

بررسی اثر pH و دمای محلول در سنتز نانو ذرات نیکل

نوشین شاه بهرامی^{۱*}، علیرضا هژبری^۲، عبدالجواد نوین روزر^۳

۱- دانشکده علوم، دانشگاه آزاد اسلامی، نوشهر

۲- دانشکده علوم، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج

۳- گروه مواد پیشرفته، پژوهشگاه مواد پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، کرج

تاریخ پذیرش: ۸۷/۵/۲۴

تاریخ دریافت: ۸۶/۱۲/۱۶

چکیده

سنتز نانو ذرات نیکل در اندازه‌های مختلف به وسیله فرایند احیاء خود به خودی محلول $NiCl_2$ در یک محیط آبی از الکل و هیدرازین در حضور مقادیر مختلف کاتالیست هیدروکسید سدیم مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد غلظت $NaOH$ و کاتالیست هیدرازین نقش مهمی در سنتز نانو ذرات دارند. بررسی‌ها روی نمونه‌های مختلف نشان می‌دهد که نانو ذرات نیکل با فاز واحد تنها در غلظت $M = 0.2$ و pH های ۱۲، ۱۲/۵، ۱۳ و ۱۳/۵ تولید گردیدند که آنالیز XRD و $FTIR$ تاییدی بر سنتز این نانو ذرات می‌باشند. ساختارهای فازی و مورفولوژی نانو ذرات با آنالیزهای SEM و XRD مشخص گردیدند. مطالعات کریستالوگرافی روی نمونه‌های سنتز شده نشان می‌دهد که این ذرات دارای ساختار FCC با دسته صفحات (۱۱۱)، (۲۰۰) و (۲۲۲) با اندازه ذرات بین ۲۰-۶ نانومتر در pH های ۱۳/۵ - ۱۲ و در دمای اتاق می‌باشند. ثابت شبکه با کاهش اندازه نانو ذرات، افزایش و اندازه ذرات با افزایش دمای محلول از $25^{\circ}C$ تا $125^{\circ}C$ افزایش می‌یابند. آنالیز جذب اتمی نیز افزایش غلظت نانو ذرات نیکل تولید شده در pH های بالاتر را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: سنتز نانو ذرات، نانو ذرات نیکل، کاتالیست سدیم هیدروکسید، احیای خود به خودی کاتالیست

۱- مقدمه

ذرات می‌گردد که مهم‌ترین اثر این پدیده، افزایش شدید خواص کاتالیستی نانو ذرات فلزی می‌باشد [۴]. با توجه به این خواص، می‌توان کارایی کاتالیزورهای شیمیایی را به نحو موثری بهبود بخشید و در تولید چند سازه‌ها با این ذرات، پیوندهای شیمیایی محکم‌تری بین ماده زمینه و ذرات ایجاد نمود و استحکام چند سازه‌ها را افزایش داد [۱۵]. همچنین با تولید نانو ذرات فلزی با اندازه کوچک‌تر همانند Ni, Fe, Co به روش نشست بخار شیمیایی، می‌توان رشد نانو لوله‌های کربنی را بهبود بخشید [۶]. همچنین این پدیده (کوچک بودن ابعاد)، واکنش پذیری نانو ذرات را به شدت افزایش می‌دهد، که می‌تواند سبب بهم چسبیدگی ذرات و رشد خوشه‌ها شود [۵ و ۱]. با توجه به این موضوع، تعیین روشی برای تولید نانو ذرات در ابعاد کوچک، یکی از چالش‌های موجود می‌باشد [۱]. از روش‌های تولید نانو ذرات می‌توان به انباشت فیزیکی بخار

گستره نانو ذرات در بدنه نانو فناوری به سه زمینه نانو ذرات فلزی، سرامیکی و نیمه رسانایی دسته بندی بندی شده است و به لحاظ کاربردهای فراوانی که در یک دهه گذشته پیدا کرده‌اند بسیار مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته‌اند [۱]. سنتز نانو ذرات فلزی به دلیل دارا بودن خواص ویژه از قبیل، خواص کاتالیستی [۲]، پتانسیل‌های کاربردی آنها در اپتیک و الکترونیک [۳ و ۴]، ذخیره سازهای مغناطیسی، تشخیص پزشکی، سنسورهای شیمیایی و مدارهای مجتمع همانند ترانزیستورها، مورد توجه واقع شده است. می‌دانیم که در نانو ذرات، کاهش اندازه ذرات، باعث افزایش نسبت سطح به حجم

