

ساخت نانوکامپوزیت های پلیمری حکاکی شده برای استفاده به عنوان حسگر سم دیازینون

محمد حسین احمدی ازغندی^۱، بهرام قلمی چوبر^{۲*}، محمد حسن امیدی^۳، محمد مسعودی فرید^۳

۱ گروه شیمی کاربردی، دانشکده ی نفت و گاز، دانشگاه یاسوج، گچساران، ایران.

۲ گروه شیمی، دانشکده ی علوم، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

۳ گروه شیمی، دانشکده ی علوم، دانشگاه زنجان، ایران

کجی

این پژوهش براساس رساناسازی پلی استایرن با استفاده از تقویت کننده های فلزی می باشد. پس از رسانا سازی پلی استایرن، این کامپوزیت جهت استفاده به عنوان حسگر سم دیازینون (از دسته سموم ارگانوفسفره ها) با استفاده از روش حکاکی مولکولی مورد بررسی قرار گرفت. نانوکامپوزیت های سنتز شده توسط دستگاه های FT-IR و FESEM مورد شناسایی قرار گرفتند. عملکرد این نانوکامپوزیت ها به عنوان حسگر با استفاده از دستگاه ولتامتری چرخه ای

بررسی شد.

نتایج حاصل از این پژوهش نشان دهنده عملکرد مثبت این حسگر می باشد. نانوکامپوزیت حکاکی شده با دیازینون می تواند به عنوان عنصر شناسایی در حسگری الکتروشیمیایی با حساسیت بالا و انتخاب پذیری مناسب برای سم دیازینون به کار گرفته شود. علاوه بر خاصیت شناسایی دیازینون، نانوکامپوزیت سنتز شده در این پژوهش با توجه به دارا بودن خاصیت مغناطیسی، می تواند به عنوان جاذب مورد استفاده قرار گیرد و با استفاده از یک میدان مغناطیسی از محیط آلوده جدا گردد.

تاریخ دریافت:

۹۶/۱/۲۵

تاریخ پذیرش:

۹۶/۳/۱۸

پلیمر رسانا، پلی استایرن، نانوکامپوزیت، اندازه گیری

دیازینون، حسگر الکتروشیمیایی

واژگان کلیدی

۱) مقدمه

سیستم های الکترومکانیکال (MEMS)، که به آن ها دستگاه های ریزساختار، آزمایشگاه روی تراشه، سیستم های میکرو و سیستم های تجزیه ی میکرو نیز می گویند، بیش از سی سال پیش اختراع شدند و پیشرفت های کاربردی زیادی در زمینه های مختلف تجاری و علمی کسب کردند [۱]. توان عملیاتی بالا و فناوری های کم مصرف از نظر حجمی مانند پروژه های توالی ژنی و کشف داروها نیاز به این سیستم ها را در تجارت به وجود آورده است [۲]. در سال های اخیر، استفاده از پلیمرها افزایش روز افزونی در ساخت حسگرهای مصنوعی با هدف اندازه گیری مواد طبیعی پیدا کرده اند. انتخاب پذیری بهتر و اندازه گیری سریع از جمله مزایای جایگزین کردن پلیمرهای حاوی نانوذرات به جای حسگرهای قدیمی است. امروزه حسگرهای متفاوتی در زمینه های مختلف با استفاده از پلیمرها ساخته شده است. از جمله مهم ترین حسگرهای ساخته شده توسط پلیمرها می توان به حسگر گاز، حسگر pH، حسگر الکل، حسگر کنترل فرآیند، حسگر داروها، حسگر آمین ها، حسگر مواد فعال سطحی و حسگر حشره کش ها می باشد. چو، ان جی و وانگ [۳] حسگری از جنس پلانفیبون برای شناسایی اکسیژن حل شده در آب تهیه کردند. حد تشخیص این حسگر زیر ۳/۸ ppm گزارش شده است. چابوکسوار و همکاران [۴] پلی آیلین دوپه شده با آکرلیک اسید (AA) را برای حسگر بخار آمونیاک در بازه وسیعی از غلظت ها ساختند. مانکلم و همکاران [۵] از کوپلیمر آکرلامیدمتیلن بیس (آکرلامید) شامل فلورسین آمین که با پیوند کووالانسی روی یک سطح فیبر نوری قرار داده شده در ساخت حسگر pH استفاده کردند. اوکدا و همکاران [۶] موفق به ساخت حسگری برای اتانول با پایداری الکل دهیدروژناز و نیکوتین آمید آدنین دی نوکلئوتید با استفاده از غشا سلولز استیل دار روی سفاروز فعال شده با گلو تارآلدید (NAD) شدند. استال و همکاران [۷] استفاده از حسگرهای حساس به جرم پوشانده شده توسط موج صوتی سطحی را ارائه دادند. پاناسیوک دلنی و همکاران [۸] از روش پلیمر کردن پیوندی جهت ساخت فیلم های نازک پلیمرهای حکاکی شده مولکولی (MIPs) در سطح غشا پلی پروپیلن و روی الکترودهای طلائی آبریز شده برای شناسایی علف کش ها استفاده کردند. پاترا و میسرا [۹] یک حسگر نوری برای ترکیبات مختلف نیتروآروماتیک مانند نیتروبنزن، متادی نیتروبنزن، ارتو نیتروتولون، متا نیتروتولون،

