

## سنسور دما پایین گاز منواکسید کربن بر پایه کامپوزیت لایه نازک PEDOT:PSS/Fe(II)(salen)

فرخنده عربلو<sup>۱\*</sup>، راحله معمارزاده<sup>۲</sup>، فرهاد پناهی<sup>۳</sup>، محمد دوازده‌امامی<sup>۴</sup>، سیروس جوادپور<sup>۵</sup>، محمدحسین شریعت<sup>۶</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز، دانشکده مهندسی، بخش مهندسی مواد، شیراز، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی مواد، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، شیراز، ایران

۳- پژوهشگر پسا دکتری، بخش شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

۴- پژوهشگر، دانشگاه شیراز، دانشکده مهندسی، بخش مهندسی مواد، شیراز، ایران

۵- دانشیار، دانشگاه شیراز، دانشکده مهندسی، بخش مهندسی مواد، شیراز، ایران

۶- استاد، دانشگاه شیراز، دانشکده مهندسی، بخش مهندسی مواد، شیراز، ایران

\*عهده دار مکاتبات: f.arabloo69@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۲۴، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۲۸

**چکیده:** امروزه سنسورهای گازی به طور گسترده برای کنترل اتمسفر محیط مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این پژوهش، لایه نازک PEDOT:PSS/Fe(salen) تهیه شده به روش پوشش دهی چرخشی، به عنوان حسگر گاز منواکسید کربن مورد استفاده قرار گرفت. کامپوزیت حاصل، با استفاده از روش‌های مختلف از جمله طیف سنجی نوری (UV-Vis) و طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز (FT-IR) مشخصه یابی شد. همچنین، توپوگرافی سطح کامپوزیت لایه نازک با استفاده از میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) مورد بررسی قرار گرفت. این کامپوزیت روی بسترهای شیشه ای با الکترودهای شانه‌ای درهم فرورفته پوشش داده شد. الکتروود حاصل هنگام قرار گیری در معرض گاز CO در شرایط معمولی اتاق (RH=۲۰٪) و با کاهش فوری مقاومت مواجه شد. نتایج نشان داد که پاسخ دهی سنسور مورد نظر یک طرفه نیست و با حذف گاز CO از محفظه دوباره به مقاومت اولیه خود برمی‌گردد (RD < 2%). بالاترین فاکتور پاسخ دهی و کمترین زمان پاسخ دهی (t<sub>90</sub>) بدست آمده به ترتیب برابر با ۴۰±۰/۰۷۷ و ۳۸ ثانیه می‌باشند. در نهایت، مقدار بهینه‌ی ترکیب برای کامپوزیت ساخته شده، ۰/۰۲ درصد وزنی (Fe(II)(salen)) تعیین گردید.

### واژه‌های کلیدی:

سنسور شیمیایی، PEDOT:PSS، Fe(II)(salen)، لایه نازک، منواکسید کربن.

### ۱- مقدمه

پلیمرهای رسانا به دلیل دارا بودن ویژگی‌های منحصر به فرد، نظیر حساسیت بالا، قیمت ارزان و ساخت آسان، به طور گسترده به عنوان حسگرهای گازی مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۲]. پلیمرهای رسانا می‌توانند در پوشش‌های آنتی استاتیک،

افزایش نگرانی‌ها در رابطه با حفاظت از محیط زیست منجر به توسعه مداوم حسگرهای گازی شده است. اهمیت این سنسورها امری شناخته شده است و تحقیقات زیادی در راستای توسعه مواد مناسب و حساس به گاز انجام گرفته است [۱]. به خصوص،

در این پژوهش، عملکرد سنسور گاز CO به واسطه افزودن Fe(II)(salen) به PEDOT:PSS بررسی شده است. مقدار بهینه غلظت مادهی آلاینده Fe(II)(salen) و دمای کاری مناسب جهت بهبود پاسخ دهی و سنجش گاز مورد نظر بدست آمده است.

## ۲- روش انجام تحقیق

### ۲-۱- مواد مورد استفاده

تمامی مواد شیمیایی استفاده شده در این پژوهش از کمپانی Aldrich(USA) خریداری گردید و بدون تغییر به کار گرفته شد. همچنین، گازهای CO، N<sub>2</sub>، CO<sub>2</sub> و O<sub>2</sub> از Linde Industrial Gases تهیه شدند. PEDOT: PSS (سوپانسیون کلونیدی آبی تیره محلول در آب) مورد استفاده در این مطالعه دارای حداکثر ویسکوزیته ۱۵ mPa·s و مقاومت سطح ۲۰ MΩ بوده و ذرات جامد این پلیمر رسانا در حدود ۱ درصد وزنی می‌باشند. قطعاتی که به عنوان بستر<sup>۶</sup> استفاده شده‌اند از دانشگاه پوسان (کره جنوبی) خریداری شدند. این بسترها از جنس شیشه بوده و دارای ابعادی برابر با ۱۰mm × ۱۵mm و ضخامت ۱۰۰μm می‌باشند. شانه‌هایی از جنس طلا با روش سیلک روی این بستر شیشه‌ای پوشش داده شده که فاصله‌ی بین شانه‌ها ۱/۱۰۹ μm است (شکل ۱). برای پوشش دادن پلیمر بر روی الکترودهای ذکر شده از یک دستگاه پوشش دهنده چرخشی استفاده شد. قبل از پوشش دهی، بسترها باید به خوبی با آب مقطر شسته شده و سپس با دستگاه آلتراسونیک تمیز گردیده و در نهایت با استون شسته و خشک شوند. دستگاه پوشش دهنده چرخشی، درصدهای متفاوت جرمی از پلیمر آلاینده شده را با سرعت ۳۴۰۰ دور بر دقیقه به مدت زمان ۱۵ ثانیه روی بسترها پوشش می‌دهد. سنسورهای ساخته شده درون محفظه قرار گرفتند و سپس نرخ گاز ورودی برای سنجش گاز، کنترل شد. جهت مشاهده تغییرات مقاومت لایه نازک پلیمری پوشش داده شده، از یک مولتی متر دیجیتالی استفاده شد و سپس اطلاعات در رایانه ثبت گردید. جهت بررسی دقیق‌تر کامپوزیت