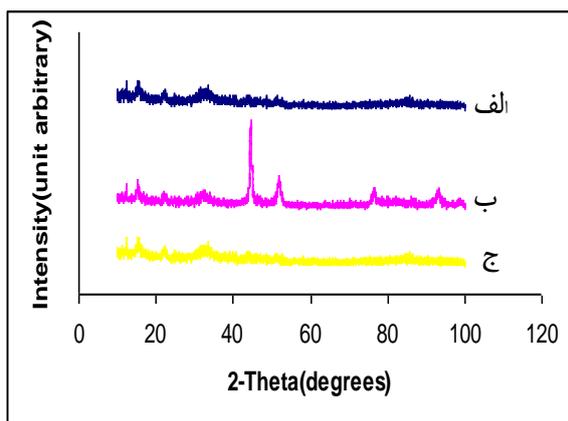
*- نویسنده مکاتبه کننده

زاویه‌ای ۱۵ تا ۱۰۰ درجه، ثبت شده است. میانگین اندازه ذرات نمونه‌ها با محاسبه پهنای پیک‌های تشکیل شده در نمونه‌ها با استفاده از فرمول شرر [۸] برآورد شده است. (که در آن β ، پهنای پیک در نصف ماکزیمم، λ ، طول موج اشعه x ، θ ، زاویه بین پرتو باز تابش و تابش، D اندازه ذرات می‌باشد).

$$D = 0.9\lambda / \beta \cos \theta \quad [2]$$

۳- بحث و بررسی

با توجه به آزمایشات انجام شده، اثر غلظت نیکل کلراید آبدار در شکل‌گیری نانو ذرات نیکل به وسیله پراش اشعه ایکس (شکل ۱) و تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (شکل ۲) نشان داده شده‌اند. همان طور که در شکل‌های ۱ (الف، ب و ج) نشان داده شد، تنها در نمونه‌هایی با غلظت ۰/۲ مول بر لیتر از نیکل کلراید آبدار، ساختار کریستالی برای ذرات تولید شده، مشاهده می‌شود. همچنین تصاویر SEM نیز، ذرات نیکل سنتز شده را تنها در غلظت ۰/۲ مول بر لیتر در شکل ۲ (ب) نشان داده است. به علاوه آنالیز جذب اتمی تولید هیچ نانو ذره‌ای را در غلظت‌های ۰/۱ و ۰/۳ مول بر لیتر نشان نداده است. این نتایج حاکی از آن است که تنها محلول ۰/۲ مول بر لیتر در این فرایند برای تولید نانو ذرات نیکل، موثر واقع شده است.



شکل ۱- طیف اشعه X از نانو ذرات نیکل تشکیل شده از محلول نیکل کلراید آبدار با غلظت (الف) غلظت ۰/۱ M (ب) غلظت ۰/۲ M، (ج) غلظت ۰/۳ M در دمای اتاق.

[۱،۳،۵]، اسپری حرارتی [۱]، سونوشیمی [۱،۴،۵]، اسپاترینگ، تبخیر [۱]، سل ژل [۱،۵] و... اشاره نمود. در سال‌های اخیر، روش‌های شیمیایی به دلیل ارزانی و سنتز مواد به صورت مولکولی و اتمی مورد توجه قرار گرفته است [۱]، در بین روش‌های سل-ژل، روش احیا محلول به دلیل ارزانی و آسانی فرایند [۴]، کنترل آسان اندازه ذرات [۴،۷]، خلوص بالا و همگنی محصول [۵]، بیشتر مورد توجه بوده است. در این کار تحقیقاتی، سنتز نانو ذرات نیکل با توجه به کاربرد آنها به عنوان کاتالیست در جهت رشد نانولوله‌های کربنی [۵،۶] و مواد مغناطیسی [۵]، به روش احیای محلول مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین اثر غلظت کاتالیست بر روی قطر ذرات و خواص کریستالی آنها با استفاده از ابزار شناسایی مانند میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، پراش اشعه ایکس (XRD)، اسپکتروسکوپی جذب اتمی (AAS) و FTIR مورد بررسی قرار گرفته است.

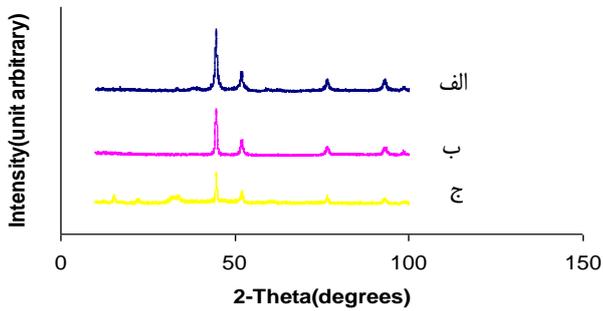
۲- آزمایشات

نانو ذرات نیکل در شرایط آزمایشگاهی و طی فرایند شیمیایی از سل با پیش ماده نیکل کلراید آبدار به دست آمده است. به منظور تهیه سل مورد نظر، آب، الکل، نیکل کلراید آبدار (پیش ماده) با هیدرازین هیدروکساید را به صورت محلول در آورده و محلول‌های دارای غلظت‌های ۰/۳ و ۰/۲ و ۰/۱ مول بر لیتر تهیه شد. از آنجایی که PH محلول در فرایند شیمیایی نقش مهمی را ایفا می‌کند، لذا نمونه‌های متعددی با PH های مختلف از ۹ تا ۱۴ را تهیه کرده و به مدت ۲۰ دقیقه در دمای اتاق در دستگاه فراصوت قرار می‌دهیم. تغییرات PH با افزودن سدیم هیدروکسید ایجاد می‌شود. در این مرحله واکنش خود به خودی انجام شده و ذرات فلزی به صورت رسوب از محلول جدا می‌شوند که به وسیله سانتریفیوژ دوباره بازیافت می‌شوند. ژل‌های به دست آمده را سپس با آب مقطر و الکل شستشو داده و در کوره با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد تحت عملیات حرارتی قرار می‌گیرند. واکنش احیایی صورت گرفته به صورت زیر می‌باشد:

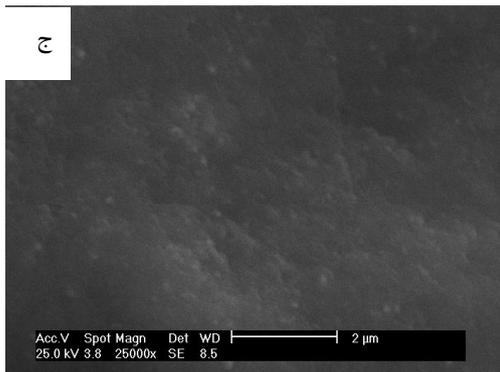
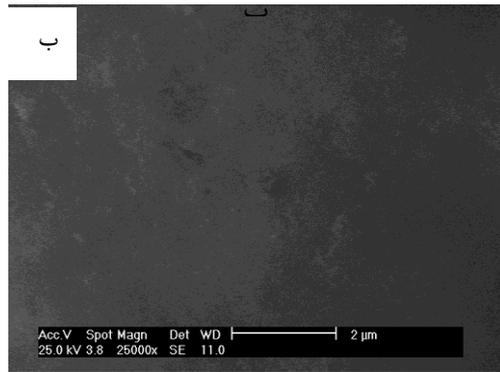
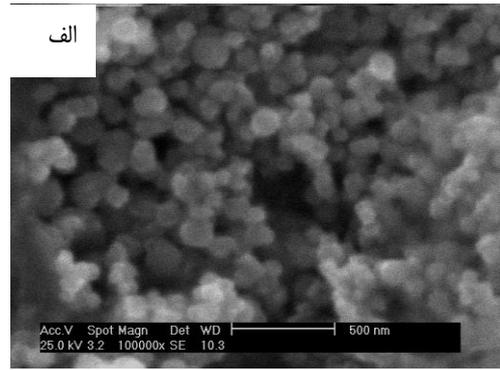


مطالعه ساختار ریز میکروسکوپی و اندازه ذرات نمونه‌ها، توسط دستگاه SEM و ساختار بلوری آنها توسط آنالیز XRD با استفاده از پرتو $Cu\text{-}k\alpha$ ($\lambda = 0.154 \text{ nm}$) در محدوده

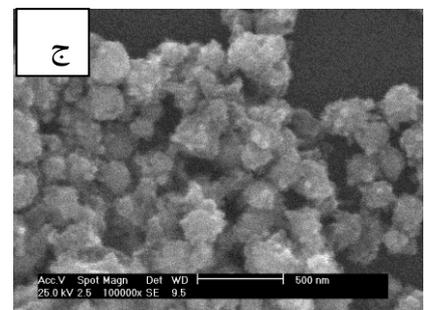
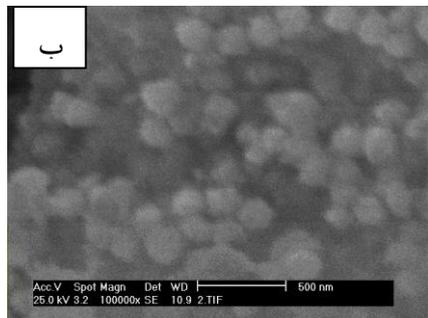
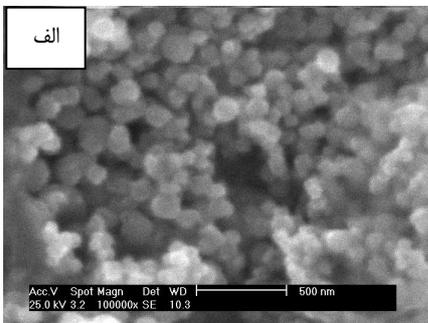
ب و ج) نشان داده شد. تصاویر SEM نمونه‌ها حاکی از آن است که ذرات با اندازه‌های کوچکتر (۴ الف) در دمای ۲۵ درجه سنتز شده‌اند.



