



بررسی اثر افزودن نانوکامپوزیت گرافن / اکسید آهن بر روی قدرت جذب نانو الیاف پلی‌اکریلونیتریل در حذف یون کادمیوم از محلول‌های آبی

جعفریان، آیناز*^(۱) - سجادی، سوده السادات^(۲) - احمدی، سید جواد^(۲) - قریب، احمد^(۱)

دانشگاه امیرکبیر، دانشکده فیزیک و مهندسی انرژی، گروه چرخه سوخت

سازمان انرژی اتمی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشگاه مواد و چرخه سوخت هسته‌ای

چکیده:

در این تحقیق نانو الیاف پلی‌اکریلونیتریل به روش الکتروریسی تهیه شد و به عنوان جاذب برای حذف یون‌های کادمیوم از محلول‌های آبی بکار رفت. سپس به منظور بهبود قدرت جذب این جاذب، گرافن و کامپوزیت گرافن/نانو ذرات اکسید آهن به نانو الیاف پلی‌اکریلونیتریل اضافه شد و تاثیر آنها بر روی قدرت جذب یون‌های کادمیوم در محلول‌های آبی بررسی شد.

کلمات کلیدی: یون کادمیوم، نانو الیاف پلی‌اکریلونیتریل، نانو ذرات آهن، گرافن اکساید

مقدمه :

از نکات ایمنی در طراحی راکتورها می‌توان به میله‌های کنترلی اشاره کرد. جنس این میله‌ها از عناصری است که قابلیت جذب نوترون بالا و در عین حال شکافت کمی دارند. میله‌های کادمیوم-اینیدیوم-نقره حاوی ۵٪ کادمیوم هستند که در راکتورهای PWR و همچنین BR2 استفاده می‌شود [۱]. کادمیوم به عنوان جاذب نوترون در میله‌های کنترل استفاده می‌شود. در اثر جذب نوترون، کادمیوم (۱۱۳) به وجود می‌آید. در طول عملیات نیروگاه هسته‌ای، عناصر موجود در ساختمان مدارهای اولیه، در خنک کننده آزاد می‌شود. نیمه عمر کادمیوم (۱۱۳)، ۱۴ سال می‌باشد. به همین دلیل در هنگام دفع پسمان‌ها و انهدام تاسیسات هسته‌ای باید به این نوکلید توجه شود.

روش‌های بسیاری از قبیل استخراج با حلال، جداسازی با غشا، عملیات تصفیه‌ی الکتروشیمیایی، روش‌های تبادل یون و جذب برای حذف فلزات سنگین از محلول‌های آبی به کار می‌روند. در میان روش‌های ذکر شده جذب سطحی به صورت تبادل یون به دلیل اقتصادی بودن، انعطاف پذیری و قابل بازیابی بودن جاذب، بیش‌تر مورد توجه واقع شده است [۲].



اخیرا تلاش‌هایی صورت گرفته تا از مواد جدید مانند نانو ساختارها به عنوان جاذب در فرایند جذب سطحی استفاده شود. چرا که با کاهش اندازه مواد در حد نانو برخی از خواص فیزیکی تغییر می‌یابد که همین امر موجب بهبود عملکرد آن‌ها می‌شود. به عنوان مثال از نانوفیبرهای اصلاح شده به عنوان جاذب استفاده کرده‌اند [۳].

گرافن به عنوان یک جاذب برای جداسازی و جذب فلزات سنگین استفاده می‌شود و به دلیل خواص فوق‌العاده‌اش توانسته جایگزین خوبی در پرکننده‌های صنعتی به جای نانو لوله‌های کربنی برای ساخت نانو الیاف باشد [۴].

در این مطالعه به منظور سنتز جاذبی کارآمد برای حذف فلزات سنگین ابتدا نانو الیاف پلی‌اکریلونیتریل (PAN) به روش الکتروسیسی ساخته و سپس به تاثیر افزایش گرافن و کامپوزیت گرافن/نانو ذرات اکسید آهن به نانو الیاف بررسی شد.