باتری‌های حالت جامد، سلول‌های خورشیدی، دستگاه‌های الکترونیکی و غیره به کار گرفته شوند. معمولاً پلیمرها پایداری مناسبی ندارند و این امر منشاء مطالعات زیادی می‌باشد [۳-۴]. در میان این دسته از پلیمرها، PEDOT:PSS<sup>۱</sup> رسانایی بالا در حدود ۱۰ S/cm دارد و از نظر پایداری بسیار عالی می‌باشد. همچنین، قابلیت انتقال نور مرئی دارد. علاوه بر این، به دلیل دارا بودن ساختار قطبی، این پلیمر نسبت به گازهای قطبی نظیر: گاز CO، NO، رطوبت هوا حساس است و خیلی سریع پاسخ می‌دهد [۵]. مطالعات زیادی روی پلیمرهای رسانا و مواد آلاینده<sup>۲</sup> جهت بهبود خواص سنجش پلیمر انجام شده است [۸-۶]. اخیراً، گزارش‌هایی در رابطه با ترکیبات فلزی، ترکیبات آلی فلزی، اکسیدهای فلزی و ناخالص سازی یا کامپوزیت سازی پلیمرهای رسانا با آن‌ها جهت بهبود پایداری و افزایش رسانایی، انجام گرفته است [۹]. برای مثال در مطالعات قبلی، لایه نازک نانوکامپوزیت PEDOT:PSS-SnO<sub>2</sub> حساسیت بسیار عالی نسبت به گاز CO از خود نشان داده است [۱۰]. علاوه بر این، مورفولین آلاینده شده در پلیمر PEDOT:PSS حساسیت این پلیمر را نسبت به گاز CO افزایش داده است [۱۱].

همچنین، لایه PEDOT:PSS اصلاح شده، به عنوان حسگر گاز NO مورد استفاده قرار گرفت. نتایج کار لین<sup>۳</sup> و همکارانش نشان داد که لایه PEDOT:PSS بالاترین پاسخ دهی به گاز NO را در دمای اتاق از خود نشان می‌دهد و با افزایش ضخامت لایه (۵/۳-۰/۲ μm)، پاسخ دهی افزایش می‌یابد [۱۲]. در سال ۲۰۱۴، هونگشیا<sup>۴</sup> و رویکیون<sup>۵</sup> رفتار (M=Fe, SmBaCuMO<sub>5+δ</sub> (Co, Ni) را در مواجهه با گاز NH<sub>3</sub> در درجه حرارت اتاق مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که حداکثر حساسیت PANI/SmBaCuFeO<sub>5+δ</sub> (SBCF) در ۱۰۰ ppm برابر با ۴/۶۸ بود [۱].

بررسی‌های سال‌های اخیر نشان می‌دهد که ترکیبات کبالت می‌تواند در صورت افزودن به PEDOT:PSS، جذب CO و به گزینی سنسور را بهبود بخشد [۱۳].

زمان قرار گیری سنسور در معرض گاز به صورت نمودار رسم شد.

به دست آمده از تکنیک‌های طیف نگاری FT-IR، UV-Vis و AFM استفاده شد.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- مشخصه یابی مواد

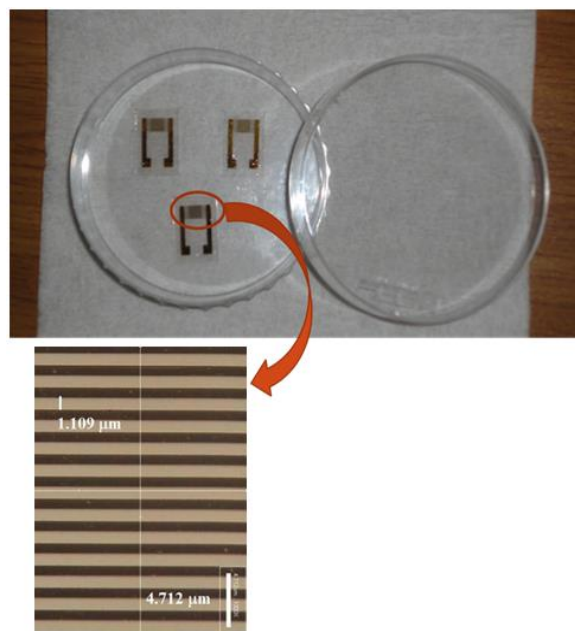
##### ۳-۱-۱- بررسی طیف FT-IR

Fe(II) (salen) آلاییده شده در PEDOT:PSS با روش طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز<sup>۷</sup> (FT-IR) بررسی و مورد تأیید قرار گرفت. در شکل (۲) الگوهای FT-IR مربوط به PEDOT:PSS خالص، Fe(II)(salen) خالص و PEDOT:PSS/Fe(II)(salen) می‌باشند. پیک  $1635\text{ cm}^{-1}$  مربوط به باند C=N است که در کامپوزیت PEDOT:PSS/Fe(II)(salen) حضور دارد [۱۴]. انتقال پیک‌های مشاهده شده در الگوی FT-IR کامپوزیت PEDOT:PSS/Fe(II)(salen) در فرکانس‌های تقریبی  $1635$ ،  $1435$ ،  $1635$ ،  $2900$  و  $3417$  (مربوط به باند O-H)، نشان دهنده برهمکنش Fe(II)(salen) با PEDOT:PSS می‌باشد.

