

بررسی و شناسایی اثر آلایش کادمیم بر روی خصوصیات حسگری

نانو الیاف فلزی اکسید قلع

عباس مبشری^۱؛ سعید پرهوده^{۲*}؛ غلامعباس شمس^۳

چکیده

حسگرها ابزارهایی هستند که تحت شرایط خاص از خود واکنش‌هایی پیش‌بینی شده و مورد انتظار نشان می‌دهند. با پیشرفت علم در دنیا و به وجود آمدن وسایل الکترونیکی و تحولات عظیمی که در چند دهه اخیر و در خلال قرن بیستم به وقوع پیوست، نیاز به ساخت حسگرهای دقیق‌تر، کوچک‌تر و باقابلیت‌های بیشتر احساس شد. حسگرهایی که امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرند، دارای حساسیت بالایی هستند به‌طوری‌که به مقادیر ناچیزی از گاز، گرما یا تشعشع حساسند. بالا بردن درجه حساسیت، بهره و دقت این حسگرها نیاز به کشف مواد و ابزارهایی جدید دارد. این پژوهش بر روی تأثیر آلاییدگی کادمیم بر شبکه بلوری لایه نانو الیافی اکسید قلع (IV) تمرکز کرده است. این لایه نانو الیافی با استفاده از روش الکتروریسی تهیه گردید که بدون مهره و دارای سطح مقطع دایره‌ای بودند. اثرات آلاییدن با کادمیم این نانو الیاف بر روی شبکه بلوری با استفاده از الگوهای پراش اشعه ایکس مورد مطالعه قرار گرفت.

واژگان کلیدی: آلاییدگی، کادمیم، نانو الیاف، اکسید قلع، شبکه بلوری.

۱. مدرس گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه امام علی (ع)، تهران، ایران.

۲. (*نویسنده مسئول): استادیار گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز، شیراز، ایران

ایمیل: Saeed.parhoudeh@gmail.com

۳. استادیار گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز، شیراز، ایران

مقدمه

یکی از مهم‌ترین اکسیدهای فلزی، اکسید قلع (SnO_2) است که با توجه به پایداری مناسب، سمی نبودن، هزینه پایین تولید و ارزان بودن مواد اولیه آن یکی از مواد هوشمند به حساب می‌آید و از این رو کاربردهای تجاری قابل توجهی دارد (راو^۱ و همکاران، ۲۰۱۳؛ خان^۲ و همکاران، ۲۰۱۵؛ تورس^۳ و همکاران، ۲۰۱۴؛ تان^۴ و همکاران، ۲۰۱۳). اکسید قلع (IV) به صورت لایه‌ای به عنوان ترکیب مناسبی برای استفاده در سلول خورشیدی، حسگرهای گازی، دیودهای انتشار نور و باتری لیتیومی به کار گرفته می‌شود. به علاوه، نانو ساختار اکسید قلع (IV) به دلیل خواص فیزیکی-شیمیایی جذاب، ماده‌ای نویدبخش برای حسگرهای شیمیایی است (کیم^۵ و همکاران، ۲۰۱۵: ۳۳ - ۲۱). از این ماده به طور گسترده در کاتالیزورهای نوری، آشکارسازهای مادون قرمز از راه دور، ادوات الکترونیک نوری، پشتیبان‌های کاتالیزوری، سطوح ضد انعکاس و الکترودهای شفاف استفاده می‌شود. این اکسید فلزی دارای ساختار بلوری روتیل است. اکسید قلع (IV) خالص به دلیل پهنای باند بزرگ، اثر کاتالیزوری نوری بسیار کمی از خود نشان می‌دهد. با این وجود، نسبت به دی‌اکسید تیتانیم و اکسید روی، پذیرنده بهتری برای الکترون‌ها است (خان و همکاران). اکسید قلع (IV) یک نیمه‌رسانای نوع n با پهنای باند ۳/۶ الکترون‌ولت بوده (جوهان ویلی و سان^۶، ۲۰۱۳)، انرژی پیوند برانگیختگی بزرگ، رسانایی الکتریکی بالا، شفافیت نوری بالا و شعاع برانگیختگی بوهر کوچکی دارد (کیم و همکاران، ۲۰۱۵: ۳۳ - ۲۱).

