

جداسازی جیوه از محیط آبی با استفاده از کامپوزیت پلی آنیلین و پلی وینیل الکل

مجید ریاحی سامانی^{*۱}

چکیده

در این پژوهش کامپوزیت پلی آنیلین و پلی وینیل الکل برای جداسازی جیوه از محیط‌های آبی استفاده شده است. آزمایش‌ها به صورت راکتور ناپیوسته انجام شده‌اند و پارامترهایی چون زمان تماس کامپوزیت با محیط آبی، pH محلول و غلظت کامپوزیت بررسی شده‌اند. نتایج این پژوهش نشان از آن است که پلی آنیلین و کامپوزیت‌های آن با پلی وینیل الکل عملکرد مطلوبی در حذف جیوه داشته و درصد حذف جیوه توسط پلی آنیلین و کامپوزیت‌های آن بالاتر از کربن فعال است. همچنین نتایج این پژوهش نشان می‌دهد پلی وینیل الکل توانسته است به‌عنوان یک ماده افزودنی و سورفاکتانت بر راندمان عملکرد پلی آنیلین سنتز شده تأثیر مثبت گذاشته و ظرفیت حذف جیوه را در پلی آنیلین بالاتر ببرد. مقدار مصرف پلی وینیل الکل در سنتز کامپوزیت بسیار مهم بوده و غلظت بهینه حذف جیوه در دوز ۲ گرم بر لیتر پلی وینیل الکل با راندمان ۹۶ درصد حذف جیوه به دست آمد. بررسی پارامترهای مختلف جذب سطحی جیوه برای کامپوزیت پلی آنیلین و پلی وینیل الکل بیانگر آن است که بهترین pH برای جذب جیوه در محدوده ۵ تا ۶ و زمان تماس بهینه برابر ۲۰ دقیقه است. با مصرف ۲۰ گرم بر لیتر از این کامپوزیت در pH و زمان تماس بهینه می‌توان تا ۹۹/۹ درصد جیوه را از محلول ۳۵ میلی‌گرم بر لیتر جدا کرد.

واژه‌های کلیدی: پلی آنیلین، پلی وینیل الکل، جیوه، جذب سطحی، کامپوزیت.

ارجاع: ریاحی سامانی م. ۱۳۹۴. جداسازی جیوه از محیط آبی با استفاده از کامپوزیت پلی آنیلین و پلی وینیل الکل. مجله پژوهش آب ایران. ۱۹: ۴۱-۴۷.

۱- استادیار گروه مهندسی عمران- عمران، دانشکده مهندسی مکانیک و عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر.

* نویسنده مسئول: riahysamani@iaukhsh.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۰۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۱/۲۸

مقدمه

به‌دلیل سمیت جیوه، روش‌های مختلفی برای حذف یون جیوه از محیط‌های آبی بررسی شده که در این میان روش جذب سطحی بیشتر بررسی شده است (شیارل و راتو، ۲۰۰۰). از جاذب‌های جدیدی که امروزه در حذف جیوه از آب و فاضلاب مورد استفاده قرار گرفته‌اند می‌توان به کربن فعال تهیه شده از زائدات کشاورزی (کادیرولو و همکاران، ۲۰۰۱)، خاکستر فرار (ریو و دلبر، ۲۰۰۳)، جاذب‌های کربنی جدید (شافی و همکاران، ۲۰۰۲)، کربن فعال اصلاح شده (مصطفی و همکاران، ۱۹۹۷) و جاذب‌های صنعتی جدید اشاره کرد (شیارل و راتو، ۲۰۰۰). یکی از جاذب‌های جدیدی که امروزه به آن توجه می‌شود پلی‌آنیلین و کامپوزیت‌های آن است (گوپتا و همکاران، ۲۰۰۳).