بنابراین، الگوی FT-IR، پیوستگی و اتصال ترکیب Fe(II)(salen) با پلیمر رسانا را تأیید می‌کند.

##### ۳-۱-۲- بررسی طیف سنجی UV-Vis

از طول موج  $200$  تا  $435$  نانومتر تست جذب UV روی ذرات Fe(II)(salen) و کامپوزیت (0.02wt%) PEDOT: PSS / Fe(II)(salen) انجام شد (شکل ۳).  $\lambda_{max}$  برای Fe(II)(salen) و (0.02wt%)Fe(II)(salen)/PEDOT:PSS به ترتیب برابر با  $300$  و  $286$  نانومتر بود. الگوی (الف) پیک شدیدی را در طول موج  $225\text{ nm}$  نشان می‌دهد که مربوط به PSS می‌باشد. همانطور که در الگوی (ب) دیده می‌شود، طول موج باند مشخصه اصلی برای Fe(II)(salen) حدود  $328\text{ nm}$  بوده که مربوط به گروه C=N می‌باشد [۱۵]. افزودن نسبت کمی Fe(II)(salen) (۰/۰۲ درصد) تأثیر قابل توجهی را در الگوی جذب به همراه داشت. با توجه به شکل، پیک‌ها از  $300$  به  $286$ ،