روش کار:

سنتز گرافن اکساید

۱ گرم گرافیت با ۱۲۰ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک و ۱۳ میلی‌لیتر اسیدفسفریک در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد مخلوط گردید. سپس در بازه زمانی ۳۰ دقیقه‌ای، در حالی که مخلوط همچنان در دمای ۵۰ درجه در حال هم‌خوردن است به آن پتاسیم پرمنگنات به صورت تدریجی اضافه شد. پس از ریختن تدریجی پودر پتاسیم پرمنگنات، مخلوط به مدت ۲۴ ساعت در این دما همزده شد. بعد از ۲۴ ساعت مخلوط را به مدت ۱ ساعت در حمام یخ گذاشته و سپس ۲۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آهستگی طی نیم ساعت به مخلوط اضافه شد. نهایتاً ۲ میلی‌لیتر آب اکسیژنه به مخلوط اضافه کرده تا رنگ محلول روشن گردد. سپس مخلوط ۲ مرتبه با اسیدکلریدریک ۵٪ و ۵ مرتبه با آب مقطر شستشو و در دمای ۶۰ درجه خشک گردید.

سنتز نانو ذره آهن

نانو ذرات مغناطیسی با استفاده از روش هم‌رسوبی شیمیایی تهیه شدند. ابتدا ۴٫۴۴ gr $FeCl_3$ با ۱٫۷۳۲ $FeCl_2$ با یکدیگر مخلوط شده و در ۸۰ میلی‌لیتر آب حل شد. سپس محلول تحت گاز نیتروژن در حمام ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه همزده شد. تحت این شرایط ۲۰ میلی‌لیتر آمونیاک اضافه کرده، بلافاصله رسوب سیاه رنگی در انتهای ظرف تشکیل شده که نشان دهنده تشکیل نانو ذرات مغناطیسی آهن است. پس از ۳۰ دقیقه همزدن متوالی به آن ۴ میلی‌لیتر محلول سیتریک اسید (۵gr/ml) اضافه کرده، دما را



به آرامی افزایش داده تا به ۹۰ درجه سانتی‌گراد برسد. بعد از یک ساعت همزدن متوالی جهت خارج نمودن نانوذرات از محیط واکنش با استفاده از یک آهنربای قوی، نانوذرات آهن در انتهای ظرف واکنش جمع شده و رسوب حاصل سه مرتبه با آب مقطر شستشو داده شد.

سنتز نانو فیبر پلی‌اکریلونیتریل

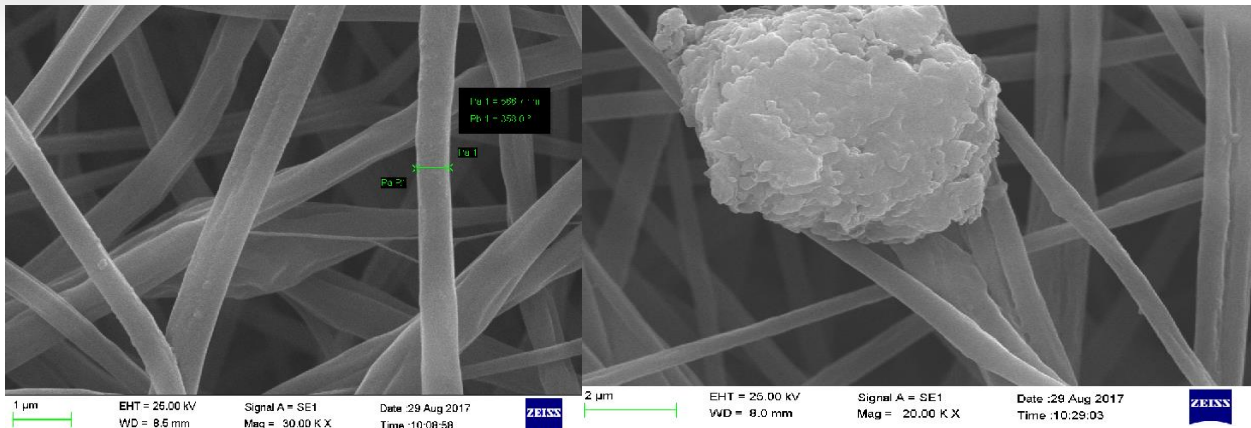
محلول پلیمری همگن با اضافه کردن ۱ گرم پلی‌اکریلونیتریل به ۱۰ میلی‌لیتر دی‌متیل‌فرمامید (DMF) و قرار دادن آن‌ها بر روی همزن مغناطیسی به مدت ۲ ساعت در دمای محیط تهیه شد. سپس الیاف در دمای محیط به روش الکترورسی سنتز شد. پارامترهای دستگاه به قرار زیر می‌باشد: ولتاژ ۱۸ kv، نرخ تغذیه ۱ ml/h، فاصله بین نازل و جمع‌کننده: ۱۵ cm، سرعت چرخش جمع‌کننده: ۱۷۰۰ rpm.