پلی‌آنیلین یکی از مهم‌ترین پلیمرهای رسانا است. این پلیمر به‌دلیل سنتز ساده و ارزان و پایداری در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته و برای مصارف مختلف از قبیل استفاده در باتری‌ها قابل شارژ و خازن (مک دیارمید و همکاران، ۱۹۸۷) و ونگ و همکاران، ۲۰۰۵)، سنسورهای شیمیایی و الکتروشیمیایی (میرمحسنی و اولادگاراگور، ۲۰۰۲) و رام و همکاران، ۲۰۰۵)، تهیه غشا برای جداسازی گازهای مخلوط (کواباتا و کارتین، ۱۹۹۴)، محافظت در مقابل خوردگی (وسلینگ، ۱۹۹۴) و پوشش روی اجسام از قبیل سیلیکا با عنوان پوشش‌های ضدبار ساکن (اسچوچ و همکاران، ۱۹۹۵) استفاده شده است. یکی از رویکردهای جدید به این پلیمر در چند سال اخیر، استفاده از آن برای حذف فلزات سنگین از آب و فاضلاب است. پژوهش‌های جدید می‌گوید که پلیمرهای رسانا مانند پلی‌آنیلین به‌دلیل ساختار شیمیایی خاصی که دارند تحت شرایط خاصی می‌توانند به نحو مؤثری در جذب و یا حذف برخی از فلزات سنگین از محلول‌ها به کار روند که در این میان به استفاده از پلی‌آنیلین برای جداسازی جیوه آلی از آب (کریشنا و همکاران، ۲۰۰۵)، استفاده از کامپوزیت پلی‌آنیلین و خاک اره برای جداسازی جیوه از محیط آبی (انصاری و همکاران، ۲۰۰۶)، استفاده از فیلم پلی‌آنیلین برای احیاء کروم در آب (اولاد و نبوی، ۲۰۰۷)، کومار و همکاران، ۲۰۰۸) و راوتولو و گاپالین، ۲۰۰۶)، جذب کروم با انواع پلی‌آنیلین (ریاحی و همکاران، ۱۳۸۹) اشاره کرد.

برای سنتز پلی‌آنیلین می‌توان از ماده‌های اکسندة مختلف مانند پتاسیم یدات و آمونیوم پر سولفات در حلال‌های آبی و غیرآبی در مجاورت اسیدهای مختلفی مانند اسید سولفوریک استفاده کرد (ویلسینک و همکاران، ۱۹۸۸؛ استجکال، ۱۹۸۶ و ایاد و همکاران، ۲۰۰۳). پژوهش‌های انجام شده بیانگر آن است که سنتز پلی‌آنیلین در کنار برخی دیگر از پلیمرها مانند پلی‌وینیل الکل بر مورفولوژی و خواص سطحی کامپوزیت سنتز شده اثر به‌سزایی دارد (کوا، ۱۹۸۹ و نیشو، ۱۹۹۵). پس به نظر می‌رسد ورود برخی پلیمرها مانند پلی‌وینیل الکل در ساختار پلی‌آنیلین بر قابلیت جذب جیوه با پلی‌آنیلین به‌دلیل تغییر خواص الکتروشیمیایی آن اثرگذار خواهد بود. در این پژوهش عملکرد کامپوزیت پلی‌آنیلین و پلی‌وینیل الکل در جداسازی جیوه از محیط آبی بررسی شده است. در گام اول مقدار پلی‌وینیل الکل مصرفی بهینه شد سپس برای کامپوزیت سنتز شده در شرایط بهینه پارامترهای مختلف جذب سطحی بررسی شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش همه مواد شیمیایی به کار برده شده به‌دلیل داشتن خلوص زیاد (درجه خلوص) بدون خالص‌سازی بیشتر مصرف شدند، به جز مونومر آنیلین که قبل از استفاده تقطیر و در یخچال نگهداری شد. مونومر آنیلین، سولفوریک اسید، پتاسیم یدات، پلی‌وینیل الکل همگی از نوع آزمایشگاهی و از شرکت مرک تهیه شدند. همچنین در تمامی آزمایش‌ها از آب مقطر بدون یون استفاده شد.

برای انجام آزمایش‌ها از ترازوی تجزیه‌ای مدل FR۲۰۰، دستگاه جذب اتمی از شرکت واریان مدل Spectra AA و میکروسکوپ الکترون روبشی (Scanning Electron Microscope) مدل LEO 440i استفاده شده است.

