

ساخت نانوحسگر شیمیایی جدید نیتريت بر پایه سافرانين O بر فيلم سل-ژلی

اصغر کاظم‌زاده* و فریدون علیخانی حساری

پژوهشکده نیمه‌هادی‌ها، پژوهشگاه مواد و انرژی

تاریخ ثبت اولیه: ۱۳۹۵/۰۳/۱۲، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۱۳۹۵/۰۵/۰۲، تاریخ پذیرش قطعی: ۱۳۹۵/۰۶/۰۵

چکیده

یک نانوحسگر شیمیایی نیتريت با اقتصاد پایین از اتصال مستقیم یک معرف رنگی روی فیلم سل-ژلی به دست می‌آید. این نانوحسگر از اتصال سافرانين O بر فیلم سل-ژلی که لایه حسگری آن را ترا متوکسی سیلان و متیل-تری متوکسی سیلان تشکیل می‌دهد حاصل می‌گردد. سپس فیلم‌های سل-ژلی در داخل محلول ۰/۰۵۰ درصد وزنی-حجمی سافرانين O در دمای ۲۵ °C با چرخاندن محلول توسط مگنت قرار داده می‌شوند. تا اینکه معرف به طور کامل در لایه سل-ژلی نفوذ نماید و به صورت یکتواخت پخش شده باشد. بعد از اینکه فیلم با آب شسته شد، فیلم یا لایه سل-ژلی کاملاً خشک می‌گردد. فیلم‌های حاصل دارای زمان عمر کمتر از ۸ ماه و زمان پاسخ کمتر از ۵ ثانیه می‌باشد. محدوده خطی نانوحسگر ۲۲۰۰-۲/۰۰ نانوگرم بر میلی‌لیتر و حد تشخیص آن ۲ نانوگرم بر میلی‌لیتر می‌باشد. این روش خیلی ساده است و رنگ استفاده شده دارای قیمت پایین و به صورت وسیع قابل استفاده و غیرسمی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: نانوحسگر شیمیایی، نیتريت، سافرانين O، سل-ژل.

۱- مقدمه

اطلاعاتی در مورد ماهیت شیمیایی محیط اطراف به صورت آنی تهیه می‌شود. در این فرآیند یک سیگنال الکتریکی تقویت شده در نتیجه وجود و برهمکنش یک ذره شیمیایی با یک لایه حس کننده تولید می‌شود. بنابراین، حسگری شیمیایی شامل دو مرحله اصلی و کلیدی است که عبارتند از تشخیص و تقویت. وسیله‌ای که انجام فرآیند فوق‌الذکر را

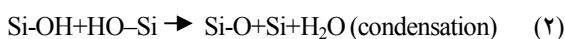
روش‌های حسگری شیمیایی (Chemical sensing) امروزه به عنوان یکی از تکنیک‌های مدرن و پیشرفته شیمی تجزیه به حساب می‌آیند. این روش‌ها قسمتی از فرآیند اکتساب اطلاعات (Information acquisition) هستند که در آنها

* عهده‌دار مکاتبات: اصغر کاظم‌زاده

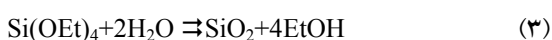
نشانی: پژوهشگاه مواد و انرژی- پژوهشکده نیمه‌هادی‌ها

تلفن: ۰۲۶-۳۶۲۸۰۰۴۰، دورنگار: ۰۲۶-۳۶۲۰۱۸۸۸، پست الکترونیکی: asg642001@yahoo.com

در داخل ۸۰ میلی لیتر محلول سود ۰/۰۰۰۵ مولار در داخل بشر ۱۰۰ میلی لیتر با آب دوبار تقطیر به دست می آید. برای pHهای مشخص می توانیم از بافرهای pH، ۱ الی ۱۲ استفاده نماییم و یا حتی می توانیم آنها را در آزمایشگاه از سدیم برات و سدیم سترات (مرک) و یا اسید فسفریک و سود در داخل آب دوبار تقطیر تهیه نماییم. برای تهیه لایه سل-ژل سیلیکا از هیدرولیز تراتیل اورتوسیلیکا (TEOS) در محیط اسیدی استفاده می نماییم. این واکنش ها به صورت زیر نوشته می شوند:



یک شبکه سیلیکا SiO_2 زمانی تشکیل می شود که واکنش به سوی کامل شدن پیش می رود.



