

سنتر نانوساختارهای تیتانات باریم ($BaTiO_3$) با استفاده از فرآیند هیدروترمال

صاحبعلی منافی^{۱*}، محمدرضا رحیمی پور^۲، محمد حسن صرافی^۲

فهیمة خندان^۱، مینا زندکریمی^۱، سیده محیا مرتضوی^۱ و نادره آموزگار^۱

۱- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شاهرود

۲- پژوهشگاه مواد و انرژی، پژوهشکده سرامیک

تاریخ ثبت اولیه: ۱۳۸۹/۰۴/۱۹، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۱۳۸۹/۰۶/۱۷، تاریخ پذیرش قطعی: ۱۳۸۹/۰۷/۱۶

چکیده

در این تحقیق، نانوکریستال‌های $BaTiO_3$ به روش هیدروترمال در حضور دو پراکنده‌ساز Dolapix CT64 و Dolapix ET85 در دمای $180^\circ C$ به مدت ۲/۵ ساعت سنتز شد. همچنین تاثیر پارامترهای Ba/Ti ، H_2O/Ti ، KOH/Ti و KOH/Ba بر اندازه ذرات پودر سنتز شده مورد بررسی قرار گرفت. علاوه بر آن، فازهای تشکیل شده در نمونه با آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD) مشخص و ریزساختار آنها با میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مشاهده شد. بررسی اندازه دانه نمونه‌های حاصل از سنتز هیدروترمال در حضور هر دو پراکنده‌ساز بیانگر این مطلب بود که در نمونه‌هایی با پراکنده‌ساز Dolapix ET85 در مقایسه با Dolapix CT64 نتایج بهتری حاصل می‌شود. همچنین نتایج آنالیز XRD و SEM نشان دادند که با افزایش pH، اندازه ذرات و اندازه دانه کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: تیتانات باریم، نانوساختار، هیدروترمال، پروسکایت.

۱- مقدمه

مواد سرامیکی از اهمیت زیادی برخوردار است [۱]. خصوصیات نانوکریستال‌ها، نه تنها به ترکیب شیمیایی وابسته است بلکه به ساختار فاز، اندازه ذرات و توزیع آنها نیز بستگی دارد.

خانواده پروسکایت (Provkite) شامل بسیاری از تیتانات-ها می‌باشند که کاربردهای الکتروسرامیکی مختلفی از قبیل الکترونیک، الکترونیک، نوری و غیره دارند. تیتانات باریم با ساختار پروسکایت یک ماده فروالکترونیک با ثابت دی‌الکترونیک بالا است که کاربرد وسیعی در ساخت اجزای الکترونیک مانند خازن‌های چندلایه (MLCs)،

امروزه مواد نانوساختار به دلیل نقش کلیدی‌شان در پیداکردن پاسخ بسیاری از مشکلات اساسی مورد مطالعه قرار می‌گیرند. به دلیل تقاضای بشریت، ویژگی‌های دی‌الکترونیک (اساساً غیر هادی) مواد سرامیکی به سرعت در حال افزایش هستند. در عین حال بشر برای کاهش اندازه دستگاه‌های ارتباطی به کوچکترین و سبک‌ترین حالت ممکن تلاش می‌کند. به دلیل این تمایل، مواد با ثابت دی‌الکترونیک بالا مانند تیتانات باریم امروزه در بین

* عهده‌دار مکاتبات: صاحبعلی منافی

نشانی: شاهرود، بلوار دانشگاه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود

تلفن: ۰۲۷۳-۳۳۹۴۲۸۱، دورنگار: ۰۲۷۳-۳۳۹۴۲۸۳، پست الکترونیکی: ali_manafi2005@yahoo.com

فرآیند هیدروترمال روشی مناسب در تولید مواد محسوب می‌شود، زیرا از نظر محیط ملایم، و برای تولید مواد پیشرفته نظیر تک‌بلور توده‌ای تا ذرات خیلی ریز و در نهایت نانوبلور یا نانوذرات بسیار مناسب است [۱۸].

بر اساس مشاهدات به دست آمده، روش هیدروترمال، برای تولید پودرهای خیلی ریز با خلوص بالا، استوکیومتری کنترل شده، کیفیت بالا، توزیع اندازه ذرات باریک، مورفولوژی کنترل شده، هم شکل بودن، نقایص کمتر، ذرات فشرده، بلورینگی بالا، تکرارپذیری بالا، کنترل میکروساختار، واکنش‌پذیری، قابلیت تراکم بالا و غیره روش ایده‌آلی است [۱۹].