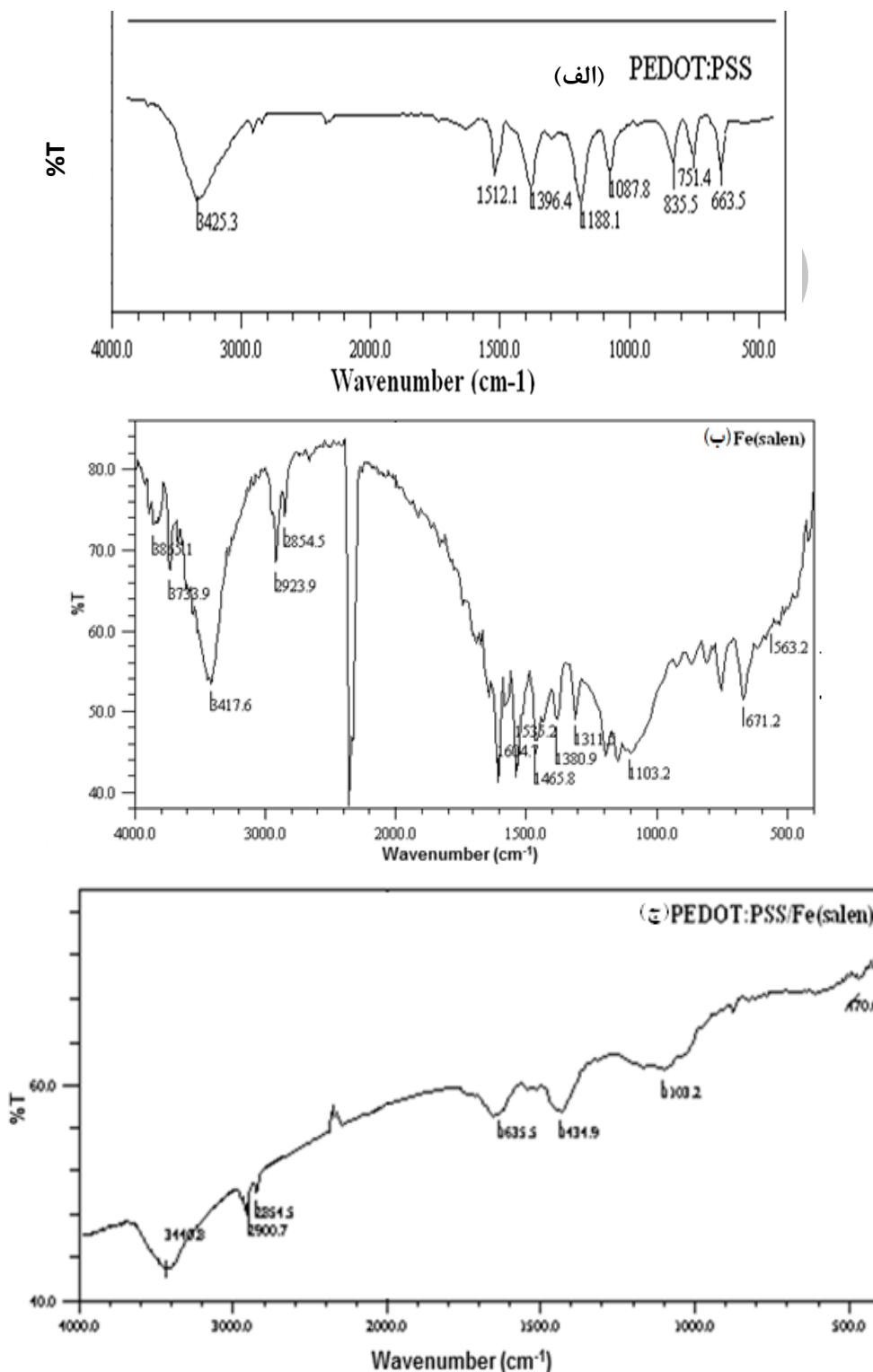


شکل (۱): تصویر بسترهای شیشه‌ای مورد استفاده جهت پوشش دهی

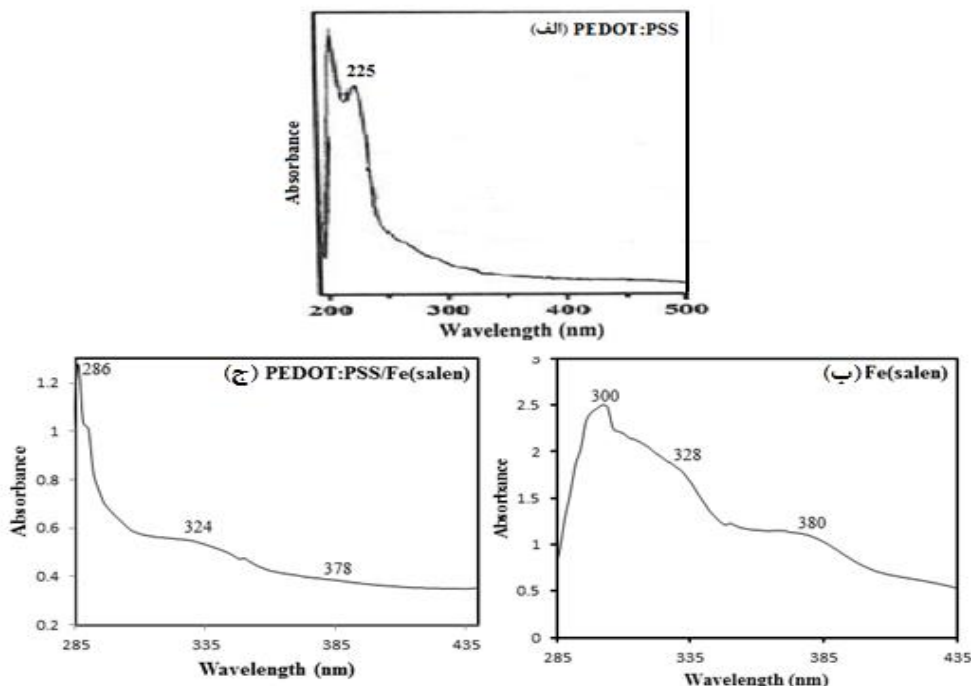
#### ۲-۲- ساخت سنسور

درصدهای متفاوت جرمی از Fe(II)(salen) تهیه و توسط هم‌زن مغناطیسی به مدت ۱۲ ساعت هم زده شد تا ترکیبی کاملاً یکنواخت از کامپوزیت مورد نظر بدست آید. بعد از آماده سازی پلیمرهای آلاییده شده با Fe(II)(salen) با درصدهای جرمی متفاوت، چند قطره از کامپوزیت مورد نظر روی بستر ریخته و دستگاه پوشش دهنده چرخشی با دور مشخص تنظیم گردید تا لایه نازکی از کامپوزیت پلیمری آلاییده شده بدست آید. تأثیر ضخامت لایه پوشش داده شده، روی رفتار سنجش سنسور، مورد ارزیابی قرار گرفت. در واقع، اختلاف در ضخامت، روی مقاومت اولیه لایه نازک مؤثر است و تأثیری روی نتایج نهایی آزمایش‌ها و الگوی سنجش گاز ندارد. مولتی متر دیجیتالی مورد استفاده در آزمایش در مداری به صورت سری با لایه نازک بکارگرفته و تغییرات مقاومت ثبت شد. پاسخ حسگر (درصد تغییرات مقاومت سنسور نسبت به مقاومت اولیه سنسور) برحسب

۳۲۸ به ۳۲۴ و ۳۸۰ به ۳۷۸ نانومتر انتقال یافته‌اند و جذب را کاهش داده‌اند که نشان دهنده این است که دو ماده یکدیگر تأثیر گذار بوده‌اند. PEDOT:PSS و Fe(II)(salen) به خوبی روی

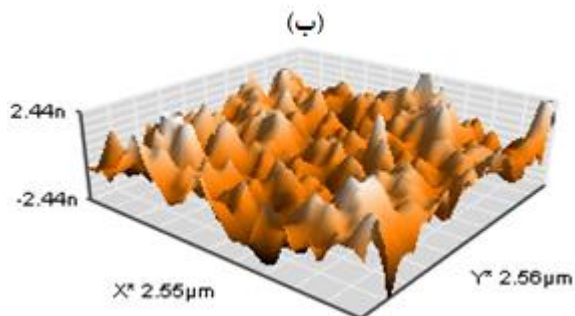


شکل (۲): الگوهای FT-IR مربوط به: (الف): PEDOT:PSS خالص، (ب): Fe(II)(salen) خالص و (ج): PEDOT:PSS/Fe(II)(salen)



شکل (۳): طیف UV-Vis برای: (الف) PEDOT:PSS، (ب) Fe(II)(salen) و (ج) PEDOT:PSS/(0.02wt%)Fe(II)(salen)

۳-۲- آنالیز سطح



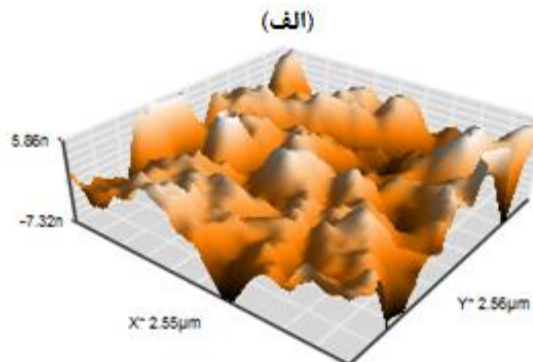
شکل (۴): تصویر AFM لایه: (الف) PEDOT:PSS و (ب): کامپوزیت PEDOT:PSS/(0.02wt. %) Fe(II)(salen)