معمولاً الکوکساید در داخل آب حل نمی شود. بنابراین حلال مخصوص آن اضافه شده و دو نوع محلول تهیه می شود:

- محلول اول (A) از مخلوط کردن ۱۰۶/۱۶ گرم (TEOS) با اتانول خالص (۷۰/۲۶) گرم و آب اسیدی شده توسط اضافه کردن اسید کلریدریک ۹/۲ گرم (pH=۲/۵۵) و این محلول یک ساعت قبل از استفاده تهیه می شود.

- محلول شماره ۲ (B) از مخلوط آب اسیدی شده (۱/۴) گرم و (pH=۱/۲۶) و اتانول (۱۵/۱۶) گرم به دست می آید. مقدار کمی از محلول B (۷/۰۶) گرم با مقدار زیادی از محلول شماره A برای مدت یک ساعت هم زده می شود. یک محلول روشن از سل سیلیکا به دست می آید و معرف سافرانین O ۰/۰۵٪ در داخل محلول فوق الذکر اضافه شده و برای ساعت ها هم زده می شود.

برای اندازه گیری اپتیکی از اسپکتروفتومتر UV-Vis و در

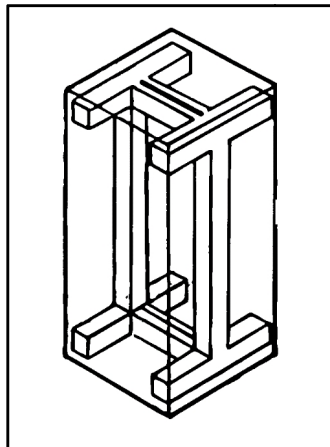
بر عهده دارد حسگر شیمیایی نامیده می شود. یک حسگر شیمیایی وسیله ای است که اطلاعات مستقیمی در مورد ترکیب شیمیایی محیط خود تهیه می کند و آن را به صورت یک سیگنال الکتریکی، نوری و غیره به ما عرضه می نماید. این وسیله شامل یک گزینش گر شیمیایی و یک مبدل فیزیکی می باشد. شاید عینی ترین مثال از یک حسگر شیمیایی بینی انسان باشد که در آن فرآیند تشخیص بو و به دنبال آن تولید و تقویت سیگنال الکتریکی (عصبی) انجام می شود [۱،۲].

زمینه های کاربردی ویژه و مختلفی برای استفاده از حسگرهای شیمیایی وجود دارد، در شیمی کلینیکی عمومی [۳،۴]، حسگرها در موارد متعددی برای کنترل دیابت به کار برده شده اند [۵]. انواع مختلفی از حسگرهای شیمیایی برای آشکارسازی و اندازه گیری گازهایی مثل اکسیژن [۶]، دی اکسید کربن [۷] و گروهی از گازهای دیگر [۸،۹] به کار برده شده اند. در اندازه گیری های زیست محیطی برای تعیین آلاینده های مختلف فلزی و غیرفلزی [۱۰] حسگرهای شیمیایی به میزان زیادی به کار برده شده اند. از موارد دیگر این کاربردها، می توان کنترل فرآیند را در صنایع غذایی و تخمیر نام برد [۱۱]. روش ساخت و اهمیت نانوحسگر و ساختار آن در روی فیلم سل-ژلی و چگونگی تغییر شیمیایی بر بستر فوق و کاربرد آنها و همچنین سیستم طراحی شده برای اندازه گیری با آشکارساز اسپکتروفتومتری و اثر متغیرهای متفاوت غلظتی و دستگامی شرح داده می شوند. در این تحقیق سعی می شود نوع جدیدی از حسگرهای شیمیایی (نانوحسگرهای شیمیایی) معرفی شوند.

۲- فعالیت های تجربی

مواد شیمیایی استفاده شده با خلوص تجزیه ای ساخت شرکت های معتبر شیمیایی (مرک، فلوکا و ...) بوده و در تهیه تمام محلول های مورد نیاز از آب دوبار تقطیر استفاده شده است.