شکل ۳- طیف اشعه X از نانو ذرات نیکل تشکیل شده از محلول نیکل کلراید آبدار با غلظت ۰/۲M در دماهای مختلف: الف) دمای ۲۵°C، ب) دمای ۷۵°C و ج) دمای ۱۲۵°C

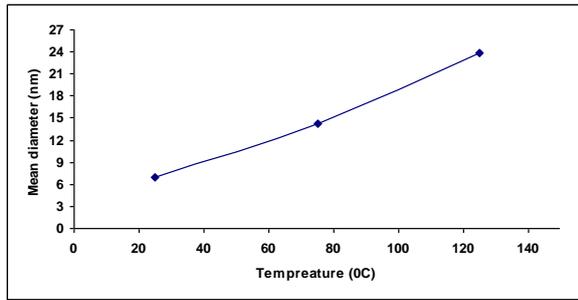


شکل ۲- تصاویر SEM از نانو ذرات نیکل تشکیل شده از محلول نیکل کلراید آبدار باالف) غلظت ۰/۱M، ب) غلظت ۰/۲ M، ج) غلظت ۰/۳ M در دمای اتاق.

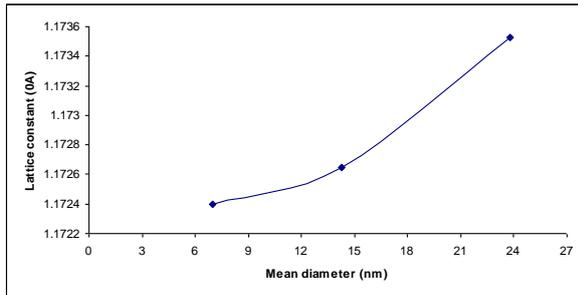


شکل ۴- تصاویر SEM از نانو ذرات نیکل تشکیل شده از محلول نیکل کلراید آبدار با غلظت ۰/۲M در دماهای مختلف: الف) دمای ۲۵°C، ب) دمای ۷۵°C و ج) دمای ۱۲۵°C

از آنجایی که نانو ذرات نیکل با اندازه ذرات مختلف تحت شرایط شرح داده شده در بالا، به دست آمده بودند، سنتز نمونه‌ها را در غلظت ۰/۲ و در دماهای مختلف ۲۵°C، ۷۵°C و ۱۲۵°C بررسی نموده و طیف XRD نمونه‌های سنتز شده به ترتیب در شکل ۳ (الف، ب و ج) ارائه گردید. با به کار بردن رابطه ۲، اندازه ذرات سنتز شده به ترتیب، ۲۳/۸ و ۱۴/۳، ۷ نانو متر محاسبه گردیدند. تصاویر SEM نمونه‌ها نیز، آشکار می‌نماید که اندازه ذرات سنتز شده با افزایش دمای محلول از ۲۵°C تا ۱۲۵°C، افزایش می‌یابد، که در شکل ۴ (الف،



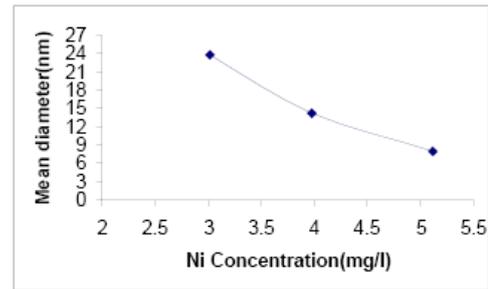
شکل ۷- رابطه بین اندازه ذرات به عنوان تابعی از دمای محلول



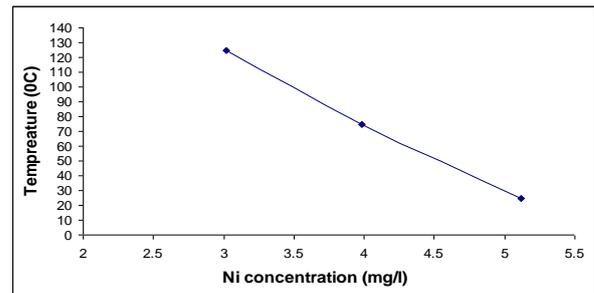
شکل ۸- رابطه بین اندازه ذرات به عنوان تابعی از ثابت شبکه در دماهای مختلف.

به منظور مطالعه اثر کاتالیست هیدروکسید سدیم در اندازه نانو ذرات نیکل، نمونه‌هایی با مقدار pH های مختلف، در غلظت ۰/۲ مول بر لیتر، در دمای اتاق (25°C) بررسی شده‌اند. الگوی XRD در شکل ۹ نشان داده شده است. به طوری که مشاهده می‌شود، در pH های کمتر از ۱۲ هیچ پیکی مبنی بر سنتز نانو ذرات نیکل دیده نشد (شکل ۹ الف). در حالی که در شکل‌های ۹ (ب - ت) که pH نمونه‌ها در اثر افزودن بیشتر هیدروکسید سدیم به pH های ۱۲، ۱۲/۵، ۱۳ و ۱۳/۵ رسیده‌اند، پیک‌هایی دلیل بر تولید نانو ذرات نیکل دیده شد. مشخصات پیک‌های نیکل در ۷۶/۴ و ۵۱/۸، $44/5 = 2\theta$ به ترتیب با اندیس‌های میلر (۲۲۲) و (۲۰۰)، (۱۱۱) مطابقت دارند که این اغلب ساختار FCC ذرات نهایی نیکل را نشان می‌دهد [۹]. سنتز نانو ذرات نیکل می‌تواند به دلیل حضور هیدروکسید سدیم باشد، که به موجب آن قابلیت رشد و پراکندگی نانو ذرات تحت تاثیر قرار گرفته است. کروی بودن ذرات ناشی از تک کریستالی بودن ذرات می‌باشد [۴]. اما با افزودن مقدار زیاد کاتالیست هیدروکسید سدیم و رسانیدن pH محلول به ۱۴ (شکل ۹ ت)، روند رشد نانو ذرات به صورت تخریبی مشاهده شد، به طوری که اثری از حضور نانو ذرات نیکل در این نمونه دیده نمی‌شود.

