

فرآیندهای نوین در مهندسی مواد

ma.iaumajlesi.ac.ir

عامل دار کردن و سنتز پایدار نانوکامپوزیت PET-AuNPs به روش سونوشیمی و مطالعات کمی و کیفی الکتروشیمیایی با الکتروود اصلاح شده AuNPs-PET/CNT/Au

مقاله پژوهشی

جواد مرادپور¹، حسین پیمان^{2*}، حمیده روشنفکر^{2*}

1- کارشناسی ارشد شیمی تجزیه، گروه شیمی، واحد ایلام، دانشگاه آزاد اسلامی، ایلام، ایران.

2- استادیار، گروه شیمی، واحد ایلام، دانشگاه آزاد اسلامی، ایلام، ایران.

* peymanhossein@gmail.com - nfekrhamide@gmail.com

چکیده

پلی اتیلن ترفتالات در صنایع مختلف کاربرد دارد، اما به دلیل فقدان گروه‌های عاملی در سطح با محدودیت کاربرد مواجه می‌باشد و نیازمند اصلاح سطح جهت بهبود کاربرد می‌باشد. در این پژوهش ابتدا سطح الیاف PET با گروه‌های کربوکسیلیک اسید عامل دار گردید. سپس، در محیط قلیایی نانوذرات طلا به روش سونوشیمی به صورت پایدار بر سطح آن سنتز شد و اثر پارامترهای مؤثر بر اندازه و تراکم نانو ذرات بررسی و بهینه گردید (دما، توان دستگاه التراسونیک و pH). از توانایی نانوکامپوزیت PET-AuNPs برای حذف رنگ‌های صنعتی از محیط‌زیست استفاده و در حذف و اندازه‌گیری رنگ متیل اورانژ از محیط‌های آبی استفاده شد و اثر غلظت اولیه رنگ، زمان و pH بررسی و بهینه گردید. در اندازه‌گیری کمی الکتروشیمیایی رنگ، الکتروود اصلاح شده AuNPs-PET/CNT/Au در دامنه 20 تا 60 میکرومولار دارای پاسخ خطی بود. حد تشخیص این الکتروود 55 میکرومولار و اثر سرعت رویش پتانسیل بر جریان پیک و اثر pH محلول بررسی گردید. مطالعات تعادلات جذب نشان دادند که جذب از ایزوترم تمکین پیروی می‌نماید.

اطلاعات مقاله

دریافت: 1401/03/25

پذیرش: 1401/06/05

کلید واژگان:

عامل دار کردن

اولتراسونیک

پلی اتیلن ترفتالات

جاذب

نانوذرات طلا

Functionalization and Stable Synthesis of PET-AuNPs nanocomposites By Sonochemistry and Electrochemical Quantitative and Qualitative Studies with Modified AuNPs-PET / CNT / Au Electrode

Javad Moradpour¹, Hossein Peyman^{2*}, Hamideh Roshanfekr^{2*}

1- MsC of Analytical Chemistry, Department of Chemistry, Ilam Branch, Islamic Azad University, Ilam, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Chemistry, Ilam Branch, Islamic Azad University, Ilam, Iran.

* peymanhossein@gmail.com - nfekrhamide@gmail.com

Article Information

Original Research Paper

Doi:

[20.1001.1.24233226.1402.17.1.5.9](https://doi.org/10.1001.1.24233226.1402.17.1.5.9)

Keywords:

Activation, Ultrasonic

Polyethylene terephthalate

Adsorbent

Gold nanoparticles

Abstract

Polyethylene terephthalate is used in various industries, but due to the lack of functional groups on the surface, it is limited in use and needs surface modification to improve the application. In this study, the surface of PET fibers was first functionalized with carboxylic acid groups. Then, in an alkaline medium, gold nanoparticles were synthesized sonochemically on their surface, and the effect of parameters affecting the size and density of nanoparticles was investigated and optimized (temperature, power of ultrasonic device, and pH). The ability of PET-AuNPs nanocomposites to remove industrial dyes from the environment was used, and the removal and measurement of methyl orange dye from aqueous media were used. The effect of initial dye concentration, time, and pH was investigated and optimized. In quantitative electrochemical dye measurements, the modified AuNPs-PET / CNT / Au electrode had a linear response in the range of 20 to 60 μM . The detection limit of this electrode was 55 μM , and the effect of potential scanning speed on peak flow and the effect of solution pH were investigated. Adsorption equation studies have shown that adsorption follows the obedience isotherm.

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:

Javad Moradpour, Hossein Peyman, Hamideh Roshanfekr, Functionalization and Stable Synthesis of PET-AuNPs nanocomposites By Sonochemistry and Electrochemical Quantitative and Qualitative Studies with Modified AuNPs-PET / CNT / Au Electrode, New Process in Material Engineering, 2023, 17(1), 57-70.

1- مقدمه

پلی اتیلن ترفتالات یک پلیمر ترموپلاست و از خانواده پلی استرها می باشد. پلیمری با شاخه های بلند که از واکنش بین اسید ترفتالیک خالص و اتیلن گلایکول به دست می آید و دارای کاربردهایی همچون سنتز الیاف، بطری برای نگهداری مایعات، کاربردهای ترموفورمینگ، رزین های مهندسی و کاربردهای پزشکی همانند: ساخت رگ های مصنوعی [1-4]، استفاده در دریچه قلب [5-7] [6-8]، استفاده به عنوان بخیه قابل کاشت در بدن [5-8] و استفاده به عنوان مش جراحی [9-11] می باشد. ترموپلاستیک ها با افزایش دما نرم شده و با خنک شدن به سختی اولیه برمی گردند و بیشتر قابل ذوب هستند [12]. از جمله خصوصیات این پلیمر می توان به موارد زیر اشاره کرد: سختی، سفتی و استحکام بالا، چقرمگی خوب حتی در دماهای پایین، مقاومت به خزش خوب و پایداری ابعادی بالا، دمای کاری بین منفی 40 تا 100 درجه سانتی گراد [13]. امروزه از اسید ایزوفتالیک برای ساخت PET کوپلیمر به منظور افزایش استحکام بطری و کریستالیزاسیون آرام تر استفاده می شود [14].

در زمینه کاربردهای پزشکی PET، به دلیل تماس آن با خون، یکی از نکاتی که بسیار مورد توجه قرار می گیرد، زیست سازگار بودن آن می باشد. اصلاح سطح یک روش بسیار مفید برای بهبود زیست سازگاری مواد و ترکیبات مختلف می باشد. پلیمر PET به علت نداشتن گروه های عاملی فعال در سطح خود، یک پلیمر بی اثر بوده و قادر به اتصال به مولکول های فعال زیستی نمی باشد. به همین علت اولین قدم در زیست سازگار کردن آن، افزودن گروه عاملی مناسب بر سطح پلیمر می باشد. امروزه از تکنیک های مختلفی به این منظور استفاده می شود: هیدرولیز [11، 15-16]، احیاء [17]، گلیکولیز [18]، آمینولیز [1، 11] و آمین دار کردن [19] از جمله این تکنیک ها می باشند. پس از عامل دار کردن امکان اصلاح بیشتر و افزودن دامنه گسترده ای از ترکیبات و مواد بر سطح پلیمر وجود دارد که منجر به بهبود خواص و افزایش برخی خصوصیات آن می شود. از نانو ذرات در

جهت اصلاح سطح و بهبود کیفیت مواد مختلف و بخصوص پلیمرها استفاده می شود. یکی از مهم ترین و بهترین نانوذرات، نانو ذرات طلا می باشند. برخی از ویژگی های نانو ذرات طلا و مشتقات آن عبارت اند از: غیر سمی بودن، غیر محرک بودن برای بدن، غیر حساسیت زا بودن، قابلیت تحمل شرایط مختلف (پایداری زیاد)، آب دوست بودن، سازگاری با محیط زیست، مقاوم در برابر حرارت، عدم ایجاد و افزایش مقاومت و سازگاری در برابر میکروارگانیسم ها.

نانو ذرات طلا، با توجه به خاصیت آنتی باکتریالی که دارند می توانند با پلیمرهای گوناگون مخلوط و در صنایع پزشکی و غذایی مورد استفاده قرار گیرند [20-25]. استفاده این نانوذرات به صورت اتصال کوالانسی سبب افزایش طول عمر و کیفیت پلیمرها می شود. سازگاری زیستی و مقاومت در برابر خوردگی منجر شده که کاربرد طلا درون بدن بلا مانع باشد. کاربردهای طبی طلا به هزاران سال پیش برمی گردد. مناطق گرم و حاره، مانند هند و مصر تهیه داروی طلا را بنا نهاده اند و بعدها در چین برای درمان دردهایی از جمله آبله و سرخچه از آن استفاده می کردند [26].

