

بررسی خصوصیات ساختاری، مورفولوژیکی و نوری نانوصفحات هیدروکسید منیزیم سنتز شده توسط روش رسوب‌دهی

صادق یوسفی^{۱*}، بهروز قاسمی^۱، محمد تجلی^۱ و علیرضا اصغری^۲

۱. دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه سمنان، سمنان

۲. دانشکده شیمی، دانشگاه سمنان، سمنان

(دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۶/۱۷ - دریافت نسخه نهایی: ۱۳۹۶/۰۵/۲۹)

چکیده - در این مقاله، نانوصفحات هیدروکسید منیزیم با خلوص بالا توسط روش رسوب‌دهی تر با استفاده از شورابه غنی از یون‌های منیزیم به‌عنوان پیش‌ماده و NaOH به‌عنوان عامل رسوب‌دهی بدون استفاده از عامل پراکنده‌ساز در دمای اتاق با موفقیت سنتز شد. مشخصه‌یابی و بررسی خصوصیات مختلف نانوپودر به‌دست آمده توسط آزمون پراش پرتو ایکس، میکروسکوپی الکترونی روبشی گسیل میدانی، طیف‌سنجی انرژی پرتو ایکس، طیف‌سنجی مادون قرمز و طیف‌سنجی جذب انجام شد. نتایج آزمون پراش پرتو ایکس و میکروسکوپی الکترونی روبشی گسیل میدانی نشان داد که پودر هیدروکسید منیزیم دارای نانوصفحاتی با میانگین اندازه کریستالیت ۱۷/۱ نانومتر و فاقد هرگونه ناخالصی است؛ که با نتایج طیف‌سنجی انرژی پرتو ایکس و طیف‌سنجی مادون قرمز کاملاً در توافق بود. علاوه بر این، بررسی خصوصیات نوری نانوصفحات هیدروکسید منیزیم توسط طیف‌سنجی UV-Vis، یک گاف نواری نوری ۵/۵ الکترون ولت را نشان داد. این گاف نواری پهن می‌تواند نوآوری مفید در وسایل نوری - الکترونیکی زیرمیکرون باشد.

واژه‌های کلیدی: هیدروکسید منیزیم، نانوذرات، شورابه، مشخصه‌یابی، خصوصیات نوری.

Study of Structural, Morphological and Optical Properties of Magnesium Hydroxide Nanoplates Synthesized by Precipitation Route

S. Yousefi^{۱*}, B. Ghasemi^۱, M. Tajally^۱ and A. Asghari^۲

1. Department of Metallurgical Engineering, Semnan University, Semnan, Iran

2. Department of Chemistry, Semnan University, Semnan, Iran

Abstract: In this paper, high purity magnesium hydroxide nanoplates were successfully synthesized by using brine rich in magnesium ions as precursor and NaOH as precipitating agent without using dispersant agent in the room temperature. The study and characterization of various properties of obtained nanopowder was carried out by X-Ray Diffraction (XRD), Field Emission Scanning Electron Microscopy (FESEM), Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometer (EDX), Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR) and Ultraviolet-visible spectroscopy (UV-Vis). The FESEM and XRD analysis results showed that magnesium hydroxide powder had nanoplates with the average crystallite size 17.1nm and no impurity; that was in agreement with the result of EDX and FTIR perfectly. Furthermore, optical characteristics of magnesium hydroxide nanoplates by UV-Vis spectroscopy showed an optical band gap of 5.5 eV. This wide band gap can be a useful innovation in optoelectronic sub-micron devices.

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: s.yousefi@semnan.ac.ir

Keywords: *Magnesium hydroxide, Nanoparticles, Brine, Characterization, Optical properties.*

۱- مقدمه

نانوذرات در مقایسه با مواد در مقیاس بالک خصوصیات کاملاً متفاوتی از خود نشان می‌دهند [۱]. در دهه اخیر، مواد نانوساختار به دلیل خصوصیات فیزیکی و شیمیایی منحصر به فرد کاربردهای بسیاری در مواد کامپوزیتی، میکروپردازنده‌ها، نیمه‌رساناها، کاتالیزورها، مواد آرایشی و دارویی و ... پیدا کرده‌اند [۲].

هیدروکسید منیزیم $(\text{Mg}(\text{OH})_2)$ به دلیل کاربردهای گسترده از جمله تقویت کننده، افزودنی غذا، بازدارنده آتش و غیره یک ماده معدنی مهم محسوب می‌شود [۲]. از بین کاربردهای مختلف، هیدروکسید منیزیم عمدتاً به عنوان یک پرکننده و بازدارنده شعله در مواد کامپوزیتی و همچنین پیش ماده اولیه جهت تولید اکسید منیزیم به کار می‌رود [۳]. سنتز نانوذرات $\text{Mg}(\text{OH})_2$ در سال‌های اخیر به دلیل خصوصیات الکترونیکی، مکانیکی، الکتروشیمیایی، نوری و توپولوژیکی این ماده، توجه زیادی را به خود جلب کرده است [۴].

