

سنتز نانوساختارهای اکسید نیکل به روش تجزیه حرارتی از نیترات و کلرید نیکل در دمای پایین

صالح خانی* و مجتبی جعفریان

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شاهرود، دانشکده فنی و مهندسی، شاهرود، ایران

تاریخ ثبت اولیه: ۱۳۹۳/۰۲/۱۱، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۱۳۹۳/۰۴/۲۴، تاریخ پذیرش قطعی: ۱۳۹۳/۰۵/۲۷

چکیده

در این پژوهش نانوساختارهای اکسید نیکل به روش تجزیه حرارتی سنتز شدند. نتایج نشان دهنده تاثیر بسزای شرایط متفاوت آماده‌سازی، مانند غلظت مواد اولیه، زمان و دمای تکلیس بر ویژگی‌های پودر سنتز شده می‌باشند. بررسی فازی، مورفولوژی و تعیین ساختار پودر اکسید نیکل حاصل، به ترتیب بوسیله آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و طیف‌سنجی مادون قرمز (FT-IR) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج طیف‌سنجی مادون قرمز و آنالیز پراش اشعه ایکس تایید کننده تشکیل نانوساختارهای اکسید نیکل با دو عامل رسوب دهنده اگزالیک اسید و پتاسیم کربنات می‌باشند. طبق نتایج تشکیل نانوساختارهای تک فاز اکسید نیکل با کمترین میانگین اندازه دانه‌ها در شرایط استفاده از کربنات پتاسیم به میزان ۵۵ nm و با مورفولوژی کروی حاصل شد. طبق نتایج دمای تشکیل اکسید نیکل در حالت استفاده از کربنات پتاسیم کمتر از حالت استفاده از اگزالیک اسید بود. همچنین نتایج SEM نشان دهنده پراکندگی مناسب، یکنواختی و آگلومراسیون کمتر پودر اکسید نیکل سنتز شده با استفاده از اگزالیک اسید می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اکسید نیکل، تجزیه حرارتی، نانوساختار، بررسی فازی.

۱- مقدمه

مهمترین کاربردهای اکسید نیکل می‌توان به استفاده در کاتالیست، کاتد باتری، سلول‌های خورشیدی و سنسورهای گازی اشاره کرد. علاوه بر آن، نیکل اکسید در ابعاد نانو نیز خواص بهتر و به تبع آن کاربرد بیشتری نسبت به حالت بالک آن دارد [۸-۶]. معمولاً کاهش اندازه ذرات نیم رساناهای نیکل اکسید منجر به کاهش قابل توجه در پهنای نوارهای ظرفیت و هدایت می‌شود و این امر باعث افزایش گاف انرژی می‌گردد [۹]. در میان نانوذرات اکسید فلزی، نیکل اکسید خواص مغناطیسی، کاتالیستی،

نیکل اکسید یک نیمه هادی مثبت (p-type) است که گاف انرژی آن در محدوده ۴-۳/۴ eV قرار گرفته است و دارای گاف نواری پهن و شفافیت اپتیکی زیادی در ناحیه مرئی می‌باشد از طرفی می‌تواند به عنوان دریافت کننده الکترون عمل کند [۵-۱]. نیکل اکسید یک اکسید فلزی انتقالی مهم با ساختار شبکه مکعبی می‌باشد که به سبب خواص مغناطیسی ویژه مورد توجه می‌باشد. از جمله

*عهده‌دار مکاتبات: صالح خانی

نشانی: شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود، گروه مهندسی مواد

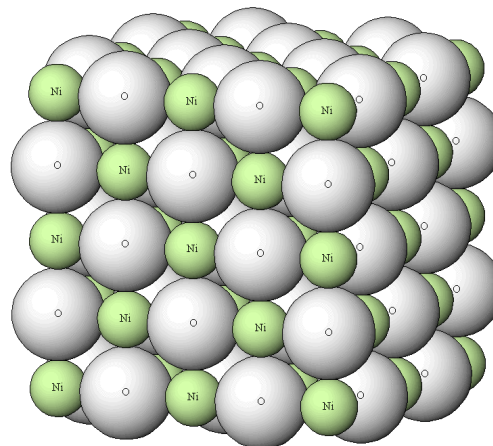
تلفن: ۰۲۳-۲۲۳۹۴۲۸۳، دورنگار: ۰۲۳-۲۲۳۹۴۲۸۳، پست الکترونیکی: saleh.khani296@gmail.com