پارا-نیتروبروموبنزن، پارانیتروآنیلین، پارانیتروفنول و ... با خاموشی فلوروسنس بنزوفلورواتن (BkF) در فیلم پلی وینیل الکل (PVA) ارائه دادند. در دهه های اخیر، معرفی زمینه پیوندی خاصی با پلیمرهای سنتزی با استفاده از مولکول قالب، اتصال عرضی و مونومرهای عاملی (حکاکی یا قالب گیری پلیمری) توجه فراوانی را به خود جلب کرده است. حکاکی مولکولی شامل سازمان دهی مونومرهای عاملی در اطراف مولکول قالب و در پی آن پلیمر شدن و حذف مولکول قالب می باشد. سازمان دهی اصولا با برهمکنش های غیر کووالانسی (برای مثال پیوندهای هیدروژنی، یونی) یا برهمکنش های کووالانسی برگشت پذیر صورت می گیرد. سپس پلیمر حکاکی شده مولکولی (MIP) توانایی اتصال با مولکول قالب یا ساختارهای شبیه آن را دارد [۱۰]. موسباخ [۱۱] معمول ترین استراتژی راکه بر پایه ی برهمکنش غیر کووالانسی بین گروه های عاملی خاص در مونومرهای قابل پلیمر شدن و مولکول قالب برای قرار دادن مونومرها در جهتی مشخص با توجه به مولکول قالب قبل از پلیمر شدن می باشد مطرح کرد. از فواید مهم حکاکی مولکولی پلیمرها، گزینش پذیری و تمایل بالای آن ها نسبت به مولکول هدف به کار رفته در فرآیند حکاکی می باشد. پلیمرهای حکاکی شده در مقایسه با سیستم های بیولوژیکی مثل پروتئین ها و نوکلئیک اسیدها از لحاظ فیزیکی مستحکم تر و مقاوم تر به حرارت و فشار می باشد، هم چنین آن ها در مقابل اسید، باز، یون های فلزی و حلال های آلی مقاوم ترند؛ سنتز آن ها از لحاظ قیمت به صرفه تر است و ظرفیت شناسایی مکان های آن ها برای چندین سال در دمای اتاق حفظ می شود [۱۲]. از جمله کاربردهای مواد حکاکی مولکولی می توان به کاربرد در جداسازی [۱۳]، خالص سازی [۱۴]، کاتالیزوری [۱۵]، تحویل دارو، پادتن های بیولوژیکی، سیستم های گیرنده و کاربرد در ساخت حسگرها اشاره کرد [۱۶]. پلی استایرن به دلیل ویژگی های خوب الکتریکی، مکانیکی و نوری یکی از مواد پلیمری مهم مورد استفاده در جهان می باشد. پلی استایرن پلیمری بی شکل، غیر قطبی و کم هزینه است؛ به همین دلیل دارای ویژگی های مطلوب الکترونیکی در زمینه عایق کردن مواد می باشد. این پلیمر دارای خواص منحصر به فرد و دمای نرمی حدود ۱۰۰ درجه سلسیوس می باشد، ولی شکنندگی و مقاومت ضعیف شیمیایی و حرارتی از نقص های کاربردی آن می باشد. پلی استایرن به علت حلالیت در حلال های متداول

برای بررسی خواص مغناطیسی نانوکامپوزیت های پلی استایرن / نانواکسید آهن از مغناطیس سنج نمونه مرتعش (VSM) ساخت شرکت مغناطیس دقیق کویر کاشان بهره گرفته شده است.

۲(۲) خالص سازی پلی استایرن صنعتی به روش حلال / ضدحلال

۰/۵۷ گرم پلی استایرن صنعتی در ۳۰ میلی لیتر اتیل استات در حالی که بر روی حمام فراصوت قرار گرفته بود حل شد، سپس ۱۵ میلی لیتر اتانول به آن اضافه گردید. با افزودن اتانول، پلیمر به شکل رسوب تشکیل شد. پلیمر ساخته شده از روی سطح ظرف واکنش تراشیده شد، سپس در دمای محیط خشک گردید.

۳(۲) سنتز نانواکسید آهن

۱/۲۹ گرم (۰/۰۰۸ مول) نمک کلرید آهن و ۰/۸ گرم نمک کلرید آهن (۰/۰۰۴ مول) که نسبت مولی ۲:۱ داشتند در ۱۰۰ میلی لیتر آب حل شدند. سپس در حالی که در حمام فراصوت به مدت ۱۰ دقیقه برای انحلال کامل قرار گرفته بودند، ۱۰ میلی لیتر سود اشباع به آن افزوده شد که طی این مراحل رسوب نانواکسید آهن به روش هم رسوبی و سونوشیمی سنتز شد. رسوب ایجاد شده سانتریفیوژ گردید و ۳ مرتبه با آب شستشو داده شد و هر بار مجدداً سانتریفیوژ گردید. سپس رسوب در دمای ۵۰-۶۰ درجه سانتی گراد قرار گرفت تا خشک گردد.

۴(۲) تهیه نانوکامپوزیت های پلی استایرن / نانوا آهن

اکسید تهیه شده از طریق روش حلال / ضدحلال

برای ساخت نانوکامپوزیت هایی با مقادیر متفاوت نانواکسید آهن تهیه شده، مقادیر ۰/۱، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۸ گرم از نانواکسید آهن استفاده شد با این روش که درصدهای مختلف آهن در ۳۰ میلی لیتر اتیل استات و در حمام فراصوت به مدت ۵ دقیقه پراکنده شدند. سپس ۰/۵۷ گرم پلی استایرن صنعتی به مخلوط اضافه شد و مجدداً پراکنده گردید. در مرحله بعد ۱۵ میلی لیتر اتانول به مخلوط اضافه و نانوکامپوزیت های مورد نظر به روش حلال / ضدحلال و سونوشیمی ساخته شدند. سپس رسوب حاصل شده با اتانول شسته شد و خشک گردید.