روش‌های زیادی برای سنتز نانوذرات $\text{Mg}(\text{OH})_2$ وجود دارد که می‌توان به روش هیدروترمال [۵ و ۶]، سولوترمال [۷]، سونوشیمیایی [۸ و ۹]، رسوب‌دهی شیمیایی [۱۰ و ۱۱] و دیگر فرایندها [۱۲ و ۱۳] اشاره کرد. استفاده از واکنش نمک‌های منیزیم در حضور محلول‌های قلیایی (روش رسوب‌دهی شیمیایی) و روش هیدروگرمایی از اصلی‌ترین تکنیک‌های تولید $\text{Mg}(\text{OH})_2$ فوق‌العاده ریز به‌شمار می‌آیند [۱۴]. روش رسوب‌دهی شیمیایی به دلیل مزایایی از جمله آسان‌تر بودن کنترل فرایند و شرایط آن، عدم نیاز به تجهیزات جهت کار در دما و فشار بالا و همچنین قیمت پایین، پتانسیل بالقوه‌ای جهت استفاده در مقیاس وسیع و صنعتی دارد [۱۵ و ۱۶]. از بین پارامترهای مؤثر بر مورفولوژی، اندازه و رفتار توده‌ای شدن ذرات $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ماهیت شیمیایی عامل رسوب دهنده در درجه نخست قرار دارد. عوامل رسوب دهنده NaOH و NH_4OH عمده‌ترین

عامل‌های به‌کار گرفته شده جهت رسوب‌دهی $\text{Mg}(\text{OH})_2$ به شمار می‌آیند [۱۷ و ۱۸].

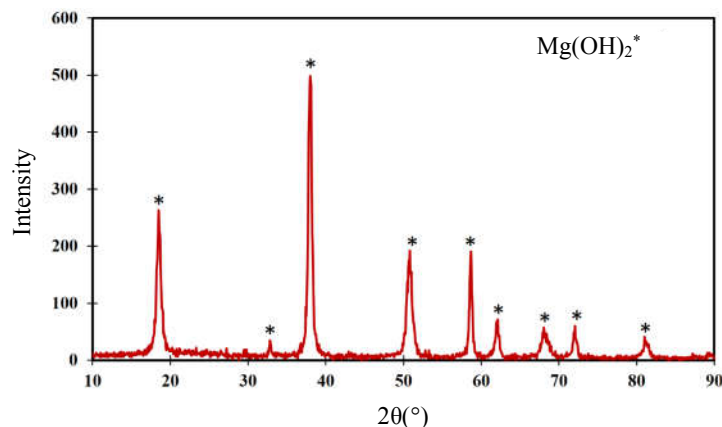
گاف انرژی نوری کمیت مهمی است که برای نیمه رساناها و مواد دی‌الکتریک مشخصه‌بندی می‌شود و در طراحی و ساخت این مواد اهمیت عمده‌ای دارد. گاف انرژی در واقع فاصله بین باند رسانش و باند ظرفیت است [۱۹]. الکترون‌های لایه ظرفیت در نیمه‌رساناها که دارای گاف نواری پهنی هستند می‌توان به سادگی با اعمال میدان‌های الکتریکی، حرارت و یا تابش نور به نوار رسانش برد. این خاصیت باعث می‌شود که کاربردهای متعددی برای نیم‌رساناها قابل پیش‌بینی باشد [۲۰].

در سال‌های اخیر پژوهشگران بیشتر از نمک‌های خالص منیزیم جهت سنتز نانوذرات $\text{Mg}(\text{OH})_2$ و اکسید منیزیم استفاده کرده‌اند [۲۱]. در این مقاله سعی شده است ضمن استفاده از شورابه غنی از منیزیم به‌عنوان پیش ماده و محلول NaOH به‌عنوان عامل رسوب‌دهی، به سنتز ذرات فوق‌العاده ریز $\text{Mg}(\text{OH})_2$ با خلوص بالا با استفاده از روش رسوب‌دهی شیمیایی پرداخته شود. علاوه بر این بررسی مورفولوژیکی، ساختاری و نوری ذرات تشکیل شده از دیگر اهداف این پژوهش است.

۲- مواد و روش تحقیق

۲-۱- سنتز نانوپودر $\text{Mg}(\text{OH})_2$ به روش رسوب‌دهی

تمامی مواد مورد استفاده در این پژوهش (به‌جز شورابه) با خلوص آزمایشگاهی و بدون هیچ‌گونه خلوص‌سازی مجدد مورد استفاده قرار گرفتند. مقداری محلول یک مولار NaOH به میزان استوکیومتری در دمای محیط به 50 میلی‌متر شورابه، با دانسیته $1/43$ گرم بر سانتی‌متر مکعب که غلظت CaCl_2 ، MgCl_2 ، NaCl و KCl در آن به ترتیب 507 ، 207 ، 5 و 4 گرم در لیتر بود، در حین هم‌زدن شدید بر همزن مغناطیسی قطره قطره اضافه شد. تحت pH کنترل شده، پس از مدتی



شکل ۱- الگوی پراش پرتو ایکس پودر $Mg(OH)_2$

شده است. اندازه‌گیری‌های جذب نور نیز توسط طیف جذبی^۵ (UV-Vis) در دمای اتاق با استفاده از طیف‌سنج UV-1650PC شیمادزو انجام شد.