از روش های مختلفی جهت سنتز نانوذرات استفاده می شود از جمله سنتز به کمک امواج فراصوت. امواج صوتی در گستره فرکانسی بیش از 20 کیلوهرتز تحت عنوان امواج فراصوت شناخته می شوند. استفاده از این امواج در موارد بسیار زیادی کاربرد دارد که یکی از این حوزه ها، علم شیمی است و کاربرد امواج فراصوت در شیمی، واکنش ها و فرایندهای شیمیایی به سونوشیمی معروف شده است. اثرات اعمال امواج فراصوت به محلول ها در قالب اثرات فیزیکی و اثرات شیمیایی بررسی می شوند و کاربردهای ایجاد شده برای روش های سونوشیمیایی بر اساس همین اثرات شکل گرفته اند. اصلی ترین تأثیر این امواج به اثرات فیزیکی آن و فرایندی به نام حفره زایی یا کویتاسیون مربوط می شود. این فرآیند در اصل شامل تشکیل یک سری حباب ها در محلول در اثر اعمال امواج فراصوت و در پی آن رشد و متلاشی شدن انفجاری آن ها می باشد. در اثر این پدیده فیزیکی و انفجار حباب ها در محلول مقدار زیادی انرژی به صورت

استفاده از فوتوکاتالیست‌ها [40-42]، رسوب‌دهی [43] و استخراج مایع-مایع [44-45].
متیل اورانژ ترکیبی به شدت رنگی است و در رنگ کردن و چاپ کردن پارچه‌ها به کار می‌رود. شیمیدانان از متیل اورانژ به عنوان معرف در تیتراسیون باز ضعیف با اسیدهای قوی استفاده می‌کنند. رنگ این ماده از قرمز تا زرد مایل به نارنجی (pH 3/1 - 4/4) تغییر می‌کند.

تغییر مسیر الکترون‌های محدود در مولکول وقتی که اتم هیدروژن به آن اضافه یا جدا می‌شود؛ سبب تغییرات رنگی pH متیل اورانژ می‌شود. این مولکول رنگ آبی-سبز را جذب می‌کند در نتیجه محلول به رنگ قرمز دیده می‌شود. در محیط بازی یک یون هیدروژن از پل N-N میان حلقه‌ها حذف شده و الکترون‌هایی که قبلاً برای اتصال این هیدروژن به کار می‌رفتند بار مثبت اتم نیتروژن انتهایی را خنثی می‌کنند به طوری که آن اتم نیتروژن دیگر نمی‌تواند پیوند پی تشکیل دهد. محلول متیل اورانژ در محیط بازی زرد است [46].

متیل اورانژ (Methyl Orange MO) $C_{14}H_{14}N_3NaO_3S$ نام دیگر هلیاتین ترکیبی شیمیایی و پرکاربرد به عنوان رنگر در صنایع مختلف است. MO دارای ساختار پیچیده مولکولی، غالباً سمی و سرطان‌زا می‌باشد که با تولید گروه‌های آمین در تجزیه بی‌هوازی سبب جهش‌زایی می‌شود. این ماده غیرقابل تجزیه بیولوژیک و پایدار می‌باشد به همین علت در صورت ورود به محیط‌زیست اثرات جبران‌ناپذیری بجای می‌گذارد [40-41, 47-48]. نیتروژن و فسفر موجود در ساختار مواد رنگ‌زا سبب افزایش رشد جلبک‌ها می‌شوند. تصفیه بیولوژیک فاضلاب‌های دارای مواد رنگ‌زا، پاک‌کننده‌ها و چسب‌ها به دلیل قابلیت تجزیه‌پذیری بسیار کم آن‌ها، دچار اختلال می‌شود. به دلیل وجود حلقه‌های بنزنی این ترکیبات سرطان‌زا می‌باشند. از سوی دیگر، فناوری‌هایی که این گونه رنگ‌ها را در مقابل مواد سفیدکننده، نور خورشید و اکسیداسیون مقاوم می‌کند، باعث عدم حذف آن‌ها در سیستم‌های رایج و مورد استفاده در تصفیه فاضلاب می‌گردد. بنابراین، از آنجایی که به دلیل کاربرد بسیار متنوع PET در صنایع مختلف بخصوص صنعت بسته‌بندی مواد غذایی و

موضعی آزاد می‌شود که خود را به صورت دماهای موضعی نشان می‌دهد و یک شرایط بسیار مناسب برای انجام واکنش‌های شیمیایی است. امروزه واکنش‌های شیمیایی بسیاری با استفاده از امواج فراصوت انجام می‌شوند و از همین روی، روش‌های سونوشیمیایی متعددی نیز توسعه و گسترش یافته‌اند. یکی از اصلی‌ترین موارد استفاده از این روش‌ها در سنتز نانوذرات مختلف است که استفاده از روش‌های سونوشیمیایی کاربرد و توسعه بسیار گسترده‌ای در این بخش پیدا کرده است.

روش‌های سونوشیمیایی متعددی برای سنتز نانوساختارها توسعه یافته‌اند؛ از این جمله می‌توان به احیاء سونوشیمیایی [27]، سنتز نانوساختارهای اکسید فلزی با استفاده از روش سل - ژل دستکاری شده با کمک امواج فراصوت [28]، انباشت القا شده توسط امواج فراصوت [29]، سونوالکتروشیمی [30]، گرماکافت توسط افشانه فراصوت [29]، فرسایش لیزری با کمک امواج فراصوت [31]، سنتز کالکوژناید‌های فلزی با تجزیه سونوشیمیایی [27] و... اشاره نمود.

رنگ در صنایع مختلف همانند کاغذسازی، تولید چرم، داروسازی، مواد و وسایل آرایشی و فرش کاربرد فراوان دارد که منجر ورود مقدار بسیار زیادی از آن‌ها به فاضلاب این صنایع می‌شود. چیزی در حدود 10 تا 15 درصد از رنگ مصرفی این صنایع به صورت فاضلاب دفع می‌شود [32]. این فاضلاب‌های رنگی ضمن سمی نمودن منبع آبی سبب کاهش اکسیژن محلول در آب و با کدر نمودن منبع آبی سبب عدم نفوذ نور به درون آن‌ها می‌شوند. نتیجه این عمل کاهش فتوسنتز در آب می‌باشد [33]. بنا به دلایل ذکر شده، تصفیه فاضلاب‌های رنگی و حذف رنگ از آن‌ها دارای اهمیت می‌باشد [35-36].

روش‌های رایج در حذف رنگ از فاضلاب‌ها عبارت‌اند از: انعقاد و لخته سازی، جذب [36-37]، بایو جذب [38-39]، اکسیداسیون شیمیایی، تصفیه الکتروشیمیایی، تعویض یون، اکسیداسیون پیشرفته، تجزیه آنزیمی، جذب سطحی،

PET به روش کششی بوده و دارای رطوبت کمتر از ppm 35 با جرم مولی 25-45 kg/mol می‌باشند. برای تهیه و رقیق نمودن محلول‌ها از آب دو بار تقطیر استفاده شده است. به منظور بررسی اثر عامل دار شدن الیاف پلی‌اتیلن ترفتالات از نمونه‌ی تهیه‌ی شده طیف FT-IR گرفته شد. از میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM برای پی بردن به سنتز نانوذرات طلا بر روی سطح PET استفاده گردید. واکنش‌ها تحت امواج فراصوت با قدرت‌های متفاوت 50 و 110 وات انجام گرفت. از دستگاه التراسونیک ندلول‌ماسونیک P60H برای سنتز و از دستگاه UV-Vis دوپرتویی ساخت شرکت پراکین المر مدل لامبدا 25 جهت بررسی حذف رنگ متیل اورانژ توسط پلیمر پلی‌اتیلن ترفتالات اصلاح شده با نانوذره طلا، استفاده شد. تمام آزمایشات ولتامتری به وسیله دستگاه پتانسیواستات-گالوانواستات مدل Auto labType III μ (FRA2) که دارای ساختاری تک سل و با سه الکتروست انجام شد. سیستم سه الکترودی شامل سه الکترود طلا به عنوان الکترود کار، الکترود کالومل اشباع (Ag/AgCl) به عنوان الکترود مرجع و الکترود پلاتین به عنوان الکترود کمکی است. هر سه الکترود ساخت شرکت متروهم می‌باشد.

2-2-1- آماده‌سازی نمونه‌ها

2-2-1-1- عامل دار کردن پلی‌اتیلن ترفتالات

الیاف PET به دلیل فقدان گروه‌های عاملی در سطح آن، نیازمند اصلاح سطح می‌باشد. به همین دلیل ابتدا سطح الیاف PET با گروه‌های کربوکسیلیک اسید عامل دار گردید. سپس نانو ذرات طلا بر سطح آن سنتز شد. در پایان این مرحله، جهت بررسی موفقیت‌آمیز بودن کار طیف FT-IR گرفته شد.