سنتز نانو الیاف حاوی گرافن و نانو کامپوزیت گرافن اکساید/نانو ذره آهن

برای سنتز الیاف PAN حاوی گرافن، ۰,۰۳ گرم گرافن اکساید در ۱۰ میلی‌لیتر DMF حل شد، سپس ۱ گرم پودر PAN به محلول فوق اضافه و به مدت ۲ ساعت روی همزن مغناطیسی قرار گرفت. بعد از پراکندگی کامل پودر در محلول، الیاف حاوی گرافن اکساید به روش الکترورسی ساخته شد. همچنین برای سنتز نانوالیاف نانوکامپوزیت گرافن اکساید/نانو ذره آهن (GO/Fe₃O₄)، ۰,۰۳ گرم گرافن اکساید و ۰,۰۳ گرم نانو ذره اکسید آهن در ۱۰ میلی‌لیتر DMF حل شد، سپس ۱ گرم پودر PAN به محلول فوق اضافه و به مدت ۲ ساعت روی همزن مکانیکی قرار گرفت. الیاف حاوی GO/Fe₃O₄ به روش الکترورسی تهیه شد.

نتایج

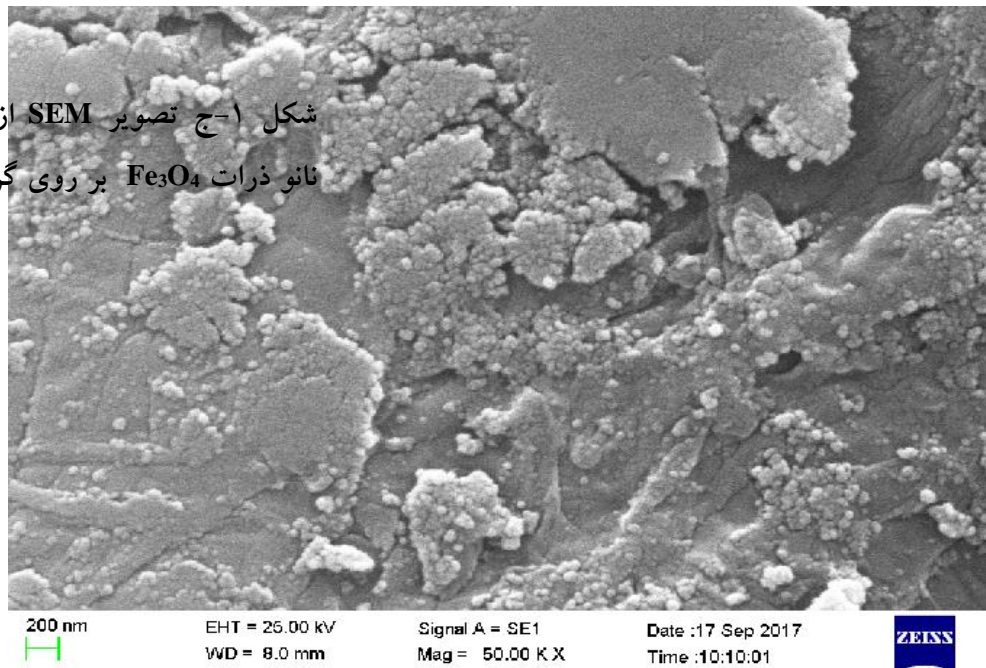
نتایج آنالیز SEM (شکل ۱-ج) نشان دهنده تشکیل نانو ذرات کروی آهن، با اندازه تقریبی ۳۰ nm بر روی سطح گرافن است. در شکل ۱-ب مورفولوژی الیاف سنتز شده نشان داده شده است و در شکل ۱-الف گرافن قرار گرفته شده بر روی سطح نانو الیاف توسط آنالیز SEM مشخص شده است.