۳-۳- میزان حساسیت و به گزینی

کامپوزیت‌های متفاوت تهیه شده همگی در معرض گاز CO با نرخ ورود ۸ mL/sec در فشار اتمسفر قرار گرفتند. شکل (۵)- الف) حساسیت سنسور در دمای اتاق برحسب درصد‌های متفاوت جرمی از Fe(II)(salen) را نشان می‌دهد. حساسیت (S) از رابطه زیر بدست می‌آید:

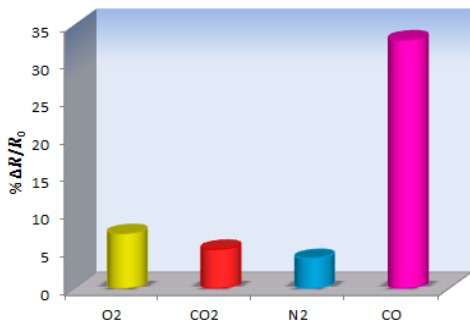
$$S = \frac{R_{air}}{R_{gas}} \quad (1)$$

شکل (۴) تصویر AFM مربوط به PEDOT:PSS و کامپوزیت PEDOT:PSS/(0.02wt%)Fe(II)(salen) را نشان می‌دهد. شکل (۴-الف) بیانگر زبری سطح حدود ۲/۱۳ nm است. افزودن ۰/۰۲ درصد وزنی Fe(II)(salen) به پلیمر، مقدار جزئی زبری را از ۲/۱۳ nm به ۲/۲۸ افزایش می‌دهد. شکل (۴-ب) نشان می‌دهد افزودن Fe(II)(salen) مساحت سطح مؤثر برای جذب گاز CO را نسبت به لایه‌ی پلیمری افزایش می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که پوشش دهی چرخشی، لایه‌ای همگن و بدون عیب را ایجاد می‌کند.



بررسی قرار گرفت و در شکل (۶) نشان داده شده است. گازهای مورد نظر، جداگانه، با نرخ ورودی یکسان وارد یک محفظه خلاء شدند. با توجه به شکل، به نظر می‌رسد سنسور پلیمر آلاییده شده با ۰/۰۲ درصد وزنی Fe(II)(salen) پاسخ دهی بالاتری به گاز CO نسبت به سایر گازها دارد. بنابراین، این حسگر از به‌گزینی قابل قبولی در اتمسفرهای خانگی برای گاز CO برخوردار است.

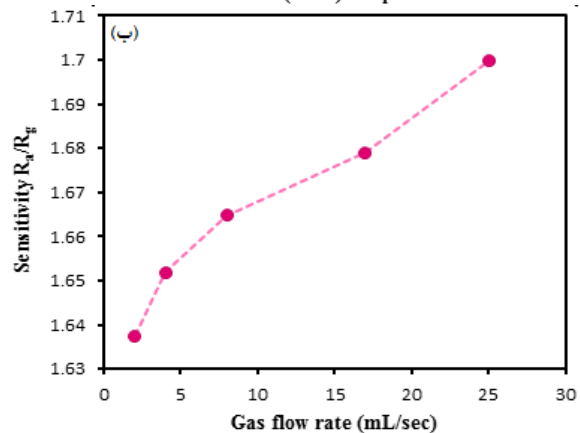
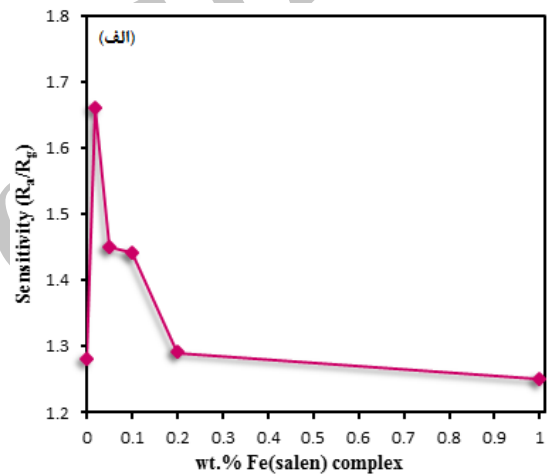
پاسخ دهی سنسور نسبت به گازهای O<sub>2</sub> و CO<sub>2</sub> در مقایسه با گاز CO قابل نظر کردن می‌باشد. همانطور که در شکل (۶) دیده می‌شود، حسگر پاسخ دهی غیرمنتظره نسبت به گاز N<sub>2</sub> نشان می‌دهد که دلیل آن را می‌توان چنین توضیح داد. در عمل، رسیدن به خلاء مطلق تقریباً غیرممکن است. بنابراین، ممکن است مقداری از رطوبت درون محفظه باقی بماند. هنگامی که گاز N<sub>2</sub> وارد محفظه می‌شود، گاز نیتروژن، رطوبت به دام افتاده روی سطح سنسور را حذف می‌کند. بنابراین مقاومت سنسور کاهش می‌یابد. برای کاهش این اثر، می‌توان درون محفظه از سیلیکا ژل استفاده کرد. ساختار قطبی PEDOT:PSS به راحتی رطوبت را روی سطح خود نگه می‌دارد. بنابراین، تغییرات حاصله در مقاومت به دلیل جذب رطوبت محیط می‌باشد. به همین دلیل، همه‌ی آزمایش‌های حساسیت به گاز در رطوبت نسبی ۲۰٪ انجام شدند.



