

ساخت و بررسی خواص ساختاری، نوری و فوتوکاتالیستی نانوسیم‌های وانادات بیسموت

نسرین قزکوب^{۱*}، معصومه نادری^۲

^۱ گروه فیزیک، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

^۲ گروه فیزیک، واحد رامهرمز، دانشگاه آزاد اسلامی، رامهرمز، ایران.

چکیده

در این پژوهش، نانوسیم‌های وانادات بیسموت (BiVO_4) به روش حرارتی ساخته شدند. برای مشخصه‌یابی نانوسیم‌ها از آنالیزهای پراش پرتوی ایکس (XRD)، میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FESEM)، طیف نگاری پراکندگی انرژی (EDS)، طیف سنج تبدیل فوریه فروسرخ (FTIR) و طیف سنجی جذبی مرئی-فرابنفش (UV-Vis) استفاده شده است. الگوی پراش پرتوی ایکس نشانگر تشکیل فاز تک‌میل برای نانوسیم‌ها است. آنالیزهای EDS و FTIR نشان دادند که نانوسیم‌ها حاوی عنصر ناخالصی نیستند. از بررسی تصویر FESEM معلوم شد که متوسط اندازه طول و قطر نانوسیم‌ها به ترتیب برابر ۲/۳ میکرومتر و ۸۳ نانومتر است. از آنالیز UV-Vis شکاف نوری ۲/۲۰ الکترون ولت حاصل شد که در محدوده نور مرئی است. بررسی فعالیت فوتوکاتالیستی نانوسیم‌های وانادات بیسموت در تجزیه رنگ قرمز کنگو نشان داد که نانوسیم‌های وانادات بیسموت نماینده مناسبی جهت استفاده فوتوکاتالیستی و تجزیه مواد آلی به کمک نور خورشید هستند.

واژه‌های کلیدی: نانوسیم، وانادات بیسموت، تک میل، فوتوکاتالیستی، قرمز کنگو.

ایمیل نویسنده مسئول: nghazkoob@yahoo.com

۱- مقدمه

در دهه‌های اخیر، به لحاظ مزایای اقتصادی و زیست محیطی، پژوهش بر فوتوکاتالیست‌های فعال در نور مرئی و نور خورشید از اهمیت فراوانی برخوردار شده است [۱]. وانادات بیسموت (BiVO_4) یک نیم‌رسانای با شکاف انرژی مستقیم است که به دلیل داشتن ویژگی‌هایی مانند شکاف انرژی کوچک، غیر سمی بودن، مقاوم بودن در برابر خوردگی و قطبش ذاتی حاصل از زوج الکترون‌های تراز انرژی $6s^2$ عنصر بیسموت، جهت تخریب آلاینده‌های آلی در نور مرئی توجه بسیار از محققان را به خود جلب کرده است [۲]. نخستین بار کودو و همکارانش، گزارشی در مورد تولید اکسیژن توسط فوتوکاتالیست وانادات بیسموت در حضور نیترات نقره و تحت تابش نور مرئی ارائه دادند [۳]. وانادات بیسموت یک اکسید سه تایی است که در سه فاز بلوری شیلایت تک‌میل، شیلایت چهارگوشی و زیرکون چهارگوشی رشد می‌کند [۴]. فاز چهارگوش دارای شکاف انرژی حدود ۲/۹ الکترون‌ولت است و یک نوار جذب در ناحیه فرابنفش دارد؛ اما فاز تک‌میل با شکاف حدود ۲/۳ الکترون ولت دارای جذب در ناحیه فرابنفش و مرئی است [۵]. طبق گزارش‌های متعدد، فاز تک‌میل به دلیل اندازه شکاف کوچکتر و بیشینه جذب در طول موج حدود ۵۱۵ نانومتر، دارای بهترین فعالیت فوتوکاتالیستی در میان سه فاز وانادات بیسموت است [۷، ۶]. چون هدف این پژوهش بهبود فعالیت فوتوکاتالیستی وانادات بیسموت است لذا یکی از اهداف این پژوهش، ساخت نانوساختاری از وانادات بیسموت با فاز تک‌میل است.