برای سنتز کامپوزیت پلی‌آنیلین و پلی‌وینیل الکل، ابتدا ۱/۶ گرم یدات پتاسیم در ۲۰۰cc اسید سولفوریک یک مولار با استفاده از همزن مغناطیسی حل کرده تا محلول یکنواخت و همگنی به دست آید. سپس ۰/۲ گرم پلی‌وینیل الکل به محلول افزوده و حدود ۱۵ الی ۲۰ دقیقه هم زده می‌شود تا به طور کامل حل شود و سپس ۲cc مونومر آنیلین خالص به محلول تزریق کرده و حدود ۵ ساعت با همزن مغناطیسی در دمای محیط هم‌زده

نشان می‌دهد. براساس نتایج جدول ۱ پلی‌آنیلین و کامپوزیت‌های سنتز شده آن در مجاورت پلی‌وینیل الکل عملکرد مطلوبی در حذف جیوه داشته و درصد حذف جیوه با پلی‌آنیلین و بیشتر کامپوزیت‌های آن بالاتر از کربن فعال می‌باشد. دلیل جذب جیوه با پلی‌آنیلین و کامپوزیت‌های آن وجود سایت‌های نیتروژن (-NH) در پلی‌آنیلین است. این نیتروژن به دلیل داشتن الکترون در مدار s^2p^3 می‌تواند با بار مثبت جیوه (Hg^{2+}) پیوندهای ضعیف برقرار کرده و آن‌ها را جذب کند (کومار و همکاران، ۲۰۰۸). نتایج این جدول نشان می‌دهد پلی‌وینیل الکل توانسته است به‌عنوان یک ماده افزودنی بر راندمان عملکرد پلی‌آنیلین سنتز شده تأثیر مثبت گذاشته و ظرفیت حذف جیوه را در پلی‌آنیلین بالاتر ببرد. پلی‌وینیل الکل سورفاکتنت بوده و در هنگام فرآیند پلیمریزاسیون به کمک پیوندهای هیدروژنی جذب ذره پلیمر در حال رشد می‌شود و بر شکل و مورفولوژی و یکنواختی و سطح جانبی و اندازه و خواص سطحی پلی‌آنیلین اثر می‌گذارد. برای تعیین تأثیر غلظت پلی‌وینیل الکل، مقادیر مختلف این مواد به‌عنوان ماده افزودنی در غلظت‌های ۱۰-۱ گرم بر لیتر در سنتز پلی‌آنیلین بررسی شده است. براساس نتایج جدول ۱ غلظت بهینه حذف جیوه در مقدار ۲ گرم بر لیتر پلی‌وینیل الکل با ۹۶ درصد حذف به دست آمد.

شکل‌های ۱ و ۲ عکس‌های SEM تهیه شده از پلی‌آنیلین و کامپوزیت پلی‌آنیلین و پلی‌وینیل الکل در غلظت ۲ گرم بر لیتر را نشان می‌دهد. این تصویرها بیان می‌دارد حضور پلی‌وینیل الکل بر شکل و مورفولوژی کامپوزیت حاصل تأثیر گذاشته و توانسته سطح مخصوص پلیمر حاصل را بیشتر کند و این به طور کامل با مقایسه شکل ۱ و ۲ مشهود است. در شکل ۱ سطح پلی‌آنیلین به طور تقریبی بدون خلل و فرج است و منافذ و مجاری داخلی خیلی کمی دیده می‌شود پس سایت‌های جذبی کمتری به ازای واحد جرم جاذب وجود خواهد داشت. در شکل ۲ سطح کامپوزیت پلی‌آنیلین و پلی‌وینیل الکل به نسبت ناهموار است و منافذ و مجاری داخلی نسبتاً بیشتری دیده می‌شود که امکان انتقال جیوه در این مجاری و نشست بر سایت‌های جذب افزایش یافته و سایت‌های جذبی بیشتر می‌شود.

می‌شود. چند دقیقه پس از تزریق مونومر، محلول سبز رنگ می‌شود و با گذشت زمان رنگ محلول، تیره‌تر می‌شود که نشانه پیشرفت واکنش پلیمریزاسیون و تشکیل کامپوزیت پلی‌آنیلین و پلی‌وینیل الکل است. پس از ۵ ساعت واکنش، کامپوزیت تشکیل شده، با سانتریفوژ از محلول جدا شده و برای از بین بردن الیگومرها و ناخالصی‌های موجود در پلیمر، پلیمر حاصل با آب مقطر و استون چندین بار شسته شده و در آن با دمای $50^{\circ}C$ به مدت ۴۸ ساعت خشک شد. همچنین به کمک هاون چینی به صورت پودر درآمده و برای آزمایش‌های جداسازی مصرف شد. برای بررسی اثر مقدار پلی‌وینیل الکل موجود در کامپوزیت، روی خواص کامپوزیت، این آزمایش با افزودن ۲-۴ گرم پلی‌وینیل الکل به محلول تکرار شد.