محلول سافرانین O ۰/۰۱۵۰ گرم (آلدریچ) از انحلال آن



شکل ۱: دیاگرام شماتیکی سل اسپکتروفتومتری برای اندازه‌گیری نیتريت.

می‌آید. این مقدار برای سافرانین O در روی فیلم سل-ژل ۵۲۰ نانومتر به دست آمده است. برای بررسی اثر pH در فرآیند تثبیت سافرانین O روی فیلم سل-ژلی پارامتر مذکور در ناحیه pH بین ۷-۱۳ مورد مطالعه قرار گرفت. برای تنظیم pH از محلول‌های بافر براتی-سیتراتی یا فسفاتتی استفاده کردیم و در طول موج ماکزیمم جذب هر کدام را ثبت کردیم و در تمامی مراحل تهیه غشاء در $pH=2/50$ به عنوان pH بهینه مورد استفاده قرار گرفت.

اثر میزان واکنش گر بر فیلم سل-ژلی با استفاده از محلول‌هایی از معرف در غلظت از ۰/۱۰ تا ۰/۱۰ درصد وزنی-حجمی صورت گرفت و هر بار که غشاء سل-ژلی تهیه می‌شد، جذب آنها در طول موج ماکزیمم و میزان واکنش گر قابل استفاده ۰/۵۰ درصد وزنی-حجمی انتخاب گردید.

این زمان مدتی است که محلول سل-ژل به همراه واکنش گر در تماس است و در طول آن واکنش تثبیت بر غشاء سل-ژلی صورت می‌گیرد و در نتیجه جذب نور توسط غشاء تهیه شده در طول موج ماکزیمم افزایش می‌یابد. برای تهیه این زمان در شرایط بهینه زمان‌های ۴ تا ۲۰ ساعت با توالی یک ساعت در نظر گرفته شده و زمان ۱۲ ساعت برای هر دو حالت غشاء بعد از شستشوی کامل آنها به عنوان زمان بهینه تثبیت واکنش گر در نظر گرفته شده است.

داخل حمام آبی با دمای کنترل شده $0/1 \pm ^\circ C$ استفاده شد. تجربیات و اندازه‌گیری‌ها با قرار دادن نانوحسگر تهیه شده در داخل یک سل اسپکتروفتومتری برای اندازه‌گیری جذب در طول موج ثابت و منبع نوری تنگستن استفاده شده است. pH محلول‌های بافر با استفاده از یک pH متر (Schott, Model CC=825) کالیبره شده با محلول‌های بافر استاندارد با pHهای ۴/۰، ۷/۰ و ۹/۰ در $25^\circ C$ اندازه‌گیری شده است.

از دستگاه AFM (Atomic Force Microscopy)، جهت بررسی مورفولوژی و نمایش توپوگرافی سطح نمونه‌ها استفاده شد. نیتريت سدیم که محلول ۰/۱ مولار آن از انحلال میزان یک دهم جرم مولکول آن در داخل بالن ۱۰۰۰ میلی‌لیتر تهیه و به حجم رسانده می‌شود. محلول آمونیم کلراید ۰/۴۰ مولار از انحلال ۲/۱۴۰ گرم از آمونیم کلراید خشک شده در دمای $115^\circ C$ و در بالن ژوژه ۱۰۰ میلی‌لیتری تهیه شد. سدیم برومات ۰/۰۶۰ مولار از انحلال ۲/۲۶۳۵ گرم سدیم برومات مرک در بالن ژوژه ۲۵۰ میلی‌لیتری تهیه شد.

با توجه به اهمیت اندازه‌گیری pH در محیط‌های اسیدی از سیستم زیر به عنوان نگهدارنده فیلم حساس تهیه شده در داخل سل اسپکتروفتومتر جهت قرار دادن غشاء سل-ژلی در داخل آن استفاده شد. از معرف سافرانین O که به صورت شیمیایی روی فیلم شفاف سل-ژلی نشانده می‌شود به عنوان حسگر نوری نیتريت استفاده می‌شود.