از روش‌های متعددی برای ساخت وانادات بیسموت با فاز تک‌میل استفاده شده است. فاز تک‌میل توسط روش‌هایی مانند روش احتراقی [۸]، واکنش حالت جامد [۹]، سلزل [۱۰]، حرارتی [۱۱] و هم‌رسوبی [۱۲] ساخته شده است. چون افزایش سطح فعال ماده کاتالیست منجر به افزایش فعالیت فوتوکاتالیستی می‌شود لذا تولید وانادات بیسموت با مساحت سطح بالا هدف بسیاری از پژوهش‌ها قرار گرفت و ریخت‌های مختلف این ماده مثل نانومیل [۱۳]، نانوالیاف [۱۳]، گل-مانند [۱۴]، مکعب-مانند [۱۵] و صفحه-مانند [۱۵] ساخته شد. از نانوساختارهای وانادات بیسموت جهت تجزیه فوتوکاتالیستی رنگ‌هایی مانند متیلن بلو [۱۶]، رودامین بی [۱۶]، متیل اورانژ [۱۷] و اسید اورانژ ۱۰ [۱۸] استفاده شده است. رنگ قرمز کنگو ($\text{C}_{32}\text{H}_{22}\text{N}_6\text{Na}_2\text{O}_6\text{S}_2$) یک ترکیب مصنوعی است. یک مولکول این رنگ، شامل دو مولکول بنزیدین و نفتیونیک اسید است که با دو گروه آزو ($-\text{N}=\text{N}-$) به هم متصل شده‌اند. بخش سمی این رنگ (بنزیدین) باعث ایجاد سرطان مثانه در انسان می‌شود. این رنگ در صنایعی مانند نساجی و کاغذ سازی کاربرد فراوان دارد [۲۴]. تجزیه رنگ قرمز کنگو تحت تابش نور مرئی، با استفاده از نانچندسازه‌های وانادات بیسموت مثل $\text{BiVO}_4/\text{Ti}_3\text{C}_2$ [۱۹]، $\text{BiVO}_4/\text{MoS}_2/\text{Mg}(\text{OH})_2$ [۲۰] و MIL-^۱

^۱ nanorod

^۲ nanofiber

^۳ flower-like

^۴ cuboid-like

^۵ plate-like

گرفت. برای منبع تابش، از لامپ زنون با توان ۱۰۰ وات استفاده شد. فاصله لامپ از سطح محلول حدود ۵ سانتی متر تنظیم شد. وجود تهویه در راکتور مانع از افزایش دمای محلول شد. مقدار ۳۵ میلی گرم از فوتوکاتالیست به محلول حاوی ۱۰۰ میلی لیتر رنگ قرمز کنگو با غلظت ۲۰ میلی گرم بر لیتر افزوده شد. قبل از تابش، در وضعیت تاریکی، محلول به مدت یک ساعت هم زده شد تا بین جذب و واجذب فوتوکاتالیست و آلاینده، تعادل برقرار شود. در وضعیت تابش، در فواصل زمانی ۱۵ دقیقه ای، ۵ میلی لیتر از محلول برداشته شد و برای جداسازی نانوسیمها از محلول، از گریزانه استفاده کرده و در ادامه از نمونه ها طیف جذبی UV-Vis گرفته شد.

در فرایند فوتولیز^۱، رنگها بدون حضور فوتوکاتالیست و در مدت زمان طولانی نیز در مقابل تابش نور تجزیه می گردند. ولی مشکل آن است که گاهی در این فرایند رنگ آلی کاملاً به مواد بی ضرر تبدیل نگشته و به مواد سمی تر تجزیه می شود. جهت حذف اثر فوتولیز از فرایند فوتوکاتالیستی، آزمایش فوتولیز مربوط به رنگ قرمز کنگو هم انجام شد. بدین صورت که رنگ قرمز کنگو با غلظت ۲۰ میلی گرم بر لیتر در مدت زمان طولانی در معرض تابش نور مرئی قرار گرفت و سپس از آن طیف جذبی UV-Vis گرفته شد.

۳-۲- دستگاه های آنالیز

برای بررسی ساختار بلوری نمونه ها از آنالیز پراش پرتوی ایکس (XRD) دستگاه پرتو ایکس مدل PW ۱۸۴۰ ساخت شرکت فیلیپس با تابش $\text{CuK}\alpha$ به طول موج ۱٫۵۴۱۸ آنگستروم و در گستره زاویه ای ۱۰ تا ۹۰ درجه استفاده شد. ریخت شناسی و شناسایی عنصری نمونه ها به ترتیب با میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FESEM) مدل SIGMA VP ساخت شرکت ZEISS کشور آلمان و طیف نگاری پراکندگی انرژی (EDS) ساخت شرکت Oxford Instrument کشور انگلستان انجام شد. جبرای تعیین پیوندهای شیمیایی از طیف سنج تبدیل فوریه فروسرخ (FTIR) مدل VERTEX 70 ساخت شرکت Bruker کشور آلمان بهره گیری شد. شکاف انرژی با استفاده از طیف سنجی جذبی مرئی-فرابنفش (UV-Vis) مدل Photonix Ar (P. P CO. Ltd) ساخت کشور ایران اندازه گیری شد.

۳- تجزیه و تحلیل نتایج

۳-۱- بررسی پراش پرتوی ایکس

شکل (۱)، الگوی پراش پرتوی ایکس نانوسیمهای وانادات بیسموت را نشان می دهد. الگوی پراش با کارت JCPDS به شماره ۰۱-۰۷۵۱۸۶۷ که مربوط به وانادات بیسموت با فاز بلوری تکمیل است، کامل مطابقت دارد. در این الگو قله اضافی که نشانگر حضور ناخالصی باشد، مشاهده نشد. برای اندازه بلورکها (D) از رابطه شرر^(۱) استفاده شد و مشخصات