آزمایش‌های جداسازی جیوه در دمای اتاق و در حالت منقطع انجام شد. بدین منظور در هر آزمایش، ۰/۵ گرم از پلیمر سنتز شده به ۵۰ میلی لیتر محلول حاوی جیوه 35 mg/L در pH برابر ۶ اضافه شد و به مدت ۳۰ دقیقه به کمک شیکر با دور ۱۲۰ دور بر دقیقه هم زده شد. بعد از انجام واکنش‌های جذب سطحی، با عبور محلول از کاغذ صافی پلیمر از سیال جدا شد. سپس با محاسبه غلظت اولیه و نهایی جیوه با یکبار تکرار، درصد حذف جیوه محاسبه شد و درصد حذف جیوه از رابطه (۱) محاسبه است.

$$R = 100(C_0 - C_e) / C_0 \quad (1)$$

در این رابطه، C_0 غلظت اولیه جیوه و C_e غلظت نهایی جیوه در محلول است. اندازه‌گیری غلظت جیوه به روش جذب اتمی بخار سرد (Cold Vapor) (AWWA، ۱۹۹۵) انجام شد.

برای بررسی مورفولوژی سطحی پلیمرها و تهیه تصویرهای (SEM)، سطح پلیمرها با طلا پوشش داده شده و در محفظه‌ای در خلأ حدود 10^{-7} torr قرار گرفت. سپس از سطح پلیمرها عکس گرفته شد.

نتایج و بحث

جداسازی جیوه با کامپوزیت پلی‌آنیلین و پلی‌وینیل الکل

جدول ۱ نتایج جداسازی جیوه را با پلی‌آنیلین و کامپوزیت‌های آن در حضور مقادیر مختلف پلی‌وینیل الکل

جدول ۱- نتایج جداسازی جیوه با پلی آنیلین و کامپوزیت‌های آن

درصد حذف (%)	شرایط جداسازی جیوه			شرایط سنتز پلیمر			
	غلظت نهایی (mg/L)	غلظت اولیه (mg/L)	غلظت ماده افزودنی (gr/L)	ماده افزودنی	ماده اکسنده	حلال	نوع پلیمر
۹۰/۶	۳/۲	۳۵	۱	پلی وینیل الکل	پتاسیم یدات	آب	پلی آنیلین
۹۶	۱/۴	۳۵	۲	پلی وینیل الکل	پتاسیم یدات	آب	پلی آنیلین
۹۴/۹	۱/۸	۳۵	۴	پلی وینیل الکل	پتاسیم یدات	آب	پلی آنیلین
۷۴/۶	۸/۹	۳۵	۶	پلی وینیل الکل	پتاسیم یدات	آب	پلی آنیلین
۵۸	۱۴/۷	۳۵	۸	پلی وینیل الکل	پتاسیم یدات	آب	پلی آنیلین
۱۹/۱	۲۸/۳	۳۵	۱۰	پلی وینیل الکل	پتاسیم یدات	آب	پلی آنیلین
۷۸	۷/۷	۳۵		پودر کربن فعال			