اکسید قلع (IV) لایه‌ای شکل، در سال‌های اخیر به ساختارهای کاربردی مهمی تبدیل شده است. لایه اکسید قلع (IV) نیمه‌رسانا، به صورت خالص حساسیت و خصوصاً انتخاب‌گری مناسبی ندارد و برای بهبود مشخصات آن روش‌های گوناگونی مانند ترکیب این اکسید با اکسیدهای دیگر، آلایده کردن با فلزات کاتالیزور، افزایش سطح به حجم و استفاده از نانو ساختارهای خاص به کار می‌رود (چوی^۷ و همکاران، ۲۰۱۲). همچنین کاربردهای این اکسید به اندازه، ریخت‌شناسی، فاز و بلورینگی ذرات بستگی

-
1. C.N.R. Rao
 2. M. Khan
 3. L.E.F. Torres
 4. Y.B. Tan
 5. M. Khan
 6. John Wiley & Sons
 7. W. Choi

دارد. از این رو، سنتز لایه‌های نازک اکسید قلع (IV) با اندازه کنترل شده و مساحت بالا به مبحث مهمی در علم و فناوری نانو تبدیل شده است (کیم و همکاران، ۲۰۱۵: ۳۳ - ۲۱).

یکی از روش‌ها برای افزایش مساحت، تهیه لایه‌های نانو الیافی اکسید قلع (IV) است. روش‌های گوناگونی برای تهیه نانو الیاف معدنی وجود دارد که در این میان، الکتروریسی بیشترین توجه محققین را در این سال‌ها به خود جلب نموده است (اکبری^۱ و همکاران، ۲۰۱۲: ۷۷ - ۶۹). الکتروریسی اجازه می‌دهد تا نانو الیاف معدنی بشدت متخلخل و سه‌بعدی به صورت ساده تهیه شود. این فرآیند از یک منبع الکتریسیته با ولتاژ بالا برای تزریق بار الکتریسیته به محلول پلیمری اولیه استفاده می‌کند. این کار سبب می‌شود این محلول به سمت جمع کننده شتاب گیرد. در این فرآیند، هنگامی که قدرت میدان الکتریکی از تنش سطحی محلول غلبه کرد، یک جت لیف از سر سوزن سرنگ پرتاب می‌شود. جت لیف در اتمسفر به سمت جمع کننده می‌رود که در طول مسیر، حلال تبخیر شده و سبب ترسیب نانو الیاف معدنی جامد بر روی جمع کننده فلزی می‌شود. الیاف تهیه شده با استفاده از این روش، معمولاً دارای قطر در مرتبه چند میکرومتر یا حتی چند نانومتر است.

به طور عمده، برای بهبود عملکرد حسگری اکسید قلع (IV)، آلایدن این اکسید با فلزات بهترین روش محسوب می‌شود. فلزات مختلفی مانند Co, Mn, Pd, Pt, Ce, Ni و Zn برای این کار مورد استفاده قرار گرفته است که نسبت به مولکول‌های خاصی حساسیت عالی دارند. به عنوان نمونه، کو و همکارانش نانو الیاف اکسید قلع (IV) آلایده شده با ۵-۱ درصد مولی کبالت را با استفاده از روش الکتروریسی تهیه نمودند (کو^۲ و همکاران، ۲۰۱۶: ۴۳۲ - ۴۲۵). نتایج نشان داد که با آلایدن ۳ درصد مولی کبالت، حسگرهای نانو الیافی بالاترین پاسخ را در برابر ۱۰۰ ppm اتانول نشان می‌دهند. همچنین لین و همکارانش نانو الیاف توخالی اکسید قلع (IV) را با روش الکتروریسی تهیه و با استفاده از روش تر آن‌ها را با نانو ذرات پالادیم تزئین نمودند (لین^۳ و همکاران، ۲۰۱۵).

-
1. Akbari
 2. X. Kou
 3. Y. Lin

این نانو الیاف به عنوان ماده حسگر برای فرم آلدهید مورد استفاده قرار گرفت که نشان داد پاسخ حسگر به ppm ۱۰۰ فرم آلدهید از ۵/۴ به ۱۸/۸ افزایش یافت. ژنگ^۱ و همکارانش نیز خصوصیات حسگری نانو الیاف اکسید قلع (IV) آلییده شده با اکسید نیکل که با روش الکتروریسی تهیه شده و برای حسگری فرم آلدهید مورد استفاده قرار گرفته، مورد بررسی قرار دادند (ژنگ و همکاران، ۲۰۱۱: ۷۳۰-۷۳۳). حسگرها ساخته شده از این نانو الیاف آلییده شده خصوصیات حسگری خوبی برای فرم آلدهید در دمای عملیاتی ۲۰۰ درجه سانتی گراد نشان دادند و حد آشکارسازی حداقل کمتر از ppm ۰/۰۸ بوده است.

