محلول و رقابت یون‌ها بررسی شد. در شرایط آزمایشی ناپیوسته ایزوترم داده‌های جذب تعادلی روی نمودار فرندولیچ منطبق بود و پارامترهای ترمودینامیکی ΔG° ، ΔS° و ΔH° اثبات می‌کنند که فرایند خود به خودی و گرمازا است (Zhu et al. 2011). γ -Fe₂O₃ بر روی رنگ‌زای کاتیونی آکریدین نارنجی برای جذب آزمایش شد و حذف ۹۸٪ رنگ‌دانه را در ۲۰ دقیقه اول نشان داد؛ و بیشترین ظرفیت جذب در این آزمایش برای آکریدین نارنجی، ۵۹ میلی‌گرم بر گرم اندازه‌گیری شد. ایزوترم جذب بر مدل فرندولیچ و سینتیک جذب بر مدل درجه دوم منطبق شد همچنین قابلیت جدایش رنگ‌زا بعد از فرایند از نانو

جدول ۶- ظرفیت جذب نانو اکسیدهای فلزی بر آلاینده‌های آلی

شماره	جاذب	آلاینده آلی	ظرفیت جذب (mg/g)	منابع
۱	SiO ₂ /Fe ₃ O ₄	متیلن نارنجی	۵۳/۱۹	(Shariati-Rad et al. 2014)
۲	/SiO ₂ /chitosan - Fe ₃ O ₄	متیلن نارنجی	۳۴/۲۹	(Zhu et al. 2011)
۳	γ - Fe ₃ O ₄	آکریدین نارنجی	۵۹	(Qadri et al. 2009)
۴	Magnetic Nano powder	فنل	۱۳/۵	(Mihoc et al. 2014)
۵	Fe ₂ O ₄ α -	کنگو قرمز	۴۱۳/۲۲	(Satheesh et al. 2016)

شده با استفاده از این روش‌ها می‌تواند در انتخاب مؤثرترین روش برای سنتز یک نانو ساختار مشخص بسیار کاربردی باشد. از جمله این روش‌ها سنتز نانو ساختارهای اکسید فلزی با استفاده از روش سل-ژل دستکاری شده با کمک امواج فراصوت استفاده از تکنیک سل-ژل برای سنتز نانو ساختارهای اکسید فلزی را یکی از موفق‌ترین روش‌ها برای سنتز این دست است. خواص نانو ساختارهای سنتز شده با روش سل-ژل را می‌توان با به‌کارگیری امواج فراصوت در طی فرایند هیدرولیز مواد اولیه بهبود بخشید. کاهش زمان سنتز از چند روز به چند ساعت با توجه به فرآیند هیدرولیز سریع‌تر، توزیع یکنواخت‌تر اندازه ذرات، سطح ویژه بالاتر، پایداری حرارتی بهتر و افزایش خلوص

از جمله این نوع بسترها می‌توان به بستر کربن فعال، دیاتومیت، ژئولیت و سپیولیت اشاره کرد (Sharma et al. 2007). در سنتز این نانو ذرات روی بستر یکی از اصلی‌ترین موارد استفاده روش‌های سونوشیمیایی است که کاربرد و توسعه بسیار گسترده‌ای در این بخش پیدا کرده است. روش‌های سونوشیمیایی مختلفی برای سنتز نانو ذرات روی بسترهای معدنی وجود دارد و بر اساس آن‌ها نانو ذرات بسیاری با شکل، ساختار و اندازه‌های گوناگون تولید شده‌اند. هر کدام از این روش‌ها برای سنتز دسته‌ای خاص از نانو ذرات با ویژگی‌های مشخص کاربرد دارند. آشنایی با این روش‌ها، مؤلفه‌های مؤثر بر آن‌ها، شرایط موردنیاز آن‌ها و همچنین خواص نانو ذرات سنتز

موفقیت‌آمیز نانو ساختارهای اکسید فلزی سنتز شده روی بستر کربنی، دیاتومیت یا ژئولیت با استفاده از سل-ژل ایجاد شده با کمک امواج فراصوت می‌توان به ZnO ، TiO_2 و MoO_3 اشاره نمود. در جدول (۷) نمونه‌ای از جداسازی آلاینده فلزی توسط این نوع نانو ساختارها آورده شده است (Lu et al. 2002).