شکل (۶): فاکتور پاسخ دهی لایه نازک پلیمر آلاییده شده نسبت به دیگر گازهای موجود در جو

در کارهای قبلی، برگشت پذیری سنسور PEDOT:PSS/Co(salen) را در تکرار چندین سیکل ورود گاز

در اینجا، R<sub>air</sub> و R<sub>gas</sub> به ترتیب مقاومت‌های اندازه‌گیری شده‌ی لایه نازک، در معرض هوا و در معرض گاز CO می‌باشند. همان‌طور که در شکل (۵-الف) رسم شده است، حساسیت سنسور با افزایش درصد جرمی Fe(II)(salen) تا کمتر از ۰/۰۲ درصد وزنی، افزایش می‌یابد. درصدهای جرمی بیشتر از ۰/۰۲ درصد وزنی، حساسیت سنسور را نسبت به سنجش گاز CO کاهش می‌دهد. شکل (۵-ب) وابستگی نرخ ورود گاز به حساسیت سنسور را نشان می‌دهد. طبق شکل، افزایش حساسیت سنسور ناشی از افزایش غلظت گاز CO می‌باشد.



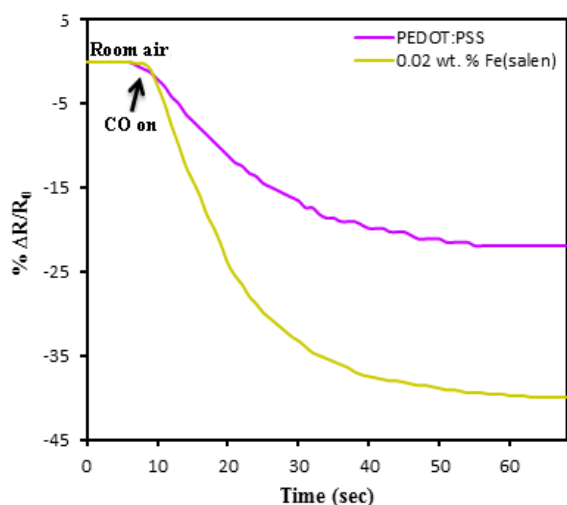
شکل (۵): (الف): حساسیت سنسور برحسب درصدهای متفاوت جرمی و (ب): وابستگی نرخ ورود گاز به حساسیت سنسور

### ۳-۴- به‌گزینی<sup>۸</sup> پلیمر آلاییده شده با Fe(II)(salen)

پاسخ دهی لایه نازک پلیمر آلاییده شده با Fe(II)(salen) (۰/۱ درصد وزنی) نسبت به دیگر گازهای موجود در اتمسفر، مورد

فاکتور پاسخ دهی ( $\Delta R/R_0$ ) برای هر دو نمونه PEDOT:PSS و PEDOT:PSS آلاینده شده با Fe(II)(salen) بعد از قرارگیری در معرض گاز CO اندازه گیری شد، که در اینجا  $\Delta R$  تغییرات مقاومت سنسور بعد از قرارگیری در معرض گاز CO می باشد و  $R_0$  مقاومت اولیه حسگر است. شکل (۸) فاکتور پاسخ دهی را نسبت به گاز CO برای دو نمونه PEDOT:PSS و Fe(II)(salen) PEDOT:PSS (0.02wt. %) شرح می دهد. نتایج مربوط به شکل (۷-الف) نشان می دهد که Fe(II)(salen) آلاینده شده در پلیمر، پاسخ دهی سنسور را نسبت به گاز CO بهبود داده است.

زمان پاسخگویی ( $T_{res}$ ) و زمان بازیابی ( $T_{rec}$ ) به ترتیب حدود ۳۸ و ۵ ثانیه بدست آمد [۱]. این زمان پاسخ دهی، به نرخ ورود گاز بستگی دارد.

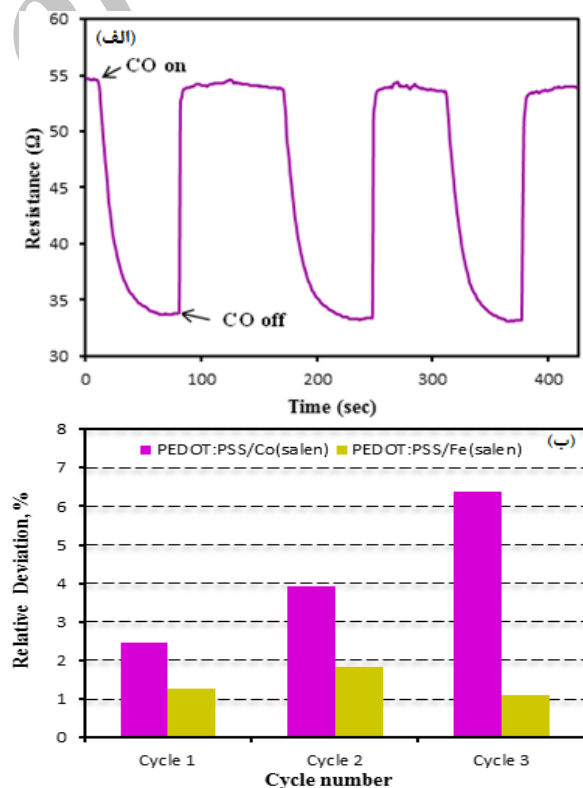


شکل (۸): فاکتور پاسخ دهی نسبت به گاز CO برای PEDOT:PSS و PEDOT:PSS/(0.02wt. %) Fe(II)(salen)

اثر قابل توجه دما بر عملکرد سنسورهای گازی به یک عنوان زمینه علمی به خوبی شناخته شده است. بنابراین، اثر این عامل بر عملکرد پلیمر رسانا و کامپوزیت زمینه پلیمری مورد بررسی قرار گرفت.