$125\text{-NH}_2\text{@BiVO}_4$ [۲۱] بررسی شده است. در گزارش پیشین ما، فعالیت فوتوکاتالیستی نانوذرات وانادات بیسموت با فاز بلوری تکمیل، که به روش هم رسوبی ساخته شدند، جهت تجزیه فوتوکاتالیستی رنگ قرمز کنگو مورد بررسی قرار گرفت [۲۲]. اما از بررسی بیشتر پژوهش های انجام شده، معلوم شد که گزارشی در مورد تجزیه این رنگ تحت تابش نور مرئی توسط نانوسیمهای وانادات بیسموت با فاز بلوری تک میل انجام نشده است. سطح فعال نانوسیمها از نانوذره ها بیشتر است و چون افزایش سطح فعال باعث افزایش فعالیت فوتوکاتالیستی می شود پس انتظار می رود که با استفاده از نانوسیمهای وانادات بیسموت با فاز تکمیل، فعالیت فوتوکاتالیستی برای تجزیه رنگ قرمز کنگو افزایش یابد. پس، بررسی این موضوع، هدف این پژوهش قرار گرفت.

در این مقاله، نانوسیمهای وانادات بیسموت با فاز تک میل به روش حرارتی ساخته شدند و پس از بررسی ساختاری، ریخت شناسی و خواص نوری، فعالیت فوتوکاتالیستی آنها تحت تابش نور مرئی برای تجزیه رنگ قرمز کنگو مورد بررسی قرار گرفت.

۲- بخش تجربی

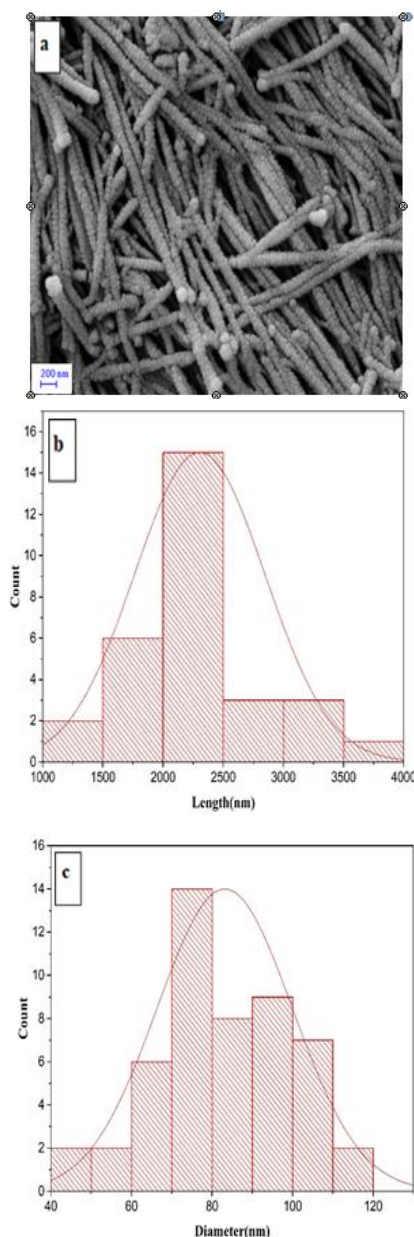
۲-۱- روش ساخت

تمام مواد مورد نیاز برای ساخت نانوسیمهای وانادات بیسموت، از شرکت مرک و با خلوص بالا تهیه شدند. ابتدا، ۱ میلی مول از وانادیوم پنتوکسید (V_2O_5) و ۲ میلی مول سدیم سولفات (Na_2SO_4) به ۴۰ میلی لیتر آب یون زدایی شده اضافه شده و در دمای اتاق، هم زده شد تا محلول یکنواختی حاصل شود. سپس محلول به اتوکلاوی با ظرفیت ۱۰۰ میلی لیتر منتقل شد. اتوکلاو درون آون با دمای ۱۸۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفت. رسوب به دست آمده پس از جداسازی با گریزانه، با الکل و آب یون زدایی شده شستشو داده شده و به مدت ۲۰ ساعت در آون با دمای ۶۰ درجه سانتی گراد خشک شد تا نانوسیمهای $\text{Na}_2\text{V}_6\text{O}_{16} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ به دست آید. در ادامه محلولی حاوی ۴۰ میلی لیتر الکل و ۱۰ میلی لیتر آب یون زدایی شده تهیه شد. ۱۳۲ میلی گرم از نانوسیمهای $\text{Na}_2\text{V}_6\text{O}_{16} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ و ۵۸۲ میلی گرم بیسموت نیترات ۵ آبه ($\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) به این محلول افزوده شد. پس از هم زدن، محلول به اتوکلاو ۱۰۰ میلی لیتر منتقل شده و به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد قرار گرفت تا نانوسیمهای $\text{Na}_2\text{V}_6\text{O}_{16} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ به نانوسیمهای وانادات بیسموت (BiVO_4) تبدیل شوند. نانوسیمهای وانادات بیسموت با گریزانه جداسازی شده، چندین بار با آب یون زدایی شده و الکل شسته شدند و در نهایت، در آون با دمای ۵۰ درجه سانتی گراد به مدت ۱۰ ساعت خشک شدند [۲۳].