گرفته‌اند. نیکل اکسید قابلیت حسگری شیمیایی بویژه به عنوان الکتروود منفی در باتری‌های لیتیومی را دارا است و از این جهت تولید نانوساختار آن از اهمیت فراوانی برخوردار است [۲۴، ۲۵]. انجام چرخه نیکل اکسید نسبت به اکسیدهای انتقالی دیگر مانند کبالت اکسید و اکسید مس ظرفیت بازگشت‌پذیری بالاتری دارد و باتری‌های آن نسبت به آنها ارزان‌تر است. در تولید مواد کربنی نیمه متخلخل با استفاده از نانوذرات نیکل اکسید بهبود قابل توجهی در خواص آن برای استفاده در کاتالیست، حسگرها و مواد الکتروودی پیشرفته بدست آمده است. روش‌های مختلفی برای سنتز نانوذرات NiO مانند تجزیه حرارتی [۲۶]، هیدروترمال [۲۷]، هم‌رسوبی [۲۸]، سل-ژل [۲۹] و میکروامولسیون [۳۰] وجود دارد. از مزیت‌های روش مورد استفاده در این تحقیق جهت تولید این ترکیب می‌توان به دمای پایین واکنش و استفاده از مواد اولیه ساده اشاره نمود. در این پژوهش سنتز این ترکیب با استفاده از نمک فلزات واسطه و عوامل رسوب دهنده ساده نظیر اسید اگزالیک و کربنات پتاسیم صورت گرفت.

۲- فعالیت‌های تجربی

در این پژوهش، از نیترات نیکل و کلرید نیکل به عنوان پیش ماده نیکل و از اگزالیک اسید و کربنات پتاسیم به عنوان عوامل رسوب دهنده استفاده شد. ابتدا به میزان ۲/۴۶ گرم (۰/۳ M) نیترات نیکل در ۲۰ میلی‌لیتر اتانول حل شده تا یک محلول سبز رنگ تشکیل شود. محلول به یک بالن تقطیر دو دهنه انتقال داده و بر روی همزن مغناطیسی با اعمال حرارت 50°C قرار داده شد و به مدت ۱ ساعت در این شرایط قرار گرفت. سپس مقدار ۱/۸۹ گرم (۰/۳ M) از اگزالیک اسید را وزن کرده و به سرعت به محلول فوق اضافه شد، نسبت مولی اگزالیک به نیکل برابر ۱ در نظر گرفته شد. پس از چند دقیقه رسوب‌های سبز رنگی در محلول ظاهر شدند که بیانگر تشکیل کمپکس اگزالات نیکل می‌باشد. سیستم در شرایط رفلاکس قرار داده شد تا انجام واکنش بطور کامل صورت گیرد. این شرایط تا ۳ ساعت به طول انجامید. با تبخیر مقداری از اتانول و اسید نیتریک در طول مدت انجام واکنش، در نهایت رفلاکس ژل ویسکوز سبز رنگی بدست

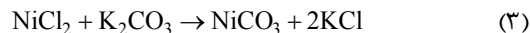
الکتریکی و اپتیکی منحصربفردی دارد. ذرات بسیار ریز نیکل اکسید در ساخت فیلم‌های الکتروکرمیک [۱۰]، مواد مغناطیسی [۱۱]، کاتدهای باتری‌های قلیایی [۱۲] و آند سل‌های سوخت اکسید جامد [۱۳] مناسب است. شکل ۱ نشان دهنده ساختار کریستالی اکسید نیکل می‌باشد که به صورت مکعبی می‌باشد.



شکل ۱: ساختار بلوری NiO.

اخیرا مشخص شده است که ذرات بسیار ریز نیکل اکسید دارای رفتار سوپرمغناطیس می‌باشند. اگر نسبت سطح به حجم برای ذرات آنتی فرومغناطیس به اندازه کافی بزرگ باشد به سبب اسپین‌های جفت نشده در سطح ذره یک شبکه مغناطیس غیرصفر لحظه‌ای خواهد داشت و اکنون خواص مغناطیسی این ذره می‌تواند بسیار متفاوت از ماده توده مشابه باشد [۱۸-۱۴]. مشخص گردیده است که نانوذرات نیکل اکسید میدان‌های اجباری بزرگی را در دمای پایین به سبب آنیزوتروپی سطح و انتقال‌های حلقه به علت جفت نشدن تبدیل مرز میان هسته آنتی فرومغناطیس و پوسته نامنظم مغناطیسی از خود نمایش می‌دهند که بسیار وابسته به اندازه ذره می‌باشد رفتار مغناطیسی ذرات نیکل اکسید بسیار پیچیده است و شدیداً متأثر از دما، اندازه ذرات هسته، سطح و مرز می‌باشد [۲۳-۱۹]. نیکل اکسید به عنوان یکی از مواد الکتروودی نویدبخش می‌باشد. اخیرا مواد الکتروود نانوساختار مانند نیکل اکسید به سبب قابلیت‌های بیشتر نسبت به الکترودهای مشابه مورد استفاده بیشتری قرار