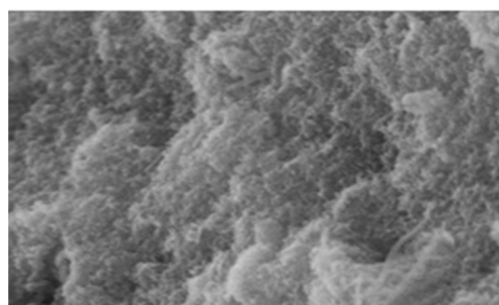
بررسی pH محلول بر حذف جیوه، pHهای مختلف بین ۲-۶ فراهم شده و عملیات حذف انجام شده نتایج این آزمایش‌ها در جدول ۲ آمده است. همان‌طور که از این نتایج مشخص است هرچه pH به سمت خنثی برود راندمان حذف جیوه بهتر می‌شود. به دلیل رسوب شدن جیوه از pHهای قلیایی پرهیز شد. در pH بین ۵-۶ بالاترین راندمان جذب جیوه گزارش شد و تفاوت معناداری بین pH ۵ و ۶ دیده نشد. در pHهای خنثی، پلی آنیلین به فرم کاهیده (الکترون گرفته) تبدیل شد پس گروه‌های N- آزاد موجود در پلیمر برای تشکیل لیگاند در دسترس قرار می‌گیرند، بنابراین جذب یون Hg^{+2} افزایش می‌یابد. در مقادیر pH اسیدی گروه‌های N- پلی آنیلین پروتون جذب کرده و به صورت NH^+ تبدیل شده و بار مثبت آن در سطح پلی آنیلین سبب دفع یون‌های Hg^{+2} می‌شود. پس جذب فلز به خوبی انجام نمی‌شود.

تأثیر زمان اختلاط در جداسازی جیوه

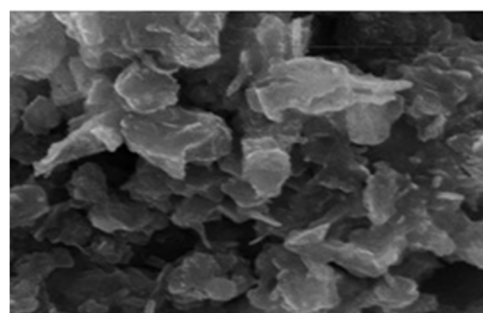
برای بررسی زمان تماس، آزمایش‌ها جذب سطحی برای زمان‌های مختلف در pH برابر ۶ و غلظت اولیه ۳۵ جیوه انجام شد. نتایج این آزمایش‌ها در جدول ۳ آمده است. همان‌طور که از این نتایج مشخص است با افزایش زمان تماس مقدار حذف جیوه افزایش می‌یابد. زمان تماس بهینه برای حذف جیوه برابر ۲۰ دقیقه است و بعد از آن تغییر چشم‌گیری در حذف جیوه وجود ندارد.

تأثیر مقدار جاذب مصرفی در جداسازی

برای بررسی مقدار جاذب مصرفی، مقادیر مختلف جاذب برای حذف جیوه استفاده شد. نتایج جدول ۴ نشان



شکل ۱- عکس SEM تهیه شده از سطح پلی آنیلین (با بزرگ نمایی ۸۰۰۰ برابر)



شکل ۲- عکس SEM تهیه شده از سطح کامپوزیت پلی آنیلین و پلی وینیل الکل (با بزرگ‌نمایی ۸۰۰۰ برابر)

بررسی پارامترهای مختلف جذب سطحی جیوه برای کامپوزیت پلی آنیلین و پلی وینیل

در فرآیند جذب سطحی پارامترهای چون زمان تماس، pH و مقدار جاذب مصرفی، از پارامترهای بسیار مؤثر در جذب سطحی است پس این پارامترها برای کامپوزیت پلی آنیلین و پلی وینیل الکل بررسی شد.

تأثیر pH در جداسازی جیوه

بررسی‌های زیادی نشان داده‌اند که مهم‌ترین پارامتر در حذف فلزات سنگین با جاذب، pH اولیه محلول است. برای

نتایج به دست آمده از پژوهش موجود نشان داد کامپوزیت پلی‌آنیلین و پلی‌وینیل الکل عملکرد مطلوبی در حذف جیوه داشته و درصد حذف جیوه با پلی‌آنیلین و کامپوزیت‌های آن بالاتر از کربن فعال است. با توجه به آنکه کربن فعال به‌عنوان یکی از بهترین جاذب‌های جیوه مطرح است و حتی عملکرد آن در جذب جیوه از خیلی از زئولیت‌های طبیعی نیز بهتر است (صمدی و همکاران، ۱۳۸۸ و درایتی، ۱۳۸۴) می‌توان گفت کامپوزیت پلی‌آنیلین و پلی‌وینیل الکل می‌تواند به طور مطلوبی برای جداسازی جیوه مصرف شود. برای این کامپوزیت pH بهینه حذف جیوه بین ۵-۶ است که pH طبیعی محلول جیوه بوده و نیاز به افزودن اسید یا باز برای رسیدن به pH بهینه وجود ندارد. همچنین زمان تماس بهینه برای حذف جیوه در حد ۲۰ دقیقه گزارش شد. این زمان در مقایسه با برخی جاذب‌هایی که زمان بهینه در حد چند ساعت دارند مناسب است.