در این تحقیق، از پیش‌ماده‌های مختلفی برای سنتز پودر $BaTiO_3$ به روش هیدروترمال استفاده شده است. شواهد نشان می‌دهد مکانیزم انحلال-رسوب نقش بسزایی در سنتز دارد.

۲- فعالیت‌های تجربی

در کار حاضر، دو نوع محلول آبی تیتانیوم از مخلوط کردن $BaCl_2 \cdot 2H_2O$ و $BaCl_2 \cdot 8H_2O$ با $3/79$ گرم TiO_2 شرکت مرک (Merck Co.) در 40 میلی‌لیتر آب مقطر بدست آمد. همچنین $1/5$ گرم Dolapix ET85 و $1/5$ گرم Dolapix CT64 به عنوان پراکنده‌ساز به محلول اضافه شد و سپس pH محلول با افزودن KOH 4M، بین 13 تا $13/6$ تغییر داده شد که در نهایت منجر به تشکیل یک محلول کلوئیدی سفید رنگ گردید و در پایان، حجم نهایی را با اضافه کردن آب مقطر به 100 میلی‌لیتر رساندیم. پس از آماده‌سازی، به مدت چند روز به محلول زمان داده شد تا به صورت یکنواخت درآید. سپس 75 میلی‌لیتر از محلول کلوئیدی در ظرف تفلون 100 میلی‌لیتری اتوکلاو ریخته شد و در دمای $180^\circ C$ به مدت $2/5$ ساعت نگهداری گردید.

بعد از گذشت مدت زمان ذکر شده، محلول به طور آهسته سرد گردید تا به دمای محیط برسد. سپس محلول حاصل از کاغذ صافی عبور داده و با آب مقطر چندین بار شستشو داده شد و سرانجام در دمای $120^\circ C$ به مدت 6 ساعت در خشک‌کن قرار داده شد تا جامد باقیمانده بر روی کاغذ

مقاومت‌های برقی (PTC)، حسگرهای پیزوالکتریک و همچنین ابزارهای الکتریکی و نوری دارد [۱۶-۲]. سنتز هیدروترمال فرآیندی است که با استفاده از واکنش‌های تک‌فازی یا هتروژن در محیط‌های نیمه آبی و دماهای بیشتر از $100^\circ C$ و فشار بالای یک اتمسفر در حالت محلول برای تولید مواد سرامیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. واکنش‌دهنده‌ها عموماً به صورت محلول، ژل یا سوسپانسیون هستند. مینرالایزرها (mineralizer) به صورت مواد معدنی یا آلی با غلظت بالا برای کنترل pH و افزایش حلالیت واکنش‌دهنده‌ها و همچنین مواد آلی و معدنی برای افزایش پراکندگی ذرات و کنترل شکل کریستال‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. یکی از محدودیت‌های سنتز هیدروترمال، عدم استفاده از این فرآیند در دماهای بالاتر از $1000^\circ C$ و فشار بالای 500 MPa است [۱۷]. در این روش امکان تولید مواد پیشرفته مانند تک‌بلورهای توده‌ای، ذرات ریز و نانوذرات را فراهم می‌کند. تفاوت‌های اصلی پودرهای سنتز شده به روش‌های مختلف و فرآیند هیدروترمال عبارتند از:

- مستقیماً از محلول خود تشکیل می‌شوند.
- معمولاً بدون آب، کریستالی یا آمورف هستند، بسته به دما، هرکدام از این حالتها اتفاق می‌افتد.
- اندازه ذرات در روش هیدروترمال با استفاده از دما، قابل کنترل است.
- شکل ذرات با استفاده از مواد اولیه قابل کنترل است.
- پودرها کاملاً واکنش‌پذیر هستند.
- در بیشتر موارد احتیاج به کلسینه کردن ندارند.
- همچنین در خیلی از موارد، احتیاج به فرآیند آسیاب ندارند.

چالش اساسی در علم نانومواد، کنترل دقیق اندازه و شکل ذرات است که مستقیماً به روش‌های تولید این مواد مربوط می‌شود. نانوذرات از طریق روش‌های گوناگونی مانند جامد به جامد، مایع به جامد یا گاز به جامد بدست می‌آید. روش‌های تولید در فاز محلول مانند هیدروترمال، یکی از با ارزش‌ترین روش‌های ساخت نانومواد در سال‌های اخیر به شمار می‌آید و به دلیل کیفیت بالای محصولات بدست آمده از این روش، نسبت به سایر روش‌ها برتری دارند.

انرژی آزاد گیبس محاسبه شده از رابطه ۲ kJ/mol $112214/5$ - می باشد که نشان دهنده انجام پذیری واکنش است.