دماهای ۴۵۰، ۵۵۰ و ۶۵۰ °C در کوره کلسینه شد. واکنش‌های انجام شده در سنتز اکسید نیکل بر پایه تجزیه کربنات پتاسیم در روابط ۳ و ۴ آورده شده است:



در نهایت، به منظور ارزیابی و مشخصه‌یابی ساختار فازی پودر سنتز شده از تکنیک‌های پراش پرتو ایکس (XRD) با استفاده از دستگاه پراش اشعه ایکس مدل Bruker D8 که منبع X-ray مورد استفاده در آن تفنگ نشر کننده $\text{CuK}\alpha$ و انجام عملیات پراش در محدوده ۷۰-۱۰ درجه بود و طیف‌سنجی مادون قرمز با استفاده از دستگاه FT-IR مدل Bruker و جهت بررسی مورفولوژی پودر از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل Leo-1430.VP استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

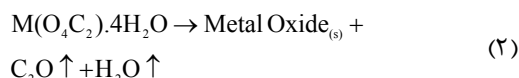
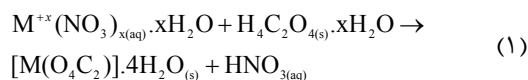
۳-۱- بررسی ترمودینامیک واکنش

به منظور بررسی انجام‌پذیری واکنش سنتز اکسید نیکل به روش تجزیه حرارتی کربنات پتاسیم در دمای اتاق، مقدار آنتالپی و آنتروپی در دمای اتاق در رابطه انرژی آزاد قرار داده شد و میزان انرژی آزاد با استفاده از روابط زیر محاسبه شد که منفی بودن آن نشان دهنده انجام‌پذیری واکنش سنتز اکسید نیکل در دمای اتاق می‌باشد، بنابراین، با افزایش دما، واکنش طبق رابطه ۵ در جهت تولید محصول پیش می‌رود.

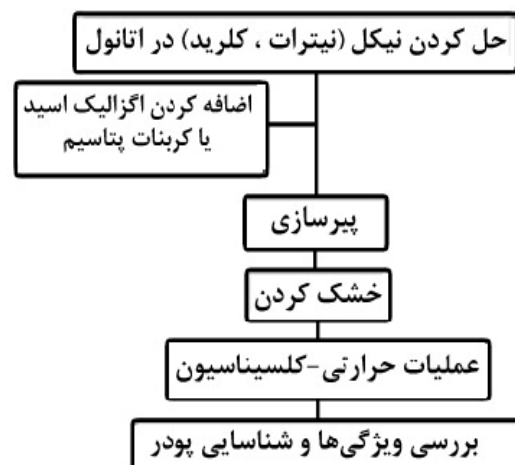
$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ \quad (۵)$$

انرژی آزاد گیبس محاسبه شده از رابطه ۴، ۴ kJ/mol ۱۴۱۲/۵- بدست آمد که نشان دهنده انجام‌پذیری واکنش است. در جدول ۱، مقادیر آنتروپی و آنتالپی مواد اولیه و اکسید نیکل آورده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود، آنتالپی اکسید نیکل نسبت به مواد اولیه بیشتر است که نشان دهنده انجام‌پذیری واکنش می‌باشد. با

آمد. ژل حاصله روی شیشه ساعت ریخته شد و در دمای ۸۰ °C خشک گردید. سپس محصول نهایی که اگزالات نیکل می‌باشد، خرد شده و برای کلسیناسیون در دماهای ۴۵۰، ۵۵۰ و ۶۵۰ °C به مدت ۲ ساعت در کوره قرار گرفت، بعد از کلسیناسیون برای بررسی پودر نهایی آنالیزهای مختلف بر روی آن صورت گرفت. شکل ۲ ترتیب مراحل تهیه اکسید نیکل را به صورت فلوجارت نشان می‌دهد. واکنش‌های کلی برای تجزیه ترکیبات پایه اگزالات فلزی عبارت است از:



محصول نهایی (Metal Oxide) بستگی به پایداری کریستالی اکسید و همچنین پایداری کاتیون فلزی مورد نظر دارد، که در این صورت می‌تواند $\text{M}^{+8/3}$ ، M^{2+} ، M^{+} و M^{3+} باشد.



شکل ۲: فلوجارت تهیه نانو اکسید نیکل به روش تجزیه حرارتی.