به علاوه آنالیز جذب اتمی برای نمونه‌های تولید شده در دماهای مختلف در شکل ۵ نشان داده شد. مطابق این شکل، با توجه به ریزتر بودن ذرات در دمای 25°C ، میزان غلظت نیکل سنتز شده در این دما، بیشتر می‌باشد. در واقع با افزایش دمای محلول، میزان غلظت نیکل سنتز شده کاهش می‌یابد. (شکل ۶). که تناسب بین این آنالیز و آنچه که در شکل‌های ۳ و ۴ آورده شد، به خوبی مشاهده می‌گردد.



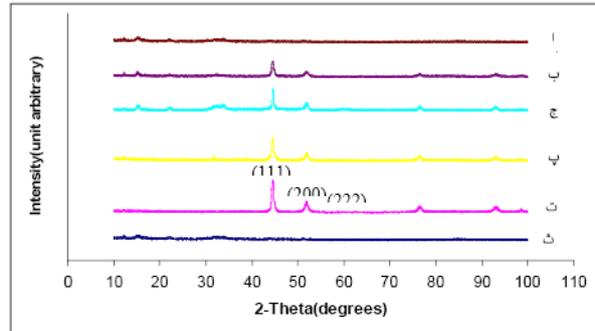
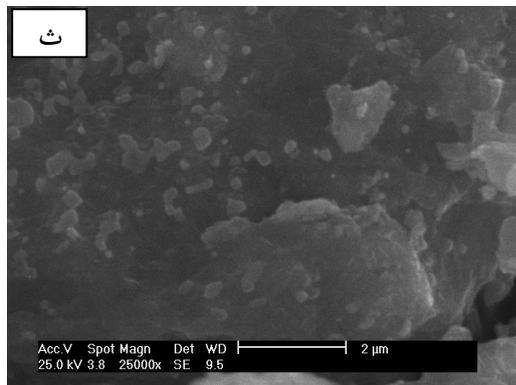
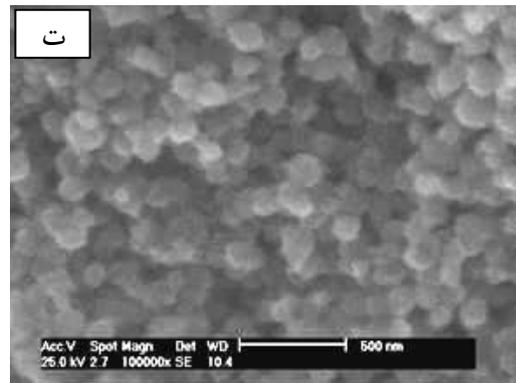
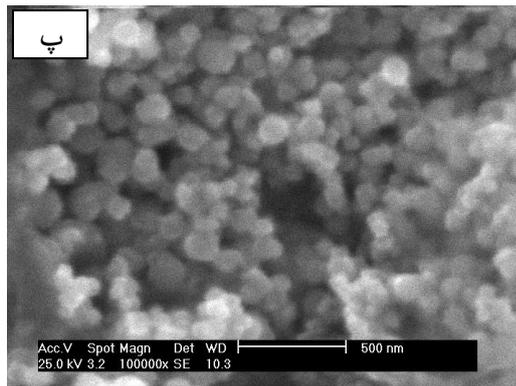
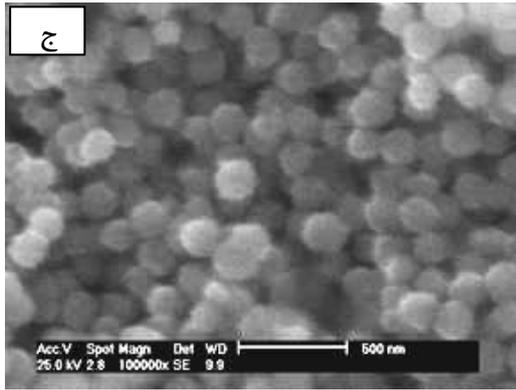
شکل ۵- رابطه بین اندازه ذرات و میزان غلظت نیکل سنتز شده.