۲-۲- بررسی فعالیت فوتوکاتالیستی

فعالیت فوتوکاتالیستی نانوسیمهای وانادات بیسموت تحت تابش نور مرئی برای تجزیه رنگ قرمز کنگو مورد بررسی قرار

¹ Photolysis



شکل ۲. تصویر FESEM از نانوسیم‌های وانادات بیسموت (a) و نمودار توزیع اندازه طول (b) و قطر (c) نانوسیم‌ها.

۳-۳ - آنالیز EDS

تصویر EDS نانوسیم‌ها در شکل (۳) آورده شده است. این آنالیز برای تحلیل عناصر موجود در نانوسیم‌ها انجام شد. در این طیف عناصر Bi, O و V مربوط به BiVO_4 است و اثری از عنصر ناخالصی دیده نشد. مقادیر درصد وزنی و اتمی عناصر Bi, O و V در جدول درون شکل آمده است.

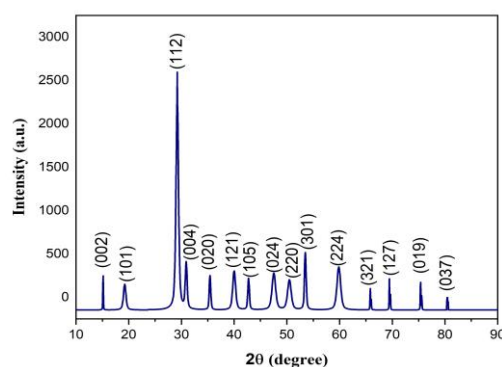
ساختاری نمونه‌ها با فاز تک‌میل یعنی ثابت‌های شبکه a, b و c، زاویه γ و حجم سلول واحد (V_m) از طریق روابط (۲) و (۳) تعیین شدند [۲۵].

$$D = \frac{0.9 \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

$$\frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2} = \frac{1}{d_{hkl}^2} \quad (2)$$

$$V_m = abc \sin \gamma \quad (3)$$

لازم به ذکر است که $\lambda = 1.5418 \text{ \AA}$ طول موج پرتوی ایکس با لامپ آند مس است. θ زاویه پراش و β پهنای قله در نصف ارتفاع بیشینه (FWHM) است. برای نانوسیم‌های وانادات بیسموت، مقادیر متوسط اندازه بلورکها، ثابت‌های شبکه a, b, c و زاویه γ و حجم سلول واحد به ترتیب برابر 31.22 nm ، $5.19 \text{ \AA}$ ، $11.62 \text{ \AA}$ ، 90.56° و $30.817 \text{ \AA}^3$ حاصل شد که با مرجع شماره ۲۶ هم‌خوانی دارد [۲۶].

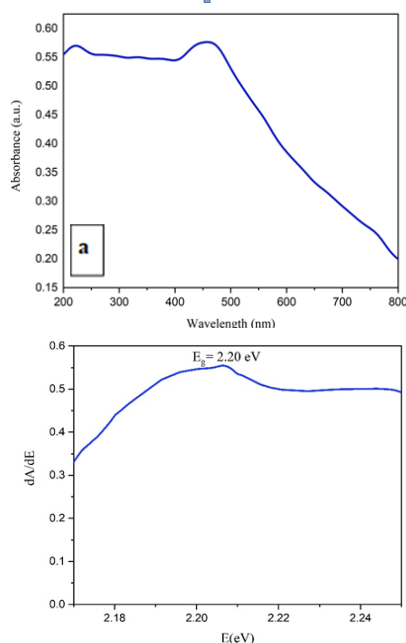


شکل ۳. الگوی پراش پرتو ایکس نانوسیم‌های وانادات بیسموت.

۳-۲ - بررسی تصویر FESEM

تصویر FESEM نانوسیم‌های وانادات بیسموت و نمودار توزیع اندازه طول و قطر نانوسیم‌ها در شکل (۲) نشان داده شده است. متوسط اندازه طول و قطر و نانوسیم‌ها به ترتیب برابر 2.3 میکرومتر (2300 نانومتر) و 83 نانومتر حاصل شد و خطای اندازه‌گیری حدود $\pm 5 \text{ نانومتر}$ است.

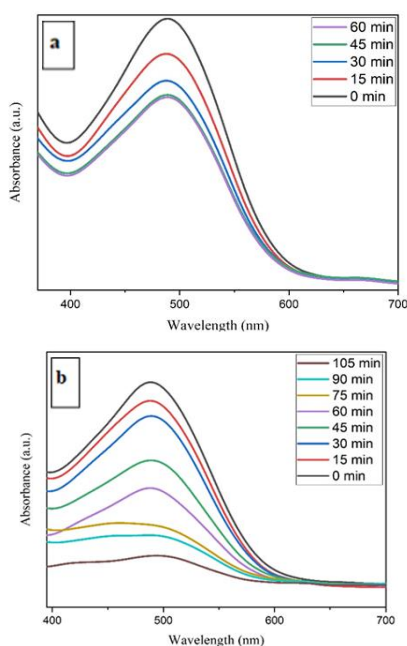
بیشینه حدود ۵۶۴ nm حاصل شد که در محدوده نور مرئی قرار داشته و با نتایج مرجع شماره ۳۱ همخوانی دارد [۳۱].