در روش تجزیه حرارتی کربنات پتاسیم، ابتدا ۳۰ mmol کلرید نیکل و ۳۰ mmol پتاسیم کربنات تهیه شد. سپس محلول پتاسیم کربنات به آرامی به محلول کلرید نیکل اضافه شد. ژل سبز رنگ بدست آمده به مدت نیم ساعت در دمای اتاق همزده شد. پس از خشک نمودن ژل، در

پهن در ناحیه $3447/17 \text{ cm}^{-1}$ مربوط به ارتعاشات متقارن (O-H) و نامتقارن (O-H) مولکول H_2O هیدراته به اگزالات نیکل می‌باشد. باند $1385/74-1450/05 \text{ cm}^{-1}$ مربوط به ارتعاشات نامتقارن (C-O)، گروه عاملی کربونیل اگزالات است، همچنین ارتعاشات خمشی آب در $1630/05 \text{ cm}^{-1}$ قرار دارد. باندهای $985/54$ و 878 cm^{-1} مربوط به همپوشانی باندهای مربوط به (HOH) و (C-O) است. در نهایت باندهای NiO در ناحیه $418/98$ تا $515/91 \text{ cm}^{-1}$ ملاحظه می‌شود. در شکل ۳b طیف IR اکسید نیکل سنتز شده به روش تجزیه کربنات مشاهده می‌گردد. باند موجود در ناحیه $3493/17 \text{ cm}^{-1}$ مربوط به ارتعاشات کششی (N-H) مولکول آمونیاک است. باند کوچک موجود در $2361/01 \text{ cm}^{-1}$ مربوط به ارتعاشات کششی نامتقارن (O-H) آب می‌باشد. همچنین باندهای $1627/06 \text{ cm}^{-1}$ و $901/13 \text{ cm}^{-1}$ به ترتیب مربوط به ارتعاشات خمشی (HOH) و ارتعاشات داخل صفحه مولکول (NO_3) می‌باشند. باندهای NiO در نواحی $473/06-553/52 \text{ cm}^{-1}$ مشاهده می‌شود.

۳-۳- نتایج آنالیز XRD

شکل ۴ نشان دهنده الگوی پراش اکسید نیکل سنتز شده در دمای 650°C با استفاده از اگزالیکنیک اسید و کربنات پتاسیم می‌باشد. همانطور که ملاحظه می‌شود پیک‌های اصلی الگوی پراش در زوایای $37/18$ ، $43/42$ ، $62/82$ ، $74/20$ و $79/2$ درجه وجود داشته و تایید کننده تشکیل ترکیب اکسید نیکل در هر دو حالت می‌باشد. پیک‌های غالب در زوایای $37/18$ و $43/42$ درجه به ترتیب مربوط به دسته صفحات (۱۱۱) و (۲۰۰) می‌باشند. طبق نتایج تشکیل اکسید نیکل در حالت استفاده از کربنات پتاسیم بدون هیچگونه فاز ناخالصی تایید می‌شود ولی در صورت استفاده از اگزالیکنیک اسید حضور پیک‌هایی با شدت کم که مربوط به نیکل با ساختار مکعبی می‌باشد در الگوی پراش مشاهده می‌شود، که نشان دهنده عدم انجام کامل واکنش در این حالت می‌باشد. همانطور که ملاحظه می‌شود در حالت سنتز اکسید نیکل با استفاده از کربنات پتاسیم درجه کریستالیزاسیون پودر مقدار بیشتری نسبت به حالت سنتز پودر با استفاده از اگزالات اسید بوده و شدت

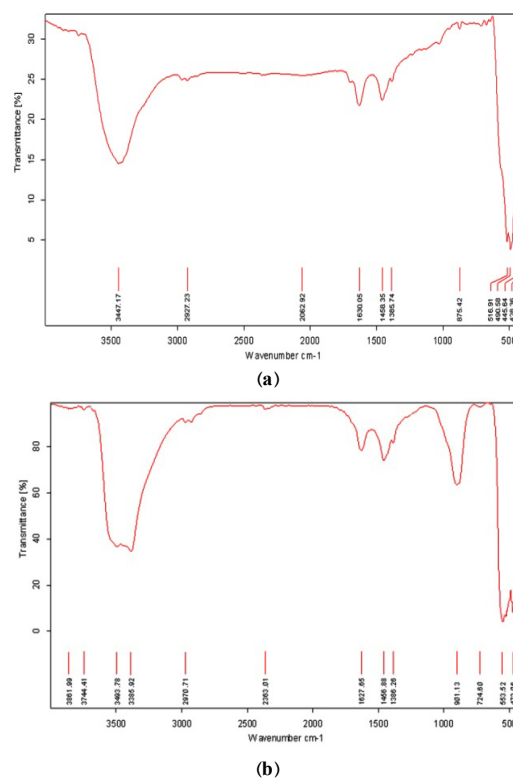
توجه به منفی بودن انرژی آزاد گیبس، واکنش به صورت خودبخودی می‌تواند انجام شود. لذا، در صورت اعمال انرژی اکتیواسیون کافی واکنش تشکیل اکسید نیکل از مواد اولیه انجام‌پذیر است.