شکل ۶- رابطه بین دمای محلول و میزان غلظت نیکل سنتز شده

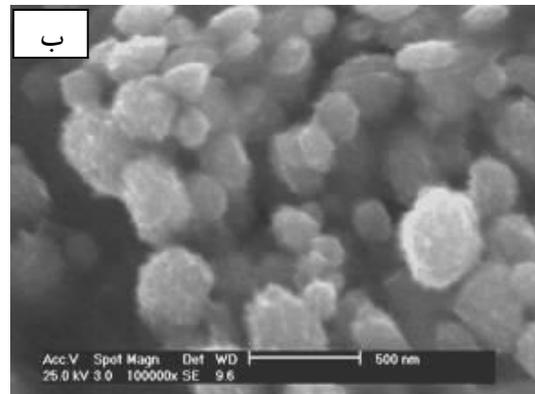
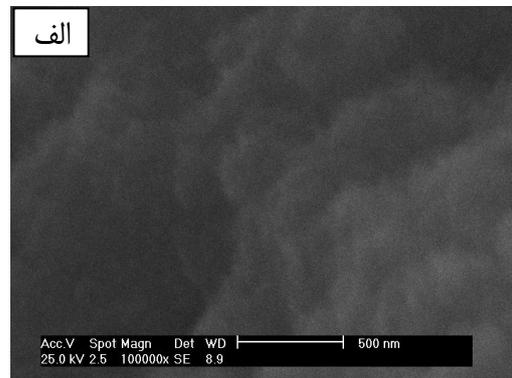
باید توجه نمود از آنجایی که ذرات ریزتر کاربردهای بیشتری دارند، بنابراین در محلول با دمای 25°C به دلیل ریزتر و بلوری‌تر بودن ذرات، این دما مطلوب‌تر است. لذا ادامه آزمایشات در مورد سنتز نانو ذرات نیکل در pH های مختلف، در دمای 25°C بررسی شد.

شایان ذکر است رابطه بین اندازه ذرات به عنوان تابعی از دمای محلول و ثابت شبکه به ترتیب در شکل‌های ۷ و ۸ نشان داده شده است. شکل ۷ بیان می‌نماید که اندازه نانو ذرات نیکل با افزایش دمای محلول از 25°C به 125°C ، افزایش می‌یابد. که این نتیجه با آنچه در الگوی XRD (شکل ۳) و همچنین تصاویر SEM (شکل ۴)، ارائه شده کاملاً مطابقت دارد. نمودار شکل ۸ نیز مشخص می‌نماید که با افزایش اندازه ذرات سنتز شده در دماهای مختلف، ثابت شبکه افزایش می‌یابد.



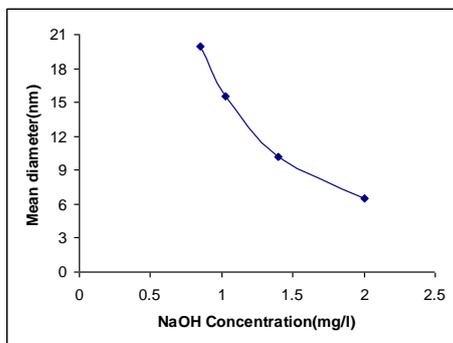
شکل ۹ - طیف اشعه X از نانو ذرات نیکل تهیه شده از محلول نیکل کلراید آبدار با غلظت ۰/۲ M در pH های مختلف (الف) pH=۱۱/۵ ، (ب) pH=۱۲ ، (ج) pH=۱۲/۵ ، (د) pH=۱۳ ، (ه) pH=۱۳/۵ و (ث) pH=۱۴ در دمای اتاق.

متفاوت بودن پهنای پیکها (FWHM) در طیف‌های XRD (شکل ۹)، متفاوت بودن اندازه ذرات را نشان می‌دهد. اندازه ذرات سنتز شده با محاسبه فرمول شرر به ترتیب در شکل‌های ۹ (ب-ت)، ۷ و ۱۰/۲، ۱۵/۵، ۲۰ نانو متر برآورد شده‌اند. بررسی‌ها نشان می‌دهد ذرات سنتز شده در PH=۱۳/۵ به دلیل ریزتر و کریستالی‌تر بودن به عنوان ذرات بهینه محسوب می‌گردند.

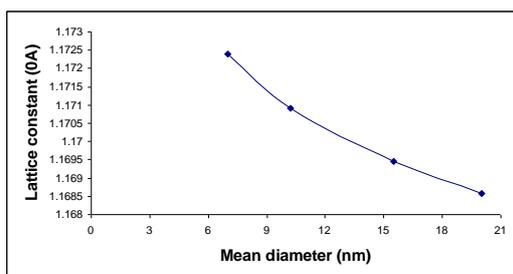


شکل ۱۰ - تصاویر SEM از نانو ذرات نیکل تهیه شده از محلول نیکل کلراید آبدار با غلظت ۰/۲ M در pH های مختلف (الف) pH=۱۱/۵ ، (ب) pH=۱۲ ، (ج) pH=۱۲/۵ ، (د) pH=۱۳ ، (ه) pH=۱۳/۵ و (ث) pH=۱۴ در دمای اتاق.