جدول ۵- مقایسه عملکرد کامپوزیت پلی‌آنیلین و پلی‌وینیل الکل و برخی جاذب‌های دیگر در جداسازی جیوه

نام جاذب	زمان بهینه (دقیقه)	pH
کربن فعال	۱۲۰	۴-۶
سبوس گندم	۲۰	۴
خاکستر فرار	۱۸۰	۷
پلی‌آنیلین	۱۰	۵
خاک اره	۹۰	۵
خاک اره پوشش داده شده با پلی‌آنیلین	۶۰	۴
کامپوزیت پلی‌آنیلین و پلی‌وینیل الکل	۲۰	۵-۶

نتیجه‌گیری

در این پژوهش کامپوزیت پلی‌آنیلین و پلی‌وینیل الکل برای جداسازی جیوه از محیط‌های آبی استفاده شده است. نتایج این پژوهش نشان از آن است که پلی‌آنیلین و کامپوزیت‌های آن عملکرد مطلوبی در حذف جیوه داشته و درصد حذف جیوه با پلی‌آنیلین و کامپوزیت‌های آن بالاتر از کربن فعال است. همچنین نتایج این پژوهش نشان می‌دهد پلی‌وینیل الکل توانسته است به‌عنوان یک ماده افزودنی و سورفاکتنت بر راندمان عملکرد پلی‌آنیلین سنتز شده تأثیر مثبت گذاشته و توانسته ظرفیت حذف جیوه را در پلی‌آنیلین بالاتر ببرد. پلی‌وینیل الکل سورفاکتنت بوده و در هنگام فرآیند پلیمریزاسیون به کمک پیوندهای

می‌دهد با مصرف ۲۰ گرم بر لیتر از این جاذب می‌توان تا ۹۹.۹ درصد جیوه را از محلول ۳۵ میلی‌گرم بر لیتر جدا کرد.

جدول ۲- غلظت جیوه بعد از اختلاط در pHهای مختلف (غلظت جاذب ۱۰ g/L، زمان تماس ۳۰ دقیقه)

pH		۲	۳	۴	۵	۶
غلظت اولیه (mg/L)	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵
غلظت نهایی (mg/L)	۷/۳	۵/۹	۲/۱	۱/۶	۱/۴	۱/۴
درصد حذف (%)	۷۹/۱	۸۳/۱	۹۴	۹۵/۴	۹۶	۹۶

جدول ۳- غلظت جیوه بعد از اختلاط در زمان‌های مختلف (غلظت جاذب ۱۰ g/L، pH محلول برابر ۶)

زمان (دقیقه)		۵	۱۰	۲۰	۳۰	۶۰	۱۲۰
غلظت اولیه (mg/L)	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵
غلظت نهایی (mg/L)	۱۹	۱۰	۲/۸	۱/۴	۱/۳	۱/۱	۱/۱
درصد حذف (%)	۴۶	۷۱	۹۲	۹۶	۹۶/۳	۹۶/۹	۹۶/۹

جدول ۴- غلظت جیوه بعد از اختلاط با مقادیر مختلف کامپوزیت (زمان تماس ۲۰ دقیقه، pH محلول برابر ۶)

غلظت جاذب (گرم در لیتر)		۱	۵	۱۰	۱۵	۲۰
غلظت اولیه (mg/L)	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵
غلظت نهایی (mg/L)	۱۶	۵/۳	۱/۴	۱	۰/۰۱	۰/۰۱
درصد حذف (%)	۵۵	۸۴/۹	۹۶	۹۷	۹۹/۹	۹۹/۹