۵(۲) تهیه نانوکامپوزیت پلی استایرن / نانواکسید آهن

در حضور دیازینون

برای این منظور ۰/۴ گرم نانواکسید آهن تهیه شده به روش سونوشیمیایی با ۳۰ میلی لیتر اتیل استات به مدت ۵ دقیقه در حمام اولتراسونیک پراکنده شد در ادامه ۰/۲۳۴ میلی لیتر (۰/۰۰۰۸ مول) دیازینون و ۰/۵۷ گرم پلی استایرن صنعتی به این مخلوط اضافه شدند. سپس ۱۵ میلی لیتر اتانول به مخلوط ظرف واکنش اضافه گردید.

و پایداری شیمیایی می تواند به عنوان پلیمر میزبان به کار رود. از فواید دیگر استفاده از آن، ماهیت غیر سمی و فرآیندپذیری خوب آن است؛ در نتیجه می توان لایه های نازکی از آن تهیه کرد. دیازینون یک ترکیب آلی فسفردار غیر سیستمیک است. این سم در مزارع کشاورزی و باغات به صورت گسترده برای از بین بردن کرم ساقه خوار و آفات درختان مورد استفاده قرار می گیرد. این احتمال وجود دارد که دیازینون در انواع جانوران ایجاد سمیت کرده و طیف وسیعی از اثر بیوشیمیایی خود را در دوزهای غیر کشنده برجای گذارد. کاهش وزن در اندام های جنسی، کاهش حرکت، افزایش ناهنجاری و مرگ اسپرم نیز از اثرات منفی آن بوده و ممکن است باعث صدمات سلولی، ژنتیکی و محیطی گردد. شدت اثر تخریبی ناشی از تماس با دیازینون، به میزان دوز، نحوه تماس، چگونگی جذب، متابولیت، تجمع و پایداری آن در بدن بستگی دارد و عمدتاً از طریق پوست، چشم، تنفس و بلع وارد بدن می شود. این سم ممکن است آسیب هایی را برجای بگذارد که عموماً کشاورزان، باغ داران و ساکنان مجاور آن ها درگیر هستند. سردرد، تهوع، مشکلات گوارشی، عوارض پوستی، مشکلات کبدی، کلیوی، حتی تشنج و مرگ از جمله مواردی است که گزارش شده است.

۲) تجربیات

۱(۲) مواد آزمایشگاهی و دستگاه ها

کلیه مواد استفاده شده در این پژوهش شامل اتانول، پلی استایرن صنعتی، نمک کلرید آهن ۴ آبه (مرک)، نمک کلرید آهن (مرک)، سود (مرک) و روغن سیلیکون، نیترات مس می باشند و بدون خلص سازی بیشتر در این پژوهش استفاده شدند. همچنین در تمامی مراحل از آب مقطر تهیه شده از دستگاه خلص ساز آب میلی-کیو استفاده شد. برای تعیین اندازه نانوذرات ساخته شده، از میکروسکوپ الکترونی روبشی (FESEM) ساخت کشور آمریکا مدل MIRA3 TESCAN مرکز متالوژی رازی و SEM مدل Seron Technology (AIS2100) دانشگاه صنعتی امیرکبیر استفاده شد. طیف های مادون قرمز به وسیله دستگاه اسپکتروفوتومتر FT-IR Bruker Vector 22 گرفته شد. از دستگاه ولتاژمتری چرخه ای مدل VA Computrace 797 for CVS برای اندازه گیری تغییرات پتانسیل و جریان نسبت به غلظت و همچنین اندازه گیری آنالیت و بررسی کارایی الکتروود استفاده گردید. برای تشخیص مقادیر نانوذره آهن در نانوکامپوزیت از آنالیز پلاسمای جفت شده القایی مدل GENESIS ساخت شرکت Spectro آلمان بهره گرفته شد.

تمامی این مراحل داخل حمام اولتراسونیک انجام گرفت، پس از برگشت نانوکامپوزیت پلیمری حاصل از داخل محلول، به روش حلال/ضدحلال رسوب حاصل به دو قسمت تقسیم شد.

۶(۲) تهیه نانوکامپوزیت پلی استایرن/نانوآکسید آهن حکاکی شده با دیازینون

بخشی از رسوب تهیه شده در بخش قبل (نانوکامپوزیت پلی استایرن/نانوآکسید آهن حاوی دیازینون) به منظور حذف مولکول قالب با ۲۰ میلی لیتر اتانول شسته شد. رسوب نهایی خشک و بعد ساییده شد و ۳ مرتبه در داخل حمام اولتراسونیک با اتانول و هر بار ۱۰ دقیقه شستشو داده شد، رسوب شسته شده سانتریفیوژ شد و سپس خشک گردید.

۷(۲) تهیه الکتروود از نانوکامپوزیت پلی استایرن/نانوآکسید آهن حکاکی شده با دیازینون

به گرم از نانوکامپوزیت پلی استایرن/نانوآکسید آهن حکاکی شده با دیازینون مقدار بسیار کمی روغن سیلیکون اضافه شد. سطح سیم مسی با رسوب خمیری شکل حاصل پوشیده شد. سپس قابلیت الکتروود آماده شده به عنوان حسگر در شناسایی سم دیازینون از طریق مقایسه ولتاموگرام دستگاه ولتامتری چرخه ای نانو کامپوزیت پلی استایرن/نانوآکسید آهن حکاکی شده و غیر حکاکی مورد بررسی قرار گرفت. در این بررسی الکتروودها در محلول شامل ۱۰ میلی لیتر بافر استیک اسید/سدیم استات ۰/۱ مولار به منظور تنظیم pH= ۴/۴ بود که حاوی غلظت های متفاوت ($10^{-4} M$)، ($10^{-3} M$)، ($10^{-2} M$)، ($10^{-1} M$)، ($10^{-4} M$)، ($10^{-3} M$)، ($10^{-2} M$)، ($10^{-1} M$) بود. محدوده ی اسکن مورد بررسی نیز ۰ تا ۱/۵- و سرعت اسکن ۰/۱ ولت بر ثانیه بود.