در جدول ۱، مقادیر آنتروپی و آنتالپی مواد اولیه و تیتانات باریم نهایی به صورت خلاصه آورده شده است. همانگونه که مشاهده می شود، آنتالپی تیتانات باریم نسبت به مواد اولیه بیشتر است که نشان دهنده انجام پذیری واکنش می باشد. بر اساس معادله ۲ می توان گفت که انرژی آزاد گیبس منفی است، بنابراین واکنش به صورت خود به خودی می تواند انجام شود. لذا، در صورت اعمال انرژی اکتیواسیون کافی واکنش تشکیل تیتانات باریم از مواد اولیه موجود در جدول ۱ انجام پذیر خواهد بود.

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

ماده	$\Delta S (J/mol^\circ K)$	$-\Delta H (KJ/mol)$
$BaCl_2$	۱۲۳/۷	۸۵۸/۶
TiO_2	۵۰/۶	۹۴۴
H_2O	۶۹/۹	۲۸۵/۸
$BaTiO_3$	۱۰۷/۹	۱۶۴۷/۷
HCl	۱۸۶	۹۲/۳

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ \quad (2)$$

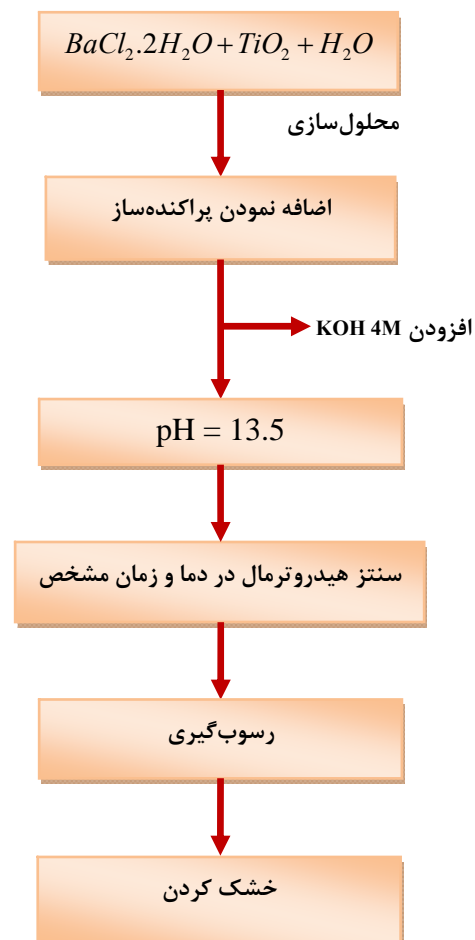
۲-۲- تعیین اندازه دانه ها

تمامی اندازه متوسط دانه ها را می توان با تکنیک پهن شدن پیک های پرتو ایکس بدست آورد. پیک های پرتو ایکس (XRD) به سه دلیل پهن می شوند:

- کمتر از 100 nm بودن اندازه کریستالیت ها
- کرنش موجود در شبکه ماده
- خطای دستگاهی

می توان اثرات موارد فوق بر روی پهن شدن پیک ها را، با روش های استاندارد از یکدیگر تفکیک کرد. روش مورد استفاده در این پژوهش، بر اساس رابطه شرر (Scherrer) می باشد:

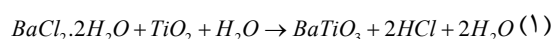
صافی به صورت پودر کاملاً خشک درآید. شکل ۱ ترتیب مراحل تهیه پودر را به صورت فلوجارت نشان می دهد.



شکل ۱: فلوجارت تهیه نانوپودرهای تیتانات باریم ($BaTiO_3$) به روش هیدروترومال.

۱-۲- بررسی ترمودینامیک واکنش

به منظور بررسی انجام پذیری واکنش در دمای اتاق و دماهای بالاتر، 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 انجام پذیری واکنش سنتز تیتانات باریم ($BaTiO_3$) در دمای اتاق و دماهای بالاتر است، بنابراین، با افزایش دما، واکنش طبق رابطه ۱ در جهت تولید محصول پیش می رود [۲۰].