۳- نتایج و بحث

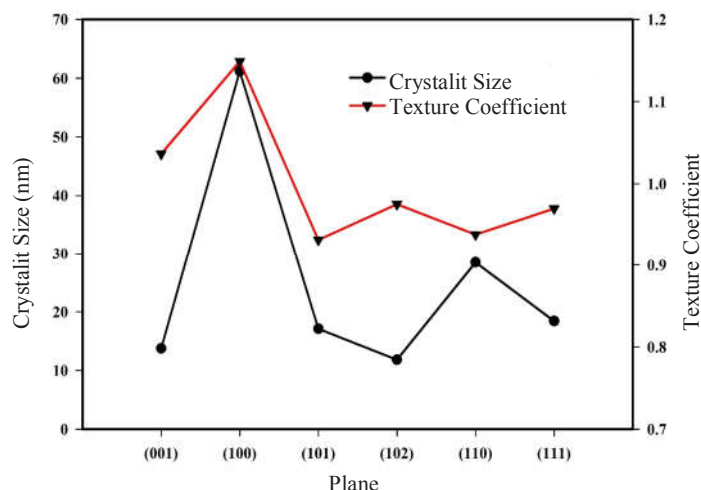
۳-۱- مطالعات ساختاری با پراش پرتو ایکس

مشخصه‌یابی فازی نمونه سنتز شده توسط آزمون پراش پرتو ایکس انجام شد. الگوی پراش پرتو ایکس نانوپودرهای $Mg(OH)_2$ در شکل (۱) نشان داده شده است. تمامی پیک‌های پراش مشخص شده در شکل، براساس کارت استاندارد JCPDS 7-0239، به هیدروکسید منیزیم با ساختار هگزاگونال مربوط می‌شوند. پهن‌شدگی قابل توجه پیک‌ها حاکی از این است که اندازه ذرات $Mg(OH)_2$ بسیار ریز هستند. پیک‌های مشخص شده در زوایای پراش $18/54^\circ$ ، $32/83^\circ$ ، $37/98^\circ$ ، $50/77^\circ$ ، $58/67^\circ$ ، $62/06^\circ$ ، $68/06^\circ$ و $72/05^\circ$ درجه به ترتیب مربوط به صفحات کریستالی (۰۰۱)، (۱۰۰)، (۱۰۱)، (۱۰۲)، (۱۱۰)، (۱۱۱)، (۱۰۳)، (۰۰۴) و (۲۰۲) نانو پودرهای $Mg(OH)_2$ هستند. پارامترهای شبکه و حجم بلور به ترتیب آنگستروم $a = b = 0/3144$ ، آنگستروم $c = 0/4780$ و آنگستروم $40/943$ بودند که با مقادیر گزارش شده در کارت استاندارد (آنگستروم $a = 0/3147$ ، آنگستروم $c = 0/4769$ و آنگستروم $40/903$ JCPDS 7-0239) منطبق هستند. عدم

محلول شورابه از حالت شفاف به رنگ شیری تغییر رنگ پیدا کرد. با تکمیل فرایند رسوب‌دهی جهت همگن‌سازی، سوسپانسیون به دست آمده ۱۵ دقیقه هم‌زده شد و سپس به مدت یک ساعت در دمای اتاق تحت عملیات پیرسازی قرار گرفت. برای جداسازی رسوبات از محلول مادر، سوسپانسیون از روی کاغذ صافی عبور داده شد و چندین بار با آب مقطر و اتانول شستشو یافت تا نمک‌های موجود در محلول مادر حذف گردند. در نهایت یک به دست آمده به مدت یک ساعت در دمای 125° درجه سانتی‌گراد در آون خشک شد. پودر سفید خشک شده پس از ساییده شدن کامل برای آزمون و مشخصه‌یابی‌های بعدی جمع‌آوری شد.

۲-۲- مشخصه‌یابی نانوپودر $Mg(OH)_2$

مشخصه‌یابی ساختاری پودر $Mg(OH)_2$ نهایی توسط دستگاه پراش پرتو ایکس (XRD) مدل D8 Bruker با تابش $CuK\alpha$ ($\lambda = 1/5406$ آنگستروم) با نرخ روبش $0/065^\circ$ درجه صورت گرفت. مورفولوژی و ترکیب شیمیایی نانو پودر به دست آمده نیز با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی^۲ (FE SEM) مدل MIRA3 ساخت شرکت TE-SCAN، مجهز به طیف‌سنجی انرژی پرتو ایکس^۳ (EDX) آزمون شدند. طیف نیز توسط دستگاه طیف‌سنج مادون‌قرمز با تبدیل فوریه^۴ شیمادزو مدل 8400s و با استفاده از قرص پتاسیم برمید گزارش



شکل ۲- میانگین اندازه کریستالیت و ضریب بافت نانوذرات $Mg(OH)_2$ محاسبه شده از الگوی پراش پرتو ایکس

از ضریب بافت $TC(hkl)$ به دست می‌آید به صورت رابطه (۲) تعریف می‌شود [۲۳]:

$$TC(hkl) = \frac{I(hkl)/I_0(hkl)}{\frac{1}{n} \sum_n I(hkl)/I_0(hkl)} \quad (2)$$

که $TC(hkl)$ ضریب بافت مربوط به صفحه (hkl) ، $I(hkl)$ شدت بازتاب صفحه (hkl) نمونه تحت آزمون، $I_0(hkl)$ شدت بازتاب صفحه متناظر در کارت استاندارد (JCPDS) و n تعداد پیک‌های در نظر گرفته شده است. ضریب بافت واحد نشان‌دهنده جهت‌گیری تصادفی صفحه مورد نظر است و در صورتی که این ضریب بزرگ‌تر از مقدار واحد باشد نشان‌دهنده جهت‌گیری ترجیحی نانوصفحات در راستای آن صفحه است [۲۳ و ۲۴]. مقادیر $TC(hkl)$ و میانگین اندازه کریستالیت صفحات مختلف نانوپودر $Mg(OH)_2$ در شکل (۲) نشان داده شده است. براساس رابطه (۲) و شکل (۲) کاملاً واضح است که صفحات (001) و (100) جهت‌گیری بلوری ترجیحی برای نانوصفحات تولید شده در این پژوهش هستند.