۳) نتایج و بحث

۱(۳) خصوصیت سنجی نانوذرات مغناطیس، پلی استایرن اصلاح شده، نانوکامپوزیت پلی استایرن/نانوذرات آهن

۱(۱)(۳) طیف سنجی مادون قرمز

طیف مادون قرمز نانوذره اکسید آهن تهیه شده به روش سونوشیمیایی در شکل ۱ نشان داده شده است، وجود پیک شاخص در نواحی ۵۷۹ و 490 cm^{-1} مربوط به ارتعاشات کششی پیوند Fe-O می باشد. پیک در ناحیه ی 1621 cm^{-1} مربوط به ارتعاشات خمشی پیوند H-O-H می باشد. پیک پهن مشخص شده در ناحیه 3421 cm^{-1} مربوط به ارتعاشات کششی پیوند O-H می باشد.

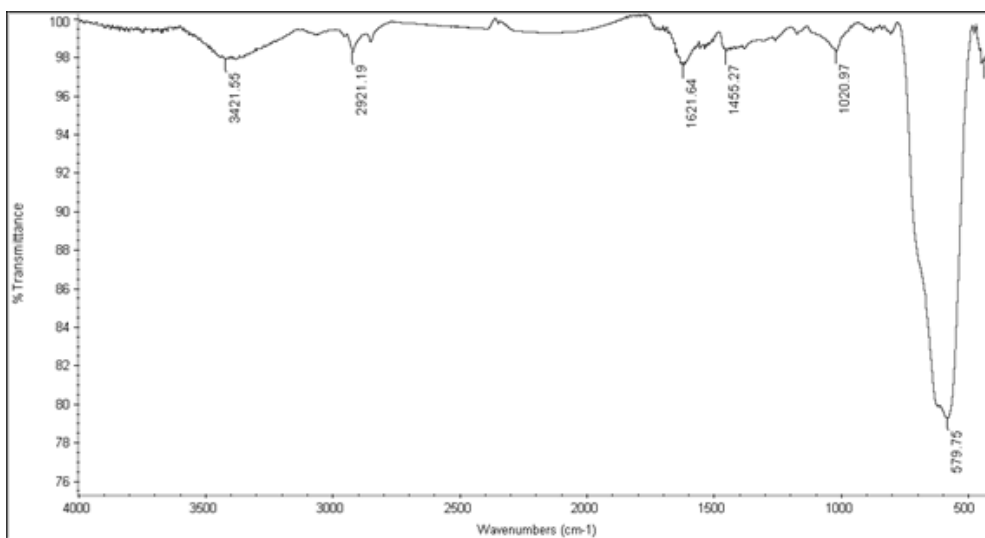
طیف مادون قرمز نشان داده شده در شکل ۲ مربوط به پلی استایرن ساخته شده به روش حلال/ضدحلال می باشد. همان طور که مشاهده می شود وجود پیک های جذبی مربوط به ارتعاش های کششی کربن-هیدروژن آروماتیک در ناحیه ی 3024 و 3059 cm^{-1} ، کششی کربن-هیدروژن آلیفاتیک در ناحیه ی 2921 و 2849 cm^{-1} ، اورتون های حلقه ی بنزن، کششی کربن-کربن دوگانه حلقه ی بنزن در 1451 و 1492 cm^{-1} و پیک دوتایی مربوط به بنزن تک استخلافه در نواحی 757 و 696 cm^{-1} به طور مشخصی دیده می شوند. لازم به ذکر است که از مقایسه طیف FT-IR پلی استایرن تهیه شده به این روش با طیف IR موجود در منابع، مشاهده می شود تغییر خاصی در طی فرآیند در ساختار پلی استایرن رخ نداده است. با توجه به طیف مادون قرمز نانوکامپوزیت های پلی استایرن/نانوذرات آهن اکسید تهیه شده همان طور که در بخش های پیشین مورد بررسی قرار گرفت، به دلیل پیک های جذبی در نواحی 3024 و 3059 ، 2921 و 2649 ، 1451 و 1492 ، 757 و 696 cm^{-1} حضور پلی استایرن در تمامی طیف ها تایید شد. با مقایسه ی طیف نانوکامپوزیت های پلی استایرن/نانوذرات اکسید آهن و طیف مادون قرمز اکسید های آهن مگنتیت و ماگمیت موجود در منابع و مشاهده پیک در ناحیه ی 570 cm^{-1} حضور O-Fe نیز تایید می شود.