مقایسه عملکرد کامپوزیت پلی‌آنیلین و وینیل الکل در حذف جیوه با برخی جاذب‌های دیگر

در پژوهش‌های مشابه مواد جاذب دیگری برای جداسازی جیوه از محیط آبی استفاده شد که می‌توان به کربن فعال (صمدی و همکاران، ۱۳۸۸ و درایتی و همکاران، ۱۳۸۴)، سبوس گندم (نیک آذر و همکاران، ۱۳۸۸)، خاکستر فرار (ریو و دلبر، ۲۰۰۳)، پلی‌آنیلین (کریشنا و همکاران، ۲۰۰۵)، کامپوزیت پلی‌آنیلین و پلی‌استیرن (گوپتا و همکاران، ۲۰۰۳)، خاک اره (موسوی و همکاران، ۱۳۷۶)، خاک اره پوشیده شده با پلی‌آنیلین (انصاری و همکاران، ۲۰۰۶) اشاره کرد جدول ۵ عملکرد کامپوزیت پلی‌آنیلین و پلی‌وینیل الکل را در مقایسه با جاذب‌های دیگر نشان می‌دهد.

8. Ayad M. M. Salahuddin N. and Sheneshin M. A. 2003. Optimum reaction conditions for in situ polyaniline films. *Synthetic Metals*. 132:185-190.
9. APHA, AWWA. 1995. WPCF. Standard methods for examination of water and wastewater. 19th ed. Water Research. 34(11):2971-2978.
10. Coa Y. 1989. Influence of chemical polymerization conditions on the properties of polyaniline. *polymer*. 30(12):2305-2311.
11. Chiari S. and Ratto M. 2000. Mercury Removal from water by Ion exchange Resin adsorption. *Water research*. 34(1): 2971-2978.
12. Gupta R. K. Singh R. A. and Dubey S. S. 2003. Removal of mercury ions from aqueous solutions by composite of polyaniline with polystyrene. *Separation and Purification Technology*. 38 (3): 225-232.
13. Kadirvelu K. Thamaraiselvi k. and Namazasivayam C. 2001. Removal of heavy metals from industrial Wastewaters by adsorption onto activated carbon prepared from an agricultural solid waste. *Biosource Technology*. 76(1):63-65.
14. Krishna M. V. Karunasagar D. and Roa S. V. 2005. Preconcentration and speciation of inorganic and methyl mercury in water using polyaniline and gold trap-CVAAS. *Talanta* 68(2):329-335
15. Kumar P. A. Chakraborty S. and Ray M. 2008. Removal and recovery of chromium from wastewater using short chain polyaniline synthesized on jute fiber. *Chemical Engineering Journal*. 141(1):130-140.
16. Kuwabata S. and Martin C. R. 1994. Investigation of the Gas-transport Properties of Polyaniline. *Journal of Membrane Science*. 91(2):1-12.
17. MacDiarmid A. G. and Kaner R. B. 1988. *Plastics that Conduct Electricity*. Scientific American. 258(1):106-111.
18. MacDiarmid A. G. Yang L. S. Huang W. S. and Humphrey B. D. 1987. Polyaniline: electrochemistry and Application to Rechargeable Batteries. *Synthetic Metals*. 18(3):393-398.
19. Mirmohseni A. and Oladegaragoze A. 2002. Detection and determination of Cr(VI) in solution using polyaniline modified quartz crystal electrode. *Journal of Applied Polymer Science*. 85(13): 2772-2780.
20. Mostafa M. R. 1997. Adsorption of Mercury, lead and Cadmium ions on modified activated carbon. *Adsorption Science and Technology*. 15(8): 551-557.
21. Nishio K. 1995. Electrochemical characteristics of polyaniline synthesized by various methods. *Journal of Power source*. 56(2):189-192.

هیدروژنی جذب ذره پلیمر در حال رشد می‌شود و بر شکل و مورفولوژی و یکنواختی و سطح جانبی و اندازه و خواص سطحی پلی آنیلین اثر می‌گذارد. بیشترین درصد حذف جیوه برای کامپوزیت پلی آنیلین در حضور ۲ g/L پلی وینیل الکل رخ داد. برای این کامپوزیت pH بهینه حذف جیوه بین ۵-۶، زمان تماس بهینه در حد ۲۰ دقیقه بوده و این کامپوزیت توانست جیوه را به میزان ۹۹/۹ درصد از محیط آبی جدا کند.