در شکل (۹) حساسیت حسگرهای PEDOT:PSS و PEDOT:PSS/(0.02wt. %)Fe(II)(salen) نسبت به گاز CO به

CO به محفظه مورد بررسی قرار داده شد [۱۳]. در اینجا برگشت پذیری سنسور PEDOT:PSS/Fe(II)(salen) بررسی شده است. شکل (۷-الف) نمودار پاسخ دهی کامپوزیت پلیمر آلاینده شده با Fe(II)(salen) را نسبت به زمان قرارگیری سنسور در معرض گاز CO نشان می دهد. با توجه به شکل، مقاومت سنسور به محض خروج گاز CO از محفظه، افزایش می یابد. همچنین، تغییرات مقاومت بعد از تکرار چندین سیکل ورود گاز CO به محفظه، کاملاً برگشت پذیر می باشد. همان طور که در شکل (۷-ب) مشاهده می شود، تغییرات مقاومت در سنسور PEDOT:PSS/Fe(II)(salen) در مقایسه با سنسور PEDOT:PSS/Co(salen) برگشت پذیرتر بوده و همچنین، درصد انحراف نسبی ( $RD = (R - R_0)/R_0$ ) در هر سیکل کمتر بوده است.



شکل (۷): (الف): تکرار پذیری پاسخ دهی کامپوزیت پلیمر آلاینده شده با Fe(II)(salen) نسبت به زمان قرارگیری سنسور در معرض گاز CO، (ب):

مقایسه برگشت پذیری و درصد انحراف نسبی بین سنسورهای PEDOT:PSS/Fe(II)(salen) و PEDOT:PSS/Co(salen)



NH<sub>3</sub>”, Journal of Rare Earths, Vol. 32, pp. 23-28, 2014.

[2] S. Radhakrishnan & S. Paul, “Conducting polypyrrole modified with ferrocene for applications in carbon monoxide sensors”, Sensors and Actuators B: Chemical, Vol. 125, pp. 60-65, 2007.

[3] J. Zheng, G. Li, X. Ma, Y. Wang, G. Wu & Y. Cheng, “Polyaniline-TiO<sub>2</sub> nano-composite-based trimethylamine QCM sensor and its thermal behavior studies”, Sensors and Actuators B: Chemical, Vol. 133, pp. 374-380, 2008.

[۴] ن. حسن‌زاده نعمتی، س. خ. صدرنژاد و م. خراسانی، "اثر اصلاح شیمیایی سطح بر چسبندگی آلایژ NiTi برای ساخت بیوکامپوزیت فلز/ پلیمر هوشمند"، مجله فرایندهای نوین در مهندسی مواد، دوره ۵، شماره ۲، صفحه ۱۱-۱۸، تابستان ۱۳۹۰.

[5] L. Groenendaal, F. Jonas, D. Freitag, H. Pielartzik & J. R. Reynolds, “Poly (3, 4-ethylenedioxythiophene) and its derivatives: past, present, and future”, Advanced Materials, pp. 481-494, 2000.

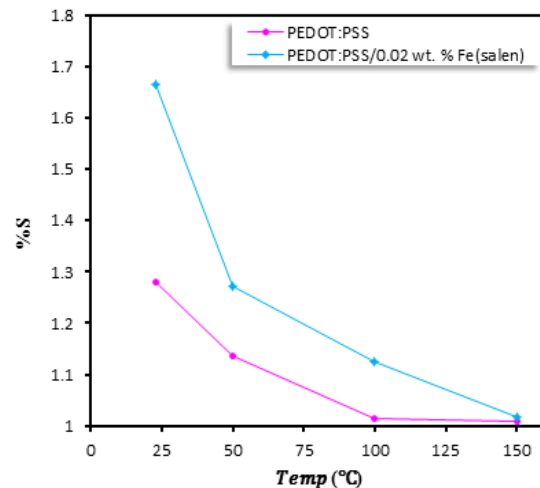
[6] D. W. Hatchett & M. Josowicz, “Composites of intrinsically conducting polymers as sensing nanomaterials”, Chemical Reviews, Vol. 108, pp. 746-769, 2008.

[7] S. Paul, F. Amalraj & S. Radhakrishnan, “CO sensor based on polypyrrole functionalized with iron porphyrin”, Synthetic metals, Vol. 159, pp. 1019-1023, 2009.

[8] S. Paul, N. Chavan & S. Radhakrishnan, “Polypyrrole functionalized with ferrocenyl derivative as a rapid carbon monoxide sensor”, Synthetic metals, Vol. 159, pp. 415-418, 2009.

[۹] ز. ابوالقاسمی، م. تمیزی فر، ک. ارزانی، ع. نعمتی و ا. خانفکر، " بررسی تاثیر افزودنی اکسید سریم و اکسید نیکل به زیرکونیای پایدار شده با ایتربا به عنوان حسگر گازی"، مجله فرایندهای نوین در مهندسی مواد، دوره ۶، شماره ۴، صفحه ۱۱-۱۸، زمستان ۱۳۹۱.

عنوان تابعی از دما نشان داده شده است که نتایج آن مطابقت خوبی با ساز و کار این نوع کامپوزیت‌های زمینه پلیمری دارد. با توجه به شکل، با افزایش دما، حساسیت سنسور نسبت به گاز CO کاهش می‌یابد. بر همین اساس، با توجه به پاسخگویی بالای سنسور در دمای اتاق، دمای کاری بهینه برای این حسگرها، درجه حرارت اتاق در نظر گرفته می‌شود.