۲(۱)(۳) بررسی آنالیز VSM نانوکامپوزیت های پلی استایرن/نانوذرات اکسید آهن

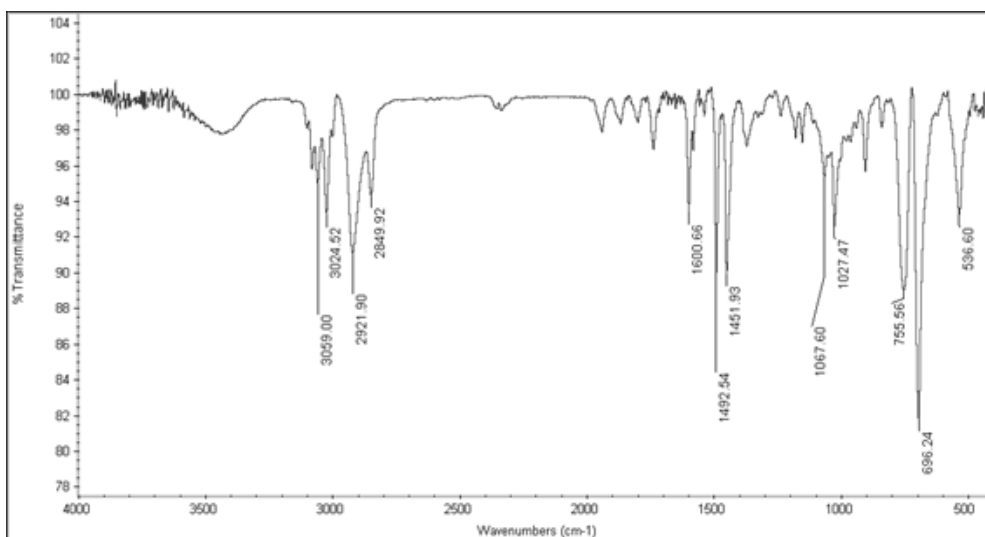
منحنی هیستریزس نانوکامپوزیت ها با مقادیر متفاوت Fe_3O_4 در شکل ۳ نشان داده شده است. همان طور که در شکل (a) ۳ مشخص است، منحنی هیستریزس برای نانوکامپوزیت شامل ۰/۱ گرم مگنتیت برابر با 6 emu/g در 10 kOe می باشد. با افزایش مقدار مگنتیت (۰/۸ گرم) در نانوکامپوزیت، مغناطیس شدگی اشباع تا 40 emu/g افزایش پیدا می کند (شکل (b) ۳). این نتایج با مقالاتی که در آن اشاره شده است با پوشیده شدن نانوذرات با یک لیگاند یا مواد، مغناطیس شدگی اشباع کاهش می یابد هم خوانی دارد. به عبارت دیگر با افزایش مقدار پلیمر مغناطیس شدگی اشباع کاهش می یابد ولی همچنان نانوکامپوزیت خاصیت مغناطیسی دارد.

۳(۱)(۳) تصاویر الکترونی SEM

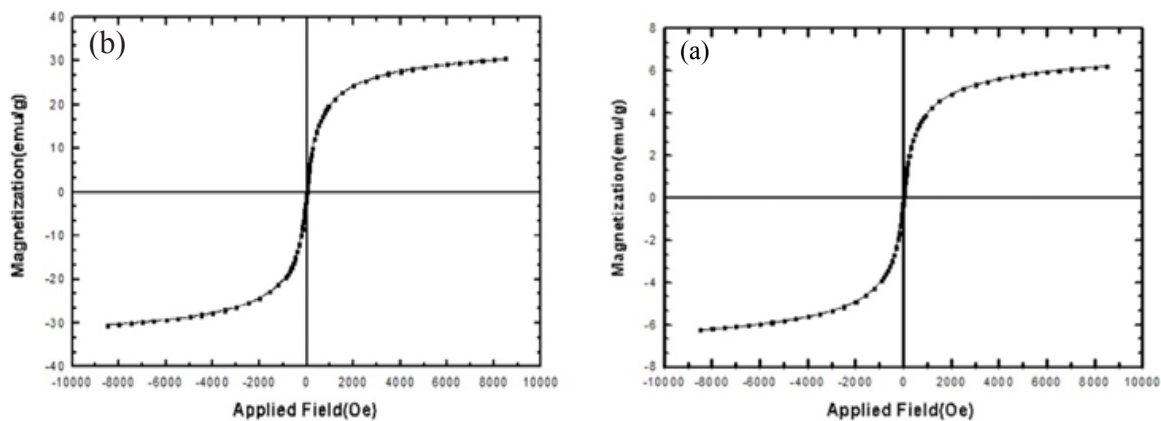
شکل ۴ تصویر FESEM نانوکامپوزیت پلی استایرن/نانوذرات اکسید آهن را نشان می دهد. همان گونه که از شکل مشخص است، نانوذرات اکسید آهن به خوبی در بستر پلیمر به صورت یکنواخت پخش شده اند.



شکل (۱) طیف FT-IR نانو اکسید آهن



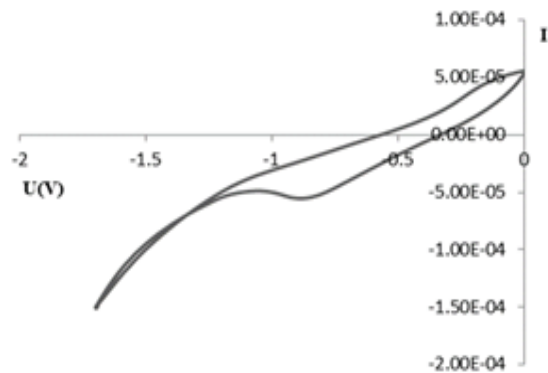
شکل (۲) طیف FT-IR پلی استایرن سنتز شده



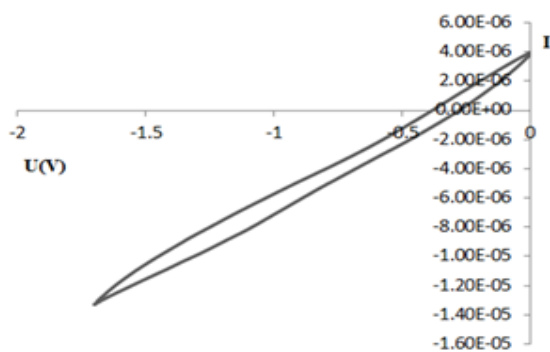
شکل (۳) منحنی هیستریزس نانو کامپوزیت پلی استایرن/نانوذرات اکسید آهن شامل مقادیر متفاوت آهن (a) ۰/۱ گرم، (b) ۰/۸ گرم