فازی از مزایای قابل توجه این روش می‌باشند. در راستای به‌کارگیری امواج فراصوت، کاهش زمان مورد نیاز برای این واکنش‌ها را می‌توان به تولید دمای بسیار بالا در مرز بین حباب در حال فروپاشی و توده محلول نسبت داد که منجر به تسریع هیدرولیز و افزایش تراکم مواد اولیه می‌شود. از نمونه‌های

جدول ۷- ظرفیت جذب نانو اکسیدهای فلزی ساپورت شده بر یون‌های فلزی

شماره	نانو اکسیدهای فلزی	بستر ساپورت کننده	آلاینده (ماده جذب شده)	ظرفیت جذب (mg/g)	منابع
۱	Iron oxide	لجن فاضلاب شهری تصفیه شده	Cd^{+2} و Pb^{+2}	۱۴/۷ و ۴۲/۴	(2009 Agouborde and Navia)
۲	Fe_3O_4	سیکلوتکستین	Cu^{+2}	۴۷/۲	(Badruddoza et al. 2011)
۳	Fe_2O_3	سپیولیت	Ni^{+2}	۱۸/۳	(Lazarević et al. 2010)
۴	Manganese oxide	دیاتومه	Cd^{+2} و Pb^{+2}	۸۶/۲۷ و ۹۹	(Khraisheh et al. 2004)
۵	ZnO	کربن فعال	Pb^{+2}	٪۱۰۰ جدایش	(Zhang D. 2011)
۶	Nano size calcium titanate	آلومینیوم اکسید	Cd^{+2} و Pb^{+2}	۱۲۴ و ۸/۵۸	(Lai et al. 2001)
۷	Goethite	ماسه	Cd^{+2} و Pb^{+2}	۷۰۴ و ۷۰۲	(Lai et al. 2001)

۴- جمع‌بندی و دورنگاهی به آینده

در این مقاله، گردآوری از فعالیت‌هایی که تا به اکنون در فناوری نانو بر تصفیه پساب صورت گرفته شده بود، انجام شد؛ که تمرکز بیشتر بر فرآیند جذب در حذف آلاینده‌ها بود. همچنین دو گروه اصلی آلاینده، یعنی فلزات سنگین و آلاینده‌ها آلی مورد بررسی قرار گرفت. نانو ساختارها محدوده بسیار وسیعی از ظرفیت جذب را در شرایط مختلف از خود نشان دادند در نتیجه دو تا از پارامترهای بسیار تأثیرگذار در بازدهی بالای آن‌ها یکی روش سنتز آسان و ارزان، دیگری قابلیت جمع‌آوری از محیط و بازیافت آن است. این دو پارامتر چنان پراهمیت هستند که با توجه به این نکته که حضور فناوری نانو انقلاب صنعتی جدیدی را در دنیا رقم زده پیش‌بینی می‌شود بیشترین تمرکز تحقیقات حوضه نانو و تصفیه پساب روی آن‌ها صورت می‌گیرد. که در این مطالعه نگاهی اهمیت شرایط بهره‌وری مورد توجه قرار گرفته که باید روش‌ها و تکنیک‌های بهره‌وری از جمله بازیافت نانوذرات مورد بررسی قرار گیرد تا به تصفیه مقرون به صرفه دست یابیم. از چالش‌های مهم دیگر، ترکیب این ذرات با بسترهای مکمل می‌باشد، که توسعه این روشی‌ها نیازمند مطالعه بیشتر در این زمینه است. این در حالی است که یکی از اهداف دیگر این