جدول ۱: مقدار آنتالپی و آنتروپی جهت محاسبه انرژی آزاد.

ماده	$\Delta S(\text{J/molK})$	$-\Delta H(\text{kJ/mol})$
NiCl_2	۹۸/۱۱	۳۰۴/۹۳
K_2CO_3	۳۹/۳	۹۳/۵
KCl	۱۹/۷	۱۰۴/۲
NiO	۲۰۶/۸	۱۶۴۷/۷
CO_2	۵۱/۱	۱۰۴/۲

۳-۲- بررسی نتایج FT-IR

شکل ۳ نشان دهنده طیف FT-IR از نمونه اکسید نیکل سنتز شده در دمای 650°C می‌باشد.



شکل ۳: طیف FT-IR اکسید نیکل سنتز شده در دمای 650°C با استفاده از، (a) اگزالیکنیک اسید و (b) کربنات پتاسیم.

شکل ۳a مربوط به اکسید نیکل سنتز شده با استفاده از اگزالیکنیک اسید می‌باشد، همانطور که ملاحظه می‌شود باند

در این رابطه، D اندازه کریستالیت‌ها بر حسب نانومتر، λ طول موج اشعه ایکس بر حسب نانومتر (0.154 nm)، B پهنای بلندترین پیک در نصف ارتفاع بر حسب رادیان به صورت $FWHM$ بیان می‌شود و θ زاویه تفرق بلندترین پیک بر حسب درجه می‌باشد. لازم بذکر است اندازه دانه‌های محاسبه شده با کمک رابطه شرر تخمینی می‌باشد. طبق نتایج افزایش اندازه دانه‌ها در اثر زیاد شدن دمای تکلیس صورت گرفت. رشد دانه‌ها در دماهای پایین به آرامی صورت گرفته و سپس در دماهای بالاتر سرعت رشد تسریع می‌گردد. پیک‌های پراش با افزایش دمای تکلیس تیزتر شده که دلالت بر افزایش درجه کریستالیزاسیون و رشد بیشتر دانه‌های NiO دارد. اثر دما بر میانگین اندازه دانه‌ها در ۸ نمونه سنتز شده با رسوب دهنده‌های مختلف در دماهای ۳۵۰، ۴۵۰، ۵۵۰ و 650°C مورد بررسی قرار گرفت. طبق محاسبات با افزایش دمای تکلیس، در شرایطی که زمان تکلیس و دیگر شرایط ثابت در نظر گرفته شود، اندازه دانه‌ها افزایش می‌یابد. نتایج در جدول ۲ آورده شده است. مکانیزم انجام واکنش‌ها در روش تجزیه حرارتی به منظور سنتز نانوساختار اکسید نیکل شامل دو مرحله می‌باشد، در مرحله اول تشکیل یک شبکه پلیمری هیدروکسید و اکسوهیدروکسید یون‌های فلزی نیکل صورت می‌گیرد و در مرحله دوم هیدرولیز (تفکیک) شبکه پلیمری انجام می‌گیرد که با افزایش هیدروکسید یون‌های فلزات واسطه توسط اکسیژن‌ها به نانوساختار اکسید نیکل تبدیل می‌شود.

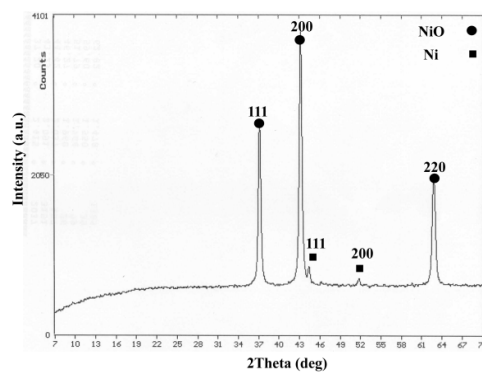
جدول ۲: میانگین اندازه دانه‌ها در شرایط مختلف.