۳-۲- بررسی مورفولوژیکی

آزمون FESEM جهت نشان دادن مورفولوژی و توزیع اندازه ذره نانوذرات $Mg(OH)_2$ استفاده شد [۲۵]. شکل (۳- الف و ۳- ب)

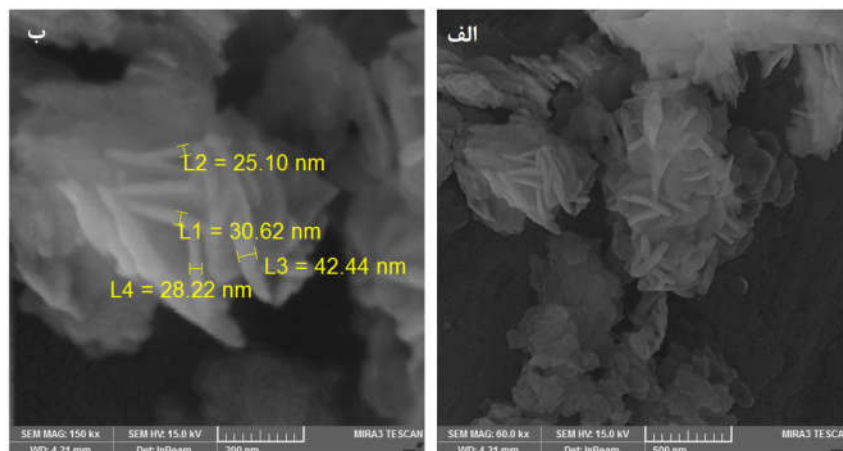
وجود هرگونه پیک ناخالصی در الگوی پراش این حقیقت را نشان می‌دهد که هیدروکسید منیزیم تک فاز و دارای خلوص بسیار بالایی است [۲۲].

اندازه کریستالیت با استفاده از رابطه شرر (معادله (۱)) تخمین

زده شد:

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

که 'k' فاکتور شکل (۰/۹)، 'λ' طول موج پرتو ایکس مربوط به تابش $CuK\alpha$ (۰/۱۵۴۰۶ نانومتر)، 'β' پهنای پیک در نصف ارتفاع بیشینه و 'θ' زاویه براگ است [۲۱ و ۲۲]. اندازه کریستالیت با استفاده از رابطه شرر ۱۱ تا ۶۱ نانومتر به دست آمد. از روی بازتاب صفحات (001) و (110) می‌توان به جهت‌گیری ذرات هیدروکسید منیزیم پی برد. جهت‌گیری معمول ذرات صفحه‌ای شکل صفحه (001) است. هر چه شدت صفحه (001) به (110) در نمونه‌ای بیشتر باشد، جهت‌گیری ترجیحی صفحه (001) بیشتر است. براساس فایل استاندارد شدت پیک (101) نسبت به (001) باید بیشتر باشد. در صورتی که عکس این واقعیت رخ دهد، نشان‌دهنده این است که صفحه (001) صفحه غالب است و رشد بیشتر در راستای این صفحه صورت گرفته است [۱۸]. از طرفی برای بررسی جهت‌گیری بلور در راستای یک صفحه خاص می‌توان از ضریب بافت TC مربوط به آن صفحه استفاده کرد. اطلاعات عددی در مورد جهت‌گیری انتخابی بلور که



شکل ۳- تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی نشر میدانی از نانوصفحات $Mg(OH)_2$ با بزرگ‌نمایی‌های مختلف

طرفی غلظت قابل ملاحظه $MgCl_2$ در محلول شورابه مورد استفاده سبب شده است که نانوصفحات $Mg(OH)_2$ به صورت توده‌ای شکل گیرند.

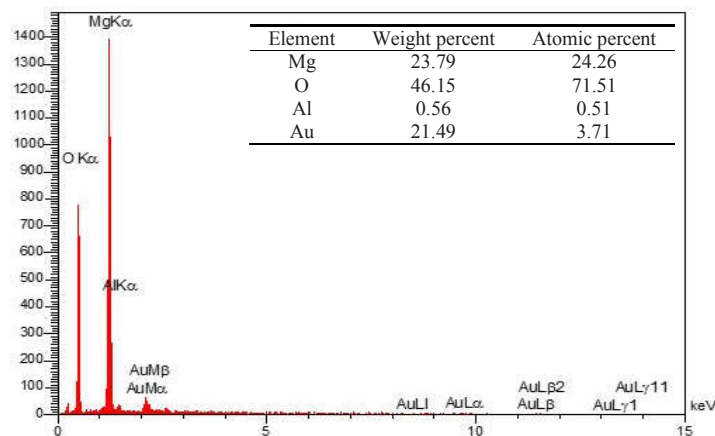
ترکیب شیمیایی نانوپودر $Mg(OH)_2$ به دست آمده، توسط طیف‌سنجی پراش انرژی پرتو ایکس آزمون شد. طیف‌سنجی پرتو ایکس گرفته شده از نمونه پودری در حالت بالک، در شکل (۴) نشان داده شده است. وجود پیک‌های مربوط به عناصر Mg و O و عدم وجود هرگونه پیک ناخالصی (به جز Al و Au که ناشی از نگاه‌دارنده نمونه‌ها و پوشش اعمال شده هستند) بار دیگر خلوص بالای نانو پودر حاصل شده را ثابت می‌کنند.