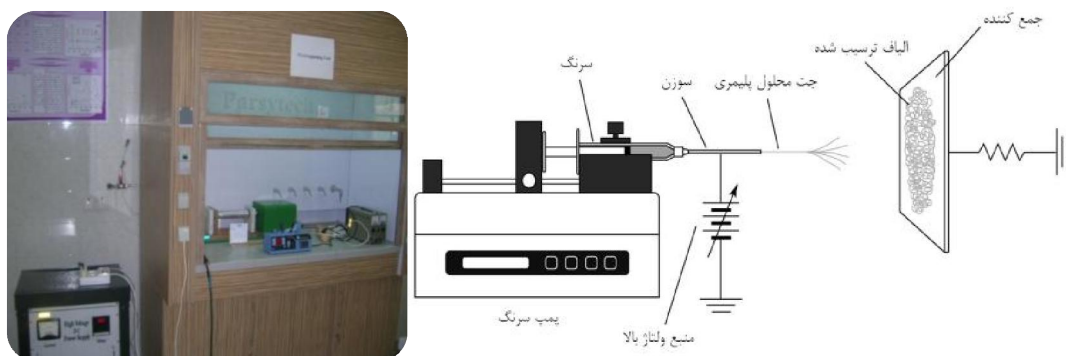
در این پژوهش سعی می شود که لایه های نانو الیافی اکسید قلع (IV) که با فلز کادمیم آلییده شده است تهیه شود. فلز کادمیم به عنوان یک آلاینده برای اکسید قلع (IV) کار انجام نشده است. تأثیر افزودن کادمیم بر ساختار بلوری این لایه نانو الیافی با استفاده از الگوهای پراش اشعه ایکس مورد آزمایش قرار خواهد گرفت.

روش شناسی

تهیه محلول های مورد نظر برای الکتروریسی: ابتدا محلول ذخیره ای از پلی (وینیل الکل) با جرم مولکولی ۱،۵۰۰،۰۰۰ گرم بر مول تهیه گردید. برای تهیه آن، ۷/۵ گرم از پلی (وینیل الکل) به حلال ترکیبی ۷۵ میلی لیتر آب مقطر و ۲۵ میلی لیتر اتانول به صورت کم در مدت ۲-۳ ساعت اضافه و در دمای انحلال ۵۰ درجه سانتی گراد با استفاده از مگنت ۱۲ ساعت به شدت هم زده شد. همچنین برای انحلال بهتر پلی (وینیل الکل)، محلول ۱۲ ساعت دیگر کنار گذاشته شد. بعد از انحلال، محلول کاملاً شفاف و یکنواختی به دست آمد. برای تهیه محلول مورد نیاز برای تهیه نانو الیاف اکسید قلع (IV)، ۲/۲۵ گرم قلع کلرید ۵ آبه در مدت یک ساعت به صورت کم به ۱۰ میلی لیتر از محلول ذخیره ای پلی (وینیل الکل) اضافه گردید. این محلول در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد به مدت ۱۲ ساعت با استفاده از مگنت هم زده شد تا محلول یکنواخت سفیدرنگی به دست آید. برای تهیه نانو الیاف اکسید قلع (IV) آلییده شده با کادمیم، به محلول استفاده شده برای تهیه نانو الیاف اکسید قلع (IV)، ۰/۱، ۰/۳، ۰/۶، ۰/۹، ۱/۲ درصد

وزنی کادمیم استات اضافه و در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد به مدت ۱۲ ساعت با استفاده از مگنت هم زده شد. این محلول نیز شیری رنگ بوده و بوی اسیدی (سرکه) داشت.