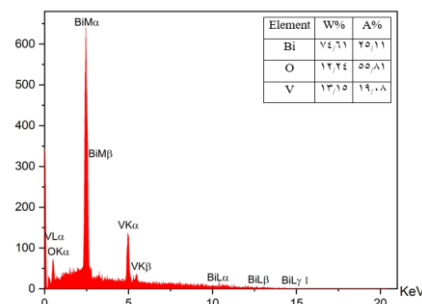
شکل ۵. طیف جذب (a) و نمودار مشتق اول جذب برای محاسبه شکاف نوری نانوسیمهای وانادات بیسموت (b).

۳-۶- بررسی خاصیت فوتوکاتالیستی

طیف‌های جذبی UV-Vis حاصل از عملکرد فوتوکاتالیستی نانوسیمهای وانادات بیسموت در مرحله تاریکی و روشنایی در شکل (۶) آورده شده است.



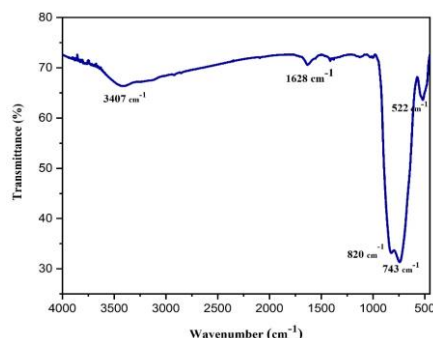
شکل ۶. فعالیت فوتوکاتالیستی نانوسیمهای وانادات بیسموت برای تجزیه رنگ قرمز کنگو در مرحله تاریکی (a) و روشنایی (b).



شکل ۳. آنالیز EDS نانوسیمهای وانادات بیسموت.

۳-۴- طیف سنجی FTIR

شکل (۴)، طیف FTIR نانوسیمهای وانادات بیسموت را در گستره 400 cm^{-1} تا 4000 cm^{-1} نشان می‌دهد. قله جذبی در حدود 3407 cm^{-1} و 1628 cm^{-1} مربوط به ارتعاشات کششی و خمشی مولکولهای H_2O جذب شده روی سطح ماده است. در محدوده 640 cm^{-1} تا 860 cm^{-1} و در حدود 522 cm^{-1} ، قله‌های جذبی اصلی ماده مشاهده می‌شوند. تمام این قله‌ها مربوط به ارتعاشات کششی Bi-O ، V-O-V و V-O در وانادات بیسموت با فاز بلوری تک میل است [۲۷،۲۵].



شکل ۴. آنالیز FTIR نانوسیمهای وانادات بیسموت.

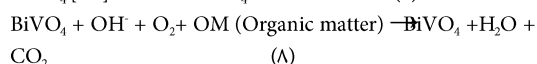
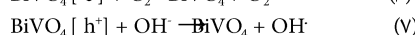
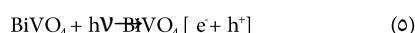
۳-۵- طیف سنجی UV-Vis

از طیف‌سنج UV-Vis، برای به دست آوردن طیف جذبی نانوسیمهای وانادات بیسموت استفاده شد. وانادات بیسموت در دسته مواد نیم‌رسانا قرار دارد و دارای شکاف مستقیم است [۲۸]. یکی از راه‌های به دست آوردن شکاف انرژی نوری

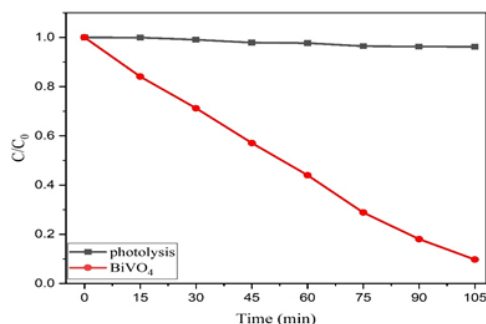
استفاده از رابطه تاک $(\alpha h\nu = A (h\nu - E_g)^{1/2})$ است [۲۹]. در این رابطه $h\nu$ انرژی فوتون‌های فرودی، α ضریب جذب نوری، A مقدار ثابت و E_g اندازه شکاف نوری است. مقدار n وابسته به نوع انتقال نوری است که برای شکاف مستقیم برابر ۱ است. رسم خط در روش تاک قابل انعطاف است و با خطا همراه است؛ پس، برای بالا بردن دقت، از روش مشتق اول جذب (dA/dE) برای به دست آوردن شکاف انرژی نوری نمونه‌ها استفاده شد [۳۰]. شکل (۵)، محاسبه شکاف انرژی را نشان می‌دهد. شکاف نوری وانادات بیسموت 2.20 eV الکترون ولت به دست آمد و با استفاده از رابطه $E = hc/\lambda$ ، طول موج جذب