شکل (۹): حساسیت حسگرهای PEDOT:PSS و

PEDOT:PSS/(0.02wt%)Fe(II)(salen) نسبت به گاز CO در

دماهای مختلف

#### ۴- نتیجه گیری

Fe(II)(salen) آلاییده شده در PEDOT:PSS به عنوان یک ماده حسگر برای سنجش گاز CO در شرایط اتاق مورد استفاده قرار گرفت. افزودن ۰/۰۲ درصد وزنی Fe(II)(salen) حساسیت پلیمر را نسبت به گاز CO مقدار قابل توجهی بهبود می‌بخشد. همچنین، پاسخ دهی این حسگر در مواجهه با گاز CO کاملاً سریع می‌باشد و تقریباً رفتاری برگشت پذیر دارد. بهترین دمای کاری جهت دستیابی به بالاترین پاسخ دهی سنسور و به گزینی مناسب، درجه حرارت اتاق می‌باشد.

#### ۵- مراجع

[1] H. Hongxia & L. Ruiquan, “Study on preparation and gas sensing property of water-soluble polyaniline/SmBaCuMO<sub>5+δ</sub> (M= Fe, Co, Ni) for



- [7] Fourier transform infrared spectroscopy  
[8] Selectivity

[۱۰] م. دوازده امامی، ر. معمارزاده و س. جوادپور، "بررسی نانوکامپوزیت لایه نازک PEDOT:PSS به عنوان حسگر گاز CO"، مجله مواد نوین، جلد ۴ شماره ۱۴، ص ۵۵-۶۶، پاییز ۱۳۹۰.

[11] S. Javadpour, A. Gharavi, A. Feizpour, A. Khanehzar & F. Panahi, "Morpholine doped poly (3, 4-ethylenedioxy) thiophene-poly (styrenesulfonate) as a low temperature and quick carbon monoxide sensor", Sensors and Actuators B: Chemical, Vol. 142, pp. 152-158, 2009.

[12] C. Y. Lin, J. G. Chen, C. W. Hu, J. J. Tunney & K. C. Ho, "Using a PEDOT: PSS modified electrode for detecting nitric oxide gas", Sensors and Actuators B: Chemical, Vol. 140, pp. 402-406, 2009.

[13] R. Memarzadeh, F. Panahi, S. Javadpour, A. Khalafi Nezhad, H. B. Noh & Y. B. Shim, "The Interaction of CO to the Co (salen) Complex in to PEDOT: PSS Film and Sensor Application", bulletin of the korean chemical society, Vol. 33, pp. 1297-1302, 2012.

[14] Q. Shi, R. Cao, X. Li, J. Luo, M. Hong & Z. Chen, "Syntheses, structures, electrochemistry and magnetic properties of chain-like dicyanamide manganese (III) and iron (III) complexes with salen ligand", New journal of chemistry, Vol. 26, pp. 1397-1401, 2002.

[15] J. Połtowicz, K. Pamin, E. Tabor, J. Haber, A. Adamski & Z. Sojka, "Metallosalen complexes immobilized in zeolite NaX as catalysts of aerobic oxidation of cyclooctane", Applied Catalysis A: General, Vol. 299, pp. 235-242, 2006.

۶- پی نوشت

- [1] Poly(3,4-ethylenedioxy) thiophene-poly(styrenesulfonate)  
[2] Dopant  
[3] Lin  
[4] Hongxia  
[5] Ruiquan  
[6] Substrate

## Low temperature CO sensor based on PEDOT: PSS/Fe(II)(salen) composite thin film

Farkhondeh Arabloo<sup>1\*</sup>, Raheleh Memarzadeh<sup>2</sup>, Farhad Panahi<sup>3</sup>, Mohammad Davazdah Emami<sup>4</sup>, Sirous Javadpour<sup>5</sup>, Mohammad Hossein Shariat<sup>6</sup>

- 1- MSc Student, Department of Materials Science & Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran
  - 2- Assistant Professor, Department of Materials Science and Engineering, Marvdasht Branch, Islamic Azad University, Marvdasht, Shiraz, Iran
  - 3- Postdoctoral Researcher, Department of Chemistry, College of Sciences, Shiraz University, Shiraz, Iran
  - 4- Graduate Researcher, Department of Materials Science & Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran
  - 5- Associate Professor, Department of Materials Science & Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran
  - 6- Professor, Department of Materials Science & Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran
- \*Corresponding author: f.arabloo69@yahoo.com

### Abstract

Gas sensors are now widely used for routine monitoring of the quality of atmospheres. A sensitive PEDOT: PSS/Fe(salen) thin film based toxic gas sensor deposited on glass pieces with interdigitated Au electrodes was developed by the spin coating method. The obtained composite was well characterized by different techniques such as UV-vis spectroscopy and FTIR. Also, the surface topography of thin film composite was investigated using AFM. The Fe(salen)-doped PEDOT: PSS on interdigitated electrode was experienced an immediate decrease in resistance when exposed to carbon monoxide gas under normal dry room temperature conditions (%RH=20). The results showed that the response of desired sensor was not unidirectional, and reverses to the original resistance level when CO was removed from the test chamber (RD< 2%). The highest response factor and lowest response time ( $t_{90}$ ) obtained were equal to  $40 \pm 0.77\%$  and 38s, respectively. Ultimately, the optimum level of doping (0.02 wt. % of Fe(salen)) was determined.

### Key words:

Chemical Sensor, Fe(II)(salen), PEDOT: PSS, Thin Film, Carbon Monoxide.

Journal homepage: [ma.iaumajlesi.ac.ir](http://ma.iaumajlesi.ac.ir)

### Please cite this article using:

Farkhondeh Arabloo, Raheleh Memarzadeh, Farhad Panahi, Mohammad Davazdah Emami, Sirous Javadpour, Mohammad Hossein Shariat, Low temperature CO sensor based on PEDOT: PSS/Fe(II)(salen) composite thin film, in Persian, New Process in Material Engineering, 2018, 12(1), 1-10.