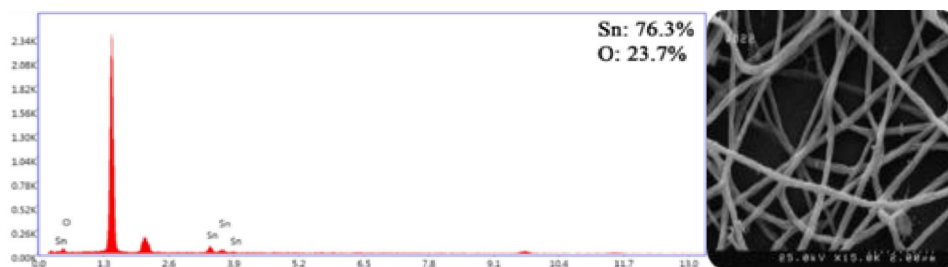
الکتروریسی محلول‌ها: پس از آماده سازی محلول‌های مورد نیاز برای تهیه نانو الیاف و بعد از سرد شدن آن‌ها تا دمای اتاق، محلول در داخل سرنگ پزشکی پلاستیکی (۱۰ میلی لیتری) با سوزن استیل که سر آن با استفاده از سمباده صاف شده (با قطر داخلی ۱ میلی متر) ریخته شد. در نهایت این سرنگ بر روی پمپ سرنگ دستگاه ریسندگی نصب شد تا پمپ بتواند با سرعت تغذیه ۰/۴ میلی لیتر بر ساعت محلول‌های مورد نظر را از سر سوزن سرنگ خارج کند. جمع کننده استوانه‌ای با سرعت مشخص برای ترسیب نانو الیاف معدنی در فاصله الکتروریسی قرار داده شد. فاصله سر سوزن تا جمع کننده برای تمام آزمایش‌ها ۱۰ سانتی متر بوده است. برای رسیدن محلول‌ها و تشکیل نانو لیف، سر سوزن به منبع اختلاف پتانسیل وصل شد. این منبع تغذیه برای رسیدن، اختلاف پتانسیل ۱۰ کیلوولت به محلول مورد نظر می‌دهد. کل دستگاه الکتروریسی در داخل هود قرار داده شده تا بتوان دمای محیط ریسندگی را نیز تغییر داده و کنترل کرد. در این پژوهش دمای محیط الکتروریسی ۲۵ درجه سانتی گراد بوده است. در نهایت، نانو الیاف معدنی اولیه ترسیب شده در داخل کوره با دمای ۶۰۰ درجه سانتی گراد به مدت ۳ ساعت قرار گرفت تا مواد آلی و پلیمری نانو الیاف سوخته و نانو الیاف معدنی اکسید قلع (IV) به دست آید. پس از تشکیل نانو الیاف مورد نظر، این نانو الیاف برای بررسی اندازه قطر آن‌ها با میکروسکوپ الکترونی روبشی آماده سازی شد. تصویر دستگاه الکتروریسی مورد استفاده در این پژوهش و همچنین شماتیک آن در شکل ۱ نشان داده شده است.



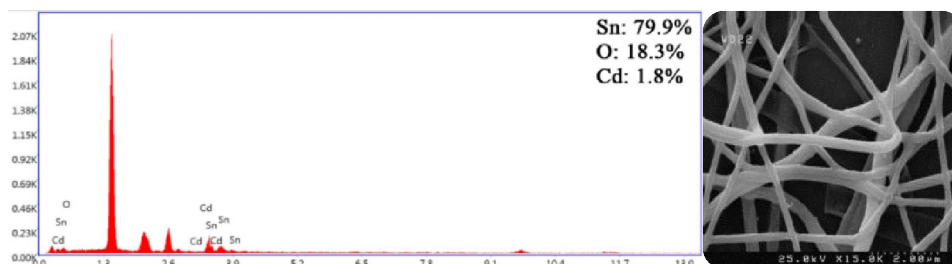
شکل ۱- نمایش شماتیک دستگاه ریسندگی الکتریکی استفاده شده.

نتایج و یافته‌ها

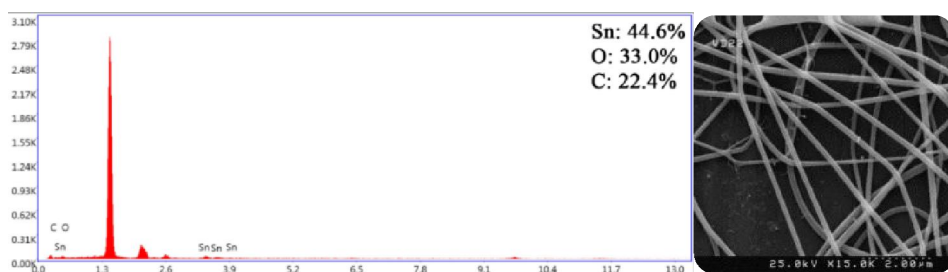
در این پژوهش سعی شده تا نانو الیاف با ماده معدنی خالص اکسید قلع (IV) و همچنین آلاینده شده با مقادیر مختلف فلز کادمیم از طریق تکنیک الکتروریسی تهیه گردد. برای ارزیابی ریخت‌شناسی نانو الیاف تهیه‌شده با الکتروریسی، تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی انتشار میدانی موردبررسی قرار گرفت (شکل ۲). نانو الیاف به‌صورت بدون مهره تهیه شدند که سطح‌رویی تمام آن‌ها هموار و سطح مقطع آن‌ها دایره‌ای شکل است. همچنین باید خاطرنشان کرد که نانو الیاف با آرایشی تصادفی بر روی جمع‌کننده نشسته‌اند و این شبکه‌های نانو الیافی غیر بافته‌شده نامیده می‌شوند. برای تعیین میزان کادمیم به‌عنوان عنصر آلاینده شده در نانو الیاف اکسید قلع (IV)، آنالیز پرتوایکس منتشرکننده انرژی انجام گردید (شکل ۲). بر اساس طیف‌های به‌دست‌آمده می‌توان گفت که در نانو الیاف اکسید قلع (IV) آلاینده شده با ۰/۹ درصد وزنی کادمیم، ۰/۸ درصد و در نانو الیاف آلاینده شده با ۱/۲ درصد کادمیم نیز ۱/۱ درصد از این عنصر وجود دارد.