کرات مورد استفاده محققان قرار گرفته است. با توجه به اینکه با افزایش زاویه پراش تا ۹۰ درجه خطای موجود در محاسبه پراش کاهش می یابد، با برون یابی خط عبوری از بین مقادیر مختلف ثابت شبکه در زاویه ۹۰ درجه می توان مقدار دقیقی از ثابت شبکه را تخمین زد. رابطه ۴ عبارت پیشنهادی توسط Nelson-Riley را نشان می دهد.

$$F(\theta) = 0.5 \left(\frac{\cos^2 \theta}{\sin^2 \theta} + \frac{\cos^2 \theta}{\theta} \right) \quad (۵)$$

در رابطه پیشنهاد شده توسط Nelson-Riley، θ زاویه تفرق است. نکته دیگر در محاسبه ثابت شبکه توجه به اعوجاج موجود در پیک های پراش پرتو ایکس و این موضوع که نوک پیک نشان دهنده مکان واقعی شدت بیشینه نیست، می باشد. روش های مختلفی برای اصلاح این خطا پیشنهاد شده است. یکی از کارآمدترین این روش ها استفاده از مکان نیمه پیک در نصف پیک یا ارتفاع های بالاتر است [۲۴].

۲-۴- تعیین ارتباط پارامتر شبکه با رابطه Nelson-Riley

برای تعیین ارتباط پارامتر شبکه با رابطه نلسون-رایلی (Nelson-Riley)، با استفاده از رابطه براگ پارامتر شبکه و با استفاده از رابطه نلسون-رایلی، $F(\theta)$ را بدست آورده و سپس با استفاده از جدولی مشابه با جدول ۲، تمام داده را در نمودار $F(\theta)$ بر حسب پارامتر شبکه (a) وارد کرده و خطی که از بیشترین داده ها عبور می کند را رسم کرده نقطه ای که محور a را قطع کرد، آن نقطه پارامتر اصلی شبکه است (شکل ۲).

در جدول ۳، نمونه های مختلف تیتانات باریم کدگذاری شده اند. همانگونه که در این جدول مشاهده می شود، هر نمونه، در pH های مختلف (۱۴-۱۲/۵) و نیز پراکنده سازهای متفاوت تهیه شده اند. همانطور که در جدول دیده می شود، محیط های متفاوت موجب تشکیل ذراتی با اندازه کریستالیت های مختلف می گردد. در بین این نمونه ها، اندازه کریستالیت نمونه BT6 (pH = ۱۴) و پراکنده ساز Dolapix ET85 از بقیه کوچکتر و برابر با

$$D = \frac{0.9\lambda}{B \cos \theta} \quad (۳)$$

که در آن D اندازه کریستالیت ها بر حسب نانومتر، λ طول موج اشعه ایکس بر حسب نانومتر، B پهنای بلندترین پیک در نصف ارتفاع بر حسب رادیان و θ زاویه تفرق بلندترین پیک بر حسب درجه می باشد. این رابطه هنگامی قابل استفاده است که اندازه دانه های بلوری کمتر از $0.1 \mu\text{m}$ (1000 \AA) باشد. اندازه دانه های محاسبه شده با کمک رابطه شرر تخمینی خواهد بود. با اعمال نسبت های تصحیح مربوط به کرنش و خطای دستگاه می توان دقت این روش را بهبود داد [۲۱، ۲۲].

۲-۳- تعیین ثابت شبکه با استفاده از روش XRD

با توجه به رابطه براگ، پراش پرتو ایکس (XRD) از صفحات مختلف بلورین می تواند نشان دهنده فاصله بین صفحات، d باشد:

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (۴)$$

در این رابطه n عدد صحیح، d فاصله بین صفحات، θ زاویه تفرق و λ طول موج پرتو ایکس از صفحات مختلف بلورین و مقدار آن برابر با $1/5404$ آنگستروم است. با توجه به این موضوع که زاویه پراش از الگوی ایکس بدست می آید، می توان فاصله بین صفحات بلورین را با دقت مناسبی بدست آورد. با داشتن اندیس های میلر برای هر صفحه با استفاده از رابطه ۵ می توان ثابت شبکه را به ازای هر صفحه محاسبه کرد.

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \quad (۵)$$

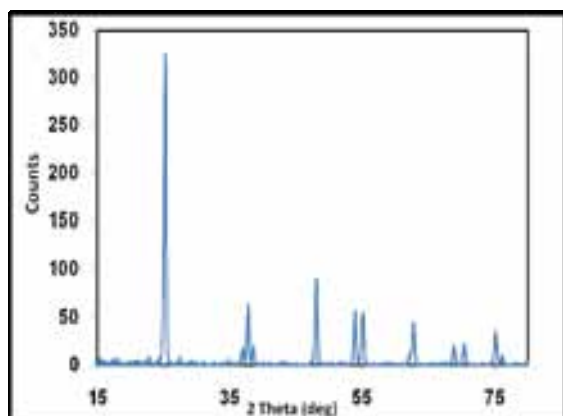
در رابطه فوق a پارامتر شبکه، h، k و l اندیس صفحات و d فاصله بین صفحات می باشد [۲۳]. اشکال اساسی در استفاده از این روش برای بدست آوردن ثابت شبکه مقادیر متفاوت ثابت ناشی از صفحات مختلف است. راه حل پیشنهادی برای حل این مشکل توسط Nelson-Riley به

