



استفاده از روشهای اسپکتروسکوپی برای آنالیز ساختاری نانوذرات مونوکلینیک بیسموت وانادات (BiVO_4) با مورفولوژی مختلف در تجزیه نوری رنگدانه رودامین بی (Rhodamine B)

امید نیازمند^۱، مجید مظفری^{۲*}

^۱گروه شیمی، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان، ایران

^۲گروه شیمی، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران

تاریخ ثبت اولیه: ۱۳۹۶/۰۱/۲۰، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۱۳۹۶/۰۳/۳۰، تاریخ پذیرش قطعی: ۱۳۹۶/۰۴/۰۵

چکیده

در این تحقیق نانو ذرات بیسموت وانادات BiVO_4 با استفاده از تمپلت‌هایی نظیر تریپتوفان، گلايسين، دی متیل اکریل آمید و پلی اتیلن گلیکول در شرایط یکسان pH و دما به صورت واکنش‌های تک ظرف تهیه گردید. نمونه‌ها توسط روشهای فیزیکی و شیمیایی از قبیل طیف سنجی بازتاب نفوذی (DRS)، طیف سنجی رامان (RAMAN)، میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) و پراش پرتو ایکس (XRD) شناسایی شدند. با توجه به اندازه گاف انرژی به دست آمده از بررسی‌های طیف DRS، این ترکیبات گزینه‌های مناسبی برای تجزیه نوری آلاینده‌های آلی تحت شرایط نور مرئی هستند. رودامین بی به عنوان یکی از آلاینده‌های صنعتی که پایداری زیادی نیز دارد به عنوان آلاینده هدف انتخاب گردید. همه نمونه‌های تهیه شده بازده مناسبی در رنگ زدایی رودامین بی از خود نشان دادند، اما نمونه BiVO_4 تهیه شده با پلی اتیلن گلیکول در مدت زمان حدود ۳۰۰ دقیقه، pH برابر ۷ و غلظت ۰/۲ گرم بر لیتر از فوتوکاتالیزور، بهترین عملکرد را در تخریب و رنگ زدایی رودامین بی داشت. نتیجه حاصل از داده‌های بدست آمده بیانگر این موضوع است که بیسموت وانادات سنتز شده با پلی اتیلن گلیکول به دلیل ساختار خاص و سطح مقطع زیاد توانایی فوتوکاتالیستی بیشتری نسبت به سایر ترکیبات سنتز شده دارا می باشد.

واژه‌های کلیدی: بیسموت وانادات، BiVO_4 ، پلی اتیلن گلیکول، گلايسين، تریپتوفان، تخریب و رنگ زدایی رودامین بی، فوتوکاتالیزور نور مرئی

۱. مقدمه

فناوری نانو یا نانو تکنولوژی رشته‌ای از دانش کاربردی و فناوری است که مباحث گسترده‌ای را پوشش می‌دهد. موضوع اصلی آن نیز مهار ماده یا دستگاه‌های در ابعاد کمتر از یک میکرومتر، معمولاً حدود ۱ تا ۱۰۰ نانومتر است. نانو فناوری یک دانش به شدت

*عهده دار مکاتبات: مجید مظفری

نشانی: شاهرود - دانشگاه آزاد اسلامی - دانشکده علوم پایه - گروه شیمی

پست الکترونیک: md_mozaffari2006@yahoo.com

تلفن: ۰۹۱۲۱۷۳۳۷۰۷

میان رشته‌ای است و به رشته‌هایی چون مهندسی مواد، پزشکی، داروسازی و طراحی دارو، دامپزشکی، زیست‌شناسی، فیزیک کاربردی، ابزارهای نیم رسانا، شیمی و حتی مهندسی مکانیک مهندسی برق و مهندسی شیمی نیز مربوط می‌شود. تحلیل گران بر این باورند که فناوری نانو، فناوری زیستی و فناوری اطلاعات سه قلمرو علمی هستند که انقلاب سوم صنعتی را شکل می‌دهند. بعد از گذشت ۲۰ سال از تحقیقات اصلی علم نانو و ۱۰ سال از تحقیق و توسعه متمرکز، نانو فن آوری کمک قابل ملاحظه‌ای به بهبود بسیاری از بخش‌های تکنولوژی و صنعت نموده است [۱].