سپاس‌گزاری

این مقاله از طرح پژوهشی تحت عنوان "جداسازی جیوه از محیط آبی با استفاده از پلی آنیلین و کامپوزیت‌های آن" با حمایت مالی دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی‌شهر استخراج شده است.

منابع

۱. درایت ج. ۱۳۸۴. مطالعه عوامل مؤثر در حذف جیوه از محلول مائی با استفاده از گرانول کربن فعال. فصل‌نامه بهبود. ۹(۱): ۵۲-۴۴.
۲. ریاحی سامانی م. برقی م. اولاد ع. و چایچی ج. ۱۳۸۹. جذب سطحی کروم از محیط آبی با استفاده از پلی آنیلین. *مجله آب و فاضلاب*. ۷۹: ۲-۹.
۳. ریاحی سامانی م. برقی م. اولاد ع. و چایچی ج. ۱۳۸۹. جداسازی کروم از محیط‌های آبی با استفاده از دو نوع پلی آنیلین. *مجله محیط‌شناسی*. ۵۵: ۹۱-۹۸.
۴. صمدی م. سلیمی م. و ساقی م. ۱۳۸۸. مقایسه کارایی حذف جیوه از آب آشامیدنی به وسیله ستون‌های آکنده کربن فعال و زئولیت طبیعی کلینوپتی لتولایت و آنتراسیت. *مجله آب و فاضلاب*. ۷۴: ۵۴-۵۹.
۵. موسوی ر. کارگشا ک. و نادری م. ۱۳۷۶. بررسی امکان استفاده از انواع خاک اره در تصفیه فاضلاب‌های صنعتی. سومین همایش بررسی مشکلات صنعت آب و فاضلاب کشور؛ ۸ تا ۱۰ مهر، اصفهان.
۶. نیک‌آذر م. علی جانی ح. و حقیقی ا. ۱۳۸۸. جذب جیوه از محیط آبی توسط سیوس گندم. *مجله علوم و تکنولوژی محیط‌زیست*. ۱۱(۲): ۱۱۱-۱۱۶.
7. Ansari R. and Raofie F. 2006. Removal of mercuric ion from aqueous solutions using sawdust coated by polyaniline. *E- Journal of chemistry*. 3(1):35-43.

22. Olad A. and Nabavi R. 2007. Application of polyaniline for the reduction of toxic Cr(VI) in water. *Journal of Hazardous Materials*. 147(3):845-851.
23. Ram M. K. Yavuz O. Lahsangah V. Aldissi M. 2005. CO gas sensing from ultrathin nano-composite conducting polymer film. *SensOrs and Actuators: B Chemicals*. 106(2):750-757.
24. Rio S. and Delebarre A. 2003. Removal of mercury in aqueous solution by fluidized bed plant fly Ash. *Fuel*. 82(2):153-159.
25. Ruotolo L. A. M. and Gubulin J. C. 2005. Chromium(VI) reduction using conducting polymer films. *Reactive and Functional Polymer*. 62(2):141-151.
26. Schoch K. F. Byers W. A. and Buckley L. J. 1995. Deposition and Characterization of Conducting Polymer Thin Films on Insulating Substrates. *Synthetic Metals*. 72(1):13-23.
27. Stejskal M. 1996. The formation of polyaniline and nature of its structures. *polymer*. 37(2):367-369.
28. Shafey E. E. Cox M. Pichugin A. A. and Appleton Q. 2002. Application of a carbon sorbent for the removal of cadmium and other heavy metal ions from aqueous solution. *Journal of chemical technology and biotechnology*. 77(4):429-436.
29. Vilcink M. Igon M. Zupan M. and Sebenik A. 1998. Influence of polymerization parameters on the molecular weight of polyaniline. *Acta Chimica Slovenica*. 45(2):173-183.
30. Wang. J. Too C. O. Zhou D. and Wallace G. G. 2005. Novel electrode substrates for rechargeable lithium/ polypyrrole batteries. *Journal Power Sources*. 140(1):162-167.
31. Wessling B. 1994. Passivation of Metals by Coating with Polyaniline: Corrosion Potential Shift and Morphological Changes. *Advanced Materials*. 6(1):226-228.