مطالعه هدایت این فرایند از شرایط تولید آزمایشگاهی به سمت کاربردهای صنعتی و تجاری‌سازی آن می‌باشد. که می‌توان در محیط‌های آلوده به فلزات سنگین، نانو ذرات را به کار برد. طبق مطالعات و بررسی‌های انجام شده در مورد نانو ذرات برای ایجاد شرایط بهینه و عملکرد مناسب باید یکسری پارامترها از جمله: روش سنتز مناسب، دمای بهینه، pH و دیگر فاکتورها که به تفصیل مورد بررسی قرار گیرد. در میان نانو اکسیدهای فلزی گفته شده نانو اکسیدهای آهن دارای مزیت فراوان و کاربرد وسیع در صنعت تصفیه می‌باشد. خاصیت تراکم‌پذیری سریع و حذف سریع فلزات سنگین از جمله مزایای آن است. در میان فرآورده‌های مهم آن ماگمیت و مگنتیت دارای مساحت سطح بیشتر و pH بهینه متناسب با شرایط محیط بوده که می‌توان به‌طور همزمان چند فلز را تحت تأثیر قرار دهند. آهن اکسید آبدار از دیگر فرآورده‌هاست که مشابه دو ترکیب قبلی است با این تفاوت که ظرفیت جذب بالا و نسبت به آن‌ها تأثیر بالاتری در جذب مس، کروم و نیکل دارد. همچنین نانولوله‌های کربنی از نانوذرات متحصربه فرد می‌باشند دارای مساحت سطح متفاوت بوده که نتیجه آن جذب بالاتر می‌باشد. نانو اکسیدهای ساپ. رت شده با بستر مکمل نیز از دیگر ترکیبات بالقوه و سازگار با

محیط زیست می‌باشد که به خاطر ساختار خاص خود مورد توجه بوده به طوری که در محیط‌های آلوده جذب بالا و قابلیت بازیافت دارد که به اسیدیته محیط نیز وابسته نمی‌باشد.

References

- Adschiri. T. (2007). Supercritical hydrothermal synthesis of organic–inorganic hybrid nanoparticles. *Chem. Lett.*, 36(10), 1188-1193.
- Afkhami A., Saber-Tehrani M. and Bagheri H. (2010). Simultaneous removal of heavy-metal ions in wastewater samples using nano-alumina modified with 2,4-dinitrophenylhydrazine. *J. Hazard. Mater.*, 181(1), 836-844.
- Agouborde L. and Navia R. (2009). Heavy metals retention capacity of a non-conventional sorbent developed from a mixture of industrial and agricultural wastes. *J. Hazard. Mater.*, 167(1), 536-544.
- Ajayan P. M. and Zhou O. Z. (2001). Applications of carbon nanotubes. *Carbon nanotubes*, Springer: 391-425.
- Ali I. and Aboul-Enein H. Y. (2005). Chiral pollutants: distribution, toxicity and analysis by chromatography and capillary electrophoresis, John Wiley & Sons.
- Ali I., Asim M. and Khan T. A. (2012). Low cost adsorbents for the removal of organic pollutants from wastewater. *J. Environ. Manag.*, 113, 170-183.
- Ali I., Khan T. A. and Asim M. (2011). Removal of arsenic from water by electrocoagulation and electro dialysis techniques. *Separ. Purif. Rev.*, 40(1), 25-42.
- Álvarez-Torrellas S., Rodríguez A., Ovejero G. and J. García (2016). Comparative adsorption performance of ibuprofen and tetracycline from aqueous solution by carbonaceous materials. *Chem. Eng. J.*, 283, 936-947.
- Anitha K., Namsani S. and Singh J. K. (2015). Removal of heavy metal ions using a functionalized single-walled carbon nanotube: a molecular dynamics study. *J. Phys. Chem. A*, 119(30), 8349-8358.
- Badruddoza A. Z. M., Tay A. S. H., Tan P. Y., Hidajat K. and Uddin M. S. (2011). Carboxymethyl- β -cyclodextrin conjugated magnetic nanoparticles as nano-adsorbents for removal of copper ions: synthesis and adsorption studies. *J. Hazard. Mater.*, 185(2), 1177-1186.
- Bazrafshan E., Mostafapour F. K., Hosseini A. R., Raksh Khorshid A. and Mahvi A. H. (2012). Decolorisation of reactive red 120 dye by using single-walled carbon nanotubes in aqueous solutions. *J. Chem.* Article ID 938374.
- Bonini M., Baglioni P. and D. Chelazzi (2013). Inorganic nanomaterials: synthesis and properties: In *Nanoscience for the conservation of works of art*: 315-344.
- Cao C. - Y., Cui Z.- M., Chen C.- Q., Song W.-G. and Cai W. (2010). Ceria hollow nanospheres produced by a template-free microwave-assisted hydrothermal method for heavy metal ion removal and catalysis. *J. Phys. Chem. C* 114(21), 9865-9870.
- Chen D.- H. and He X.- R. (2001). Synthesis of nickel ferrite nanoparticles by sol-gel method. *Mater. Res. Bull.*, 36(7), 1369-1377.
- Chen Y.- H. and Li F.- A. (2010). Kinetic study on removal of copper (II) using goethite and hematite nano-photocatalysts. *J. Colloid Interface Sci.*, 347(2), 277-281.
- Chilom G. and Rice J. A. (2013). Organic Pollutants in the Environment. *eMagRes.*, 587-596.
- Comini E. (2006). Metal oxide nano-crystals for gas sensing. *Anal. Chim. Acta*, 568(1), 28-40.
- Cushing B. L., Kolesnichenko V. L. and C. J. O'Connor (2004). Recent advances in the liquid-phase syntheses of inorganic nanoparticles. *Chem. Reviews*, 104(9), 3893-3946.