الف



ب

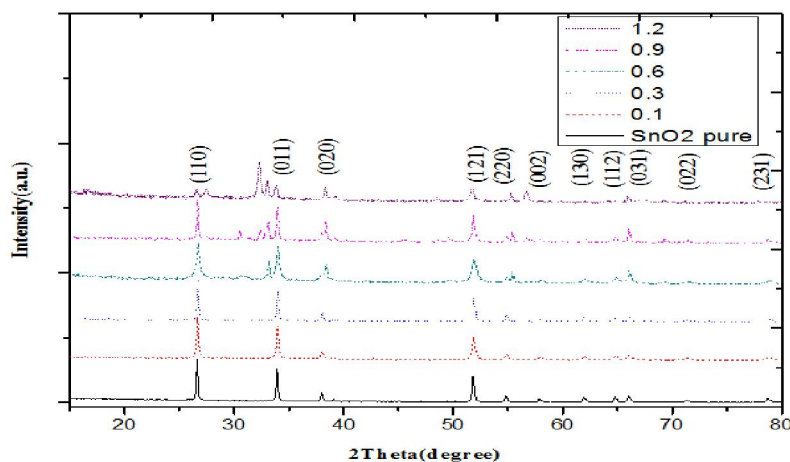


پ

شکل ۲- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نانو الیاف الف: اکسید قلع (IV)، ب: اکسید قلع (IV) آلیایده شده با ۰/۹ درصد وزنی کادمیم و پ: اکسید قلع (IV) آلیایده شده با ۱/۲ درصد وزنی کادمیم.

برای بررسی تأثیر آلیاژ با کادمیم بر روی ساختار بلوری، الگوی پراش اشعه ایکس نانو الیاف اکسید قلع (IV) با مقدارهای مختلف کادمیم (۰/۱، ۰/۳، ۰/۶، ۰/۹ و ۱/۲ درصد وزنی) مورد مطالعه قرار گرفتند (شکل ۳). هنگامی که نانو الیاف قلع اکسید با مقدارهای کم کادمیم (۰/۱ و ۰/۳ درصد وزنی) آلیایده گردید، ساختار بلوری آن همانند ساختار قلع اکسید خالص (تراگونال با گروه فضایی P42/mnm) بوده و هیچ تغییری در قله‌های پراش ایجاد نشده است. ولی با افزودن کادمیم، قله‌ها کمی به سمت راست و زوایای بزرگ‌تر جابه‌جا شد. شعاع بلوری اتم‌های کادمیم Cd^{2+} با عدد همسایگی ۶ در ساختار روتیل برابر با ۱/۰۹ آنگستروم و شعاع بلوری اتم‌های قلع Sn^{4+} با عدد همسایگی ۶ در ساختار روتیل برابر با ۰/۸۳ آنگستروم است. در نتیجه با جانشینی اتم‌های کادمیم به جای اتم‌های قلع،

بایستی فاصله صفحات افزایش و بالطبع، قله‌های پراش پرتوایکس کمی به سمت چپ جابه‌جا شوند که در تضاد با نتایج پراش پرتو ایکس است. بنابراین اتم‌های کادمیم در ساختار بین نشانی شده است. برای تفهیم این رفتار، تحلیل الگوهای پراش از روش پالایش ریتولد و با استفاده از نرم‌افزار ماد (MAUD) صورت گرفت. در این نرم‌افزار، ابتدا پارامترهای عامل مقیاس، ضرایب شبکه، موقعیت اتم‌ها و ضرایب مربوط به جابجایی گرمایی اتم‌ها پالایش و سپس پارامترهای مربوط به ریزساختارها به دست آورده شد. همچنین تحلیل داده‌ها با این فرض انجام شد که پهن‌شدگی خطوط پراش، همسانگرد باشند. جابه‌جایی قله‌ها به سمت راست و زوایای بزرگ‌تر و بالطبع، انقباض پارامتر شبکه را می‌توان به تشکیل جای خالی در مکان آنیون‌ها (اکسیژن) که در پالایش ریتولد به دست آمد، نسبت داد. دلیل تشکیل جای خالی در مکان آنیون‌ها (اکسیژن) را می‌توان به حالت اکسایش کمتر کادمیم (+۲) نسبت به قلع (+۴) نسبت داد. چون شعاع بلوری کادمیم از قلع بیشتر است با افزایش درصد وزنی کادمیم ساختارهای جدیدی بایستی در سامانه به وجود آیند تا اجازه تشکیل جای خالی بیشتر، در ساختار ندهند. با افزایش درصد وزنی کادمیم این ساختارها مشاهده شدند.