رفع آلاینده‌های محیط‌زیست در دهه‌های اخیر توجه خیلی از دانشمندان و محققان را به خود معطوف کرده است، آن‌ها در پی یافتن روش‌های مؤثر، ساده و درعین حال کم‌هزینه برای از بین بردن این آلودگی‌های موجود در آب‌های سطحی، زیرزمینی، پساب‌های صنعتی و همچنین بازیافت آب‌های مصرفی بوده‌اند [۲]. اغلب آلاینده‌های موجود در محیط‌زیست از نوع ترکیبات آلی هستند که غالباً طی فرایندهای اکسایشی قابل تجزیه می‌باشند [۳]. برای اولین بار در سال ۱۹۷۷ توسط بارد^۱ و فرانک^۲ آزمایش تخریب سیانید در آب در حضور تیتانیوم اکسید انجام شد، از آن‌پس تاکنون از نیمه‌رساناها به منظور پاک‌سازی محیط‌زیست استفاده شده است. در طی بیست سال گذشته، فرایندهای اکسایشی پیشرفته بسیار مورد توجه بوده‌اند. در این فرایندها از واکنش‌پذیری زیاد رادیکال‌های ناپایدار به‌ویژه رادیکال‌های آزاد هیدروکسیل جهت تخریب آلاینده‌ها و تبدیل آن‌ها به مواد بی‌ضرر معدنی نظیر کربن دی‌اکسید، آب و نمک‌های معدنی استفاده می‌شود [۴].

مکانیسم‌های اکسایشی پیشرفته به دو صورت فرایندهای فوتوکاتالیزوری همگن^۳ و غیر همگن^۴ انجام می‌شود که هر دو مکانیسم بر پایه تابش نور می‌باشد. سیستم همگن برای برخی ترکیبات با استفاده از هیدروژن پراکسید، اوزون و تابش ماورابنفش-مرئی است، در صورتی که در واکنش‌های غیر همگن معمولاً از تابش ماورابنفش-مرئی و نیمه رسانایی تیتانیوم اکسید، روی اکسید، روی سولفید و.... استفاده می‌شود. در فن آوری جدید از ترکیبات نیمه‌رسانا به‌عنوان فوتوکاتالیزور در حضور تابش نور استفاده می‌شود که این فرایند نوراکسایشی^۵ نامیده می‌شود [۵]. در مواد نیمه‌رسانا، سطح کاتالیزورها با جذب نور با انرژی کافی، زوج الکترون-حفره را به وجود می‌آورند. الکترون و حفره‌های تولیدشده متعاقباً در سطح فوتوکاتالیزور، رادیکال‌های هیدروکسیل و سوپراکسید را ایجاد می‌نمایند و در نهایت این رادیکال‌ها منجر به اکسید شدن ماده آلی و حذف آن می‌گردد [۶]. از مزایای این روش امکان اجرای آن در شرایط محیطی و امکان حذف کامل مواد آلی و تبدیل آن به مواد بی‌ضرر است.

در سالهای اخیر مطالعات فراوانی درباره ترکیبات فوتوکاتالیزور جایگزین TiO_2 برای تخریب آلاینده‌ها صورت گرفته است [۷-۸]. از جمله راهکارهای مطرح شده، توسعه نسل جدیدی از کاتالیزورهای اکسیدی فعال تحت تابش نور مرئی است. بیسموت وانادات

¹ Bard

² Frank

³ Homogeneous

⁴ Heterogeneous

⁵ Photo Oxidation Process

(BiVO₄) در زمره ترکیبات مطرح شده در این زمینه است. خصوصیات فوتوکاتالیزوری و نیز حسگری این ترکیب طی دهه اخیر مورد توجه قرار گرفته است.

نانوذرات BiVO₄ علاوه بر غیرسمی بودن و سازگاری با محیط زیست دارای مزایای زیادی نیز است که عبارتند از: اسیدیته مناسب، پایدار بودن در برابر خوردگی و پایداری شیمیایی و حرارتی بالا. همچنین، BiVO₄ به عنوان فوتوکاتالیزوری موثر در ناحیه طیفی مرئی شناخته شده است و در سال های اخیر، به طور گسترده ای در حل مشکلات زیست محیطی مورد استفاده قرار گرفته است [۹]. در چند دهه گذشته تحقیقات تمرکز بیشتری در به کارگیری فوتوکاتالیزورهای موثرتر برای تخریب آلاینده های آلی داشته است [۱۰]. در حال حاضر توسعه فوتوکاتالیزورهای تحت شرایط نور مرئی اهمیت بیشتری دارد [۱۱]. بیسموت وانادات با گاف نواری ۲/۴ الکترون ولت، یک فوتوکاتالیزور فعال در نور مرئی می باشد. گزارشات بسیاری با بیسموت وانادات اصلاح شده با فلزات یا اکسید فلزات مختلف وجود دارد [۱۲-۱۳]. در بین فوتوکاتالیزورهای بیسموت وانادات با ساختارهای متفاوت، آن دسته دارای قابلیت بیشتری هستند که دارای ساختارهایی ریزتر و با سطح مقطع بیشتری می باشند [۱۴].