- Engates K. E. and Shipley H. J. (2011). Adsorption of Pb, Cd, Cu, Zn, and Ni to titanium dioxide nanoparticles: effect of particle size, solid concentration, and exhaustion. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 18(3), 386-395.
- Eriksson S., Nylén U., Rojas S. and Boutonnet M. (2004). Preparation of catalysts from microemulsions and their applications in heterogeneous catalysis. *Appl. Catal. A: General*, 265(2), 207-219.
- Gong, J. L., Wang, B., Zeng, G. M., Yang, C. P., Niu, C. G., Niu, Q. Y., Zhou W.J. and Liang, Y. (2009). Removal of cationic dyes from aqueous solution using magnetic multi-wall carbon nanotube nanocomposite as adsorbent. *J. Hazard. Mater.*, 164(2), 1517-1522.
- Grossl P. R., Sparks D. L. and Ainsworth C. C. (1994). Rapid kinetics of Cu (II) adsorption/desorption on goethite. *Environ. Sci. Technol.*, 28(8), 1422-1429.
- Helmer R., Hesperhol I., Supply W. and Council S. C. (1997). *Water pollution control: a guide to the use of water quality management principles*, E & FN Spon, London.
- Hu J., Chen G. and Lo I. M. C. (2006). Selective removal of heavy metals from industrial wastewater using maghemite nanoparticle: performance and mechanisms. *J. Environ. Eng.*, 132(7), 709-715.
- Khraisheh M. A. M., Al-degs Y. S. and McMinn W. A. M. (2004). Remediation of wastewater containing heavy metals using raw and modified diatomite. *Chem. Eng. J.*, 99(2), 177-184.
- Kong H., Gao C. and Yan D. (2004). Controlled functionalization of multiwalled carbon nanotubes by in situ atom transfer radical polymerization. *J. Am. Chem. Soci.*, 126(2), 412-413.
- Kramer R. M., Li C., Carter D. C., Stone M. O. and Naik R. R. (2004). Engineered protein cages for nanomaterial synthesis. *J. Am. Chem. Soci.*, 126(41), 13282-13286.
- Lai C.- H., Chen C.-Y., Wei B.-L. and Lee C.-W. (2001). Adsorptive characteristics of cadmium and lead on the goethite-coated sand surface. *J. Environ. Sci. Health, Part A* 36(5), 747-763.
- Lazarević S., Janković-Častvan I., Djokić V., Radovanovic Z., Janačković D. and Petrovic R. (2010). Iron-modified sepiolite for Ni²⁺ sorption from aqueous solution: an equilibrium, kinetic, and thermodynamic study. *J. Chem. Eng. Data*, 55(12), 5681-5689.
- Li Y.- H., Ding J., Luan Z., Di Z., Zhu Y., Xu C., Wu D. and Wei B. (2003). Competitive adsorption of Pb²⁺, Cu²⁺ and Cd²⁺ ions from aqueous solutions by multiwalled carbon nanotubes. *Carbon*, 41(14), 2787-2792.
- Li Y., Zhao J. and Han J. (2002). Self-propagating high temperature synthesis and magnetic properties of Ni₀. 35Zn₀. 65Fe₂O₄ powders. *Bull. Mater. Sci.*, 25(4): 263-266.
- Lin H. and Tiwari S. (2006). Localized charge trapping due to adsorption in nanotube field-effect transistor and its field-mediated transport. *Appl. Phys. Lett.*, 89(7), 073507.
- Lou J. C., Jung M. J., Yang H. W., Han J. Y. and Huang W. H. (2011). Removal of dissolved organic matter (DOM) from raw water by single-walled carbon nanotubes (SWCNTs). *J. Environ. Sci. Health, Part A*, 46(12), 1357-1365.
- Lu C. and Liu C. (2006). Removal of nickel (II) from aqueous solution by carbon nanotubes. *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 81(12), 1932-1940.
- Lu Y., Yin Y., Mayers B. T. and Xia Y. (2002). Modifying the surface properties of superparamagnetic iron oxide nanoparticles through a sol-gel approach. *Nano Lett.*, 2(3), 183-186.
- Ma J., Yu F., Zhou L., Jin L., Yang M., Luan J., Tang Y., Fan H., Yuan Z. and Chen J. (2012). Enhanced adsorptive removal of methyl orange and methylene blue from aqueous solution by alkali-activated multiwalled carbon nanotubes. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 4(11), 5749-5760.
- Ma J., Zhuang Y. and Yu F. (2015). Facile method for the synthesis of a magnetic CNTs-C@Fe-chitosan composite and its application in tetracycline removal from aqueous solutions. *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 17(24), 15936-15944.