۳-۳- آزمون طیف‌سنجی مادون قرمز با تبدیل فوریه

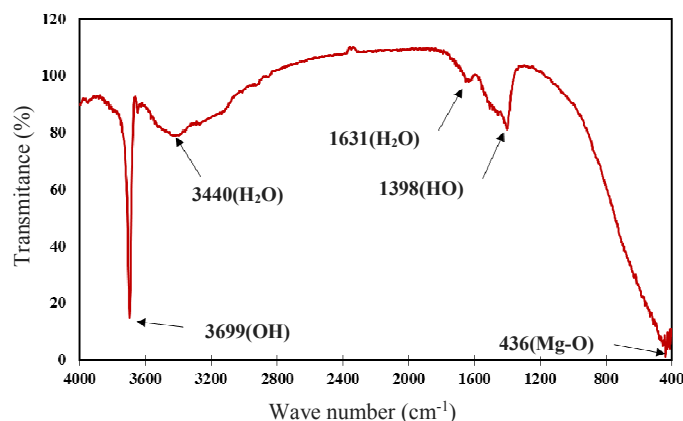
جهت مطالعه و تعیین ترکیبات شیمیایی و بررسی بنیان‌های عاملی نانوپودر $Mg(OH)_2$ از طیف‌سنجی مادون قرمز با تبدیل فوریه در محدوده $4000-400$ بر سانتی‌متر استفاده شد. شکل (۵) طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه نمونه سنتز شده را که دارای پیک‌های مشخصه مختلفی است را نشان می‌دهد. پیک قوی و تیز در 3699 بر سانتی‌متر به ماهیت ارتعاش کششی گروه هیدروکسیل $Mg(OH)_2$ مربوط می‌شود. پیک موجود در 436 بر سانتی‌متر به ارتعاش کششی $Mg-O$ نسبت داده می‌شود.

تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی نشر میدانی نانوذرات $Mg(OH)_2$ را با بزرگ‌نمایی‌های مختلف نشان می‌دهند. نتایج نشان دادند که نانوذرات $Mg(OH)_2$ دارای مورفولوژی صفحه‌ای هستند و به صورت توده‌های عمود بر تصویر در آمده‌اند. حضور صفحه‌هایی با قطر کمتر از 45 نانومتر و وجود ذراتی با اندازه بسیار ریز نیز در تصاویر کاملاً مشهود است که حاکی از مؤثر بودن روش مورد استفاده در دستیابی به ذرات فوق‌العاده ریز هیدروکسید منیزیم است.

مکانیزم تشکیل نانوصفحات $Mg(OH)_2$ به این صورت است که واکنش شیمیایی پیوسته منجر به شکل‌گیری ورقه‌های کوچک هیدروکسید منیزیم می‌شود از طرفی مصرف یون‌های منیزیم و پدیده استوالد- رایپینگ که در آن ذرات بزرگ‌تر با مصرف ذرات کوچک‌تر رشد کرده و ذرات کوچک‌تر از بین می‌روند [۲۶] سبب می‌شود که ورقه‌های کوچک به صفحات نسبتاً ضخیمی تبدیل شوند. این مکانیزم (تشکیل بلورهای صفحه‌ای شکل) هنگامی که مدت زمان واکنش زیاد باشد و/یا دانسیته هسته‌گذاری اولیه بالا باشد (مثلاً غلظت اولیه $MgCl_2$ زیاد باشد) بسیار محتمل است. از طرفی زیاد بودن غلظت $CaCl_2$ و دما می‌تواند تشکیل $MgOH^+$ ، که ممکن است برای شکل‌گیری $Mg(OH)_2$ و رشد بلورهای $Mg(OH)_2$ مفید باشد را ارتقاء دهد [۲۷]. بنابراین وجود مقادیر فراوان $CaCl_2$ و از