شکل ۱-ب تصویر SEM از نانو الیاف
PAN

شکل ۱-الف تصویر SEM از نانو الیاف GO/PAN

شکل ۱-ج تصویر SEM از قرار گرفتن
نانو ذرات Fe_3O_4 بر روی گرافن



ظرفیت جذب (Q) برای عنصر Cd(II) در محیط آبی و به روش ناپیوسته تعیین شد. طبق این روش، ۰/۰۳۷ گرم از جاذب را پس از توزین به ظروف پلی اتیلنی منتقل کرده و به آن ۱۰ میلی لیتر محلول با غلظت ۵۳ ppm عنصر مورد جذب را اضافه می‌کنیم و به مدت ۹۰ دقیقه درون شیکر در دمای $25^{\circ}C$ و با سرعت ۱۷۰ rpm قرار می‌دهیم تا به هم زده شود. پس از جداسازی جاذب، غلظت یون فلزی درون محلول با دستگاه اسپترومتر نشری پلاسمای جفت شده القائی (ICP) اندازه‌گیری شد. Q از معادله ۱ محاسبه می‌شود:



$$Q = [C_i - C_f] \frac{V}{M} \quad (1)$$

C_i : غلظت اولیه گونه مورد جذب در فاز محلول
 C_f : غلظت گونه مورد جذب بعد از تعادل در فاز محلول
 V : حجم محلول بر حسب میلی لیتر
 M : جرم جاذب بر حسب گرم

به منظور نشان دادن تاثیر افزودن نانو کامپوزیت GO/Fe_3O_4 به نانو الیاف PAN، در بهبود عملکرد جذبی، مقایسه‌ای بین نانو الیاف PAN، نانو الیاف GO/PAN و نانو الیاف PAN/GO/Fe₃O₄ صورت گرفت. جذب یون‌های کادمیوم از محلول آبی برای این سه جاذب در جدول ۱ نشان داده شده است. همانطور که از نتایج مشخص است کارایی جاذب نانو الیاف نانو کامپوزیت PAN/GO/Fe₃O₄ سنتز شده از دو جاذب دیگر بالاتر است.

جدول ۱- مقایسه‌ی عملکرد جاذب‌های مختلف در جذب یون‌های کادمیوم

نوع جاذب	Q(mg/g)
نانو الیاف PAN	۲۵,۱۷
نانو الیاف PAN/GO	۳۵
نانو الیاف PAN/GO/Fe ₃ O ₄	۵۰,۱۷

بحث و نتیجه گیری

از نتایج به دست آمده می‌توان نتیجه گرفت، که افزودن گرافن و نانو ذرات اکسید آهن هر دو می‌تواند در بهبود عملکرد جذبی نانو الیاف پلی‌آکریلونیتریل در حذف یون‌های کادمیوم موثر باشند. همچنین افزایش نانو کامپوزیت گرافن/نانو ذرات اکسید آهن تاثیر بیشتری نسبت به افزایش گرافن و نانو ذرات اکسید آهن به تنهایی دارد.



منابع

- [1] R. Dubourg, H. Austregesilo, C. Bals, M. Barrachin, J. Birchley, T. Haste, J. S. Lamy, T. Lind, B. Maliverney, C. Marchetto, A. Pinter, M. Steinbrück, J. Stuckert, K. Trambauer, A. Vimi, Understanding the behavior of absorber elements in silver–indium–cadmium control rods during PWR severe accident sequences. *Prog. Nucl. Energy.* 52(1), 97, 2010.
- [2] M. Metaxasa, V. Kasselouri-Rigopoulou, P. Galiatsatou, C. Konstantopoulou, D. Oikonomou, Thorium removal by different adsorbents. *J. Hazard. Mater.* 97(1), 71, 2003.
- [3] X. Wang, Y. Guo, L. Yang, M. Han, J. Zhao, X. Cheng, Nanomaterials as sorbents to remove heavy metal ions in wastewater treatment. *J. Environ. Anal. Toxicol.* 2(7), 1, 2012.
- [4] C. N. Nupearachchi, K. Mahatantila, M. Vithanage, Application of graphene for decontamination of water; Implications for sorptive removal. *Groundwater for Sustainable Development* 5, 206, 2017.