در مرحله اول جهت عامل دار کردن پلیمر، 0/1 گرم از PET را وزن کرده و به مدت 24 ساعت در محلول استون قرار دادیم تا تمام ناخالصی‌های سطحی شسته شوند، سپس پلیمر را 8-6 ساعت در دمای 45 درجه سلسیوس در آون قرار داده تا خشک شود پس از آن، در محلول 18/5 V/V % فرمالدئید و اسید استیک 1 مولار به مدت 4 ساعت غوطه‌ور

صنعت نساجی، قیمت مناسب آن لزوم اصلاح ساختار و بهبود کیفیت آن وجود دارد تا بتوان با ایجاد خصوصیات جدید همانند خاصیت آنتی باکتریالی و خواص جدید مربوط به اصلاحگرهای ساختاری که به مواد پلیمری افزوده می‌شوند، در این ترکیبات ایجاد نمود. لذا می‌توان در یک علاوه بر ایجاد قابلیت‌های جدید برای این پلیمر، زمینه‌های کاربردی تازه‌ای همچون استفاده در فیلترهای تصفیه هوا و آب را به وجود خواهد آورد. به دلیل فقدان گروه‌های عاملی در سطح این پلیمر، افزودن پایدار نانو ذرات به ساختار آن امکان‌پذیر نمی‌باشد، لذا این پلیمر نیازمند اصلاح سطح و ایجاد گروه‌های عاملی می‌باشد تا بتوان نانو ذرات را به صورت پایدار و با اتصال شیمیایی قوی به سطح پلیمر متصل کرد. به همین دلیل ابتدا سطح الیاف PET با گروه‌های کربوکسیلیک اسید عامل دار می‌گردد. سپس نانوذرات طلا بر سطح آن به صورت درجا و با اتصال پایدار توسط امواج التراسونیک بر سطح سنتز می‌شود. به این ترتیب یکی از پرکاربردترین الیاف پلیمری برای اولین بار با ایجاد گروه عاملی بر سطح و سنتز نانوذره در محل همان گروه عاملی اصلاح و دارای قابلیت‌های جدید شد. در این کار در قسمت اول، با اصلاح سطح PET و سنتز نانوذره طلا بر روی آن، خاصیت ضد باکتریایی آن مورد بررسی قرار گرفت. از طرفی، به دلایل بیان شده در بالا اهمیت اندازه‌گیری دقیق و حذف رنگ MO مشخص می‌باشد. به منظور استفاده و بهره‌مندی از پلیمر اصلاح ساختار شده با قابلیت‌های جدید در بخش دوم از PET اصلاح شده که دارای خصوصیات هم‌افزایی شده جدید فراوانی شده است، به منظور حذف و اندازه‌گیری رنگ MO استفاده و شرایط بهینه به دست آمد. به این ترتیب، پلیمر PET با تغییر و بهبود ساختار دارای چندین کاربرد جدید خواهد شد.

2- مواد و روش‌ها

مواد مصرفی مورد استفاده جهت انجام آزمایش همگی بدون خالص‌سازی از شرکت مرک آلمان خریداری شدند. الیاف پلی‌استری پلی‌اتیلن ترفتالات $(C_{10}H_8O_4)_n$ از شرکت پویا نخ ایلام خریداری شد. این الیاف حاصل از ذوب گرانول‌های

است که گروه عاملی کربوکسیلیک اسید (-COOH) در سطح آن قرار گرفته است. با توجه به ساختار پلیمر PET غیرعاملی، پلی اتیلن ترفتالات دارای گروه های O-H انتهای زنجیره ی پلیمر، C=O، C-O، C=C حلقه ی آروماتیک و C-H می باشد. در طیف (A)، ارتعاش کششی O-H انتهای پلیمر در $3434/69 \text{ cm}^{-1}$ و ارتعاش کششی C=O استری در $1626/68 \text{ cm}^{-1}$ قرار دارد. لازم به ذکر است که ارتعاش کششی گروه کربونیل استری در محدوده ی $1750-1735 \text{ cm}^{-1}$ ظاهر می شود اما در اینجا به دلیل قرار گرفتن گروه کربونیل در مجاورت حلقه آروماتیک به عنوان الکترون کشنده عمل می کند و اثر مزدوج شدن با این گروه باعث کاهش فرکانس و کاهش انرژی می شود، به همین دلیل است که پیک جذبی گروه کربونیل استری در فرکانس پایین تر ظاهر می شود. ارتعاش کششی C-O در فرکانس های $1038/09 \text{ cm}^{-1}$ و $1107/81 \text{ cm}^{-1}$ ظاهر می شود. ارتعاش کششی C=C حلقه آروماتیک در فرکانس $1457/54 \text{ cm}^{-1}$ ظاهر می شود. البته ارتعاش کششی C=C حلقه آروماتیک، پیک دوتایی در فرکانس های (1475 cm^{-1} و 1600 cm^{-1}) دارد که پیک ناحیه 1600 cm^{-1} به دلیل نزدیکی با پیک کربونیل استری همپوشانی داشته است. ارتعاش کششی $\text{CH}_2\text{-CH}_2$ در فرکانس های $2858/03 \text{ cm}^{-1}$ و $2924/57 \text{ cm}^{-1}$ و ارتعاش کششی C-H خارج از صفحه ای در فرکانس $802/29 \text{ cm}^{-1}$ قرار دارند. ارتعاش کششی C-H خارج از صفحه ای برای تعیین فرم استخلاف حلقه آروماتیک به کار می رود، برای حلقه های دو استخلافی از نوع پارا پیک در محدوده ی cm^{-1} 800-850 دیده می شود.

طیف (B) پلیمر پلی اتیلن ترفتالات عامل دار شده با گروه های کربوکسیلیک (-COOH) است. علاوه بر گروه های موجود در زنجیره ی خود پلیمر، با عامل دار شدن، گروه های کربوکسیلیک روی حلقه ی آروماتیک قرار گرفته و در طیف خود باید گروه های اضافه شده به سطح خود را نشان دهد. طیف (B) شامل ارتعاش کششی O-H انتهای پلیمر (3436 cm^{-1})، ارتعاش کششی O-H اسیدی (3070 cm^{-1})، ارتعاش کششی C=O پلیمر (1731 cm^{-1})

نمودیم تا الیاف پلیمری هیدروکسیل دار شوند. سپس آن ها را در محلول اسید برمواستیک 1 مولار که نسبت به سدیم هیدروکسید 2 مولار می باشد، به مدت 18 ساعت قرار دادیم. به این ترتیب سطح الیاف پلیمر پلی اتیلن ترفتالات دارای گروه کربوکسیلیک اسید شد. در پایان، جهت بررسی طیف FT-IR گرفته شد [19].

2-2-1-2- سنتز نانوذره طلا بر روی سطح الیاف PET اصلاح شده

پس از عامل دار کردن پلیمر PET، به منظور سنتز نانوذرات طلا بر روی آن، مقدار 0/05 گرم از پلیمر را وزن کرده و به 25 میلی لیتر از محلول 0/001 مولار HAuCl_4 سه آبه اضافه گردید و محلول به مدت 2 ساعت در دستگاه التراسونیک با توان 100 KHz و فرکانس 80 Hz و دمای 45 درجه سانتی گراد قرار گرفت. بعد از 20 دقیقه از قرار گرفتن محلول در التراسونیک 3 میلی لیتر محلول 0/01 w/v سدیم سترات به محلول اولیه اضافه شد. رنگ محلول اولیه به رنگ زرد کم رنگ و به تدریج به رنگ آبی، بنفش و قرمز تیره درمی آید که نشانه پایان آزمایش می باشد. بعد از این مرحله پلیمر با اتانول شستشو داده شده و به مدت 24 ساعت در آن با دمای 45 درجه سلسیوس قرار گرفت. در پایان این مرحله، جهت بررسی نانو ذرات طلا سنتز شده بر سطح پلیمر عامل دار، تصویر SEM گرفته شد.