۲-۵- بررسی مورفولوژی پودرهای سنتز شده

جهت بررسی مورفولوژی پودرهای سنتز شده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM, Streoscan360) استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

نتایج آنالیز XRD از تمام نمونه‌های سنتز شده نشان می‌دهد هیچ واکنشی در محلول تا دمای 170°C به مدت ۱۲ ساعت اتفاق نمی‌افتد. شکل ۳ آنالیز XRD انجام گرفته از این نمونه را که در 170°C به مدت ۱۲ ساعت تحت شرایط هیدروترمال قرار گرفته را نشان می‌دهد. تمام پیک‌ها مربوط به مواد اولیه مورد استفاده می‌باشد و هیچ واکنشی بین مواد اولیه انجام نگرفته است. بنابراین دمای زیر 170°C ، جهت سنتز تیتانات باریم (BaTiO_3) مناسب نمی‌باشد و در مورد نمونه‌های بعدی، دماهای بالاتر از 170°C انتخاب شد.



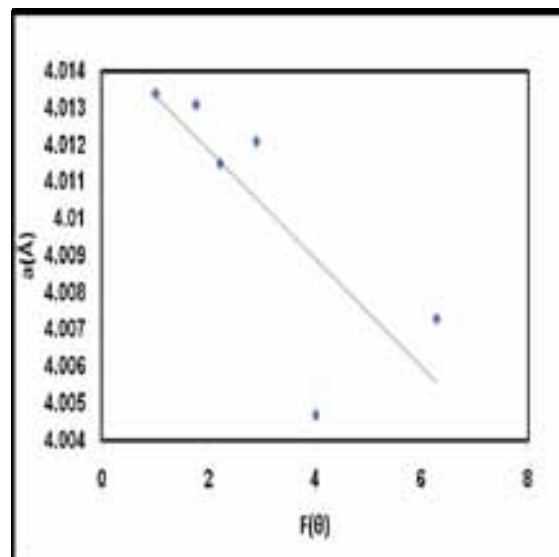
شکل ۳: XRD نمونه‌ای که به مدت ۱۲ ساعت در دمای 170°C تحت شرایط هیدروترمال قرار گرفت (پیک‌های تشکیل شده مربوط به مواد اولیه می‌باشند).

بر اساس تصویر پراش اشعه ایکس (XRD)، دمای 170°C جهت سنتز تیتانات باریم کافی نمی‌باشد. لذا، پراش اشعه ایکس برای نمونه‌ها در دماهای مختلف (بالاتر از دمای 170°C) انجام گرفت. به عنوان مثال، پراش اشعه ایکس مربوط به یکی از این نمونه‌ها یعنی BT6 که شامل پراکنده‌ساز Dolapix ET85 (BT6) با $\text{pH} = 14$ در شکل ۴ نشان داده شده است. همانطور که در جدول ۳ گفته

۲۸ nm و نمونه BT1 ($\text{pH} = 13$) و پراکنده‌ساز Dolapix CT64 از بقیه بزرگتر و برابر با ۵۲ nm است.

جدول ۲: نتایج حاصل از رابطه Nelson-Riely و پارامتر شبکه برای نمونه BT4.

a(Å)	F(θ)
۴/۰	۶/۲۸
۴/۰	۴/۰۲
۴/۰۱	۲/۹
۴/۰۱	۲/۲۲
۴/۰۱	۱/۷۷
۴/۰۱	۱/۰۱



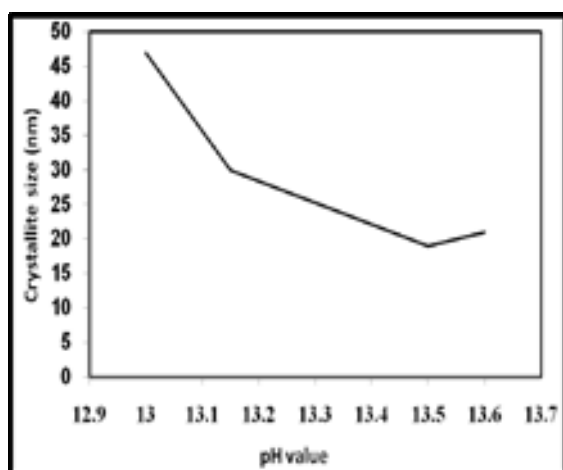
شکل ۲: نمودار ارتباط پارامتر شبکه با رابطه Nelson-Riely.