شکل ۳- الگوی پراش پرتو ایکس نانو الیاف اکسید قلع (IV) با مقدارهای مختلف کادمیم الف: خالص، ب: ۰/۱، پ: ۰/۳، ت: ۰/۶، ث: ۰/۹ و ج: ۱/۲ درصد وزنی.

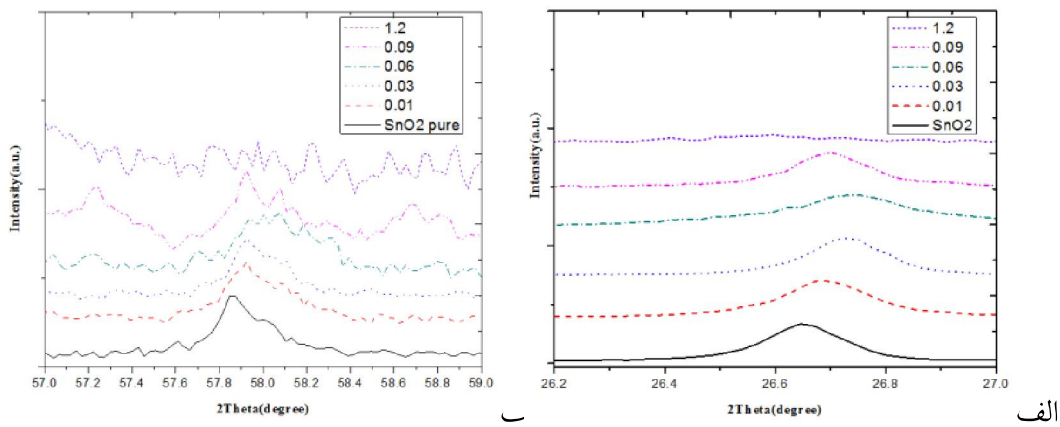
با نرم‌افزار X'pert، ساختار بلوری نمونه‌های نانو الیافی شناسایی شد. با افزایش مقدار کادمیم (۰/۶ درصد وزنی)، در الگوی پراش پیک‌های مشخصه اکسید کادمیم (CdO) با ساختار مکعبی و گروه فضایی Fm-3m و دی‌کادمیم قلع ($Cd_2(SnO_4)$) با ساختار بلوری ارتورومبیک در گروه فضایی Pbam و کادمیم-قلع اکسید ($CdSnO_3$) با ساختار بلوری رومبوهدرال با گروه فضایی R-3 ظاهر گردید که در نانو الیاف

اکسید قلع (IV) تشکیل شده است. در غلظت ۰/۹ درصد وزنی کادمیم در نانو الیاف اکسید قلع (IV)، علاوه بر اکسید قلع (IV) (SnO_2)، اکسید کادمیم (CdO) و کادمیم قلع اکسید (CdSnO_3)، نوع دیگری از کادمیم قلع اکسید ($\text{Cd}_{1.333}\text{O}_4\text{Sn}_{1.333}$) با ساختار مکعبی و گروه فضایی Fd-3m که به اکسید قلع (IV) معروف است، ارتباط داده شد. در آخرین غلظت مورد بررسی در این پژوهش (۱/۲ درصد وزنی)، سه ساختار اکسید قلع (IV) (SnO_2)، اکسید کادمیم (CdO) و کادمیم قلع اکسید ($\text{Cd}_{1.333}\text{O}_4\text{Sn}_{1.333}$) وجود دارد. میزان هر یک از بلورها در نانو الیاف تهیه شده در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- فازهای تشکیل شده با افزایش درصد وزنی کادمیم

مقدار کادمیم (درصد وزنی)						درصد فازهای نمونه
۱/۲	۰/۹	۰/۶	۰/۳	۰/۱	۰	
۳۶	۶۶	۸۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	SnO_2
۳۲	۱۹	۱۰	–	–	–	CdO
–	۰	۵	–	–	–	$\text{Cd}_2(\text{SnO}_4)$
–	۵	۵	–	–	–	CdSnO_3
۳۳	۱۰	–	–	–	–	$(\text{Cd}_{1.333}\text{O}_4\text{Sn}_{1.333})$