۲. بخش تجربی

۲-۱. مواد و روش ها

مواد شیمیایی و حلال های مورد استفاده در این تحقیق عبارتند از:

آمونیم مونو وانادات (NH₄VO₃, Merck)، بیسموت نترات (Bi(NO₃)₃.5H₂O, Merck)، آکریل آمید (C₃H₅NO, Merck)، N,N-متیلن دی آکریل آمید (C₇H₁₀N₂O₂, Merck)، تریپتوفان (C₁₁H₁₂N₂O₂, Merck)، گلیسین (C₂H₅NO₂, Merck)، پلی اتیلن گلیکول (PEG 4000, Sigam-Aldrich)، آمونیاک (NH₃, Merck)، اسید نیتریک غلیظ (HNO₃, Merck)، رنگ دانه رودامین بی و آب مقطر.

۲-۲. روش تهیه بیسموت وانادات به روش پلی آکریل آمید

۱ گرم بیسموت نترات را در ۵ میلی لیتر آب مقطر اسیدی شده با ۶ تا ۸ قطره نیتریک اسید غلیظ، حل کرده و محلول را تحت شرایط هم زدن به مدت ۳۰ دقیقه به دمای ۴۰ درجه سانتیگراد می رسانیم. ۱ گرم N,N-متیلن دی آکریل آمید و مقدار ۰/۲۳ گرم آمونیوم مونووانادات به محلول فوق که pH آن برابر ۲ است، اضافه می کنیم. رسوب قهوه ای آجری رنگ تشکیل شده و پس از ادامه واکنش رنگ آن کم کم به رنگ زرد و در نهایت پس از ۳۰ دقیقه، رسوب نهایی به رنگ زرد-نارنجی درآمد. واکنش را در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد و شرایط هم زدن ادامه داده تا ژل نارنجی و غلیظی تشکیل گردد. ژل را در آون تحت دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد خشک نموده و رسوب به دست آمده را کاملاً آسیاب می نمایم. رسوب حاصل را در دمای ۴۵۰ درجه سانتیگراد و به مدت ۳ ساعت تکلیس نموده و ماده حاصل که بیسموت وانادات به رنگ زرد می باشد را برای انجام آزمایش های بعدی جمع آوری می نمایم.

۳-۲. روش تهیه بیسموت وانادات به کمک تریتوفان

شرایط تهیه بیسموت وانادات به کمک مولکول زیستی تریتوفان همانند روش قبل می باشد. با این تفاوت که پس از افزودن تریتوفان رنگ ژل نهایی سبز یشمی بوده و برای تکمیل آن در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد ۱ میلی لیتر محلول آمونیوم پرسولفات با غلظت ۱۰٪ حجمی/وزنی اضافه می کنیم. ماده نهایی پلیمر بسیار تیره و قیر مانند بود که برای تکلیس آن همانند نمونه قبلی عمل کرده و بیسموت وانادات نهایی را جمع آوری می کنیم.

۴-۲. روش تهیه بیسموت وانادات به کمک گلايسين

روش تهیه بیسموت وانادات به کمک مولکول زیستی گلايسين دقیقاً مانند روش تهیه بیسموت وانادات به کمک تریتوفان بوده با این تفاوت که محصول به دست آمده پیش از فرایند تکلیس به رنگ زرد بود که پس از آن به صورت بیسموت وانادات جمع آوری شد.

۵-۲. روش تهیه بیسموت وانادات به کمک تمپلت پلی اتیلن گلیکول

روش تهیه بیسموت وانادات به کمک تمپلت پلی اتیلن گلیکول نیز مانند روش های فوق بوده با این تفاوت که آمونیوم پرسولفات نیز مانند دو روش قبل به ظرف واکنش اضافه نشد و بیسموت وانادات با رنگ زرد-نارنجی، به دست آمده برای آزمایش های بعد جمع آوری و در جای مناسب نگهداری گردید.