جدول ۳: کدگذاری نمونه‌های مختلف تیتانات باریم در pH و پراکنده‌سازهای مختلف و اندازه کریستالیت‌های این نمونه‌ها.

نمونه (Id)	pH	پراکنده‌ساز	اندازه دانه (nm)
BT1	۱۳	Dolapix CT64	۵۲
BT2	۱۴	Dolapix CT64	۴۹
BT3	۱۲/۵	Dolapix ET85	۴۲
BT4	۱۳	Dolapix ET85	۳۹
BT5	۱۳/۵	Dolapix ET85	۳۵
BT6	۱۴	Dolapix ET85	۲۸

محدوده pH از ۹ تا ۱۴ تحت شرایط مناسب دمایی، به راحتی تشکیل شود [۲۵،۲۶]. در این خصوص پایه ترمودینامیکی نسبتاً خوب برای سیستم هیدروترمال Ba-Ti برقرار شده است. به این وجود، جزییات مکانیزم استحاله به خوبی شناخته نشده است. اندرکنش دینامیکی بین تیتانیا، Ba^{2+} و محلول احاطه کننده در طی عملیات هیدروترمال منجر به کریستالیزاسیون فاز تیتانات باریم می‌شود.

شکل ۵ تغییرات اندازه کریستالیت حاصل از پراش اشعه ایکس را با افزایش pH نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود با افزایش pH نمونه، اندازه کریستالیت‌ها کاهش می‌یابد. بنابراین، سنتز تیتانات باریم در محیط‌های قلیایی‌تر منجر به تشکیل کریستالیت‌های کوچک‌تر می‌شوند. همچنین، استفاده از پراکنده‌ساز Dolapix ET85 نسبت به Dolapix CT64 کریستالیت‌های کوچک‌تری را تشکیل خواهند داد.



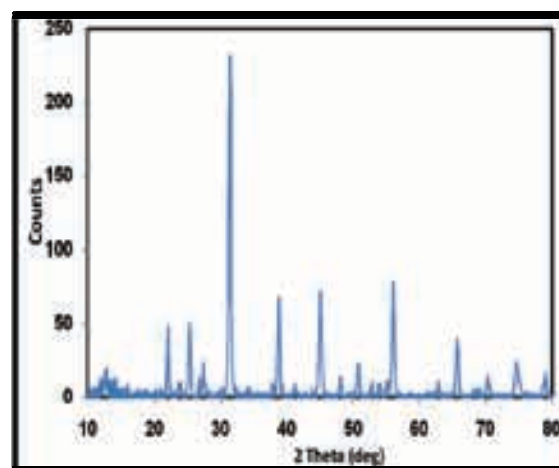
شکل ۵: منحنی تغییر اندازه کریستالیت‌ها با تغییرات pH در نمونه‌های تیتانات باریم سنتز شده به روش هیدروترمال.

به منظور بررسی مورفولوژی پودرهای تیتانات باریم، از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) استفاده شد و هر یک از نمونه‌ها در بزرگنمایی‌های مختلف بررسی و با یکدیگر مقایسه شدند.

شکل ۶ تصاویر حاصل از SEM نمونه‌های BT5 و BT6 را نشان می‌دهد. در این تصاویر مشاهده می‌شود که کریستال‌ها به شکل کروی هستند که در بعضی نقاط به صورت آگلومره در آمده‌اند. پراکندگی ذرات به صورت

شد، اندازه کریستالیت مربوط به این نمونه از باقی نمونه‌ها کوچکتر است. اندازه کریستالیت‌ها در نمونه BT1 که حاوی پراکنده‌ساز Dolapix CT64 است بیشتر از بقیه است.