برای محاسبه ثوابت شبکه و دیگر مشخصه های بلوری، ابتدا با استفاده از خروجی X'_{pert} ، زوایای قتل حاصل از صفحات (۰۱۱) و (۰۰۲) محاسبه شده و ثوابت شبکه اکسید قلع (IV) به دست آمد. قتل حاصل از پراش پرتو ایکس منتج از صفحات (۰۱۱) و (۰۰۲) در شکل ۴ و نتایج در جدول ۲ آورده شده است. برای محاسبه ثابت شبکه سیستم تتراگونال از روابط جدول ۳ استفاده شده است. از قله های حاصل از صفحات (۱۱۰) می توان پارامتر a شبکه و از صفحات (۰۰۲) می توان پارامتر c شبکه را حساب کرد.



شکل ۴- تغییرات قله‌های حاصل از صفحات الف: (۱۱۰) و ب: (۰۰۲)

جدول ۲. محاسبه ثابت شبکه‌ها از قله‌های حاصل از صفحات (۱۱۰) و (۰۰۲)

مقدار کادمیم (درصد وزنی)	۰	۰/۱	۰/۳	۰/۶	۰/۹	۱/۲
زاویه 2θ حاصل از صفحات (۱۱۰)	۲۶/۶۴۵۶	۲۶/۶۷۰۹	۲۶/۷۳۴۳	۲۶/۷۴۶	۲۶/۷۷۹۱	۲۶/۶۰۴۵
فاصله صفحات (۱۱۰) (Å)	۳/۳۴۳۱	۳/۳۴۰۰	۳/۳۳۲۵	۳/۳۳۰۸	۳/۳۳۹۰	۳/۳۴۸۲
a (Å)	۴/۷۲۸	۴/۷۲۳	۴/۷۱۲	۴/۷۱۰	۴/۷۲۲	۴/۷۳۵
زاویه 2θ حاصل از صفحات (۰۰۲)	۵۷/۸۷۴	۵۷/۹۱۶	۵۷/۹۵۱	۵۷/۹۹۷	۵۷/۹۲۳	۵۷/۹۱۱
فاصله صفحات (۰۰۲) (Å)	۱/۵۹۲	۱/۵۹۱	۱/۵۹۰	۱/۵۸۹	۱/۵۹۱	۱/۵۹۱
c (Å)	۳/۱۸۴	۳/۱۸۲	۳/۱۸۰	۳/۱۷۸	۳/۱۸۱	۳/۱۸۲
اندازه بلورک‌ها (nm)	۱۵۴	۷۸	۱۶۰	۳۱	۱۱۷	۳۲
درصد کرنش ($\Delta l/l$)	۰/۲۰۵	۰/۳۱۶	۰/۱۹۹	۰/۶۲۵	۰/۲۴۳	۰/۶۱۷

جدول ۳. معادلات استفاده‌شده برای محاسبه ثابت شبکه

ثابت شبکه سیستم تتراگونال	صفحات (۱۱۰)	صفحات (۰۰۲)
$d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta}$	$\frac{1}{d_{(110)}^2} = \frac{2}{a^2}$	$\frac{1}{d_{(002)}^2} = \frac{4}{c^2}$
$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2}$	$a = \sqrt{2}d_{(110)}$	$c = 2d_{(002)}$

اندازه بلورک و درصد کرنش با استفاده از پهنای نصف قله حاصل از صفحات (۱۱۰) محاسبه شد. مقدار میانگین مشخصات بلوری با استفاده از نرم افزار ماد با پالایش بر روی تمام قله محاسبه و در جدول ۴ قرار داده شد.

جدول ۴. مقادیر پارامترهای شبکه و خصوصیات بلوری نانو الیاف اکسید قلع (IV) آلاینده شده با مقدارهای مختلف کادمیم با استفاده از نرم افزار ماد

مقدار کادمیم (درصد وزنی)	۰	۰/۱	۰/۳	۰/۶	۰/۹	۱/۲
a (Å)	۴/۷۳۰	۴/۷۲۴	۴/۷۱۹	۴/۷۲۰	۴/۷۲۷	۴/۷۳۷
c (Å)	۳/۱۸۳	۳/۱۸۰	۳/۱۷۶	۳/۱۷۶	۳/۱۸۰	۳/۱۸۵
اندازه بلورکها (nm)	۲۱۶	۶۸	۱۱۱	۳۰	۸۸	۱۲۷
درصد کرنش ($\Delta l/l$)	۰/۰۹۹	۰/۰۸۱	۰/۱۰۵	۰/۱۹۴	۰/۰۷۸	۰/۳۳۰