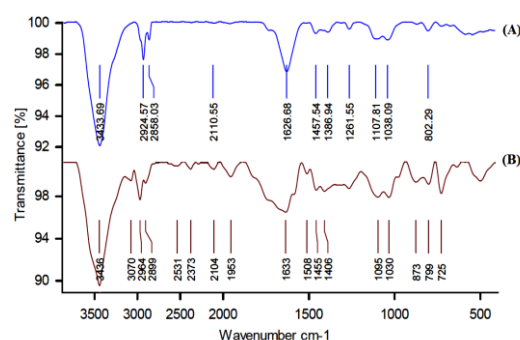
3- نتایج و بحث

3-1- آنالیز اصلاح سطح الیاف پلی اتیلن ترفتالات (PET) با استفاده از طیف سنجی مادون قرمز FT-IR

از طیف سنجی مادون قرمز (FT-IR)، برای شناسایی کیفی مولکول های مختلف، تعیین ساختار مولکولی گونه های مختلف (مخصوصاً گروه های آلی) استفاده می گردد. بعد از عامل دار کردن پلیمر پلی اتیلن ترفتالات از طیف FT-IR برای تأیید استفاده شد. همان طور که در شکل (1) می بینید طیف (A) مربوط به پلیمر پلی اتیلن ترفتالات غیرعاملی است. طیف (B) مربوط به پلیمر پلی اتیلن ترفتالات عامل دار شده

فعال‌سازی لازم برای واکنش‌ها، شانس انجام واکنش و افزایش سرعت سنتز نانو ذرات بالا رفته و نانو ذرات بیشتر و با سایز بزرگ‌تر سنتز می‌شوند. لازم به ذکر است، بر اساس معادله آرنیوس ($K = A \exp(-E/RT)$) سرعت واکنش‌های شیمیایی بخصوص واکنش‌های با انرژی فعال‌سازی قابل توجه به دما وابستگی شدیدی داشته و تقریباً با هر ده درجه سلسیوس افزایش دما سرعت واکنش دو برابر می‌شود. علت این امر همان‌گونه که بیان شد، افزایش تحرک ذرات که منجر به افزایش برخوردهای مؤثر شده و همچنین تأمین انرژی فعال‌سازی در دمای بالاتر می‌باشد. نتیجه این امر افزایش سایز بسیار زیاد نانو و تعداد نانو ذرات تشکیل شده با افزایش 20 درجه سانتی‌گرادی دما به دلیل افزایش سرعت حدود چهار برابری می‌باشد. علاوه بر موارد فوق، با افزایش دما نانو ذرات ریز با پایداری کمتر به راحتی در حلال از بین رفته و به نانو ذرات بزرگ‌تر و پایدارتر تبدیل می‌شوند. ما به دنبال سنتز نانوذره‌ایی با سایز کوچک‌تر و همچنین تراکم مناسب بر سطح پلیمر PET می‌باشیم، بنابراین، دمای 45 درجه سلسیوس را به‌عنوان دمای بهینه برای نانوذره طلا برگزیده شد.

می‌باشد که باید گروه کربونیل اسیدی در فرکانس پایین‌تر از گروه کربونیل استری قرار گیرد (کربونیل اسیدی: cm^{-1} 1700-1730)، کربونیل استری: cm^{-1} 1735-1750)، اما به دلیل ذکر شده در اثر استخلاف الکترون کشنده حلقه آروماتیک، فرکانس کربونیل استری به پایین‌تر از فرکانس کربونیل اسیدی انتقال یافته است. ارتعاش کششی C-O پلیمری cm^{-1} 1030 و cm^{-1} 1095، ارتعاش کششی C=O اسیدی cm^{-1} 1455، ارتعاش کششی C=C پلیمری، cm^{-1} 1508 و ارتعاش کششی C-H خارج از صفحه‌ای در cm^{-1} 799¹ و cm^{-1} 873 قرار دارند. دو پیک ارتعاش کششی C-H خارج از صفحه‌ای، بیان‌کننده‌ی نوع استخلاف حلقه‌ی آروماتیک می‌باشند که در اینجا این پیک‌ها نشان‌دهنده‌ی پارا بودن دو گروه کربونیل نسبت به هم می‌باشند.

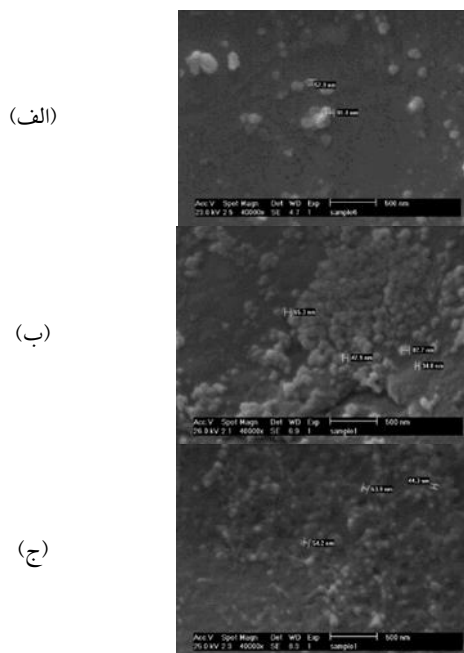


شکل (1): طیف FT-IR پلیمر پلی‌اتیلن ترفتالات، (A) پلیمر غیرعاملی پلی‌اتیلن ترفتالات، (B) پلیمر عامل دار شده پلی‌اتیلن ترفتالات با گروه‌های کربوکسیلیک اسید

3-2- بررسی اثر دما بر اندازه و تراکم نانو ذرات

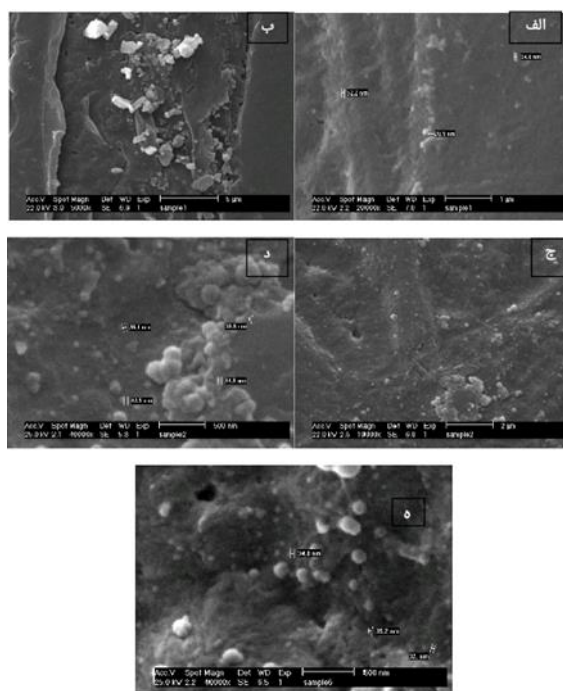
طلا سنتز شده بر سطح پلیمر عامل دار PET

به منظور بررسی اثر دما بر سنتز نانوذرات طلا، در دماهای 35، 45 و 55 درجه سلسیوس سنتز انجام شد که نتایج در شکل (2) مشاهده می‌شود. قسمت (الف) مربوط به سنتز نانو ذرات در دمای 35 درجه سلسیوس با میانگین اندازه 71/4 نانومتر و تراکم نانوذره مناسب و قسمت (ب) مربوط به سنتز نانوذرات در دمای 45 درجه سلسیوس با میانگین اندازه 57/47 نانومتر و تراکم نانوذره مناسب و در نهایت در قسمت (ج) مربوط به سنتز نانوذره در دمای 55 درجه سلسیوس و تراکم نانوذره کم می‌باشد. با افزایش دما، به دلیل افزایش تحرک ذرات در فاز مایع و همچنین تأمین انرژی



شکل (2): تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) سنتز شده در دماهای مختلف. (الف) در دمای 35 درجه سلسیوس (ب) در دمای 45 درجه سلسیوس (ج) در دمای 55 درجه سلسیوس

نانو ذرات بر سطح گروه عاملی اضافه شده به ساختار پلیمر، انتظار می‌رود با تغییر pH محلول به دلیل پروتونه و دپروتونه شدن گروه عاملی، امکان سنتز نانوذره طلا بر سطح آن تغییر کند. مشاهده شد که در غلظت ثابت از محلول واکنش، با افزایش pH محلول اندازه نانو ذرات افزایش می‌یابد به گونه‌ای که در $pH=9$ شاهد نانوذره با تراکم و اندازه مناسب می‌باشیم. در pH های کمتر از 9، با افزایش خاصیت قلیایی محیط، به علت دپروتونه شدن بیشتر گروه‌های کربوکسیلیک، شاهد سنتز با تراکم بیشتر می‌باشیم اما هر چه pH محلول واکنش از 9 بالاتر می‌رود غلظت یون‌های OH^- در محلول واکنش بیشتر شده و رقابت میان گروه‌های عاملی با یون حاوی OH^- برای واکنش با فلز Au^+ بیشتر شده و از تراکم نانو ذرات کاسته می‌شود. بنابراین $pH=9$ به عنوان pH بهینه و مناسب انتخاب شد.