در شکل ۴، پیک‌های ویژه $BaTiO_3$ در محدوده $(2\theta = 20-80)$ قابل مشاهده است. همان‌طور که در این تصویر مشاهده می‌شود، شدت پیک‌ها از مقادیر قابل توجهی برخوردارند که نشان‌دهنده تشکیل مناسب کریستال‌ها در $BaTiO_3$ سنتز شده است. بطور کلی دو مکانیزم برای سنتز هیدروترمال وجود دارند. اولی انحلال و رسوب است، که در آن اجزا Ba^{2+} آبدار با اجزا Ti به $(Ti(OH)_6)^{2-}$ یا $(Ti(OH)_4)$ تجزیه شده، سپس جوانه تشکیل می‌شود. جوانه‌زنی می‌تواند هم به صورت هموزن از محلول جامد و هم به صورت هتروژن در سطح کریستالی TiO_2 یا وابسته به فازهای آمورف انجام شود. از آنجایی که جوانه‌زنی هموزن نیازمند شرایط نسبتاً فوق اشباع است، وقتی که واکنش‌پذیری بالا است و شامل ژل Ti آبدار انحلال‌پذیر است احتمال رخ دادن آن بیشتر است. در حالیکه، در جوانه‌زنی هتروژن به صورت موضعی یک سطح جامد ایجاد شده و با Ba^{2+} واکنش می‌دهد، که می‌تواند زمینه را جهت نفوذ در سنتز هیدروترمال مهیا کند.



شکل ۴: XRD نمونه سنتز شده BT6 (pH = ۱۴) و پراکنده‌ساز Dolapix ET85 در دمای $180^\circ C$.

لنکا و ریمان (Riman و Lencka) دیگرامی پایدار برای سیستم Ba-Ti- H_2O بر پایه محاسبات ترمودینامیکی ایجاد کردند. پیش‌بینی می‌شود $BaTiO_3$ در محیط قلیایی در

بالا در مقایسه با CT64، به عنوان پراکنده‌ساز مناسب انتخاب گردید. نتایج حاصل از محاسبه اندازه ذرات پیک‌های بدست آمده از پراش اشعه ایکس (XRD) و میانگین اندازه دانه حاصل از تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نشان داد که با افزایش pH، به نمونه‌ای با اندازه ذرات و اندازه دانه کمتری دست خواهیم یافت.

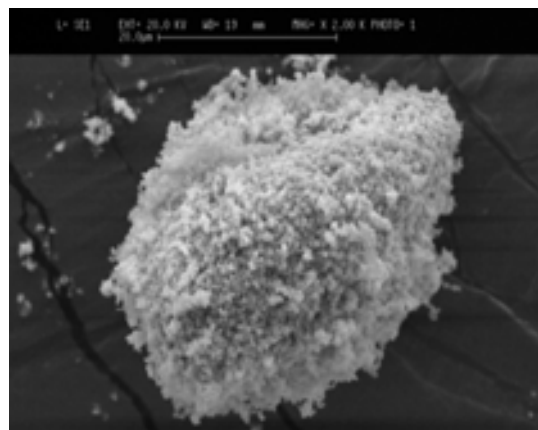
سپاسگزاری

وظیفه خود می‌دانیم از محققین، مسئولین و کارشناسان محترم آزمایشگاه‌های دانشگاه تربیت مدرس و تمام افرادی که ما را در انجام این تحقیق یاری نمودند تشکر و قدردانی نماییم.