شکل ۴- طیف پراش انرژی پرتو ایکس نانوصفحات $Mg(OH)_2$



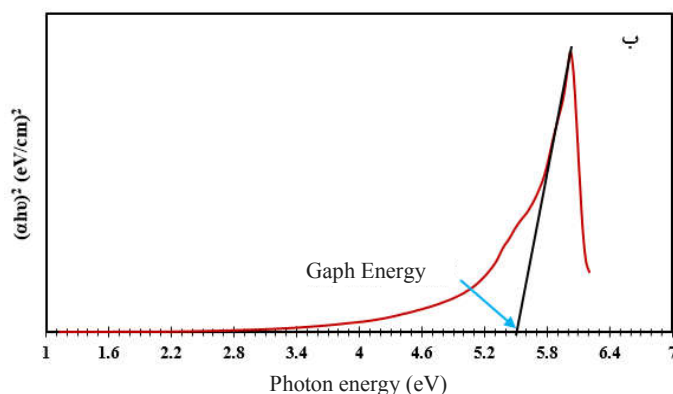
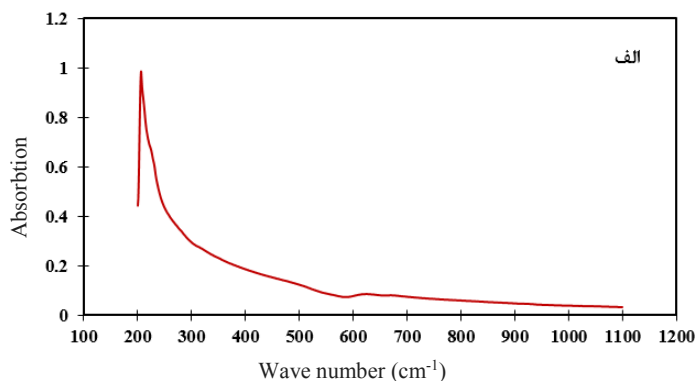
شکل ۵- طیف مادون قرمز با تبدیل فوریه نانوصفحات $Mg(OH)_2$ سنتز شده در دمای اتاق

برای اندازه‌گیری‌های طیف جذبی، نانوپودر سنتز شده با استفاده از حمام اولتراسونیک در اتانول مطلق پخش شدند و عملیات طیف‌سنجی بر سوسپانسیون به‌دست آمده صورت گرفت. طیف جذبی ثبت شده در محدوده طول موج ۱۱۰۰-۲۰۰ نانومتر در شکل (۶- الف) نشان داده شده است. طیف به‌دست آمده افزایش جذب در ناحیه طول موج پایین (UV) را نشان می‌دهد. نانوساختارهای $Mg(OH)_2$ دارای گاف نواری پهنی هستند که این نوع گاف انرژی نوری استفاده از آنها را در وسایل نوری زیر میکرون ممکن می‌سازد [۲۹]. گاف نواری نوری مواد می‌تواند از رابطه تاک که بیانگر وابستگی ضریب جذب (α) به انرژی فوتون ($h\nu$) است؛ براساس رابطه زیر به‌دست آید:

پیک پهن در ۳۴۴۰ بر سانتی‌متر و پیک کوچک در ۱۶۳۱ بر سانتی‌متر می‌توانند به‌ترتیب به ارتعاش کششی و ارتعاش خمشی آب مربوط شوند. پیک کوچک در ۱۳۹۸ بر سانتی‌متر، ارتعاش خمشی پیوند OH است. نتایج حاصل از آزمون طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه و پراش پرتو ایکس کاملاً با یکدیگر در توافق بودند و وجود $Mg(OH)_2$ را ثابت کردند [۹، ۱۲ و ۲۸].

۴-۳- بررسی خصوصیات نوری

به‌دلیل نانوساختار بودن صفحات $Mg(OH)_2$ ، خصوصیات نوری آنها توسط طیف‌سنجی طیف جذبی در دمای اتاق بررسی شد.



شکل ۶- الف) طیف نوری جذبی ثبت شده با طیف‌سنجی ماوراء بنفش- مرئی و ب) نمودار انرژی فوتون

بر حسب $(\alpha h\nu)^2$ نمونه $\text{Mg}(\text{OH})_2$

$(\alpha h\nu)^2$ بر حسب $h\nu$ بر محور x به دست آورد شکل (۶-ب). میزان انرژی گاف نواری نوری نانوصفحات $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ۵/۵ الکترون ولت به دست آمد که با مقادیر گزارش شده در سایر مراجع مطابقت دارد [۱۲ و ۱۸].

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش نانوپودر $\text{Mg}(\text{OH})_2$ با مورفولوژی صفحه‌ای شکل و با خلوص بسیار بالا توسط روش آسان رسوب‌دهی تر در دمای اتاق با استفاده از شورابه در حضور مقادیر زیادی کلسیم با موفقیت سنتز شد. خصوصیات ساختاری و مورفولوژیکی پودر $\text{Mg}(\text{OH})_2$ سنتز شده با جزئیات بررسی شد. الگوی پراش پرتو ایکس نشان داد که پودر سنتز شده با مورفولوژی صفحه‌ای شکل، دارای خلوص بالا و میانگین اندازه

$$\alpha h\nu = C(h\nu - E_g)^n \quad (3)$$

که n به نوع گذارهای نوری در یک نیمه‌رسانا وابسته است ($n = 1/2$ برای گذار مستقیم، $n = 2$ برای گذار غیرمستقیم)، C یک ثابت، h ثابت پلانک، ν فرکانس و E_g نیز انرژی گاف نواری نوری است [۳۰]. مقدار α نیز از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\alpha = 2/303 \left(\frac{A}{d}\right) \quad (3)$$

که A میزان جذب و d ضخامت سلول کوآرتزی حاوی نمونه است (برابر ۱ سانتی‌متر) [۳۱ و ۳۲]. بدین ترتیب از روی طول موج و مشخص شدن ضریب جذب میزان $\alpha h\nu$ به دست می‌آید. در پژوهش‌های صورت گرفته نشان داده شده است که $\text{Mg}(\text{OH})_2$ دارای گذار نوری از نوع مستقیم است [۷، ۱۲ و ۱۸]. مقدار E_g را می‌توان توسط برون‌یابی ناحیه خطی نمودار

قیمت نظیر راکتور با دما و فشار بالا قابل تولید هستند.