۶-۲. واکنش تخریب فوتوکاتالیزوری رودامین بی

در این واکنش ابتدا محلولی از آلاینده رودامین بی با غلظت ۵ میلی گرم در لیتر تهیه شد. در هر آزمایش ۵۰ میلی لیتر از این محلول آلاینده تهیه و به همراه ۲۵ میلی گرم از فوتوکاتالیست تهیه شده داخل ظرف واکنش ریخته شد. ابتدا محلول به همراه فوتوکاتالیزور در تاریکی تحت جریان هوا هم زده شد تا شرایط جذب و واجذب تعادلی در محیط واکنش ایجاد شود و آلاینده بر روی سطح فوتوکاتالیزور جذب سطحی شود، سپس لامپ جیوه فشار بالای W400 روشن گردید و به طور مرتب بعد از هر ۱۰ دقیقه به مقدار ۳ میلی لیتر از محلول آلاینده از داخل محیط واکنش خارج شد. نمونه ها به مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ شدند. سپس طیف جذبی آن در محدوده ۸۰۰-۲۰۰ نانومتر به وسیله دستگاه اسپکترومتری UV-Vis دو پرتویی ثبت گردید و با دنبال کردن مقدار جذب در طول موج ۵۵۵ نانومتر برای رودامین بی مقدار غلظت آن تعیین شد.

بعد از سنتز کامل مواد به اندازه مورد نیاز با توجه به تهیه نانو ذرات مختلف از ابزارهای مختلفی جهت شناسایی و ریخت شناسی این مواد بهره گرفته شده است که در ادامه به نوع و شرکت سازنده و مدل این دستگاه ها اشاره می شود.

۷-۲. دستگاههای مورد استفاده

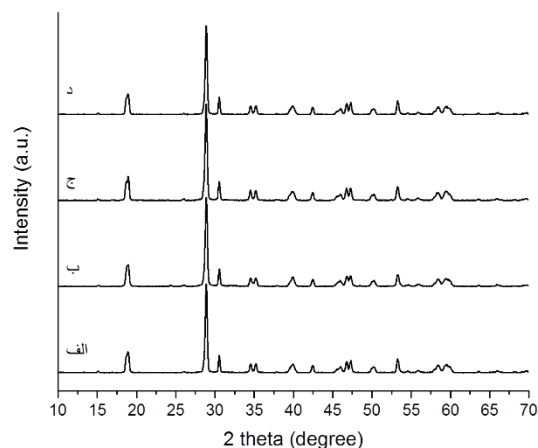
دستگاه طیف سنجی بازتاب نفوذی (DRS) ساخت Sinco مدل S4100 می باشد. طیف های رامان توسط دستگاه طیف سنجی پراکندگی رامان ساخت Nicolet مدل Algema انجام گرفت. عکس های میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) و نشر میدانی

میکروسکوپ الکترونی پویشی (FESEM) به ترتیب با دستگاه KYKY مدل EM3200 و با ولتاژ شتاب دهی ۲۵ KV و دستگاه ZEISS مدل SIGMA VP 500 HD گرفته شده است. دستگاه طیف پراش پرتو ایکس (XRD) ساخت Bruker مدل D8-Advanced با منبع تابشی $\text{Cu K}\alpha_1$ و طول موج برابر با ۰/۱۵۴ نانومتر می باشد. دستگاه طیف اشعه ماوراء بنفش (UV) مدل RAY LEIGH UV-2601 مورد استفاده قرار گرفتند.

۳. نتایج و بحث

۳-۱. شناسایی BiVO_4

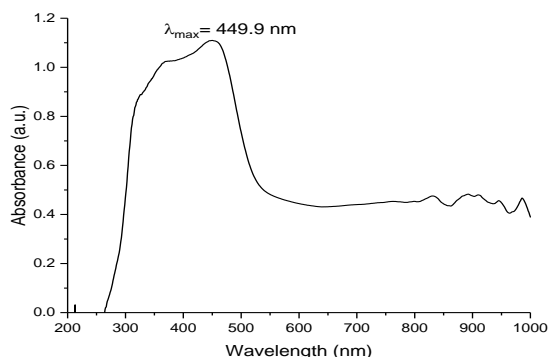
نانو ذرات بیسموت وانادات از طریق چهار روش تقریباً یکسان و تنها با تفاوت در تمپلت تهیه گردید. نمودار (۱) الگوی پراش اشعه ایکس (XRD) این چهار نمونه (با شماره استاندارد ۴۴-۰۰۸۱ monoclinic) را نشان می دهد که کاملاً منطبق بر هم بوده و نشان از نتیجه یکسان از چهار تمپلت متفاوت است. برای برخی شناسایی های دیگر از دو نمونه بیسموت وانادات تهیه شده با تمپلت تریپتوفان و پلی اتیلن گلیکول استفاده گردید. نتایج الگوی پراش اشعه ایکس (XRD) برای تمامی نمونه های تهیه شده نانو ذرات بیسموت وانادات نشان دهنده تشکیل ساختار و درستی تهیه این مواد بود. بلورینگی همه مواد تهیه شده با توجه به شدت و وضعیت پیک های الگوی پراش اشعه ایکس (XRD) در تمامی نمونه ها مناسب بود.