وانادات بیسموت جهت تجزیه رنگ قرمز کنگو استفاده شده باشد، جهت مقایسه یافت نشد. البته در سایر پژوهش‌ها از نانوساختارهای متفاوت این ترکیب برای تجزیه رنگ قرمز کنگو استفاده شده است. در پژوهش‌های قبلی ما، تجزیه رنگ قرمز کنگو توسط نانوذرات وانادات بیسموت و چندسازه نانوسیم‌های فریت روی/نانوذرات وانادات بیسموت بررسی شد که در هر دو مورد از لامپ زنون با توان ۱۰۰ وات استفاده شده و مقدار ۶۰ میلی‌گرم از فوتوکاتالیست به ۱۰۰ میلی‌لیتر رنگ قرمز کنگو با غلظت ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر اضافه شد. ثابت سرعت تجزیه رنگ در مدت زمان ۱۰۵ دقیقه برای نانوذرات وانادات بیسموت، برابر 0.110 min^{-1} [۲۲] و برای نانوجندسازه نانوسیم‌های فریت روی/نانوذرات وانادات بیسموت با مقدار ۲۰ درصد وزنی فریت روی برابر 0.180 min^{-1} حاصل شد [۲۵]. در پژوهش دیگری، اثر حضور H_2O_2 بر فعالیت فوتوکاتالیستی نانوذرات وانادات بیسموت برای تجزیه رنگ قرمز کنگو بررسی شد، زیرا استفاده از H_2O_2 موجب افزایش رادیکال هیدروکسیل و بهبود فعالیت فوتوکاتالیستی می‌شود و با استفاده از لامپ ۴۰۰ وات و افزودن مقدار ۱۰۰ میلی‌گرم فوتوکاتالیست به ۱۰۰ میلی‌لیتر رنگ قرمز کنگو با غلظت ۵ میلی‌گرم بر لیتر، ثابت سرعت تجزیه رنگ قرمز کنگو در مدت زمان ۹۰ دقیقه برابر 0.0022 min^{-1} به دست آمد [۳۵]. اما در این پژوهش، با استفاده از لامپ زنون ۱۰۰ وات و افزودن ۳۵ میلی‌گرم از فوتوکاتالیست به ۱۰۰ میلی‌لیتر رنگ قرمز کنگو با غلظت ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر و در مدت زمان ۱۰۵ دقیقه، ثابت سرعت تجزیه رنگ قرمز کنگو توسط نانوسیم‌های وانادات بیسموت برابر 0.184 min^{-1} حاصل شد که نشانگر بهبود فعالیت فوتوکاتالیستی برای تجزیه رنگ قرمز کنگو با استفاده از نانوسیم‌های وانادات بیسموت است.

هنگامی که نانوسیم‌های وانادات بیسموت با فازتک میل به آلایندگی‌های آلی (رنگ) افزوده شده و تحت تابش نور مرئی قرار می‌گیرند، نانوسیم‌ها تابش را جذب می‌کنند که در اثر آن الکترون‌ها از نوار ظرفیت به نوار رسانش رفته و در سطح کاتالیست، جفت الکترون-حفره ایجاد می‌شود. سپس، الکترون‌های نوار رسانش با مولکول‌های اکسیژن اندرکنش داده و رادیکال سوپراکسید حاصل شده و حفره‌های موجود در نوار ظرفیت، OH^- را به رادیکال هیدروکسیل تبدیل می‌نمایند. در بیان کلی، معادلات زیر بیانگر فعالیت فوتوکاتالیستی وانادات بیسموت با مواد آلی هستند [۲۹].



شکل (۷)، نشان دهنده مقدار تجزیه رنگ قرمز کنگو توسط نانوسیم‌های وانادات بیسموت است. در این نمودار C_0 و C_t غلظت آلایندگی در زمان t و غلظت اولیه آلایندگی را نشان می‌دهد. به علت اثر بسیار کم آزمایش فوتولیز، از تأثیر آن در فرایند فوتوکاتالیستی صرف نظر شد.

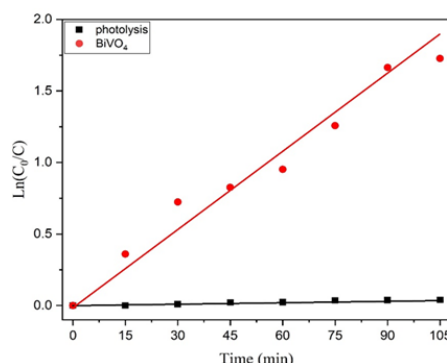


شکل ۷. مقدار تجزیه رنگ قرمز کنگو توسط نانوسیم‌های وانادات بیسموت.

برای سرعت تجزیه فوتوکاتالیستی آلایندگی، از مدل سینتیکی مرتبه اول (۴) استفاده شد [۲۵].

$$-\ln \frac{C}{C_0} = kt \quad (4)$$

K ، ثابت سرعت تجزیه رنگ است. شکل (۸)، نمودار سرعت تجزیه فوتوکاتالیستی رنگ قرمز کنگو با نانوسیم‌ها است. خطی شدن نمودار نشان می‌دهد که تجزیه رنگ قرمز کنگو با نانوسیم‌های وانادات بیسموت به خوبی از سینتیک مرتبه اول تبعیت می‌کند و ثابت سرعت تجزیه رنگ برابر 0.184 min^{-1} حاصل شد.