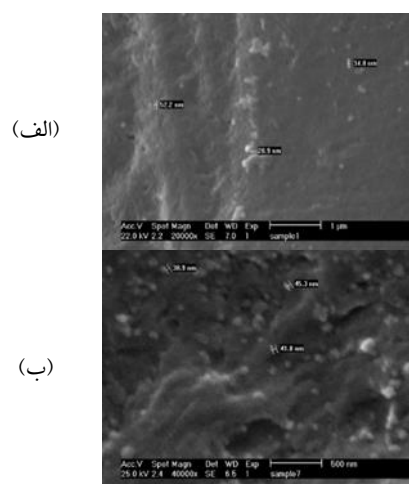
شکل (4): تصاویر SEM از نانوذرات طلا در pH های مختلف، (الف)

(ب) pH 6، (ج) pH 7، (د) pH 8، (ه) pH 9 و (و) pH 10

3-5- آنالیز پارامترهای مؤثر (غلظت، زمان و pH) بر روی حذف رنگ متیل اورانژ توسط پلیمر حاوی نانوذره بهینه شده

3-3- بررسی اثر توان دستگاه التراسونیک بر اندازه و تراکم نانو ذرات طلا سنتز شده بر سطح پلیمر عامل دار PET

برای بررسی اثر توان دستگاه التراسونیک بر روی اندازه نانو ذرات، سنتزها تحت تابش توان‌های مختلف از دستگاه التراسونیک قرار گرفتند. هر چه قدر توان دستگاه التراسونیک بیشتر باشد تعداد حباب‌هایی که در محلول واکنش تشکیل می‌شود بیشتر خواهد بود. بنابراین در دمای بهینه 45 درجه سلسیوس با افزایش توان دستگاه التراسونیک، نانوذره ریزتر خواهیم داشت. همان‌گونه که در شکل (3) در قسمت (الف) مشاهده می‌شود، استفاده از امواج فراصوت با توان دستگاهی 50 وات منجر به سنتز نانوذره با سایز حداکثر 52 نانومتری شده است. در نهایت در قسمت (ب) توان دستگاه به 110 وات رسید و نانوذره طلا با میانگین ابعاد 41/75 به دست آمد. بنابراین توان 110 وات به عنوان توان بهینه جهت سنتز نانوذره انتخاب گردید.



(الف)

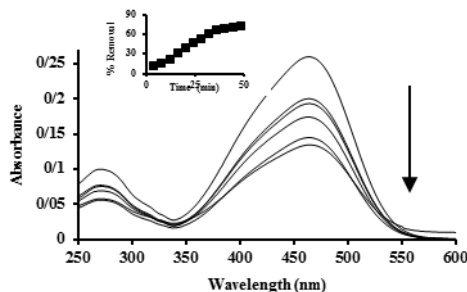
(ب)

شکل (3): تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، بررسی توان دستگاه التراسونیک (الف) در توان 50 وات (ب) در توان 100 وات

3-4- بررسی اثر pH محلول بر اندازه و تراکم نانو ذرات طلا سنتز شده بر سطح پلیمر عامل دار PET
پس از بهینه‌سازی پارامترهای دما و توان، به بررسی اثر pH پرداختیم. در pH های 6، 7، 8، 9، 10 سنتز نانوذره انجام شد که نتایج در شکل (4) آمده است. به علت مکانیسم سنتز

زمان برهمکنش، به علت اتصال رنگ به سطح جاذب، شدت طیف کاهش می‌یابد که بعد از 50 دقیقه مقدار حذف رنگ متیل اورانژ تقریباً به 70 درصد می‌رسد و روند کاهش شدت طیف متوقف می‌گردد.

به منظور حذف رنگ از روش‌های مختلفی از جمله روش جذب سطحی استفاده می‌شود. یکی از مهم‌ترین جاذب‌های نوین در بحث آلاینده‌ها، نانو جاذب‌های فلزی می‌باشند. نانو ذرات فلزی به دلیل سطح گسترده‌ای که به علت نانو بودن دارند قادرند مقدار زیادی از آلاینده را از طریق جذب به کمک لایه والانس گسترده خود جذب نمایند. فلز طلا به عنوان یک فلز نرم قادر است رنگ‌های با ساختار گسترده را با جذب الکترون‌های غیر پیوندی و پای جذب و از محیط محلول خارج نماید. این امر منجر به کاهش شدت طیف جذبی رنگ موجود در محلول به دلیل خروج آلاینده از محلول و جذب سطحی توسط جاذب نانوذره طلا می‌باشد و تا اشغال شدن کامل سطح جاذب نانوذره طلا توسط رنگ متیل اورنژ ادامه می‌یابد و پس از آن طیف جذبی ثابت می‌ماند.



شکل (5): طیف جذبی رنگ متیل اورانژ در غیاب و حضور پلیمر PET حاوی نانوذره طلا. ضمیمه: اثر زمان برهمکنش بر درصد جذب رنگ متیل اورنژ توسط پلیمر PET حاوی نانوذره طلا

3-7- آنالیز اثر غلظت بر میزان حذف رنگ متیل

اورانژ توسط دستگاه اسپکتروفتومتری UV-Vis

در حذف رنگ توسط یک جاذب همواره یک حداکثر حذفی وجود دارد که وابسته به مقدار و سطح جاذب می‌باشد. به همین علت، در این قسمت به بررسی غلظت‌های متفاوتی از محلول رنگ متیل اورانژ که شامل غلظت‌های

به منظور بررسی حذف MO توسط PET-AuNPs و بهینه نمودن پارامترهای مؤثر بر فرایند حذف رنگ متیل اورانژ از قبیل: غلظت، زمان برهمکنش رنگ و جاذب و pH محلول، آزمایش‌هایی در شرایط مختلف انجام و نتایج مورد بررسی قرار گرفته شد.

مرحله دوم کار بررسی اثرات حذف رنگ متیل اورانژ با استفاده از پلیمر پلی اتیلن ترفتالات نانوذره دار می‌باشد که با اندازه گیری‌های نوری با دستگاه اسپکتروفتومتر انجام و سپس به بررسی‌های الکتروشیمیایی آن پرداخته شد.

در این مرحله میزان حذف رنگ متیل اورانژ توسط پلیمر حاوی نانوذره طلا مورد آزمایش قرار گرفت و با استفاده از روش اسپکتروفتومتری درصد حذف به کمک معادله 1 محاسبه شد:

$$(1) \quad \text{درصد حذف رنگ} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100$$

در این معادله C_0 غلظت اولیه رنگ و C_e غلظت رنگ در هر زمان می‌باشد. در این مرحله مقدار 0/1 گرم از الیاف PET حاوی نانوذره طلا را به 3 میلی لیتر از محلول 10 میلی مولار MO افزوده و روی دستگاه همزن قرار داده و هر 4 دقیقه یک بار از محلول رنگ طیف جذبی ثبت گردید.

3-6- بررسی اثر زمان بر میزان حذف رنگ متیل

اورانژ توسط دستگاه اسپکتروفتومتری UV-Vis

در این مرحله به بررسی اثر زمان برهمکنش بین رنگ و جاذب پرداخته شد. از محلول رنگ متیل اورانژ که حاوی پلیمر PET دارای نانوذره طلا بهینه شده است در فواصل زمانی هر 4 دقیقه طیف UV-Vis گرفته شد. رنگ متیل اورانژ دارای یک طیف جذبی بلند در ناحیه طول موجی nm 350-550 می‌باشد. با اضافه شدن پلیمر دارای نانوذره به محیط حاوی رنگ به دلیل جذب رنگ بر سطح نانو ذرات طلا از طریق زوج الکترون‌های آزاد بر روی اکسیژن‌ها و زوج الکترون‌های حلقه آروماتیک، از غلظت رنگ در محلول کاسته می‌شود و به همان نسبت شدت طیف جذبی کاهش می‌یابد. در شکل (5) مشاهده می‌شود که با افزایش

1×10^{-4} ، 5×10^{-5} ، 1×10^{-6} ، 5×10^{-6} و 1×10^{-7} مولار بود در حضور مقدار ثابتی از جاذب پرداخته شد (شکل 5).

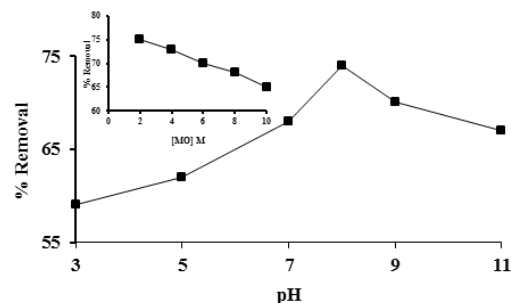
3-8- آنالیز اثر pH بر میزان حذف رنگ متیل

اورانژ توسط دستگاه اسپکتروفتومتری UV-Vis

در این بخش به بررسی pH های مختلف از محلول رنگ متیل اورانژ حاوی پلیمر PET دارای نانوذره طلا بهینه شده در فاصله زمانی 48 ساعت پرداخته شد.

به دلیل وجود اکسیژن و زوج الکترون آزاد در ساختار متیل اورنژ، رفتار جذبی آن بر سطح جاذب وابسته به pH می باشد. با اسیدی و بازی شدن محیط، به دلیل درگیر شدن این زوج الکترون ها با پروتون محیط اسیدی امکان اتصال به سطح جاذب فلزی کاهش می یابد.