محدوده بین $4000-500 \text{ cm}^{-1}$ گرفته شده است. همان طور که در شکل ۱۴ (ب) نشان داده شده بیشترین فشردگی پیک در عدد موجی $582/\text{cm}$ می باشد که متناسب به ارتعاشات کششی اکسیدهای فلزی است. پیکهای مشابه با عدد موج این پیکها، اما با شدت کمتر در شکل ۱۴ (الف) هم مشاهده می گردد. ویژگی پیکهای ثبت شده در $582/\text{cm}$ در طیف FTIR تأییدی بر حضور فریت های اکسید نیکل می باشد [۱۰]. باند جذبی در عدد $1463/\text{cm}$ به از بین رفتن CH_3 اختصاص دارد [۳]. پیکهای نمایان شده با اعداد موجی $3125/\text{cm}$ و $2358/\text{cm}$ ، احتمالاً به دلیل جاذبه آب روی سطح نانو ذرات نیکل می باشد [۱۱]. عدد موج $2358/\text{cm}$ در شکل های ۱۴ ممکن است به حضور گاز CO_2 نیز مرتبط باشد [۵]. نبود پیک در اعداد موج $3460/\text{cm}$ و 3120 به ترتیب، وجود مد C-H و مد کششی C=H را آشکار می نماید [۱۲]. نهایتاً به وسیله مقایسه طیفها در شکل های ۱۴ (الف و ب) این واقعیت آشکار می گردد که ذرات نیکل سنتز شده در $\text{pH}=13.5$ به نسبت ذرات تولید شده در $\text{pH}=12.5$ ، دارای ناخالصی کمتر و میزان جذب بالاتری می باشند. مطالعات FTIR به خوبی نتایج SEM (شکل ۱۰) و XRD (شکل ۹) را تأیید می نماید.

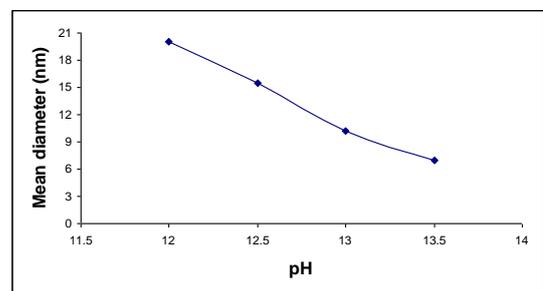


شکل ۱۲- رابطه بین اندازه ذرات به عنوان تابعی از میزان غلظت کاتالست هیدروکسید سدیم.



شکل ۱۳- رابطه بین اندازه ذرات به عنوان تابعی از ثابت شبکه در دمای اتاق.

شکل های ۱۰ (الف، ب، ج، پ، ت و ث) تصاویر SEM مربوط به سنتز نانو ذرات نیکل از محلول نیکل کلراید آبدار با غلظت 0.2M و در pH های مختلف ۱۴، $13/5$ ، 13 ، $12/5$ ، 12 ، $11/5$ را در دمای اتاق نشان می دهد. کاملاً مشخص است که در pH های ۱۴ و $11/5$ هیچ ذره ای از نیکل دیده نمی شود (شکل های الف و ت). همچنین دیده می شود که اندازه ذرات سنتز شده متناسب با $\text{pH}=12$ (شکل ۱۰ ب)، بزرگتر از ذرات سنتز شده در pH های دیگر است (شکل های ۱۰ ج، پ و ت). در واقع افزایش pH محلول، اندازه ذرات را کاهش می دهد (شکل ۱۱).



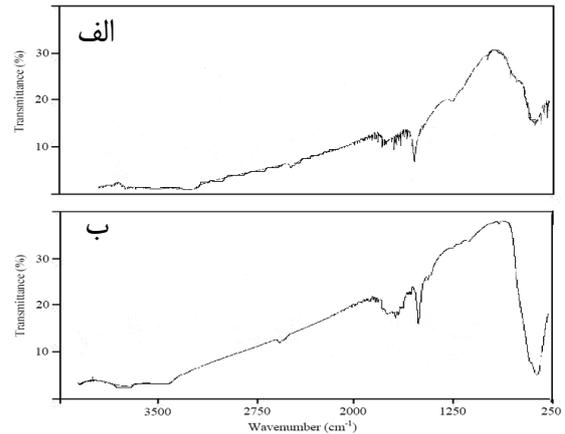
شکل ۱۱- رابطه بین اندازه ذرات به عنوان تابعی از pH محلول

که این نتایج با نتایج گرفته شده از XRD (شکل ۹) در تطابق می باشد. تصاویر SEM هم نشان می دهد که ذرات سنتز شده دارای ساختار کروی می باشند و اندازه ذرات به طور تخمینی در شکل ۱۰، حدود $20-50$ نانو متر می باشند. قابل توجه است که اندازه ذرات دیده شده در تصاویر SEM با ذرات محاسبه شده توسط شرر کمی متفاوت می باشند که آن می تواند به دلیل انتخاب سطح نمونه توسط دستگاه SEM و میزان قدرت آن دستگاه باشد.