دما ($^\circ \text{C}$)	میانگین اندازه دانه‌ها (nm)	
	اگزالیک اسید	کربنات پتاسیم
۳۵۰	۲۶	۳۶
۴۵۰	۳۱	۴۲
۵۵۰	۴۰	۵۰
۶۵۰	۴۶	۵۵

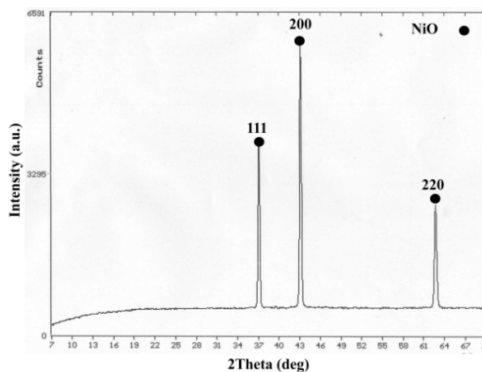
۳-۴- بررسی مورفولوژی پودر با SEM

شکل ۵ نشان دهنده تصاویر SEM از نمونه‌های تهیه شده با استفاده از اگزالیک اسید و کربنات پتاسیم می‌باشد.

پیک‌ها به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است که نشان دهنده درجه بلورینگی بالای پودر در این حالت می‌باشد. همچنین در حالت استفاده از اگزالیک اسید پیک‌ها به مقدار جزئی پهن شده‌اند که می‌تواند بدلیل ریزتر بودن اندازه ذرات بدلیل عدم تکمیل واکنش در این حالت باشد. پیک‌های الگوهای پراش با الگوی مرجع به شماره کارت ۰۴۲۹-۷۸ که مربوط به اکسید نیکل با ساختار مکعبی، گروه فضایی $Fm3m$ و پارامتر شبکه \AA ۴/۱۷۷۱ می‌باشد کاملاً مطابقت دارد.



(a)

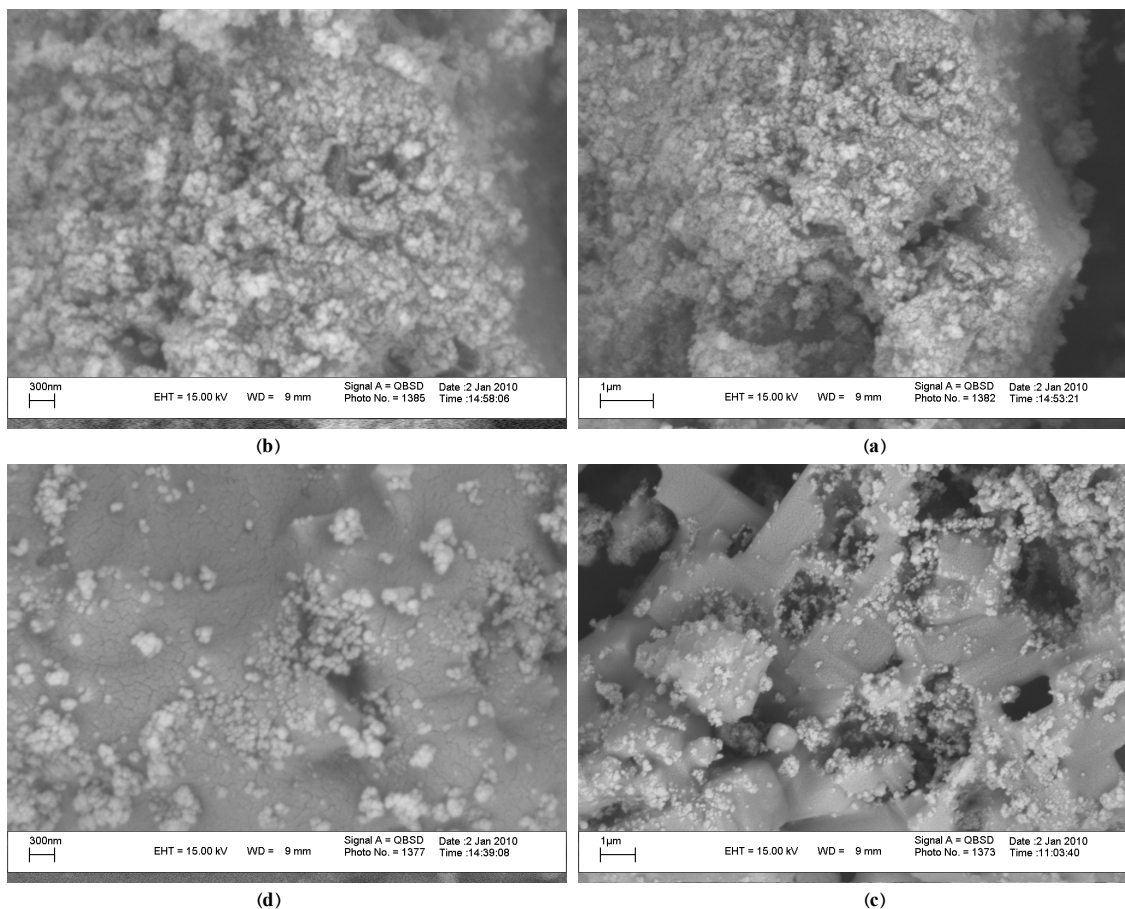


(b)

شکل ۴: الگوهای پراش اکسید نیکل سنتز شده در دمای 650°C با استفاده از، الف) اگزالیک اسید و ب) کربنات پتاسیم.