در شکل (6) مشاهده می شود که با گذشت زمان 36 ساعت از محلول رنگ متیل اورانژ در pH های 6، 7، 8، 9 و 10 تغییرات شدت طیف به این صورت است: با افزایش pH محلول از 2 تا 8 روند حذف رنگ متیل اورانژ افزایشی می باشد اما در pH=9 این روند کاهش یافته و بنابراین pH بهینه ما همان pH=8 که بالاترین درصد حذف رنگ که حدود 76 درصد است ثبت گردید. در pH کمتر از هشت، با افزایش خاصیت قلیایی محیط به دلیل دپروتونه شدن بیشتر گروه های SO_3 و دارای نیتروژن، امکان اتصال به سطح پلیمر بیشتر می شود. در محیط به شدت قلیایی بین رنگ MO و گروه های هیدروکسیل برای اتصال به جاذب رقابت به وجود می آید که سبب کاهش درصد حذف می شود.



شکل (6): نمودار اثر pH محلول بر درصد حذف رنگ متیل اورانژ توسط پلیمر حاوی نانوذره طلا. ضمیمه: اثر غلظت اولیه متیل اورنژ بر درصد حذف در مقدار ثابت پلیمر حاوی نانوذره طلا.

3-9- ایزوترم های جذب تعادلی

خصوصیات جذب یک جاذب بر روی یک جاذب معمولاً توسط ایزوترم های تعادلی جذب توصیف می شود. مبنای انتخاب بهترین ایزوترم، ضریب همبستگی R^2 می باشد [19].

3-9-1- ایزوترم لانگمویر

در صورتی که جذب از ایزوترم لانگمویر پیروی نماید به منزله جذب تک لایه جاذب بر سطح جذب شونده می باشد که به صورت معادله 2 بیان می شود:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m} + \frac{C_e}{q_m} \quad (2)$$

که در آن C_e غلظت حل شده در محلول در لحظه تعادل و q_e مقدار غلظت جذب شده می باشد. با رسم C_e/q_e بر حسب C_e به کمک عرض از مبدأ $\frac{1}{bq_m}$ و شیب $\frac{1}{q_m}$ مقادیر b و q_m مشخص می شوند.

$$q_m = 0/000112 \quad b = -2409/64$$

3-9-2- ایزوترم فرنللیچ

ایزوترم فرنللیچ که به صورت معادله 3 بیان می شود، یک رابطه تجربی بین مقدار جذب شونده توسط یک جرم واحد جاذب جامد در فشار و دمای خاص است:

$$\ln q_e = \ln k_f + \frac{1}{n_f} \ln C_e \quad (3)$$

که در آن C_e غلظت حل شده در محلول در لحظه تعادل و q_e مقدار غلظت جذب شده و k_f و n_f ثابت فرنللیچ هستند که به ترتیب میزان شدت جذب سطحی و ظرفیت جذب سطحی می باشند. با رسم $\ln q_e$ بر حسب $\ln C_e$ با کمک شیب $\frac{1}{n_f}$ و عرض از مبدأ $\ln k_f$ مقدار k_f و n_f به دست می آید.

$$k_f = 3/698 \times 10^{-10} \quad n_f = -0/54$$

اصلاح شده با پلیمر PET حاوی نانوذره طلا، پیک الکتروشیمیایی رنگ MO بر سطح الکتروود طلا اصلاح شده با نانوکامپوزیت PET-AuNPs و نانولوله‌های کربنی (CNT) ثبت گردید.

3-10-1- آماده‌سازی الکتروود اصلاح شده PET-AuNPs-CNT

در این بخش مقدار 1 میلی‌گرم نانولوله‌های کربنی غیرعاملی را با 1 میلی‌گرم پلیمر عامل دار حاوی نانوذره طلا اضافه کرده و سپس 0/1 گرم فنول و 10 میکرو لیتر آب مقطر را افزوده و در حمام آب گرم به مدت چند ثانیه قرار داده و در پایان، 7 ساعت در حمام التراسونیک قرار داده شد. الکتروود طلا با قطر 5 میلی‌متر را به وسیله پودر آلومینا پولیش داده و سپس با آب دو بار تقطیر، استون و اتانول شستشو داده شد تا مواد زائد روی آن کاملاً جدا شود. بعد از خشک شدن کامل سطح الکتروود در دمای اتاق از محلول کامپوزیت آماده شده روی الکتروود چکانده و الکتروود را به مدت 24 ساعت در دمای اتاق قرار داده تا حلال آن کاملاً تبخیر شود.

3-10-2- بررسی اثر سرعت روبش پتانسیل بر جریان پیک AuNPs-PET/CNT/Au

در واکنش‌های الکتروشیمیایی دو نوع محدودیت در انتقال جرم و در سرعت انتقال بار وجود دارد. سرعت انتقال الکترون تحت تأثیر پارامترهای مختلفی قرار می‌گیرد. یکی از این پارامترها، زمانی است که برای انجام واکنش مورد نظر، در اختیار سیستم قرار داده می‌شود. در تکنیک‌های مختلف الکتروشیمیایی محدوده زمانی تحت تأثیر کنترل پارامترهای متفاوتی است. در ولتامتری، سرعت روبش کنترل‌کننده زمان است. با افزایش سرعت روبش، محدوده زمانی کوچک‌تر شده و سیستم در منطقه کنترل شده با سینتیک انتقال الکترون قرار می‌گیرد. در این ناحیه می‌توان پارامترهای سینتیکی (K_s و α) را محاسبه کرد. اثر سرعت روبش روی پتانسیل اکسیداسیون (E_{pa}) و جریان پیک (i_{pa}) پلیمر AuNPs-PET/CNT/Au در شکل (7) مورد بررسی قرار گرفته شد و منحنی‌های ولتامتری چرخه‌ای در دامنه 0/01 الی 100 ولت

3-9-3- ایزوترم تمکین

ایزوترم تمکین که به صورت معادله 4 بیان می‌شود، اساس آن تغییر گرمای جذب با افزایش تعداد مولکول‌های جذب شونده بر سطح جاذب است:

$$q_e = B_1 \ln K_T + B_1 \ln C_e \quad (4)$$

که در آن C_e غلظت حل شده در محلول در لحظه تعادل و q_e مقدار غلظت جذب شده و K_T و B_1 ثابت‌های تمکین می‌باشند که اولی ثابت پیوند تعادلی، مرتبط با ماکزیم انرژی پیوند و دومی مرتبط با گرمای جذب سطحی می‌باشد. با رسم q_e برحسب $\ln C_e$ با کمک شیب و عرض از مبدا مقادیر B_1 و K_T به دست آمد.

$$B_1 = -0/006 \quad K_T = 1295/95$$

خلاصه نتایج بررسی‌های مدل‌های ایزوترم انجام شده به صورت زیر است:

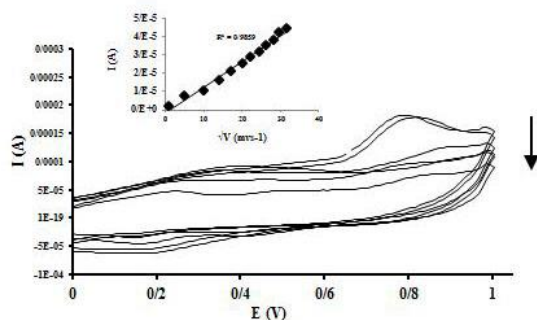
جدول (1): نتایج به دست آمده از بررسی تطابق سه مدل ایزوترم با تحقیق انجام گرفته

مدل ایزوترم	R^2	q_m
لانگمویر	0/9692	$q_m = 0/000112 \quad b = -2409/64$
فرنلیدج	0/9861	$n = -0/54 \quad k_f = 3/698 \times 10^{-10}$
تمکین	0/9987	$B_1 = -0/0006 \quad K_T = 1295/95$

در بررسی‌های صورت گرفته مشخص شد که فرآیند انجام شده با هر سه مدل هم‌خوانی مناسبی داشته و با مدل فرنلیدج و تمکین با بیشترین مقدار R^2 هم‌خوانی بیشتری دارد.

3-10-3- بررسی رفتار الکتروشیمیایی AuNPs-PET/CNT/Au

از آنجایی که رنگ‌ها به مقدار کم هم می‌توانند سبب مخاطرات زیادی برای سلامت انسان و محیط‌زیست شوند، اندازه‌گیری آن‌ها دارای اهمیت می‌باشد. در مرحله سوم به منظور اندازه‌گیری رنگ متیل اورانژ به کمک الکتروود



شکل (7): ولتامتری چرخه‌ای الکترود Nano-AuPs- CNT / PET / Au در بافر فسفاتی 0/1 مولار در pH های مختلف 6 الی 10 در حضور محلول 50 میکرومولار متیل اورانژ در سرعت اسکن 0/15 ولت بر ثانیه. ضمیمه: دامنه خطی نمودار پتانسیل بر حسب مقدار لگاریتم سرعت رویش 0/04 الی 0/45 میلی ولت بر ثانیه

3-10-4- مطالعات گستره دینامیکی خطی و حد تشخیص متیل اورانژ با استفاده از تکنیک ولتامتری موج مربعی

شدت جریان الکترود AuNPs-PET/CNT/Au در حضور مقادیر متفاوت از متیل اورانژ در بافر فسفاتی با pH=10 بررسی گردیده است. جریان پیک اکسایشی متیل اورانژ از 0/1 میکرومولار تا 80 میکرومولار تحت شرایط بهینه با تکنیک ولتامتری موج مربعی اندازه‌گیری گردید. با به‌کارگیری روش مذکور دامنه خطی برای متیل اورانژ مشخص شد. شکل (8).