۲(۳) بررسی عملکرد نانوکامپوزیت ها به عنوان حسگر ۱(۲(۳) نانوکامپوزیت پلی استایرن-آهن اکسید حکاکی شده با دیازینون

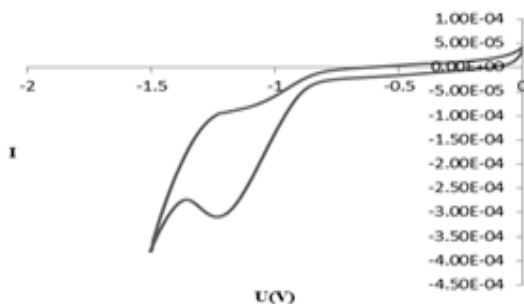
به منظور بررسی پاسخ حسگر پیشنهادی به دیازینون، ابتدا ساخت الکتروود با نانوکامپوزیت پلی استایرن/نانوآکسید آهن حکاکی شده به روش خمیر کربنی انجام گرفت. بررسی ولتاموگرام های این الکتروود در محلول بافر ۰/۱ مولار استیک اسید/سدیم استات با PH=۴/۴ و با سرعت اسکن ۰/۱ ولت بر ثانیه در محدوده اسکن ۰ تا -۱/۷ ولت در استیک اسید/سدیم استات ۰/۱ مولار حاوی مقادیر متفاوت دیازینون (اشکال ۵ تا ۷) نشان داده شده است.



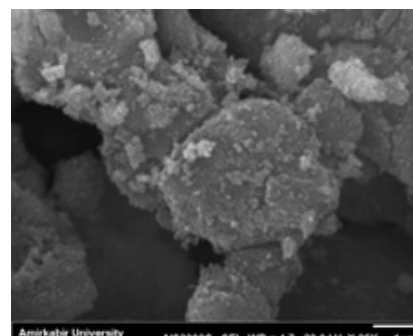
شکل ۷) ولتاموگرام چرخه ای الکتروود حکاکی شده در محلول استیک اسید/سدیم استات ۰/۱ مولار حاوی 2.7×10^{-4} مولار دیازینون



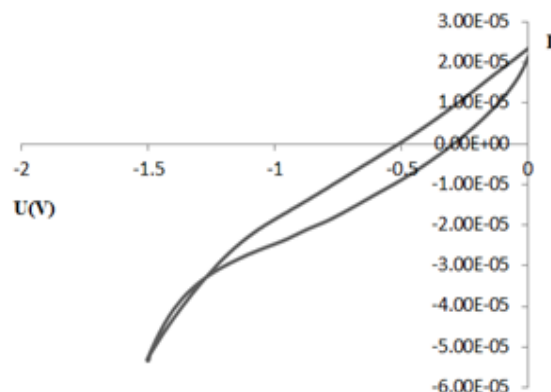
شکل ۸) ولتاموگرام چرخه ای الکتروود حکاکی نشده نانوکامپوزیت پلی استایرن/نانوآکسید آهن در محلول استیک اسید/سدیم استات ۰/۱ مولار



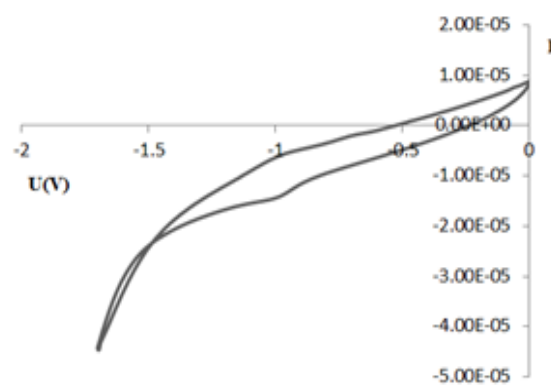
شکل ۹) ولتاموگرام چرخه ای الکتروود حکاکی شده در محلول استیک اسید/سدیم استات ۰/۱ مولار حاوی 6.3×10^{-4} مولار دیازینون



شکل ۴) تصویر FESEM نانوکامپوزیت پلی استایرن/نانوذرات اکسید آهن



شکل ۵) ولتاموگرام چرخه ای الکتروود حکاکی شده در محلول استیک اسید/سدیم استات ۰/۱ مولار حاوی 0.9×10^{-4} مولار دیازینون.