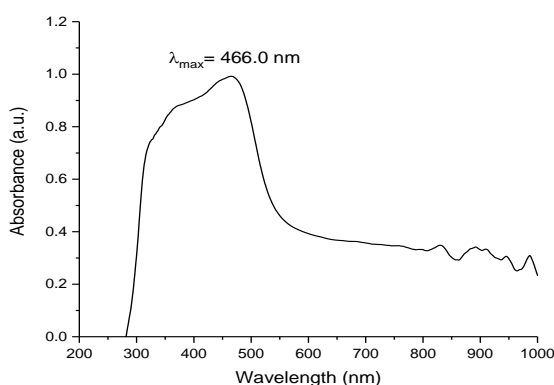
نمودار ۱. الگوی پراش اشعه ایکس (XRD) بیسموت وانادات تهیه شده با تمپلت الف) دی متیل اکریل آمید، ب) تریپتوفان، ج) گلابسین و د) پلی اتیلن گلیکول

طیف های DRS علاوه بر شناسایی مواد از اهمیت بالایی در تعیین گاف انرژی برای ارزیابی فعالیت الکترونی مواد برخوردارند. این گاف انرژی مهم ترین عامل در عملکرد نانو کامپوزیت های تهیه شده به عنوان فوتوکاتالیزورهای آلایندگی صنعتی خواهد بود. لبه جذبی با شیب تند در همه نمونه ها نشان دهنده وجود این گاف بوده و شاخصه مهم در بررسی های آنالیز DRS می باشد. با استفاده از طرح تائوک میتوان این گاف انرژی را محاسبه نمود. در جدول (۱) گاف انرژی دو نمونه تهیه شده که توسط آنالیز DRS بررسی شد آمده است. بیشینه طول موج جذبی عامل موثری در محاسبه این گاف انرژی می باشد. آنالیز DRS از دو نمونه با تمپلت تریپتوفان و پلی اتیلن گلیکول گرفته شد همانطور که در نمودار های (۲ و ۳) مشاهده می شود هر دو نمونه دارای طیف یکسان بوده و جذب

نوری شدیدی هم در ناحیه فرابنفش و هم در ناحیه مرئی نشان می دهند. لبه جذبی با شیب تند نشان دهنده انتقال و عبور الکترون از گاف انرژی بین لایه والانس و لایه رسانش می باشد.



نمودار ۲. طیف UV-Vis DRS بیسموت وانادات تهیه شده در حضور تریتوفان

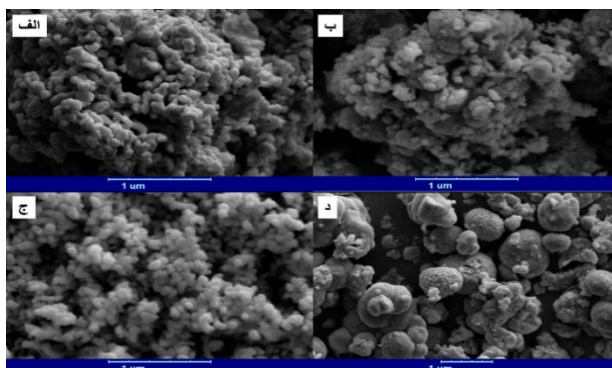


نمودار ۳. طیف UV-Vis DRS بیسموت وانادات تهیه شده در حضور پلی اتیلن گلیکول

جدول ۱. بیشینه طول موج جذبی و گاف انرژی بیسموت وانادات تهیه شده در حضور تریتوفان و پلی اتیلن گلیکول.

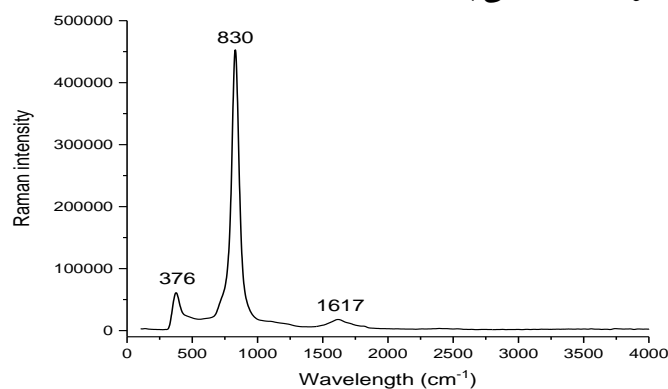
نمونه	تمپلت	بیشینه طول موج جذبی (نانومتر)	گاف انرژی (الکترون-ولت)
BiVO ₄	تریتوفان	۴۵۰	۲/۳۳
BiVO ₄	پلی اتیلن گلیکول	۴۶۶	۲/۲۷