در تهیه نانوحسگر فوق اثر عوامل مختلفی نظیر چگونگی تثبیت رنگ روی فیلم‌ها، اثر زمان تثبیت روی پاسخ و همچنین چگونگی ساختار فیلم‌ها بررسی و در نهایت برای شرایط بهینه‌سازی پارامترها از روش تک عاملی استفاده شده است که در آن تمام پارامترها ثابت در نظر گرفته شده و فقط پارامترهای موردنظر تغییر داده می‌شود.

برای تعیین طول موجی که در آن حداکثر جذب نور برای سافرانین O روی فیلم سل-ژل وجود داشته باشد، بعد از تهیه غشاء و تثبیت رنگ روی آن طول موج ماکزیمم به دست

حمام آبی به مدت نیم ساعت به تعادل دمایی برسند. غشاهای سل-ژلی ساخته شده به ابعاد داخل سل اسپکتروفتومتری بریده شد و در غلظت ۰/۰۵۰ درصد وزنی حجمی از سافرانین O تثبیت شده بر فیلم‌ها و دمای ۲۵ °C و در محدوده pH=۲-۳ مورد استفاده و بررسی قرار گرفتند. بررسی‌ها نشان می‌دهند که از نظر نحوه عملکرد و سریع بودن پاسخ غشاهای سل-ژلی بر غشاهای پلیمری برتری دارند.

شباهت ساختاری چندین حسگر ساخته شده در یک زمان را تکرارپذیری می‌گویند و شباهت بین حسگرهای ساخته شده در دفعات جداگانه را تکثیرپذیری می‌گویند. برای این منظور در شرایط بهینه برای سافرانین O سه روز متفاوت و در هر سه روز سه عدد حسگر ساخته و به ترتیب در طول موج ماکزیمم هم برای غشاهای سل-ژلی جذب را در جدول ۱ ثبت کردیم.

تکرار اندازه‌گیری توسط نانوحسگرهای ساخته شده و تغییرات در جذب آنها در طول موج ماکزیمم در محلول‌های آبی نشان داد که پایداری برای یک ماه کمتر از ۵٪ می‌باشد. یعنی تنها در طی یک ماه اندازه‌گیری به اندازه ۵٪ سیگنال خروجی با حالت شبه پایدار اختلاف داشته است. البته این پایداری در مورد غشاهای سل-ژلی نسبت به غشاهای پلیمری بدلیل تشکیل پیوند کوالانسی گروه‌های اصلی و معرف بیشتر بوده است.

جدول ۲ چگونگی انجام پروسه پایداری را نشان می‌دهد. میانگین زمان پاسخ نانوحسگر برای فیلم سل-ژلی کمتر از ۵ ثانیه می‌باشد. زمان پایداری حسگر ساخته شده کمتر از ۸ ماه به دست آمده است.

۳- نتایج و بحث

در این تحقیق نیتريت توسط نانوحسگر ساخته شده با فیلم سل-ژلی با سرعت زیاد و حساسیت بالا توسط سافرانین O اندازه‌گیری می‌شود. سافرانین O با پیوند کوالانسی در غشای

با توجه به مطالب فوق که شرایط بهینه را برای ساخت غشاهای سل-ژلی می‌کنیم و بعد از تثبیت واکنش‌گر سافرانین O غشاهای سل-ژلی در محیط‌های خلی اسیدی (pH=۱-۳) اندازه‌گیری می‌شود بعد از انجام آزمایشات با غشاهای سل-ژلی توانستیم تشخیص دهیم که غشاهای سل-ژلی به دلیل تثبیت یکنواخت سافرانین O در آنها از کارایی بسیار بالایی برخوردار می‌باشند.

سافرانین O معرف حساس به نیتريت می‌باشد و از آنجائیکه نیتريت در محیط‌های خلی اسیدی (pH=۱-۳) اندازه‌گیری می‌شود بعد از انجام آزمایشات با غشاهای سل-ژلی توانستیم تشخیص دهیم که غشاهای سل-ژلی به دلیل تثبیت یکنواخت سافرانین O در آنها از کارایی بسیار بالایی برخوردار می‌باشند.