- Ma X., Wang Y., Gao M., Xu H., and Li G. (2010). A novel strategy to prepare ZnO/PbS heterostructured functional nanocomposite utilizing the surface adsorption property of ZnO nanosheets. *Catal. Today*, 158(3), 459-463.
- Meagher R. B. (2000). Phytoremediation of toxic elemental and organic pollutants. *Current Opinion Plant Bio.*, 3(2), 153-162.
- Aghaie M., Gharbani P., Dastmalchi S., Monajjemi M. and Zare K. (2012). Comparison of 4-chloro-2-nitrophenol adsorption on single-walled and multi-walled carbon nanotubes. *Iranian J. Environ. Health Sci. Eng.* 9(1): 1.
- Mihoc G., Ianoş R. and Păcurariu C. (2014). Adsorption of phenol and p-chlorophenol from aqueous solutions by magnetic nanopowder. *Water Sci. Technol.*, 69(2), 385-391.
- Moradi O. (2013). Adsorption behavior of basic red 46 by single-walled carbon nanotubes surfaces. *Fullerenes, Nanotubes Carbon Nanostruct.*, 21(4), 286-301.
- Ncibi M. C. and Sillanpää M. (2015). Optimized removal of antibiotic drugs from aqueous solutions using single, double and multi-walled carbon nanotubes. *J. Hazard. Mater.*, 298, 102-110.
- Nemerow N. L. and Dasgupta A. (1991). *Industrial and hazardous waste treatment*. New York.
- Odom T. W., Huang J. L. and Lieber C. M. (2002). Single-Walled Carbon Nanotubes. *Annal. New York Academy Sci.*, 960(1), 203-215.
- Patterson J. W. (1985). *Industrial wastewater treatment technology*. 2nd Edition, Butterworth Publishers, Stoneham.
- Peng J., Hojamberdiev M., Xu Y., Cao B., Wang J. and Wu H. (2011). Hydrothermal synthesis and magnetic properties of gadolinium-doped CoFe₂O₄ nanoparticles. *J. Magnet. Magnetic Mater.*, 323(1), 133-137.
- Petcharoen K. and Sirivat A. (2012). Synthesis and characterization of magnetite nanoparticles via the chemical co-precipitation method. *Mater. Sci. Eng. B*, 177(5), 421-427.
- Poizot P., Laruelle S., Grugeon S., Dupont L. and Tarascon J. M. (2000). Nano-sized transition-metal oxides as negative-electrode materials for lithium-ion batteries. *Nature* 407(6803), 496-499.
- Qadri S., Ganoie A. and Haik Y. (2009). Removal and recovery of acridine orange from solutions by use of magnetic nanoparticles. *J. Hazard. Mater.*, 169(1), 318-323.
- Rao C. N. R., Müller A. and Cheetham A. K. (2006). *The chemistry of nanomaterials: synthesis, properties and applications*, John Wiley & Sons.
- Ring T. A. (1996). *Fundamentals of ceramic powder processing and synthesis*. Academic Press. San Diego, California.
- Salavati - Niasari M. and Davar F. (2009). Synthesis of copper and copper (I) oxide nanoparticles by thermal decomposition of a new precursor. *Mater. Lett.*, 63(3), 441-443.
- Saleh T. A. and Gupta V. K. (2012). Column with CNT/magnesium oxide composite for lead (II) removal from water. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 19(4), 1224-1228.
- Satheesh R., Vignesh K., Rajarajan M., Suganthi A., Sreekantan S., Kang M. and Kwak B. S. (2016). Removal of congo red from water using quercetin modified α -Fe₂O₃ nanoparticles as effective nanoadsorbent. *Mater. Chem. Phys.* 180(1), 53-65.
- Saud P. S., Pant B., Park M., Chae S.-H., Park S.-J., Mohamed E. I. N., Al-Deyab S. S. and Kim H.-Y. (2015). Preparation and photocatalytic activity of fly ash incorporated TiO₂ nanofibers for effective removal of organic pollutants. *Ceramic.Int.*, 41(1), 1771-1777.
- Savage N. and Diallo M. S. (2005). Nanomaterials and water purification: opportunities and challenges. *J. Nanoparticle Res.*, 7(4-5), 331-342.
- Schofield E. J., Sarangi R., Mehta A., Jones A. M., Mosselms F. J. W. and Chadwick A. V. (2011). Nanoparticle de-acidification of the Mary Rose. *Mater. Today*, 14(7), 354-358.
- Schönenberger C. and Forró L. (2000). Multiwall carbon nanotubes. *Phys. World*, 13(6), 37-45.