هر چهار نمونه بیسموت وانادات ریخت شناسی سطح و اندازه تقریبی ذرات توسط آنالیز SEM مورد بررسی قرار گرفت. شکل (۱) نشان دهنده تصاویر SEM نمونه های مورد نظر می باشد. هر چهار نمونه در ابعاد نانو بوده و به صورت ذرات به هم چسبیده قابل مشاهده هستند. از عواملی که در این پژوهش در ریخت شناسی ذرات تاثیر دارند و می توان از آنها به عنوان عاملی برای کلوخه شدن یا از بین رفتن کلوخه ها اشاره کرد، عوامل تمپلت، دمای تکلیس و pH محیط می باشد. نمونه تهیه شده با تمپلت گلاسیسین بهترین نتیجه را در تهیه ذرات جدا از هم داشته، در مورد بیسموت وانادات تهیه شده با پلی اتیلن گلیکول این چسبندگی ذرات بیشتر قابل مشاهده است که این نوع ساختار شباهت بسیار زیادی به مرجانهای انگشتی دارد که نشان دهنده سطح مقطع بسیار زیاد آن می باشد.



شکل ۱. تصاویر SEM بیسموت وانادات تهیه شده با تمپلت (الف) دی متیل اکریل آمید، (ب) تریتوفان، (ج) گلايسين و (د) پلی اتیلن گلیکول.

در نمودار ۴ طیف رامان بیسموت وانادات تهیه شده با تمپلت تریتوفان مشاهده می شود. این طیف دارای یک پیک شاخص در عدد موج 830 cm^{-1} و دو پیک با شدت به مراتب کمتر در نواحی 376 cm^{-1} و 1617 cm^{-1} می باشد که مشخصه اصلی بیسموت وانادات می باشد. همچنین عدم وجود پیک در دیگر نواحی طیف به ویژه در ناحیه $500-800 \text{ cm}^{-1}$ ، بیانگر عدم حضور اکسیدهای بیسموت در ترکیب بوده و نشان دهنده خلوص بیسموت وانادات می باشد.



نمودار ۴. طیف رامان بیسموت وانادات تهیه شده با تمپلت تریتوفان

۲-۳. محاسبه گاف نواری

در اکسیدهای مختلط فلزی به فاصله بین سطوح انرژی بالاترین اوربیتال مولکولی اشغال شده (HOMO)^۱ و پائین ترین اوربیتال مولکولی اشغال نشده (LUMO)^۲ گاف انرژی می گویند [۱۵]. که این مقدار را می توان به کمک روش های محاسباتی با استفاده از معادل ۱ تعیین نمود.

$$E_g = E_{\text{LUMO}} - E_{\text{HOMO}} \quad (1)$$

برای اندازه گیری گاف انرژی به روش تجربی ما از رابطه تاوک^۳ استفاده نمودیم [۱۶]، بدین ترتیب که با استفاده از طیف DRS و رسم منحنی $(h\nu\alpha)^2$ بر اساس $h\nu$ و تعیین برون یابی این نمودار، گاف انرژی برای کمپلکس محاسبه شد.

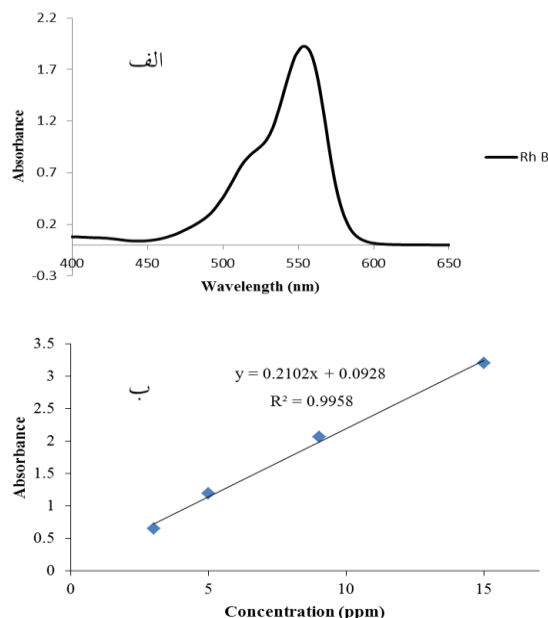
^۱ Highest Occupied Molecular Orbital

^۲ Lowest Unoccupied Molecular Orbital

^۳ Tauc

۳-۳. تخریب فوتوکاتالیزوری رودامین بی

در طیف جذبی آلاینده رودامین بی دو پیک مشخصه در طول موج‌های ۵۱۴ و ۵۵۵ نانومتر مشاهده گردید (نمودار ۵ (الف)) که با دنبال کردن پیک در ۵۵۵ درصد حذف آلاینده توسط فوتوکاتالیزور تعیین شد. بدین صورت که ابتدا نمودار کالیبراسیون از جذب در غلظت‌های مشخص آلاینده ترسیم شد (نمودار ۵ (ب)) و با استفاده از آن و جذب نمونه‌های مجهول غلظت آن‌ها به دست آمد.