با توجه به این که pH محلول با افزایش میزان کاتالست هیدروکسید سدیم تنظیم شده است. بنابراین رابطه بین اندازه ذرات و میزان غلظت کاتالست سدیم هیدروکسید در نمودار شکل ۱۲ آورده شد. همچنین رابطه بین اندازه ذرات و ثابت شبکه در نمودار شکل ۱۳ ارائه گردید. این نمودار نشان می دهد که، ثابت شبکه با کاهش اندازه ذرات در دمای اتاق افزایش می یابد.

به منظور مطالعه و بررسی پیوندهای تشکیل شده بین نانو ذرات نیکل، آنالیز FTIR بر روی نمونه های تولید شده در pH های $13/5$ و $12/5$ انجام پذیرفت که به ترتیب در شکل های ۱۴ (الف و ب) آمده است. طیف های FTIR

- content of Co, Ni, Cu, and Pd", journal of Non-crystalline Solids, No. 352 (2006), 2772-2777.
- L. Chen, J. Chen, H. Zhou, D. Zhang, H. Wan, Synthesis of dodecanethiol monolayer-stabilized nickel nanoparticles, Materials science and Engineering A 452-453, (2007) 262-266.
 - Y. Duan, J. Li, "Structure study of nickel nanoparticles", Materials and Physics, No. 87, (2004) 452-457.
 - D.H. Chen, C.H. Hsieh, "Synthesis of nickel nanoparticles in aqueous cationic surfactant solutions", journal of Materials chemistry, No. 12, (2002) 2412-2415.
 - D. Gozzi, G. Capannelli, F. Canepa, M. Napoletano, "Synthesis and magnetic characterization of Ni nanoparticles and Ni nanoparticela in multiwalled carbon nanotubes", journal of Alloy and Compounds, NO. 419, (2006) 32-39.
 - K. Racka, M. Gich, A. Slawska-Waniewska, A. Roig, E. Molins, "Magnetic properties of Fe nanoparticle systems", journal of Magnetism and Magnetic Materials 290-291 (2005) 127-130.
 - M.K. Shobana, V. Rajendran, "Preparation and characterization of NiCo ferrite nanoparticles", Materials Letter 61-(2006) 2616-2619.
 - D. Gozzi, G. Capannelli, F. Canepa, M. Napoletano, "Synthesis and magnetic characterization of Ni nanoparticles and Ni nanoparticela in multiwalled carbon nanotubes", journal of Alloy and Compounds 419 (2006) 32-39.
 - S. Sindhu, S. Jedadesana, A. Parthiban, . Valiyaveetil, journal of Magnetism and Magnetic Materials 2 (2006). 104-113
 - S. Chakrabarti, D. Ganguli, S. Caudhuri, Physica E 24, (2004) 333-342.
 - Y. Kwon, K. H. Kim, C. S. Lim, K. Bo Shim, journal of Ceramic. Proc. Research. 146-149 (3) (2002) 3.



شکل ۱۴- طیف FTIR از نانو ذرات نیکل در (الف) pH=۱۲/۵ و (ب) pH=۱۳/۵

۴- نتیجه گیری

نانو ذرات نیکل با استفاده از احیا نیکل کلراید آبدار با هیدرازین، در محیط آبی از الکل و هیدرازین در حضور کاتالیست هیدروکسید سدیم رشد داده شدند. به وسیله بررسی‌های انجام پذیرفته روی تعدادی نمونه‌ها آشکار گردید که شکل گیری ذرات کاملاً به میزان هیدروکسید سدیم محلول وابسته است. و نانو ذرات تنها در غلظت ۰/۲ مول بر لیتر از نیکل کلراید آبدار و در pH های ۱۳/۵ - ۱۲ تولید گردیدند. در واقع با افزایش نسبت هیدروکسید سدیم به پیش ماده در محلول، نانو ذرات نیکل عمدتاً، به وسیله هسته‌های شکل گرفته شده در احیا اولیه، رشد یافته است و متوسط اندازه ذرات تشکیل شده در آنها، با افزایش هیدروکسید سدیم کاهش می‌یابد. با افزایش مجدد هیدروکسید سدیم و ایجاد pH بالاتر از ۱۳/۵ سنتز نانو ذرات متوقف شده، که در تصاویر SEM و XRD به وضوح مشاهده شد. نتایج به دست آمده از آنالیز XRD نمونه‌ها، تشکیل ساختار مکعبی FCC برای نانو ذرات نیکل را با اندازه ذرات بین ۲۰-۷ نانو متر را در دمای اتاق و ۷ تا ۲۳/۸ نانو متر را با افزایش دمای محلول از ۲۵°C تا ۱۲۵°C نشان می‌دهد که در واقع بیانگر افزایش اندازه ذرات با بالا رفتن دمای محلول می‌باشد.

مراجع

- S.C. Tjong, Haydnchen, nano crystalline materials and coatings, Material science and Engineering R 45, (2004) 1-88.
- L.C. Coat, M. Gich, A. Roig, I.C. Popescu, V. Cosoveanu, "Synthesis and structural characteristics of carbin aerogels with a high