- Shariati-Rad M., Irandoust M., Amri S., Feyzi M. and Ja'fari F. (2014). Magnetic solid phase adsorption, preconcentration and determination of methyl orange in water samples using silica coated magnetic nanoparticles and central composite design. *Int. Nano Lett.*, 4(4), 91-101.
- Sharma R. K., Oh H.-S., Shul Y.-G. and Kim H. (2007). Carbon-supported, nano-structured, manganese oxide composite electrode for electrochemical supercapacitor. *J. Power Sour.*, 173(2), 1024-1028.
- Shawky H. A., Chae S.-R., Lin S. and Wiesner M. R. (2011). Synthesis and characterization of a carbon nanotube/polymer nanocomposite membrane for water treatment. *Desal.*, 272(1), 46-50.
- Sonune A. and Ghate R. (2004). Developments in wastewater treatment methods. *Desal.*, 167, 55-63.
- Stafiej A. and Pyrzynska K. (2008). Solid phase extraction of metal ions using carbon nanotubes. *Microchem. J.*, 89(1), 29-33.
- Wang F., Wu Y.-H., H. Yang, Y. Tanida and A. Kamei (2015). Preliminary investigation of the 20 August 2014 debris flows triggered by a severe rainstorm in Hiroshima City, Japan. *Geoenviron. Disasters*, 2(1), 1-16.
- Wang, S., C.W. Ng, W. Wang, Q. Li and Z. Hao (2012). Synergistic and competitive adsorption of organic dyes on multiwalled carbon nanotubes. *Chem. Eng. J.*, 197, 34-40.
- Yang Q., G. Chen, J. Zhang and H. Li (2015). Adsorption of sulfamethazine by multi-walled carbon nanotubes: effects of aqueous solution chemistry. *RSC Adv.*, 32(5), 25541-25549.
- Yang W., Huang C., Liu Q. (2012). Development of an Automatic Control System for Pot-Grown Rice Inspection Based on Programmable Logic Controller. In: Li D., Chen Y. (eds) *Computer and Computing Technologies in Agriculture V. CCTA 2011. IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 370. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Yu F., Wu Y., Li X. and Ma J. (2012). Kinetic and thermodynamic studies of toluene, ethylbenzene, and m-xylene adsorption from aqueous solutions onto KOH-activated multiwalled carbon nanotubes. *J. Agri. Food Chem.*, 60(50), 12245-12253.
- Zhang D. (2011). Preparation and characterization of nanometer calcium titanate immobilized on aluminum oxide and its adsorption capacity for heavy metal ions in water. *Trans. Tech. Publ.*
- Zhang L., Song X. Liu X. Yang L. Pan F. and Lv J. (2011). Studies on the removal of tetracycline by multi-walled carbon nanotubes. *Chem. Eng. J.*, 178, 26-33.
- Zhang L., Xu T., Liu X., Zhang Y. and Jin H. (2011). Adsorption behavior of multi-walled carbon nanotubes for the removal of olaquinox from aqueous solutions. *J. Hazard. Mater.*, 197, 389-396.
- Zhao D., Zhang W., Chen C. and Wang X. (2013). Adsorption of methyl orange dye onto multiwalled carbon nanotubes. *Proc. Environ. Sci.*, 18, 890-895.
- Zhong, L. S., Hu J. S., Liang H. P., Cao A. M., Song W. G. and Wan L. J. (2006). Self-Assembled 3D flowerlike iron oxide nanostructures and their application in water treatment. *Adv. Mater.*, 18(18), 2426-2431.
- Zhu H. Y., Jiang R., Fu Y. Q., Jiang J. H., Xiao L. and Zeng G. M. (2011). Preparation, characterization and dye adsorption properties of $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2/\text{chitosan}$ composite. *Appl. Surf. Sci.*, 258(4), 1337-1344.
- Zhu H. Y., Jiang R., Xiao L. and Zeng G. M. (2010). Preparation, characterization, adsorption kinetics and thermodynamics of novel magnetic chitosan enwrapping nanosized $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ and multi-walled carbon nanotubes with enhanced adsorption properties for methyl orange. *Bioresour. Technol.*, 101(14), 5063-5069.
- Zhuo C., Alves J. O., Tenorio J. A. S. and Levendis Y. A. (2012). Synthesis of carbon nanomaterials through up-cycling agricultural and municipal solid wastes. *Indust. Eng. Chem. Res.* 51(7), 2922-2930.