نتیجه گیری

هدف اصلی این پژوهش، تهیه نانو الیاف اکسید قلع (IV) آلاینده شده با فلز کادمیم بود. همچنین، تأثیر آلاینده‌گی با کادمیم (با غلظت‌های ۰/۱، ۰/۳، ۰/۶، ۰/۹ و ۱/۲ درصد وزنی) بر روی پارامترهای شبکه بلوری اکسید قلع (IV) مورد بررسی کامل قرار گرفت. الکتروریسی به عنوان آسان‌ترین روش برای تهیه نانو الیاف برای این کار استفاده گردید که پارامترهای آزمایشگاهی آن عبارت‌اند از: سرعت تغذیه ۰/۴ میلی‌لیتر بر ساعت، فاصله سرسوزن تا جمع کننده ۱۰ سانتی‌متر و اختلاف پتانسیل ۱۰ کیلوولت بود. میکروسکوپ الکترونی روبشی، بدون مهره بودن نانو الیاف و آنالیز پرتو ایکس منتشرکننده انرژی، وجود کادمیم در نانو الیاف اکسید قلع (IV) را نشان دادند. با استفاده از الگوی پراش اشعه ایکس، هنگامی که نانو الیاف اکسید قلع (IV) با مقدارهای کم کادمیم (۰/۱ و ۰/۳ درصد وزنی) آلاینده گردید، ساختار بلوری آن همانند ساختار اکسید قلع (IV) خالص، تتراگونال بود. ولی با اضافه کردن مقدار کادمیم، قله‌ها کمی به سمت زوایای بزرگ‌تر جابه‌جا شد که به دلیل تشکیل جای خالی در مکان آنیون‌ها (اکسیژن) و حالت اکسایش کمتر کادمیم (۲+) نسبت به قلع (۴+) بوده است.

فهرست منابع

- Akbari, A. Yunessnia lehi, M. Bojaran, Formation of poly (vinylidene fluoride) nanofibers: Part I optimization by using of central composite design, *Journal of Nanostructures*, 2 (2012) 69-77.
- Akbari, A. Yunessnia lehi, Formation of poly (vinylidene fluoride) nanofibers: Part II the elaboration of incompatibility in the electrospinning of its solutions, *Journal of Nanostructures*, 2 (2012) 251-256.
- C.N.R. Rao, A.K. Sood, "Graphene: synthesis, properties, and phenomena", John Wiley & Sons, (2013).
- J.H. Kim, E. Jeong, Y.S. Lee, Preparation and characterization of graphite foams, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 32 (2015) 21-33.
- L.E.F. Torres, S. Roche, J.C. Charlier, "Introduction to graphene-based nanomaterials: from electronic structure to quantum transport", Cambridge University Press, (2014).
- M. Khan, M.N. Tahir, S.F. Adil, H.U. Khan, M.R.H. Siddiqui, A.A. Al-warthan, W. Tremel, Graphene based metal and metal oxide nanocomposites: synthesis, properties and their applications, *Journal of Materials Chemistry A*, 3[37] (2015) 18753-18808.
- W. Wu, Z. Liu, L.A. Jauregui, Q. Yu, R. Pillai, H. Cao, J. Bao, Y.P. Chen, S.-S. Pei, Wafer-scale synthesis of graphene by chemical vapor deposition and its application in hydrogen sensing, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 150[1] (2010) 296-300.
- W. Choi, J.W. Lee, "Graphene: synthesis and applications", CRC Press, (2012).
- X. Kou, C. Wang, M. Ding, C. Feng, X. Li, J. Ma, H. Zhang, Y. Sun, G. Lu, Synthesis of Co-doped SnO₂ nanofibers and their enhanced gas-sensing properties, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 236 (2016) 425-432.
- Y. Lin, W. Wei, Y. Li, F. Li, J. Zhou, D. Sun, Y. Chen, S. Ruan, Preparation of Pd nanoparticle decorated hollow SnO₂ nanofibers and their enhanced formaldehyde sensing properties, *Journal of Alloys and Compounds*, 651 (2015) 690-698.
- Y. Zheng, J. Wang, P. Yao, Formaldehyde sensing properties of electrospun NiO-doped SnO₂ nanofibers, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 156 (2011) 723-730.
- Y.B. Tan, J.M. Lee, Graphene for supercapacitor applications, *Journal of Materials Chemistry A*, 1[47] (2013) 14814-14843.