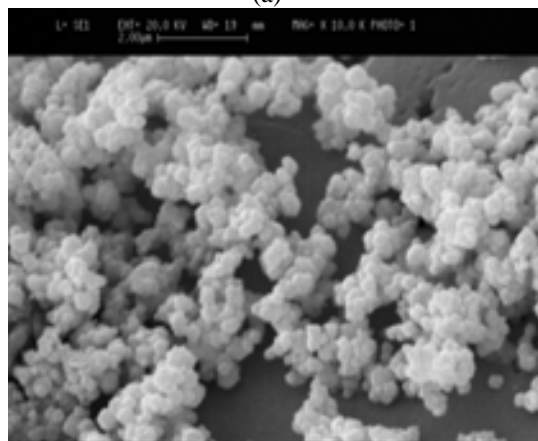
مراجع

- [1] J. Nowotny, M. Rekas, *Solid State Ionics*, **49**, 1991, 135.
- [2] T.W. Odom, J.L. Huang, P. Kim, C.M. Lieber, *J. Phys. Chem. B*, **104**, 2000, 2794.
- [3] M. Bockrath, W. Liang, D. Bozovic, J.H. Hafner, C.M. Lieber, M. Tinkham, H. Park, *ScienCT*, **291**, 2001, 283.
- [4] W. Liang, M. Bockrath, D. Bozovic, J.H. Hafner, M. Tinkham, H. Park, *Nature*, **411**, 2001, 665.
- [5] X. Peng, L. Manna, W. Yang, J. Wickham, E. Sher, A. Kadavanich, A.P. Alivisatos, *Nature*, **404**, 2000, 59.
- [6] A.M. Morales, C.M. Lieber, *ScienCT*, **279**, 1998, 208.
- [7] L. Manna, E.C. Sher, A.P. Alivisatos, *J. Am. Chem. Soc.*, **122**, 2000, 12700.
- [8] J.D. Holmes, K.P. Johnston, R.C. Doty, B.A. Korgel, *ScienCT*, **287**, 2000, 1471.
- [9] M.S. Gudiksen, C.M. Lieber, *J. Am. Chem. Soc.*, **122**, 2000, 8801.
- [10] S.J. Park, S. Kim, S. Lee, Z.G. Khim, K. Char, T.J. Hyeon, *J. Am. Chem. Soc.*, **122**, 2000, 8581.
- [11] V.F. Puntes, K.M. Krishnan, A.P. Alivisatos, *ScienCT*, **291**, 2001, 2115.
- [12] T. Albrecht, J. Schotter, G.A. Kastle, N. Emley, T. Shibauchi, L. Krusin-Elbaum, K. Guarini, C.T. Black, M.T. Tuominen, T.P. Russell, *ScienCT*, **290**, 2000, 2126.
- [13] M.H. Huang, Y. Wu, H. Feick, N. Tran, E. Weber, P. Yang, *Adv. Mater.*, **13**, 2001, 113.
- [14] Y. Lei, L.D. Zhang, J.C. Fan, *Chem. Phys. Lett.*, **338**, 2001, 231.
- [15] M.H. Huang, S. Mao, H. Feick, H. Yan, Y. Wu, H. Kind, E. Weber, R. Russo, P. Yang, *ScienCT*, **292**, 2001, 1897.
- [16] Y. Cui, C.M. Lieber, *ScienCT*, **291**, 2001, 851.
- [۱۷] الهام خطیبی، پریسا اکبرشاهی، پرستو خوش اخلاق، حسین سرپولکی، "سنتز نانو پودرهای سرمایی به روش هیدروترمال"، فصلنامه سرمایی ایران، ۳، ۱۳۸۴، ۳۱.
- [۱۸] لقمان استرکی، "فراآیند هیدروترمال برای تولید مواد گذشته، حال و آینده"، ۱۳۴، ۱۳۸۷، ۵۴۰.
- [19] Y. Wang, G. Xu, L. Yang, Z. Ren, X. Wei, W. Weng, P. Du, G. Shen, G. Han, *Ceram. Int.*, **63**, 2008, 239.
- [۲۰] دیوید گاسکل، "مقدمه‌ای بر ترمودینامیک مواد"، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان، ۱۳۷۷، ص ۲۵-۴۹.

یکنواخت می‌باشد. همانطور که در این تصاویر مشاهده می‌شود، اندازه ذرات، در حد نانومتری می‌باشند. آگلومره‌های تشکیل شده در این نمونه‌ها، از نوع آگلومره نرم می‌باشند، بنابراین به راحتی می‌توانند از یکدیگر جدا شوند. از جمله کاربردهایی که این ذرات می‌توانند داشته باشند، فاز تقویت‌کننده در نانوکامپوزیت‌ها است. همچنین به دلیل خواص پیزوالکتریکی که تیتانات باریم دارد، می‌تواند در مواردی که نیاز به یک ماده با خاصیت پیزوالکتریک است نیز استفاده نمود.



(a)



(b)

شکل ۶: تصاویر حاصل از SEM نمونه‌های (a) BT5 و (b) BT6 با بزرگنمایی $\times 10000$.

۴- نتیجه‌گیری

سنتز نانوذرات $BaTiO_3$ با استفاده از روش هیدروترمال بر روی نمونه‌هایی با pHهای متفاوت انجام شد. با مقایسه نتایج بدست آمده برای دو پراکنده‌ساز به کار رفته، پراکنده‌ساز دولاپیکس ET85 به دلیل قدرت پراکنده‌سازی

[۲۳] حسین آشوری، "بلور شناسی"، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان، ۱۳۷۹، ص ۲۸-۲۶.

[24] N. Tigau, V. Ciupina, *J. Cryst. Growth*, **269**, 2004, 392.

[25] M.M. Lencka, R.E. Riman, *Chem. Mater.*, **5**, 1993, 61.

[26] M.M. Lencka, *Ferroelectrics*, **151**, 1994, 159.

[۲۱] فرهاد گلستانی فرد، محمدعلی بهره‌ور، اسماعیل صلاحی، "روشهای شناسایی و آنالیز مواد"، انتشارات دانشگاه علم و صنعت، ۱۳۸۶، ص ۸۷-۹۵.

[22] B.D. Cullity, "Elements of X-ray diffraction", Second Edition, Edited by Morris Cohen, Addison-Wesley, publishing, San Diego, 1977.