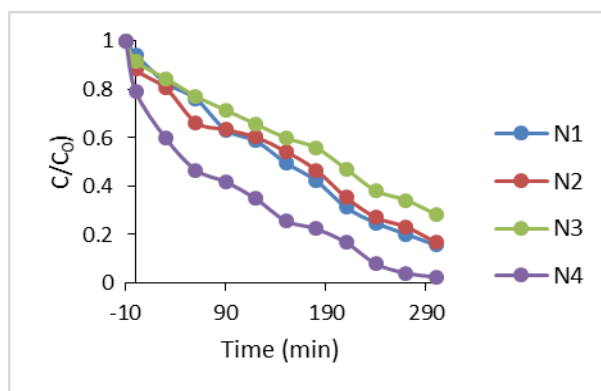
نمودار ۵. (الف) طیف UV-Vis آلاینده رودامین بی، (ب) نمودار کالیبراسیون غلظت آلاینده

۳-۴. بررسی مقدار بهینه فوتوکاتالیزور بر روی تخریب رودامین بی

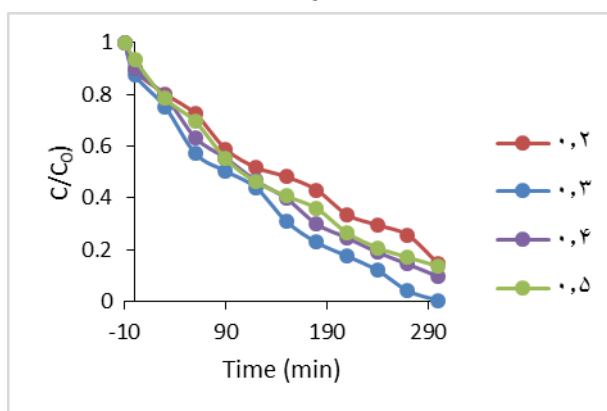
ابتدا برای مشخص نمودن بهترین نمونه بیسموت وانادات برای تخریب فوتوکاتالیزوری رودامین بی در شرایط یکسان آزمایش تخریب صورت گرفت که با توجه به نمودار (۶) نمونه بیسموت وانادات تهیه شده با پلی اتیلن گلیکول بهترین عملکرد را داشت. برای بهینه کردن مقدار فوتوکاتالیزور، نمونه‌هایی که با غلظت‌های مختلفی از بیسموت وانادات مورد نظر تهیه شده بود مورد بررسی قرار گرفت (نمودار ۷). نتایج نشان داد با افزایش میزان کمپلکس از ۰/۲ تا ۰/۳ گرم بر لیتر باعث افزایش سرعت و میزان تخریب می‌گردد، اما با افزایش بیشتر از این مقدار، کاهش در کارایی فوتوکاتالیزور مشاهده گردید. بنابراین نانوذرات بیسموت وانادات تهیه شده با پلی اتیلن گلیکول، بیشترین کارایی را در تخریب رودامین بی داشته است. این نمونه در زمان ۳۰۰ دقیقه قادر به حذف ۱۰۰٪ آلاینده می‌باشد.

۳-۵. بررسی pH بهینه بر روی تخریب رودامین بی

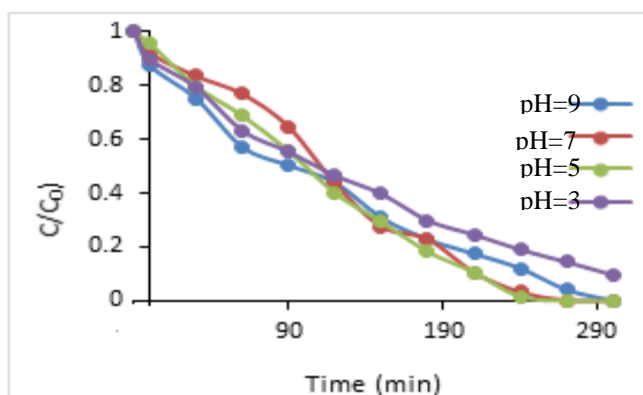
برای رنگ زدایی رودامین بی فرایند فوتوکاتالیزوری با بیسموت وانادات تهیه شده با پلی اتیلن گلیکول در pH های مختلف اسیدی، خنثی و بازی انجام گرفت تا pH بهینه به دست آید. با توجه به نمودار (۸) pH ۵ و ۷ بهترین محیط برای این فرایند می‌باشد. بنابراین در گستره pH ۵ تا ۷ با غلظت ۰/۳ گرم بر لیتر از فوتوکاتالیزور در مدت زمان ۲۷۰ دقیقه رنگ زدایی کامل صورت می‌گیرد.