جدول (2): LDR و DL به دست آمده با الکترود اصلاح شده

حد تشخیص	ضریب همبستگی	معادله خط	دامنه خطی	گونه
0/055 μM	$R^2=0/9922$	$I_p (\mu\text{A}) = -2E-08C (\mu\text{M}) + 0/000001$	20 μM الی 60 μM	متیل اورانژ

بر ثانیه به منظور مطالعه سنیتیکی واکنش‌های الکتروکود مورد نظر به دست آمد.

نتایج پیک نشان می‌دهد که جریان پیک برای پلیمر AuNPs-PET/CNT/Au به‌طور خطی با سرعت رویش در دامنه 10 الی 1000 میلی ولت بر ثانیه رابطه دارد. وجود رابطه خطی بین جریان پیک و مجذور سرعت شکل (7) پیشنهاد می‌دهد که واکنش‌های اکسایشی رنگ متیل اورانژ در سطح الکترود اصلاح شده تحت پدیده نفوذ می‌باشد. به علاوه پتانسیل پیک با سرعت اسکن 10 الی 1000 میلی ولت به‌طور خطی به‌صورت زیر رابطه دارد.

3-10-3- بررسی اثر pH محلول

یکی از فاکتورهای مؤثر در جریان و رفتار الکتروشیمیایی گونه‌ها، pH محلول مورد مطالعه می‌باشد. رفتار اکسایشی - کاهش‌ی گونه‌ها معمولاً به‌طور چشمگیری به خصوصیات محلول مورد بررسی بستگی دارد. در شکل (7) ولتامتری چرخه‌ای AuNPs-PET/CNT/Au در محلول 50 میکرومولار متیل اورانژ با ولتامتری چرخه‌ای بررسی گردید. تغییرات جریان پیک با توجه به pH محلول الکترولیت در دامنه 3 الی 11 در شکل (7) نشان داده شده است. در pH های اسیدی با پروتونه شدن سطح الکترود و ایجاد دافعه، درصد جذب رنگ کم می‌شود اما در pH های قلیایی با دپروتونه شدن سطح الکترود، امکان اتصال رنگ به سطح افزایش یافته ولی در pH های قلیایی بالاتر بین رنگ و گروه هیدروکسی برای اتصال به سطح الکترود رقابت به وجود می‌آید در نتیجه درصد جذب رنگ کاهش می‌یابد که 10 pH به‌عنوان pH بهینه انتخاب شد.

توانایی‌ها و خصوصیات جدید در مواد قابل دست‌یابی خواهد بود.

5- مراجع

[1] E. Vinard, R. Eloy, J. Descotes, J. R. Brudon, H. Guidicelli, J. L. Magne & et al, "Stability of performances of vascular prostheses retrospective study of 22 cases of human implanted prostheses", J. Biomed. Mat. Res, vol. 22, pp. 633-648, 1988.

[2] S. Haulon, P. Devos, S. Willoteaux, C. Mounier-Vehier, A. Sokoloff, P. Halna & et al, "Laparoscopic transperitoneal clipping of the inferior mesenteric artery for the management of type II endoleak after endovascular repair of an aneurysm", Europ. J. Vasc. Endov. Surg, vol. 25, pp. 118-124, 2003.

[3] N. Blanchemain, S. Haulon, F. Boschini, E. Marcon-Bachari, M. Traisnel, M. Morcellet & et al, "Bioinspired titanium drug eluting platforms based on a poly- β -cyclodextrin-chitosan layer-by-layer self-assembly targeting infections", Biomo. Eng, vol. 24, pp. 149-153, 2007.

[4] K. Kottke-Marchant, J. M. Anderson, Y. Umemura & R. E. Marchant, "Effect of albumin coating on the in vitro blood compatibility of Dacron® arterial prostheses", Biomat, vol. 10, pp. 147-155, 1989.

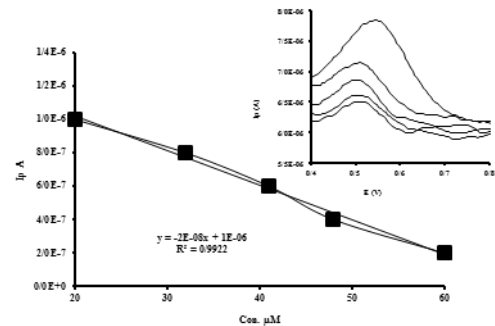
[5] J. Wang, J. Li, L. Shen, R. Ling, Z. Xu, A. Zhao & et al, "Efficiency and stability of narrow-gap semiconductor-based photo electrodes", Nuc. Inst. Meth. Phys. Res. Sec. B, vol. 257, pp. 141-145, 2007.

[6] B. Illingworth, K. Tweden, R. Schroeder & J. Cameron, "In vivo efficacy of silver-coated (Silzone) infection-resistant polyester fabric against a biofilm-producing bacteria", Staphylococcus epidermidis., J. Heart Val. Dis, vol. 7, pp. 524-530, 1998.

[7] K. S. Tweden, J. D. Cameron, A. J. Razzouk, W. R. Holmberg & S. J. Kelly, "Biocompatibility of silver-modified polyester for antimicrobial protection of prosthetic valves", J. Heart Val. Dis, vol. 6, pp. 553-561, 1997.

[8] C. Homsy, K. McDonald, W. Akers, C. Short & B. Freeman, "Surgical suture-canine tissue interaction for six common suture types", J. Biomed. Mater. Res, vol. 2, pp. 215-230, 1968.

[9] M. H. McGrath & S. Mukerji, "Plastic surgery and the teenage patient", J. Ped. Adols. Gyn, vol. 13, pp. 105-118, 2000.



شکل (8): نمودار جریان پیک تابعی از غلظت در حضور محلول رنگ متیل اورانژ ضمیمه: ولتامتری موج مربعی در محلولی از غلظت‌های متفاوتی از متیل اورانژ

4- نتیجه‌گیری

الیاف پلی‌اتیلن ترفتالات به دلیل فقدان گروه‌های عاملی در سطح آن، قادر به کاربرد به‌عنوان یک پذیرنده نانو ذرات به‌صورت پایدار جهت بهبود خواص و ایجاد کاربردهای جدید نمی‌باشد. لذا، این پلیمر نیازمند اصلاح سطح می‌باشد. به همین دلیل ابتدا سطح الیاف PET با موفقیت با گروه‌های کربوکسیلیک اسید عامل دار گردید. سپس نانوذرات طلا بر سطح آن سنتز شد. در مرحله بعد، اثر دما، توان دستگاه التراسونیک و pH به‌عنوان پارامترهای مؤثر بر اندازه و تراکم نانوذرات سنتز شده بر سطح پلیمر بررسی گردید و کلیه نتایج در این مرحله توسط SEM تأیید گردید. از این کامپوزیت برای حذف رنگ متیل اورانژ از محیط‌های آبی استفاده شد و اثر غلظت اولیه رنگ، زمان و pH بر حذف رنگ بررسی گردید که با توجه به نتایج کامپوزیت ما در حذف رنگ عملکرد مثبتی داشت. در نهایت رفتار الکتروشیمیایی AuNPs-PET/CNT/Au، اثر سرعت رویش پتانسیل بر جریان پیک AuNPs-PET/CNT/Au و اثر pH محلول بررسی گردید و مطالعات گسترده دینامیکی خطی و حد تشخیص متیل اورانژ با استفاده از تکنیک ولتامتری موج مربعی انجام شد. این اصلاح و کاربرد چندگانه از پلیمر PET به‌عنوان جاذب رنگ و سنسور اندازه‌گیری رویکردی تازه در استفاده از مواد اصلاح ساختار شده به‌منظور افزایش کارایی و کاربرد چندگانه آن‌ها می‌باشد که با ایجاد