در غشاهای سل-ژلی پیوند کوولان به عنوان پل اتصال دادن مولکول‌های رنگ روی فیلم سل-ژلی می‌باشد. از طرف دیگر بر همکنش بین امواج الکترو مغناطیسی با اتم‌ها، مولکول‌ها و یون‌ها منجر به شمارش تعداد آنها می‌شود. به این ترتیب توسط غشاهای ساخته شده می‌توانیم غلظت نیتريت را در محیط اندازه‌گیری نماییم.

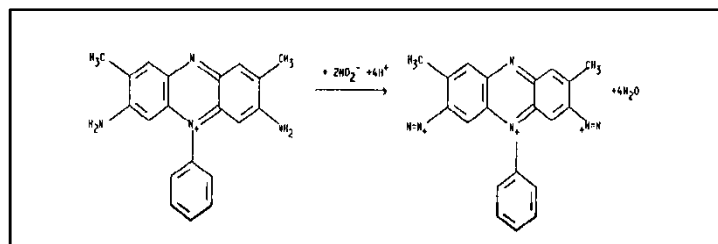
برای بهینه کردن دما در واکنش کاتالیزوری ابتدا در pH=۳ با استفاده از غشاهای ساخته شده سل-ژلی در محدوده دمایی ۵-۵۰ °C آزمایشات در شرایط بهینه انجام دادیم. برای هر کدام از غشاهای طول موج ماکزیمم به دست آمده را قرار دادیم. این بررسی نشان می‌دهد که در هر دو مورد دمای ۲۵ °C بالاترین حساسیت را نشان می‌دهد و برای آزمایشات بعدی در شرایط بهینه و دمای ۲۵ °C استفاده کردیم و ضمناً لازم به یادآوری است که محلول‌ها بایستی ابتدا در دمای

جدول ۱: تکرارپذیری و تکثیر نوری نانوحسگر ساخته شده و مقایسه آن با نانوحسگر پلیمری.

روز سوم		روز دوم		روز اول		
سافرانین O		سافرانین O		سافرانین O		
پلیمری	سل-ژلی	پلیمری	سل-ژلی	پلیمری	سل-ژلی	
۰/۴۶۲	۰/۵۴۲	۰/۴۴۳	۰/۵۲۲	۰/۴۸۲	۰/۵۰۵	نمونه شماره ۱
۰/۴۸۵	۰/۵۳۳	۰/۴۸۵	۰/۵۳۴	۰/۵۰۲	۰/۵۱۲	نمونه شماره ۲
۰/۵۰۴	۰/۵۲۰	۰/۵۱۲	۰/۵۲۸	۰/۴۶۸	۰/۵۲۵	نمونه شماره ۳
۹۶/۶۳	۹۸/۳۸	۹۴/۷۶	۹۹/۰۵	۹۷/۰۰	۹۸/۲۳	تکرارپذیری در تهیه حسگرها در هر روز
-	-	-	۹۷/۹۵	۹۶/۸۳	-	تکثیر پذیری

جدول ۲: زمان پاسخ نانوحسگر.

سیگنال اولیه	۰/۴۰۵	۰/۴۱۴	۰/۴۰۵	۰/۴۱۳	۰/۴۲۴	۰/۴۱۲	۰/۴۲۴
سیگنال نهایی	۰/۵۶۷	۰/۵۴۳	۰/۵۳۴	۰/۵۱۲	۰/۵۲۲	۰/۵۲۳	۰/۵۴۳
زمان پاسخ	۷	۴	۵	۴	۵	۶	۴
میانگین زمان پاسخ	۵ ثانیه						



شکل ۲: شماتیک واکنش بین سافرانین O و غشاء فعال شده.

۳-۱- اندازه گیری نیتريت در نمونه‌های حقیقی با

استفاده از نانوحسگرهای سل-ژلی

طیف جذبی برای سافرانین O در روی فیلم سل-ژلی یک محدوده خطی در $pH=2-3$ را نشان می‌دهد و ساخت حسگر به این ترتیب دارای مزایای زیادی از جمله خواص اپتیکی و مکانیکی خوب در محیط سل-ژلی می‌باشد و در مورد غشاء سل-ژلی این خواص برتری بیشتری دارند و تثبیت معرف و بررسی غشاءها باعث می‌شود که زمان پاسخ و پایداری خوبی داشته باشیم که این زمان پاسخ برای فیلم پلیمری کمتر از سل-ژل می‌باشد.