تقدیر و تشکر

نویسندگان مقاله از حمایت‌های مادی و معنوی واحد پتاس خور و همچنین معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه سمنان صمیمانه تشکر و قدردانی می‌کنند.

کریستالیت ۱۷/۱ نانومتر است. مشخصه‌یابی با طیف سنجی پراش انرژی پرتو ایکس و طیف‌سنجی با مادون قرمز تبدیل به فوریه نیز بار دیگر تک فاز بودن و خلوص بالای نانو پودر $Mg(OH)_2$ را ثابت کرد. از طرفی نانوصفحات $Mg(OH)_2$ با داشتن گاف انرژی نوری ۵/۵ الکترون ولت خواص نوری ویژه ای از خود نشان دادند. با استفاده از روش حاضر، پودرهای $Mg(OH)_2$ با اندازه زیرمیکرون بدون هیچ‌گونه تجهیزات گران

واژه‌نامه

1. x-ray diffraction (XRD)
2. Field emission- scanning electron microscopy (FE-SEM)
3. energy-dispersive x-ray analysis spectrometry (EDX)
4. Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR)
5. Absorption spectra
6. Texture Coefficient

مراجع

1. Rao, K. V. G., Ashok, C. H., Rao, K. V. G., and Chakra, C. H. S., "Structural Properties of MgO Nanoparticles: Synthesized by Co-Precipitation Technique", *International Journal of Science and Research*, Vol. 8, pp. 43-46, 2014.
2. Zhou, W., Qiao, X. L., Zhang, L., Guo, J. Y., and Zheng, J., "Synthesis and Hemolytic Activity of Magnesium Hydroxide Nanoparticles", *Advanced Materials Research*, Vol. 971, pp. 228-231, 2014.
3. Henrist, C., Mathieu, J. P. C., Vogels, A., and Rulmont, R., "Cloots, Morphological Study of Magnesium Hydroxide Nanoparticles Precipitated in Dilute Aqueous Solution", *Journal of Crystal Growth*, Vol. 249, pp. 321-330, 2003.
4. Deng, X., Wang, Y., Peng, J., and Di, Y., "Current Efficiency of Synthesis Magnesium Hydroxide Nanoparticles via Electrodeposition", 3rd International Conference on Material, Mechanical and Manufacturing Engineering (IC3ME), pp. 207-211, 2015.
5. Wang, Q., Li, C., Guo, M., Sun, L., and Hu, C., "Hydrothermal Synthesis of Hexagonal Magnesium Hydroxide Nanoflakes", *Materials Research Bulletin*, Vol. 51, pp. 35-39, 2014.
6. Sierra-Fernandez, A., Gomez-Villalba, L. S., Milosevic, O., Fort, R., and Rabanal, M. E., "Synthesis and Morpho-structural Characterization of Nanostructured Magnesium Hydroxide Obtained by a Hydrothermal Method", *Ceramics International*, Vol. 40, pp. 12285-12292, 2014.
7. Chen, H., Xu, C., Liu, Y., and Zhao, G., "Formation of Flower-like Magnesium Hydroxide Microstructure via a Solvothermal Process", *Electronic Materials Letters*, Vol. 8, pp. 529-533, 2012.
8. Alavi, M. A., and Morsali, A., "Syntheses and Characterization of $Mg(OH)_2$ and MgO Nanostructures by Ultrasonic Method", *Ultrasonics Sonochemistry*, Vol. 17, pp. 441-446, 2010.
9. Song, G., Ma, S., Tang, G., and Wang, X., "Ultrasonic-assisted Synthesis of Hydrophobic Magnesium Hydroxide Nanoparticles", *Colloids Surfaces A Physicochemical Engineering Aspects*, Vol. 364, pp. 99-104, 2010.
10. Pilarska, A., Nowacka, M., and Pilarski, K., "Preparation and Characterisation of Unmodified and Poly (Ethylene Glycol) Grafted Magnesium Hydroxid", *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, Vol. 49, pp. 701-712, 2013.
11. Bindhu, M. R., Umadevi, M., Kavin Micheal, M., Arasu, M. V., and Abdullah Al-Dhabi, N., "Structural, Morphological and Optical Properties of MgO Nanoparticles for Antibacterial Applications", *Materials Letters*, Vol. 166, pp. 19-22, 2016.
12. Al-Hazmi, F., Umar, A., Dar, G. N., Al-Ghamdi, A. A., Al-Sayari, S. A., Al-Hajry, A., Kim, S. H., Al-Tuwirqi, R. M., Alnowaiserb, F., and El-Tantawy, F., "Microwave Assisted Rapid Growth of $Mg(OH)_2$ Nanosheet Networks for Ethanol Chemical Sensor Application", *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 519, pp. 4-8, 2012.
13. Beall, G. W., Duraia, E. S. M., El-Tantawy, F., Al-Hazmi, F., and Al-Ghamdi, A. A., "Rapid Fabrication of Nanostructured Magnesium Hydroxide and Hydromagnesite via Microwave-assisted Technique", *Powder Technology*, Vol. 234, pp. 26-31, 2013.
14. Kong, Q. G., Qian, H. Y., Xiao, H. N., Kai, L., Wang, J. K., Zhu, J., and Li, J., "Additives Applied