New technologies in the synthesis of nano-structures used in wastewater treatment- A review

Negin Sarmadi¹, Mahdi Gharabaghi^{2*} and Soheila Aslani²

¹M.Sc., Department of Mining Engineering, Faculty of Mining Engineering, Tehran University, Tehran, Iran

²Assist. Professor, Department of Mining Engineering, Faculty of Mining Engineering, Tehran University, Tehran, Iran

*Corresponding author: mahdigharabaghi@yahoo.com

Review Paper

Received: January 29, 2017

Accepted: August 20, 2017

Abstract

Nanotechnology is the engineering of functional systems on a molecular scale, which refers to the projected ability to construct materials, tools, and new systems via controlling individual atoms and molecules through the characteristics of particles of matter at the nano-meter scale. One of the main environmental applications of nanotechnology is in the wastewater treatment processes. Mining activities can lead to serious problems such as acidic waste production, heavy metals pollution, cyanide spills, and the pollution by organic pollutants. There are several techniques to eliminate the above pollutants from the wastewater including precipitation, ion exchange, membrane filtration technology, electrochemical methods, and the absorption process. Currently, absorption process is one of the most effective and economic techniques for wastewater treatment. Carbon nanotubes (CNT) and Nano metal oxides are flexible and reusable nanoscale structures, which make them more advantageous over the other nanostructures. Moreover, they have more applications due to their higher surface area in comparison with other particles. This review explains the application of these nanostructures in wastewater treatment.

Keywords: Nanotechnology; Wastewater; Adsorption; Carbon Nano Tubes; Nano Metal Oxide.