- مواد سل-ژلی و سلولزی با خواص اپتیکی و مکانیکی

سل-ژلی اتصال پیدا می‌کند و نوع اتصال بسیار خوب است. خواص اپتیکی سافرانین O چسبیده به غشاء سل-ژلی به عنوان تابعی از غلظت نیتريت در محیط نشان داده شده است (شکل ۲).

تغییرات جذب برای سافرانین O در محدوده $pH=2-3$ به صورت خطی می‌باشد و برای غشاء سل-ژلی این تغییرات سریع تر بوده است. ماکزیمم جذب برای سافرانین O روی فیلم سل-ژلی ۵۲۰ نانومتر می‌باشد و در تشدید پیوند کووالان بین معرف و فیلم نقش اساسی را بازی می‌کند. وقتی که معرف روی سل-ژل نشانده می‌شود، به عنوان اکسوکروم عمل می‌کند و باعث تغییر در طول موج ماکزیمم می‌گردد.

جدول ۳: اندازه‌گیری نیتريت در نمونه‌های غذایی (میانگین پنج بار اندازه‌گیری).

غلظت نیتريت (نانوگرم بر میلی لیتر)		
نمونه‌ها	روش استاندارد	روش نانوحسگر
سوسیس	۱۷۵±۱۰	۱۷۰±۲۰
آرد	۲۸۶±۳۰	۲۸۰±۲۰

جدول ۴: اندازه‌گیری نیتريت در نمونه‌های آبی (غلظت نیتريت بر حسب نانوگرم بر میلی لیتر).

آب کرج	روش نانوحسگر	آب کرج
نمونه ۱	۴۰/۰۰±۲/۰۰	۴۵/۰۰±۲/۰۰
نمونه ۲	۵۳/۰۰±۳/۰۰	۵۶/۰۰±۳/۰۰

جدول ۵: منحنی کالیبراسیون و حد تشخیص و تکرارپذیری نانوحسگر ساخته شده برای ده مرتبه اندازه‌گیری.

محدوده خطی	(۲۲۰۰ - ۲/۰۰) نانوگرم بر میلی لیتر
حد تشخیص	(۲/۰۰) نانوگرم بر میلی لیتر

ارتفاع در شکل ۳ مشخص می‌باشد.

شکل ۴ توپوگرافی دو بعدی در سطح فیلم سل-ژل را نشان می‌دهد. درست پس از تثبیت رنگ در شرایط بهینه و خشک کردن در زمان 110°C به مدت نیم ساعت به دست آمده است. ملاحظه می‌شود که پس از تثبیت رنگ روی لایه سل-ژل میانگین رانش سطح غشاء سل-ژل و میانگین ارتفاع در شکل فوق مشخص می‌باشد. با توجه به مقایسه بالا می‌توان گفت که غشاء سل-ژل بیشتر از غشاء پلیمری برای ساخت نانوحسگرها مناسب می‌باشد.

نانوحسگر ساخته شده می‌تواند نیتريت را تا حد ۲/۰۰ نانوگرم بر میلی لیتر در محیط زیست و آب و غذا اندازه‌گیری نماید. این روش بسیار ساده و ارزان و غیرسمی می‌باشد. به این ترتیب می‌توانیم به نانوحسگرهای با اندازه بسیار کوچک و با قابلیت کاربرد بالا دست یابیم. روش‌های متفاوت الکتروشیمیایی، اسپکتروفتومتری، سینتیکی-کاتالیتیکی و تزریق در جریان پیوسته برای اندازه‌گیری نیتريت گزارش شده است. معمولاً روش‌های سینتیکی-کاتالیتیکی دارای حساسیت بالایی هستند. برخی از روش‌های سینتیکی-کاتالیتیکی ارائه شده در دمای بالا قابل استفاده می‌باشد [۱۱-۳]. روش‌های فوق دارای تکرارپذیری

خوب به عنوان ماتریکس برای ثبت معرف‌ها استفاده می‌شود.