- for Preparation of Superfine Mg(OH)₂ Particles by Light-Burned MgO at Low Temperature”, *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 130, pp. 1026-1030, 2011.
15. Zheng, J., and Zhou, W., “Low Temperature Synthesis of Nanoscale Magnesium Hydroxide under Normal Pressure”, *Advanced Materials Research*, Vol. 779, pp. 247-250, 2013.
 16. Zheng, J., and Zhou, W., “Solution-phase Synthesis of Magnesium Hydroxide Nanotubes”, *Materials Letters*, Vol. 127, pp. 17-19, 2014.
 17. Hsu, J. P., and Nacu, A., “Preparation of Submicron-sized Mg(OH)₂ Particles Through Precipitation”, *Colloids Surfaces A Physicochemical Engineering Aspects*, Vol. 262, pp. 220-231, 2005.
 18. Kumari, L., Li, W. Z., Vannoy, C. H., Leblanc, R. M., and Wang, D. Z., “Synthesis, Characterization and Optical Properties of Mg(OH)₂ Micro-/Nanostructure and its Conversion to MgO”, *Ceramics International*, Vol. 35, pp. 3355-3364, 2009.
 19. Elahi, M., and Souri, D., “Study of Optical Absorption and Optical Band Gap Determination of Thin Amorphous TeO₂-V₂O₅-MoO₃ Blown Films”, *Indian Journal of Pure Applied Physics*, Vol. 44, pp. 468-472, 2006.
 20. Kulkarni, S. K., *Nanotechnology: Principles and Practices*, Springer International Publishing, Cham, 2015.
 21. Jiang, W., Hua, X., Han, Q., Yang, X., Lu, L., and Wang, X., “Preparation of Lamellar Magnesium Hydroxide Nanoparticles via Precipitation Method”, *Powder Technology*, Vol. 191, pp. 227-230, 2009.
 22. Chen, Y., Zhou, T., Fang, H., Li, S., Yao, Y., and He, Y., “A Novel Preparation of Nano-Sized Hexagonal Mg(OH)₂”, *Procedia Engineering*, Elsevier B.V., pp. 388-394, 2015.
 23. Márquez, J. A. R., Rodríguez, C. M. B., Herrera, C. M., Rosas, E. R., Angel, O. Z., and Pozos, O. T., “Effect of Surface Morphology of ZnO Electrodeposited on Photocatalytic Oxidation of Methylene Blue Dye Part I: Analytical Study”, *International Journal of Electrochemical Science*, Vol. 6, pp. 4059-4069, 2011.
 24. Chang Chun, C., Ping, L., and Lu, C., “Synthesis and Characterization of Nano-Sized ZnO Powders by Direct Precipitation Method”, *Chemical Engineering Journal*, Vol. 144, pp. 509-513, 2008.
 25. Tamilselvi, P., Yelilarasi, A., Hema, M., and Anbarasan, R., “Synthesis of Hierarchical Structured MgO by Sol-gel Method”, *Nano Bulltein*, Vol. 2, pp. 106-130, 2013.
 26. Esmaili, E., Khodadadi, A., and Mortazavi, Y., “Microwave-induced Combustion Process Variables for MgO Nanoparticle Synthesis using Polyethylene Glycol and Sorbitol”, *Journal of the European Ceramic Society*, Vol. 29, pp. 1061-1068, 2009.
 27. Gao, Y., Wang, H., Su, Y., Shen, Q., and Wang, D., “Influence of Magnesium Source on the Crystallization Behaviors of Magnesium Hydroxide”, *Journal of Crystal Growth*, Vol. 310, pp. 3771-3778, 2008.
 28. Wang, S., Li, G., Xu, W., Liu, C., Dai, L., and Zhu, H.-C., “Facile Preparation and Application of Magnesium Hydroxide Assembly Spheres”, *Research on Chemical Intermediates*, Vol. 42, pp. 2661-2668, 2016.
 29. Al-Hazmi, F., Alnowaiser, F., Al-Ghamdi, A. A., Al-Ghamdi, A. A., Aly, M. M., Al-Tuwirqi, R. M., and El-Tantawy, F., “A New Large- Scale Synthesis of Magnesium Oxide Nanowires: Structural and Antibacterial Properties”, *Superlattices and Microstructures*, Vol. 52, pp. 200-209, 2012.
 30. Al-Ghamdi, A. A., Al-hazmi, F., Alnowaiser, F., Al-Tuwirqi, R. M., Al-Ghamdi, A. A., Alhartomy, O.A., El-Tantawy, F., and Yakuphanoglu, F., “A New Facile Synthesis of Ultra Fine Magnesium Oxide Nanowires and Optical Properties”, *Journal of Electroceramics*, Vol. 29, pp. 198-203, 2012.
 31. Al-Gaashani, R., Radiman, S., Daud, A. R., Tabet, N., and Al-Douri, Y., “XPS and Optical Studies of Different Morphologies of ZnO Nanostructures Prepared by Microwave Methods”, *Ceramics International*, Vol. 39 pp. 2283-2292, 2013.
 32. Al-Gaashani, R., Radiman, S., Al-Douri, Y., Tabet, N., and Daud, A. R., “Investigation of the Optical Properties of Mg(OH)₂ and MgO Nanostructures Obtained by Microwave-assisted Methods”, *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 521, pp. 71-76, 2012.