اندازه کریستالی نانوساختارهای اکسید نیکل سنتز شده در دمای 650°C بوسیله رابطه دبای-شرر (رابطه ۶) به میزان ۵۵ و ۴۶ nm به ترتیب برای ترکیب سنتز شده با کربنات پتاسیم و اگزالات اسید تخمین زده شد.

$$D = \frac{0.9\lambda}{B\cos\theta} \quad (6)$$



شکل ۵: تصاویر SEM اکسید نیکل سنتز شده با، a، b) اگزالیک اسید و c، d) کربنات پتاسیم.

شرایطی که غلظت یون فلزی ثابت فرض شود، غلظت و نوع عامل رسوب دهنده تاثیر بسزایی در تشکیل جوانه‌های ناپایدار و کوچک خواهد داشت. این احتمال وجود دارد که در صورت استفاده از اگزالیک اسید به عنوان عامل رسوب دهنده جوانه‌ها تقریباً در زمانی مشابه تشکیل شده و با نرخی مشابه رشد کنند، در نتیجه ذراتی با توزیع یکنواخت تشکیل خواهند شد ولی با توجه به کافی نبودن دما، عدم نفوذ کافی و تشکیل ترکیب تک فاز رشد ذرات به میزان افراطی صورت نگرفته است ولی در صورت استفاده از کربنات پتاسیم بدلیل بالا بودن دمای واکنش رشد افراطی در برخی از ذرات شکل گرفته و نه تنها منجر به آگلومره شدن در برخی نواحی در تصاویر SEM شده بلکه یکنواختی کمتری نسبت به حالت قبل ایجاد شده است.

تصاویر ۵a و ۵b مربوط به نمونه سنتز شده با استفاده از اگزالیک اسید می‌باشد. همانطور که ملاحظه می‌شود پودرها با مورفولوژی تقریباً کروی و توزیع یکنواخت‌تری نسبت به حالت استفاده از کربنات پتاسیم می‌باشند (تصاویر ۵c و ۵d). اندازه و پایداری ابعادی نانوذرات بطور عمده وابسته به جوانه‌زنی و نرخ رشد پس از آن می‌باشد. در ابتدا تعداد کمی از اتم‌ها به یکدیگر متصل شده و تشکیل یک هسته پایدار می‌دهند. سپس پیوند بین این اتم‌ها منجر به تشکیل نانوذراتی پایدار می‌شود. از این رو می‌توان این چنین فرض کرد که در ابتدا جوانه تشکیل شده و سپس فرآیند رشد متوقف کننده فرآیند جوانه‌زنی خواهد بود. از این رو، می‌توان فرض کرد که یک بار هسته تشکیل شده و سپس فرآیند رشد جایگزین فرآیند جوانه‌زنی خواهد شد. در