ثبت دو معرف در روی غشاءها باعث کاهش نفوذ در سطح و ایجاد یک نانوحسگر با زمان پاسخ کوتاه را ممکن می‌سازد.

از نظر اقتصادی این روش‌ها بسیار ارزان و ساده و دارای قابلیت بالا و پایداری بیشتر برای اندازه‌گیری‌های متعدد می‌باشد.

در مقایسه بین غشاء پلیمری و سل-ژلی، بعضی مواقع غشاء سل-ژل و مواقع دیگر به دلایلی که گفته شد، غشاء پلیمری برتری دارد. برای اینکه این مقایسه را بسیار قوی انجام دهیم، لازم دیدیم که غشاءهای تثبیت شده با معرف را توسط دستگاه AFM مورد بررسی قرار دهیم. نتایج حاصل از AFM برای هر دو غشاء پلیمری و سل-ژلی به صورت زیر توصیف می‌شوند:

شکل ۳ توپوگرافی دو بعدی سطح فیلم پلیمری را توسط AFM درست پس از تثبیت رنگ در شرایط بهینه و بالاخره با خشک کردن در داخل آون به مدت ۳۰ دقیقه نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود پس از تثبیت رنگ روی لایه پلیمری، میانگین تراکنش سطح غشاء پلیمری و میانگین

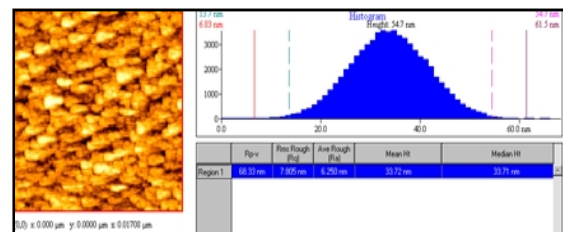
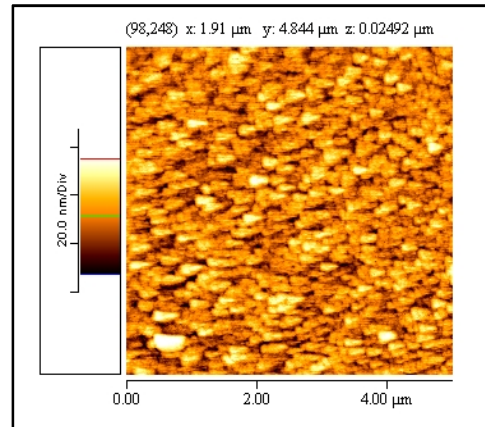
مقادیر کم یون‌های نیتريت بر روش‌های ذکر شده قبلی از نظر حد تشخیص و ناحیه خطی منحنی کالیبراسیون برتری دارند. توسعه و گسترش روش‌های حساس، ساده و ارزان قیمت و نانو برای اندازه‌گیری گونه‌های مختلف در شیمی تجزیه، مطالعه در زمینه نانوحسگر نوری، توسعه و گسترش این روش‌ها را مورد توجه قرار داده است. به کار بردن سایر معرف‌ها می‌تواند گامی در جهت تهیه و ساخت نانوحسگرهای حساس به سایر گونه‌ها باشد. استفاده از آنزیم‌ها به عنوان عنصر نانوحسگر حساس به گونه‌های بیولوژیکی می‌تواند گامی دیگر در جهت توسعه نانوحسگرها باشد. طراحی و ساخت سل‌های جاری و استفاده از آنها می‌تواند راهکار مناسبی برای افزایش سرعت و کاهش زمان آنالیز شود. شناسایی واکنش‌گرهایی که می‌توانند در اندازه‌گیری هم‌زمان گونه‌ها کاربرد داشته باشند از اهداف توسعه نانوحسگرهای نوری در آینده خواهد بود. ساخت نانوحسگر قابل حمل، ساده و ارزان از اهداف فعالیت در این زمینه است.