شکل ۸. نمودار $\ln(C_0/C_t)$ - t برای تجزیه فوتوکاتالیستی رنگ قرمز کنگو توسط نانوسیم‌های وانادات بیسموت.

از بررسی‌ها معلوم شد که پژوهش‌های انجام شده در مورد نانوسیم‌های وانادات بیسموت بیشتر در مواردی مانند تولید هیدروژن [۳۲]، فوتوکاتالیستی گاز CO_2 [۳۳] و سلول خورشیدی [۳۴] است و پژوهشی که در آن از نانوسیم‌های

۴. نتیجه گیری

در این پژوهش، نانوسیم‌های وانادات بیسموت (BiVO_4) با فاز تکمیل، به روش حرارتی ساخته شدند. الگوی پراش پرتوی ایکس نشانگر تشکیل فاز تکمیل برای نانوسیم‌ها است. از آنالیزهای EDS و FTIR مشخص شد که نانوسیم‌ها حاوی عنصر ناخالصی نیستند. بررسی تصویر FESEM نشان داد که متوسط اندازه طول و قطر نانوسیم‌ها به ترتیب برابر ۲/۳ میکرومتر و ۸۳ نانومتر است. آنالیز UV-Vis شکاف نوری ۲/۲۰ الکترون ولت را در محدوده نور مرئی نشان داد. بررسی فعالیت فوتوکاتالیستی نانوسیم‌های وانادات بیسموت در تجزیه رنگ قرمز کنگو نشان داد که این ماده گزینه مناسبی برای استفاده فوتوکاتالیستی و تجزیه مواد آلی به کمک نور خورشید است.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله بدینوسیله مراتب قدردانی و تشکر خود را از دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز بواسطه پشتیبانی از این کار اعلام می‌دارند.

۵. منابع

- [1] L.E. Gomes, L. F. Plaça, W. S. Rosa, R. V. Gonçalves, S. Ullah, H. Wender, *Photochem*, 2, 866-879, (2022).
- [2] P. Arunachalam, K. Nagai, M. S. Amer, M. A. Ghanem, R. J. Ramalingam, A. M. Al-Mayouf, *Catalysts*, 11, 1-27, (2021).
- [3] A. Kudo, K. Omori, H. Kato, *Journal of the American Chemical Society*, 121, 1459-11467, (1999).
- [4] M.H.M. Rodrigues, K. C. M. Borges, A.C.M. Tello, R.A. Roca, R. F. Gonçalves, A. B.F. Silva, E. Longo, M. J. Godinho, *Materials Chemistry and Physics*, 296, 127198, (2023).
- [5] L.Wang, X. Shi, Y. Jia, H. Cheng, L. Wang, Q. Wang, *Chinese Chemical Letters*, 32, 1869-1878, (2021).
- [6] A. Malathi, J. Madhavan, M. Ashokkumar, P. Arunachalam, *Applied Catalysis A*, 555, 47-74, (2018).
- [7] V. T. Pham, B. T. T. Dao, H.T. T. Nguyen, N. Q. Tran, D. T. Le Hang, N. D. Trung, T. Lee, L. G. Bach, T. D. Nguyen, *Topics in Catalysis*, 66, 2-11, (2023).
- [8] X. Zhang, W. Li, W. Jiang, Y. Xu, J. Liang, Q. Wu, L. Miao, *Processing and Application of Ceramics*, 16, 335-340, (2022).
- [9] Z. Liang, Y. Cao, H. Qin, D. Jia, *Materials Research Bulletin*, 84, 397-402, (2016).
- [10] R. Vignesh, V.P.B. Mathy, G.V. Geetha, R. Sivakumar, C. Sanjeeviraja, *Materials Letters*, 285, 129200, (2021).
- [11] Y.M. Hunge, A. Uchida, Y. Tominaga, Y. Fujii, A.A. Yadav, S.W. Kang, N. Suzuki, I. Shitanda, T. Kondo, M. Itagaki, M. Yuasa, S. Gosavi, A. Fujishima, C. Terashima, *Catalysts*, 11, 460, (2021).
- [12] T. Sharifi, D. Crmaric, M. Kovacic, M. Popovic, M. K. Rokovic, H. Kusic, D. Jozić, G. Ambrozić, D. Kralj, J. Kontrec, B. Zener, U. L. Stangar, D. D. Dionysiou, A. L. Bozic, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9, 106025, (2021).
- [13] M. Imran, A.B. Yousaf, M. Farooq, P. Kasak, *International Journal of Hydrogen Energy*, 47, 8327-8337, (2022).
- [14] Z. Wei, T. Xinyue, W. Xiaomeng, D. Benlin, Z. Lili, X. Jiming, F. Yue, S. Ni, Z. Fengxia, *Chemical Engineering Journal*, 361, 1173-1181, (2019).
- [15] W. Li, D. Kong, T. Yan, M. Shi, D. Kong, Y. Feng, Z. Jing, J. You, *Journal of Solid State Chemistry*, 286, 121296, (2020).
- [16] H.E.A. Mohamed, B.T. Sone, S. Khamlich, E. Coetsee-Hugo, H.C. Swart, T. Thema, R. Sbiaa, M.S. Dhlamini, *Materials Today*, 36, 328-335, (2021).
- [17] N.D. Van, N.P. Thuy, V.N. Hanh, D.T. Loan, D.B. Vuong, T.T. Thao, H.T. Khuyen, *Proceedings*, 136, 109136, (2022).
- [18] B. Rahimi, A. Ebrahimi, N. Mansouri, N. Hosseini, *Global Journal of Environmental Science and Management*, 5, 43-60, (2019).
- [19] M. M. Sajid, S.Bashir Khan, Y. Javed, N. Amin, Z. Zhang, N. Akhtar Shad, H. Zhai, *Applied Catalysis B: Environmental*, 28, 35911-35923, (2021).
- [20] D. Karthigaimuthu, S. Ramasundaram, P. Nisha, B. Arjun Kumar, J. Sriram, G. Ramalingam, P. Vijaibharathy, T. Hwan Oh, T. Elangovan, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 308, 136406, (2022).
- [21] B. Fu, H. Sun, J. Liu, T. Zhou, M. Chen, Z. Cai, D. Hao, X. Zhu, *ACS Omega*, 7, 26201-26210, (2022).
- [22] N. Ghazkoob, M. Zargar Shoushtari, I. Kazeminezhad, S. M. Lari Baghal, *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy (IJCM)*, 28, 797-806, (2020).
- [23] F. Q. Zhou, J. C. Fan, Q. J. Xu, Y. L. Min, *Applied Catalysis B: Environmental*, 201, 77-83, (2017).
- [24] M. Harja, G. Buema, D. Bucur, *Scientific Reports*, 12, 6087 (2022).
- [25] N. Ghazkoob, M. Zargar Shoushtari, I. Kazeminezhad, S.M. Lari Baghal, *Journal of Alloys and Compounds*, 900, 163467, (2022).
- [26] F. Dong, Q. Wu, J. Ma, Y. Chen, *physica status solidi (a)*, 206, 59-63, (2009).
- [27] S. Obregon, G. Colon, *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 376, 40-47, (2013).
- [28] V. Jayaraman, C. Ayappan, A. Mani, *Chemosphere*, 287, 132055, (2022).
- [29] S. Liu, H. Zhou, G. Dai, W. Wang, *Applied Surface Science*, 391, 542-547, (2017).