- [20] K. Okuyama & I. W. Lenggoro, "Preparation of nanoparticles via spray route", *Chem. Eng. Sci.*, vol. 58, pp. 537-547, 2003.
- [21] Z. Izadifar, "Efficient Extraction of Phenolic Compounds from Wheat Distiller's Dried Grain", *Ultrasonic Pretreatment and Dielectric Studies: University of Saskatchewan, Saskatoon*, 2011.
- [22] J. Luche, "Developments of the new 'experimental theory' of sonochemistry initiated in Grenoble", *Ultrasonics*, vol. 30, pp. 156-162, 1992.
- [23] R. Mettin, "Bubble and particle dynamics in acoustic fields: modern trends and applications", 2005.
- [24] M. J. Dickens & J. L. Luche, "Further evidence for the effect of ultrasonic waves on electron transfer processes-the case of the kornblum-russell reaction", *Tetra. Let.*, vol. 32, pp. 4709-4712, 1991.
- [25] M. Dao, N. V. Chollacoop, K. Van Vliet, T. Venkatesh & S. Suresh, "Nanoindentation investigation on the initiation of yield point phenomenon in a medium Mn steel", *Acta Mater.*, vol. 49, pp. 3899-3918, 2001.
- [26] J. R. Selman & Y. P. Line, "Electrochemical characterisation of oxygen reduction on teflon-bonded gas diffusion electrodes", *Macdonald, Electrochemical Acta*, 2063, 1993.
- [27] H. Xu, B. W. Zeiger & K. S. Suslick, "Sonochemical synthesis of nanomaterials", *Chemical Society Reviews*, vol. 42, no. 7, pp. 2555-2567, 2013.
- [28] F. M. Nowak, "Sonochemistry: Theory, Reactions, Syntheses, and Applications", *Nova Science Publishers*, 2010.
- [29] J. H. Bang & K. S. Suslick, "Applications of ultrasound to the synthesis of nanostructured materials", *Advanced materials*, vol. 22, no. 10, pp. 1039-1059, 2010.
- [30] T. J. Mason & J. P. Lorimer, "Applied sonochemistry. The uses of power ultrasound in chemistry and processing", pp. 1-48, 2002.
- [31] S. Sun, H. Zeng, D. B. Robinson, S. Raoux, P. M. Rice, S. X. Wang & G. Li, "Monodisperse MFe₂O₄ (M = Fe, Co, Mn) Nanoparticles", *Am. Chem. Soc.*, vol. 126, pp. 273, 2004.
- [32] M. P. Scott, J. W. Tamkun & G. W. Hartzell, "The structure and function of the homeodomain", *Biochim. Biophys. Acta*, vol. 989, pp. 25-48, 1989.
- [10] P. Bracco, V. Brunella, L. Trossarelli, A. Coda & F. Botto-Micca, "Comparison of polypropylene and polyethylene terephthalate (Dacron) meshes for abdominal wall hernia repair: a chemical and morphological study", *Hernia*, vol. 9, pp. 51-55, 2005.
- [11] J. Zieren, H. Neuss, M. Paul & J. Müller, "The Effect of Size of Materials Formed or Implanted In Vivo on the Macrophage Response and the Resultant Influence on Clinical Outcome", *Biomed. Matter. Eng.*, vol. 14, pp. 127-132, 2004.
- [12] E. Vinard, R. Eloy, J. Descotes, J. R. Brudon, H. Guidicelli, J. L. Magne & et al, "Stability of performances of vascular prostheses retrospective study of 22 cases of human implated prostheses", *J Biomed Mater Res*, vol. 22, pp. 633, 1988.
- [13] K. E. Nissen, B. H. Stuart, M. G. Stevens & A. T. Baker, "Characterization of aminated poly (ethylene terephthalate) surfaces for biomedical applications", *J Appl Polym Sci*, vol. 107, pp. 2394, 2008.
- [14] M. J. Bide, M. D. Phaneuf, W. C. Quist, D. J. Dempsey & F. W. LoGerfo, "Bifunctionalized polyester material for surface treatment and biomodification", *US patent*, vol. 7, no. 037, pp. 527, 2006.
- [15] M. Ellison, L. Fisher, K. Alger & S. Zeronian, "Physical properties of polyester fibers degraded by aminolysis and by alkaline hydrolysis", *J. App. Poly. Sci.*, vol. 27, pp. 247-257, 1982.
- [16] C. Y. Kao, W. H. Cheng & B. Z. Wan, "Investigation of alkaline hydrolysis of polyethylene terephthalate by differential scanning calorimetry and thermogravimetric analysis", *J. App. Poly. Sci.*, vol. 70, pp. 1939-1945, 1998.
- [17] L. N. Bui, M. Thompson, N. B. McKeown, A. D. Romaschin & P. G. Kalman, "Surface modification of the biomedical polymer poly (ethylene terephthalate)", *Analyst*, vol. 118, pp. 463-474, 1993.
- [18] A. Y. Fadeev & T. J. McCarthy, "Surface modification of poly (ethylene terephthalate) to prepare surfaces with silica-like reactivity", *Langmuir*, vol. 14, pp. 5586-5593, 1998.
- [19] K. Nissen, B. Stuart, M. Stevens & A. Baker, "Characterization of aminated poly (ethylene terephthalate) surfaces for biomedical applications", *J. App. Poly. Sci.*, vol. 107, pp. 2394-2403, 2008.

- [42] K. Vijayaraghavan & Y. S. Yun, "Biosorption of CI Reactive Black 5 from aqueous solution using acid-treated biomass of brown seaweed *Laminaria sp.*", *Dye. Pig.*, vol. 76, pp. 726-732, 2008.
- [43] A. B. Dos Santos, F. J. Cervantes & J. B. Van Lier, "Review paper on current technologies for decolourisation of textile wastewaters: perspectives for anaerobic biotechnology", *Biores. Tech.*, vol. 98, pp. 2369-2385, 2007.
- [44] N. Azbar, T. Yonar & K. Kestioglu, "Comparison of various advanced oxidation processes and chemical treatment methods for COD and color removal from a polyester and acetate fiber dyeing effluent", *Chemosphere*, vol. 55, pp. 35-43, 2004.
- [45] T. Calvete, E. C. Lima, N. F. Cardoso, S. L. Dias & E. S. Ribeiro, "Mesoporous Nb₂O₅/SiO₂ material obtained by sol-gel method and applied as adsorbent of crystal violet dye", *Air Wat.*, vol. 38, pp. 521-532, 2010.
- [46] C. R. T. Tarley & M. A. Z. Arruda, "Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete", *Anal. Sci.*, vol. 20, pp. 961, 2004.
- [47] X. S. Wang & J. P. Chen, "Preparation of Porous Graphene@Mn₃O₄ and Its Application in the Oxygen Reduction Reaction and Supercapacitor", *Air Wat.*, vol. 37, pp. 793-798, 2009.
- [48] A. Olad, A. R. Amani-Ghadim, M. S. S. Dorraji & M. H. Rasoulifard, "Electrocoagulation treatment of the food dye waste industry: Theoretical and experimental study", *Air Wat.*, vol. 38, pp. 401-408, 2010.
- [33] R. A. Mantz, P. C. Trulove, R. T. Carlin & R. A. Osteryoung, "ROESY NMR of basic ambient-temperature chloroaluminate ionic liquids", *Inorg. Chem.*, vol. 34, pp. 3846-3847, 1995.
- [34] J. Qu, J. Truhan, S. Dai, H. Luo & P. Blau, "Comparison of an oil-miscible ionic liquid and ZDDP as a lubricant anti-wear additive", *Tribo. Let.*, vol. 22, pp. 207-214, 2006.
- [35] S. J. Allen, K. Y. Khader & M. Bino, "Electrooxidation of dyestuffs in waste waters", *J. Chem. Tech. Biotech.*, pp. 111-117, 1995.
- [36] R. Jain & S. Sikarwar, "Photocatalytic and adsorption studies on the removal of dye Congo red from wastewater", *Int. J. Env. Poll.*, vol. 27, pp. 158-178, 2006.
- [37] R. Sanghi & B. Bhattacharya, "Review on decolorisation of aqueous dye solutions by low cost adsorbents", *Color. Tech.*, vol. 118, pp. 256-269, 2002.
- [38] P. K. Malik, "Use of activated carbons prepared from sawdust and rice-husk for adsorption of acid dyes: a case study of Acid Yellow 36", *Dye. Pig.*, vol. 56, pp. 239-249, 2003.
- [39] M. X. Zhu, L. Lee, H. H. Wang & Z. Wang, "Removal of an anionic dye by adsorption/precipitation processes using alkaline white mud", *J. Haz. Mat.*, vol. 149, pp. 735-741, 2007.
- [40] E. Lorenc-Grabowska & G. Gryglewicz, "Adsorption characteristics of Congo Red on coal-based mesoporous activated carbon", *Dye. Pig.*, vol. 74, pp. 34-40, 2007.
- [41] P. Cooper, "Chemical catalytic reaction and biological oxidation for treatment of non-biodegradable textile effluent", *J. Soc. Dye. Colo.*, vol. 109, pp. 97-100, 1993.