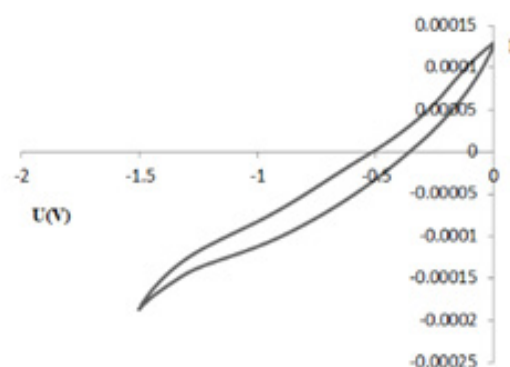
شکل ۶) ولتاموگرام چرخه ای الکتروود حکاکی شده در محلول استیک اسید/سدیم استات ۰/۱ مولار حاوی 1.0×10^{-4} مولار دیازینون

به منظور اطمینان از پاسخ حسگر پیشنهادی، بررسی ولتاموگرام الکتروود ساخته شده از نانوکامپوزیت پلی استایرن/نانوآکسید آهن در استیک اسید/سدیم استات ۰/۱ مولار (شکل ۸) و در الکتروولیت استیک اسید/سدیم استات حاوی 6.3×10^{-4} مولار دیازینون (شکل ۹) مورد بررسی قرار گرفتند. در تمام بررسی های انجام شده شرایط آزمایش مشابه بود. با مقایسه ولتاموگرام چرخه ای الکتروود حکاکی شده در محلول استیک اسید/سدیم استات ۰/۱ مولار حاوی مقادیر متفاوت دیازینون وجود دیازینون با پیک کاهش در منطقه ۰/۸- ولت قابل اثبات است و همان طور که مشاهده می شود با افزایش مقدار دیازینون تا غلظت 6.3×10^{-4} مولار حساسیت سیستم با افزایش غلظت افزایش می یابد.

پژوهش است. این نانوکامپوزیت ها در حضور دیازنیون و بر اساس روش حکاکی مولکولی تهیه شدند و به عنوان الکتروود در دستگاه ولتامتری چرخه ای استفاده شدند. الکترودهای طراحی شده در این پژوهش با روشی ارزان و سریع ساخته شدند. با توجه به نیاز روز افزون صنعت و علم به شناسایی و اندازه گیری مواد شیمیایی مختلف در محیط های متفاوت، ساخت و طراحی حسگرهایی با کارایی بالا و قابلیت استفاده آسان امری ضروری به نظر می رسد. عملکرد این نانوکامپوزیت ها به عنوان حسگر در دستگاه ولتامتری چرخه ای مورد بررسی قرار گرفت. جدول ۱ نتایج بدست آمده را نشان می دهد.

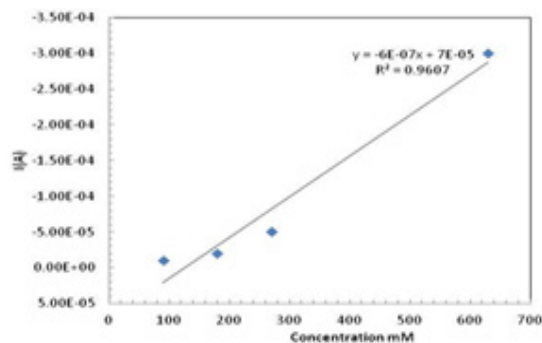
جدول ۱) نتایج حاصل از این پژوهش

بازه خطی (mM)	حد اندازه گیری (μM)	حد تشخیص (μM)	حسگر
۰/۰۹-۰/۶۳	۲۹۰	۸۸	پلی استایرن/اکسید آهن



شکل ۱۰) ولتاموگرام چرخه ای الکتروود نانوکامپوزیت پلی استایرن/نانو اکسید آهن حکاکی شده در محلول استیک اسید/سدیم استات ۰/۱ مولار بدون حضور دیازنیون

همان طور که مشاهده می شود عدم حضور پیک کاهش در ناحیه ۰/۸- مربوط به دیازنیون در ولتاموگرام های بررسی شده در شکل های ۸ تا ۱۰ پاسخ نانوکامپوزیت حکاکی شده نسبت به دیازنیون را تایید می نماید. این موضوع بیانگر انجام شدن حکاکی موثر در نانوکامپوزیت می باشد که باعث ایجاد سایت های فعال روی نانوکامپوزیت شده که حساسیت و انتخاب پذیری نسبت به مولکول دیازنیون ایجاد کرده است. شکل ۱۱ نمودار خطی افزایش شدت جریان در حسگر نسبت به افزایش غلظت دیازنیون را نشان می دهد.



شکل ۱۱) نمودار خطی حساسیت حسگر پلی استایرن/اکسید آهن به دیازنیون

همانگونه که در شکل مشخص است با افزایش غلظت، پاسخ الکتروود به صورت خطی افزایش می یابد. حد تشخیص و حد اندازه گیری برای این حسگر به ترتیب ۸۸ و ۲۹۰ میکرومولار به دست آمد.

۴) نتیجه گیری:

در این پژوهش نانوکامپوزیت پلی استایرن/اکسید آهن به صورت درجا و روش پلیمریزاسیون حلال/ضدحلال تولید شد. این نانوکامپوزیت ها با دستگاه های SEM، FT-IR، شناسایی شدند. نتایج، نشان دهنده ی رسانا شدن پلی استایرن با استفاده از تقویت کننده ها در این