- [8] H. Dalvand, G.R. Khayati, E. Darezereshki, A. Irannejad, *Materials Letters*, **130**, 2014, 54.
- [9] S.S. Liu, M. Koyama, S. Toh, S. Matsumura, *Solid State Ionics*, **262**, 2014, 460.
- [10] K. Nadeem, F. Naeem, M. Mumtaz, S. Naeem, A. Jabbar, I. Qasim, N.A. Khan, *Ceramics International*, **40**, 2014, 13819.
- [11] M.A. Behnajady, S. Bimeghdar, *Chemical Engineering Journal*, **239**, 2014, 105.
- [12] X. Yu, C. Xie, L. Yang, S. Zhang, *Sensors and Actuators B: Chemical*, **195**, 2014, 439.
- [13] Q. Dong, S. Yin, C. Guo, X. Wu, N. Kumada, T. Takei, A. Miura, Y. Yonesaki, T. Sato, *Applied Catalysis B: Environmental*, **147**, 2014, 741.
- [14] T. Meng, P.P. Ma, J.L. Chang, Z.H. Wang, T.Z. Ren, *Electrochimica Acta*, **125**, 2014, 586.
- [15] W. Lee, I. Kim, H. Choi, K. Kim, *Surface and Coatings Technology*, **231**, 2013, 93.
- [16] A.A. Dakhel, *Ceramics International*, **39**, 2013, 4263.
- [17] R. Zhang, S.U. Yuldashev, J.C. Lee, V.S. Yalishv, T.W. Kang, D.J. Fu, *Microelectronic Engineering*, **112**, 2013, 31.
- [18] W. Maiaugree, N. Kongprakaiwoot, A. Tangtrakarn, S. Saekow, S. Pimanpang, V. Amornkitbamrung, *Applied Surface Science*, **289**, 2014, 72.
- [19] Y.G. Morozov, D. Ortega, O.V. Belousova, I.P. Parkin, M.V. Kuznetsov, *Journal of Alloys and Compounds*, **572**, 2013, 150.
- [20] S.S. Nkosi, B. Yalisi, D.E. Motaung, J. Keartland, E. Sideras-Haddad, A. Forbes, B.W. Mwakikung, *Applied Surface Science*, **265**, 2013, 860.
- [21] C.Y. Li, H.J. Zhang, Z.Q. Chen, *Applied Surface Science*, **266**, 2013, 17.
- [22] A.M. Ali, R. Najmy, *Catalysis Today*, **208**, 2013, 2.
- [23] X. Wan, M. Yuan, S.L. Tie, S. Lan, *Applied Surface Science*, **277**, 2013, 40.
- [24] W. Sun, L. Chen, S. Meng, Y. Wang, H. Li, Y. Han, N. Wei, *Materials Science in Semiconductor Processing*, **17**, 2014, 129.
- [25] L. Hu, B. Qu, L. Chen, Q. Li, *Materials Letters*, **108**, 2013, 92.
- [26] G. Bohloulou-Zanjani, J.Z. Wen, A. Hu, J. Persic, S. Ringuette, Y.N. Zhou, *Thermochimica Acta*, **572**, 2013, 51.
- [27] G.F. Cai, C.D. Gu, J. Zhang, P.C. Liu, X.L. Wang, Y.H. You, J.P. Tu, *Electrochimica Acta*, **87**, 2013, 341.
- [28] I. Hotovy, L. Spiess, M. Predanocny, V. Rehacek, J. Racko, *Vacuum*, **107**, 2014, 129.
- [29] F. Cao, G.X. Pan, X.H. Xia, P.S. Tang, H.F. Chen, *Journal of Power Sources*, **264**, 2014, 161.
- [30] I. Castro-Hurtado, C. Malagu, S. Morandi, N. Perez, G.G. Mandayo, E. Castano, *Acta Materialia*, **61**, 2013, 1146.

۴- نتیجه گیری

سنننز نانوساختارهای اکسید نیکل با استفاده از روش تجزیه حرارتی اگزالیک اسید و کربنات پتاسیم صورت گرفت. نتایج نشان دهنده کمتر بودن دمای تشکیل اکسید نیکل در صورت استفاده از کربنات پتاسیم بود و در نتیجه افزایش دمای واکنش منجر به رشد افراطی ذرات و افزایش درجه بلورینگی ذرات شد که نتایج SEM و XRD تایید کننده این مطلب بود. روش مورد استفاده روشی ساده، مقرون به صرفه، مطمئن و مناسب برای تولید صنعتی این ترکیب با خلوص بالا برای کاربردهای مختلف می باشد. همچنین با توجه به نانوساختار بودن این ترکیب و کاهش قابل توجه در پهنای نوارهای ظرفیت، هدایت و افزایش گاف انرژی آن، می تواند به عنوان کاتدهای باتری های قلیایی و آند سل های سوخت اکسید جامد مورد استفاده قرار گیرد.

مراجع

- [1] W. Zhu, A. Shui, L. Xu, X. Cheng, P. Liu, H. Wang, *Ultrasonics Sonochemistry*, **21**, 2014, 1707.
- [2] S. Jiang, E.S. Handberg, F. Liu, Y. Liao, H. Wang, Z. Li, S. Song, *Applied Catalysis B: Environmental*, **160**, 2014, 716.
- [3] M. Ristic, M. Marcius, Z. Petrovic, S. Music, *Ceramics International*, **40**, 2014, 10119.
- [4] Y.J. Hao, F.T. Li, S.S. Wang, M.J. Chai, R.H. Liu, X.J. Wang, *Materials Science and Engineering: B*, **186**, 2014, 41.
- [5] D.T. Nguyen, A. Ferrec, J. Keraudy, J.C. Bernede, N. Stephant, L. Cattin, *Applied Surface Science*, **311**, 2014, 110.
- [6] F. Zhang, X. Wang, X. Zhang, M. Turxun, H. Yu, J. Zhao, *Chemical Engineering Journal*, **256**, 2014, 365.
- [7] A. Boukhchem, R. Boughalmi, M. Karyou, A. Mhamdi, *Materials Science and Engineering: B*, **188**, 2014, 72.