۴- نتیجه‌گیری

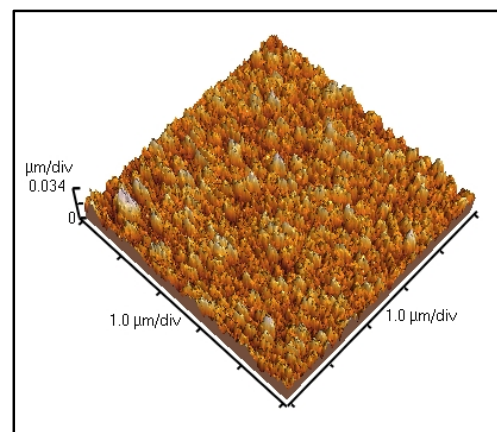
نانوحسگر ساخته شده در این پژوهش می‌تواند به عنوان نانوحسگر مناسب برای اندازه‌گیری نیتريت باشد. با توسعه این روش‌ها و عملی کردن آنها، می‌توان روش‌های ارائه شده را جهت آنالیز گونه‌های مورد نظر در فرآیندهای صنعتی و آنالیزهای روزمره مورد استفاده قرار داد. روش‌های نانوحسگری علاوه بر کاهش هزینه، بر سرعت انجام آزمایش‌ها می‌افزاید. با استفاده از روش‌های فوق‌الذکر که ساده، ارزان و دارای دقت و صحت بالایی است، می‌توان گونه‌های مختلف را اندازه‌گیری نمود.

سپاسگزاری

نویسنده اول مقاله از محمدرضا حسن‌زاده به خاطر طراحی و ساخت دستگاه اندازه‌گیری تشکر و قدردانی می‌کند.



شکل ۳: تصویربرداری AFM از سطح غشاء پلیمری.



شکل ۴: تصویربرداری AFM از سطح غشاء سل-ژلی.

کمی بوده و به علاوه این روش‌ها حد تشخیص بالاتری نسبت به روش‌های پیشنهادی را دارند. بنابراین روش‌های پیشنهادی بدلیل قابلیت کاربرد آن در دمای محیط نسبت به روش‌های قبلی تکرارپذیری بیشتری داشته و برای آنالیز نمونه‌های ناپایدار حرارتی یا نمونه‌هایی که با افزایش دما احتمال واکنش‌های جانبی در آنها وجود دارد، مناسب‌تر می‌باشد. روش‌های پیشنهادی در این تحقیق دارای حد تشخیص پایین‌تری نسبت به روش‌های گزارش شده قبلی هستند [۵-۸]. ضمناً برای اندازه‌گیری نمونه‌های حاوی

[6] X. Liang, Z.Wen, Y. Liu, H. Zhang, L. Huang, J. Jin, *Journal of Power Sources*, **196**, 2011, 3655.
[7] J. Guo, Y. Xu, C. Wang, *Nano Letters*, **11**, 2011, 4288.
[8] B. Zhang, C. Lai, Z. Zhou, X.P. Gao, *Electrochimica Acta*, **54**, 2009, 3708.
[9] W. Wei, J. Wang, L. Zhou, J. Yang, B. Schumann, Y. Nuli, *Electrochemistry Communications*, **3**, 2011, 399.
[10] X. Ji, K.T. Lee, L.F. Nazar, *Nature Materials*, **8**, 2009, 500.
[11] J.Z. Wang, M. Choucair, J.A. Stride, X. Xu, H.K. Liu, *Journal of Power Sources*, **196**, 2011, 7030.

مراجع

[1] L.Yuan, H. Yuan, X. Qiu, L. Chen, W. Zhu, *Journal of Power Sources*, **189**, 2009, 1141.
[2] Y.Yang, G. Yu, J.J. Cha, H. Wu, M. Vosgueritchian, Y. Yao, Z. Bao, Y. Cui, *ACS Nano*, **5**, 2011, 8904.
[3] Y.J. Choi, Y.D. Chung, C.Y. Baek, K.W. Kim, H.J. Ahn, J.H. Ahn, *Journal of Power Sources*, **184**, 2008, 548.
[4] J. Wang, S.Y. Chew, Z.W. Zhao, *Carbon*, **46**, 2008, 229.
[5] W. Ahn, K.B. Kim, K.N. Jung, K.H. Shin, C.S. Jin, *Journal of Power Sources*, **202**, 2012, 394.