۵) مراجع

- [13] Mendes, R.G., Bachmatiuk, A., Büchner, B., Cuniberti, G., Rummeli, M.H., "Carbon nanostructures as multifunctional drug delivery platforms", *J. Mater. Chem.*, 2013, B1, 401–428.
- [14] Marchesan, S., Prato, M., "Nanomaterials for (Nano) medicine", *ACS Med. Chem. Lett.*, 2013, 4, 147–149.
- [15] Lacerda, L., Russier, J., Pastorin, G., Herrero, M. A., Venturelli, E., Dumortier, E., "Translocation mechanisms of chemically functionalised carbon nanotubes across plasma membranes", *Biomaterials*, 2012, 33, 3334–3343.
- [16] Camarena, J. P., Espinoza-Gómez, H., Somanathan, R., Tiznado, H., Vélez-López, E., Romero-Rivera, R., Martínez-Lopez, M. A., "Molecular assembly of multi-wall carbon nanotubes with amino crown ether: Synthesis and characterization", *J. Nanosci. Nanotechnol.*, 2011, 11, 5539–5545.
- [17] Parra, E. J., Rius, F. X., Blondeau, P. A., "A potassium sensor based on non-covalent functionalization of multi-walled carbon nanotubes", *Analyst*, 2013, 138, 2698–2703.
- [18] A.D. Martin, R.A. Boulos, L.J. Hubble, K.J. Hartlieb, C.L. Raston, *Chem. Commun.* 47 (2011) 7353–7355.
- [19] P. Liang, H.Y. Zhang, Z.L. Yu, Y. Liu, *J. Org. Chem.*, 2008, 73, 2163–2168.
- [20] Ogoshi, T., Takashima, Y., Yamaguchi, H., Harada, A., "Chemically-responsive sol–gel transition of supramolecular single-walled carbon nanotubes (SWNTs) hydrogel made by hybrids of SWNTs and cyclodextrins", *J. Am. Chem. Soc.*, 2007, 129, 4878–4879.
- [21] Leger, B., Menuel, S., Landy, D., Blach, J.F., Monflier, E., Ponchel, A., "Noncovalent functionalization of multiwall carbon nanotubes by methylated- β -cyclodextrins modified by a triazole group", *Chem. Commun.*, 2012, 46, 7382–7384.
- [22] Zhang, W., Chen, M., Gong, X., Diao, G., "Universal water-soluble cyclodextrin polymer–carbon nanomaterials with supramolecular recognition" *Carbon*, 2013, 61, 154–163.
- [23] Lembo, D., Swaminathan, S., Donalisio, M., Civra, A., Pastero, L., Aquilano, D., Vavia, P., Trotta, F., Cavalli, R., "Encapsulation of Acyclovir in new carboxylated cyclodextrin-based nanosponges improves the agent's antiviral efficacy", *Int. J. Pharm.*, 2013, 443, 262–272.
- [24] Ahmadi Azghandi, M. H., Farahani, B. V., Dehghani, N., "Encapsulation of methotrexate and cyclophosphamide in interpolymer complexes formed between poly acrylic acid and poly ethylene glycol on multi-walled carbon nanotubes as drug delivery systems"
- [1] SUI, K., GAO, S., WU, W., "Injectable Supramolecular Hybrid Hydrogels Formed by MWNT-grafted-Poly(ethylene glycol) and α -Cyclodextrin", *Journal of Polymer Science: Part A: Polymer Chemistry*, 2010, 48, 3145–3151.
- [2] Iannazzo, D., Mazzaglia, A., "Cyclodextrin-grafted on multiwalled carbon nanotubes as versatile nanoplatfor for entrapment of guanine-based drugs", *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 2014, 123, 264–270.
- [3] Thimma, R. T., Dajan, J., Horst, A., "Pseudopolyrotaxane Formation in the Synthesis of Cyclodextrin Polymers: Effects on Drug Delivery, Mechanics, and Cell Compatibility", *Bioconjugate Chem.*, 2017, 28 (4), 1048–1058.
- [4] Liao, P., Senyang, L., Anchao, F., Jinying, Y., "Polymeric Nanocarriers Based on Cyclodextrins for Drug Delivery: Host–Guest Interaction as Stimuli Responsive Linker", *Mol. Pharmaceutics*, 2017, 14 (8), 2475–2486.
- [5] Loftsson, T., Stefánsson, E., "Cyclodextrins and topical drug delivery to the anterior and posterior segments of the eye", *International Journal of Pharmaceutics*, 2017, 531 (2), 413–423.
- [6] Harada, A., Nishiyama, T., Kawaguchi, Y., Okada, M., Kamachi, M., "Preparation and Characterization of Inclusion Complexes of Aliphatic Polyesters with Cyclodextrins", *Macromolecules*, 1997, 30, 7115–7118.
- [7] Harada, A., Okada, M., Kamachi, M., "Complex formation between poly(oxytrimethylene) and cyclodextrins", *Acta Polym.*, 1995, 46, 453–457.
- [8] Harada, A., Li, J., Kamachi, M., "Preparation and properties of inclusion complexes of polyethylene glycol with alpha-cyclodextrin" *Macromolecules*, 1993, 26, 5698–5703.
- [9] Zhao, S. P., Zhang, L. M., Ma, D., "Supramolecular Hydrogels Induced Rapidly by Inclusion Complexation of Poly(ϵ -caprolactone)–Poly(Ethylene Glycol)–Poly(ϵ -caprolactone) Block Copolymers with α -Cyclodextrin in Aqueous Solutions", *J. Phys. Chem. B.*, 2006, 110, 12225–12229.
- [10] Jain, K. K., "Advances in use of functionalized carbon nanotubes for drug design and discovery", *Exp. Opin. Drug Discov.*, 2012, 7, 1029–1037.
- [11] Iannazzo, D., Piperno, A., Pistone, A., Grassi, G., "Recent advances in carbon nanotubes as delivery systems for anticancer drugs", *Curr. Med. Chem.*, 2013, 20, 1333–1354.
- [12] Wang, Y., Yang, S.-T., Wang, Y., Liu, Y., Wang, H., "Adsorption and desorption of doxorubicin on oxidized carbon nanotubes" *Colloids Surf. B.*, 2012, 97, 62–69.