- [30] R. Ji, Z. Zhao, X. Yu, M. Chen, Optik, 181, 796-801, (2019).
- [31] V.H. Nguyen, Q.T.P. Bui, D.V.N. Vo, K.T. Lim, L.G. Bach, S.T. Do, T.V. Nguyen, V.D. Doan, T.D. Nguyen, T.D. Nguyen, Materials, 12, 1-19, (2019).
- [32] Y. Yang, S. Wan, S. Li, R. Wang, M. Ou, B. Liud, Q. Zhong, Journal of Materials Chemistry A, 11, 1756-1765, (2023).
- [33] S. Yue, L. Chen, M. Zhang, Z. Liu, T. Chen, M. Xie, Z. Cao, W. Han, Nano-Micro Letters, 14, 15, (2022).
- [34] A. R. Bielinski, A. J. Gayle, S. Lee, N. P. Dasgupta, ACS Applied. Materials. Interfaces, 13, 52063-52072, (2021).
- [35] A.M. Umabala, P. Suresh, A.V. Prasada Rao, Journal of Applicable Chemistry, 5, 248-254, (2016).



Synthesize and study of structural, optical and photocatalytic properties of bismuth vanadate nanowires

N. Ghazkoob^{*1}, M. Naderi²

1. Department of Physics, Faculty of Basic Sciences, Ahvaz Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

2. Department of Physics, Faculty of Basic Sciences, Islamic Azad University of Ramhormoz, Ramhormoz, Iran

Abstract: In this research, bismuth vanadate (BiVO_4) nanowires were made by hydrothermal method. To study the crystal structure, morphology, optical and photocatalytic properties of the samples, the X-ray diffraction analysis (XRD), field emission scanning electron microscopy (FESEM), energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS), Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) and ultraviolet- visible spectroscopy (UV-Vis) were used. The XRD patterns were indicated that the bismuth vanadate nanowires have a monoclinic structure. From EDS and FTIR analysis, it was found that nanowires do not contain impurities. From FESEM image, it was found that the average length and diameter of nanowires are 2.3 micrometers and 83 nanometers, respectively. The UV-Vis analysis was revealed the bismuth vanadate nanowires have an optical gap of 2.20 eV, which is in the visible light range. Investigating the photocatalytic activity of bismuth vanadate nanowires in the photodegradation of Congo red showed that bismuth vanadate nanowires are suitable choice for photocatalytic use and decomposition of organic matter with the help of sunlight.

Keywords: Metal-organic frameworks; nanomaterials; food safety; packaging; product authenticity