نمودار ۶. نمودار تخریب رودامین بی در حضور نمونه های N1، N2، N3 و N4 که به ترتیب مربوط به: دی متیل اکریل آمید، تریتوفان، گلابسین و پلی اتیلن گلیکول.



نمودار ۷. نمودار تخریب رودامین بی در حضور غلظت های مختلف نمونه تهیه شده با پلی اتیلن گلیکول.



نمودار ۸. نمودار تخریب رودامین بی در شرایط pH مختلف و در حضور نمونه تهیه شده با پلی اتیلن گلیکول.

۴. نتیجه گیری

در این پژوهش BiVO_4 به عنوان جایگزین مناسبی برای TiO_2 معرفی گردید. استفاده از عوامل پلساز مختلف و ایجاد ساختارهای مولکولی متفاوت از BiVO_4 که فازهای مختلف از ایزومورف های BiVO_4 را منجر می شود، به اهمیت این کار می افزاید.

در پایان فعالیت فوتوکاتالیزوری این ترکیبات برای تخریب آلاینده مهم رودامین بی در شرایط نور مرئی مورد بررسی قرار گرفت که نمونه BiVO_4 تهیه شده در حضور پلی اتیلن گلیکول در میان نمونه ها بهترین نتایج را در غلظت $0/3$ گرم بر لیتر و pH برابر ۵-۷ و مدت زمان ۲۴۰ دقیقه داشت.

۵. مراجع

- [1] Handbook, A.S.M., Composites. *ASM International*, Vol 21 (2001).
- [2] Daneshvar, N., Salari, D., Niaei, A., Rasoulifard, M.H. and Khataee, A.R., Immobilization of TiO_2 nanopowder on glass beads for the photocatalytic decolorization of an azo dye CI Direct Red 23. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 40(8) (2005) 1605-1617.
- [3] Dennison, M.J. and Turner, A.P., Biosensors for environmental monitoring. *Biotechnology advances*, 13(1) (1995) 1-12.
- [4] Herrmann, J.M., Heterogeneous photocatalysis: fundamentals and applications to the removal of various types of aqueous pollutants. *Catalysis today*, 53(1) (1999) 115-129.
- [5] Gaya, U.I. and Abdullah, A.H., Heterogeneous photocatalytic degradation of organic contaminants over titanium dioxide: a review of fundamentals, progress and problems. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 9(1) (2008) 1-12.
- [6] Chong, M.N., Jin, B., Chow, C.W. and Saint, C., Recent developments in photocatalytic water treatment technology: a review. *Water research*, 44(10) (2010) 2997-3027.
- [7] Lopes, O.F., Carvalho, K.T., Nogueira, A.E., Avansi, W. and Ribeiro, C., Controlled synthesis of BiVO_4 photocatalysts: Evidence of the role of heterojunctions in their catalytic performance driven by visible-light. *Applied Catalysis B: Environmental*, 188 (2016) 87-97.
- [8] Liu, W., Zhao, G., Zhang, Y., Dong, M., An, M. and Chang, L., Hydrothermal synthesis of phosphate-doped BiVO_4 with exposed (010) facets and enhanced sunlight-driven photocatalytic properties. *Materials Letters*, 170 (2016) 183-186.
- [9] Yu, Q., Tang, Z.R. and Xu, Y.J., Synthesis of BiVO_4 nanosheets-graphene composites toward improved visible light photoactivity. *Journal of Energy Chemistry*, 23(5) (2014) 564-574.
- [10] Hoffmann, M.R., Martin, S.T., Choi, W. and Bahnemann, D.W., Environmental applications of semiconductor photocatalysis. *Chemical reviews*, 95(1) (1995) 69-96.
- [11] Huizhong, A.N., Yi, D.U., Tianmin, W.A.N.G., Cong, W.A.N.G., Weichang, H.A.O. and Zhang, J., Photocatalytic properties of BiOX (X= Cl, Br, and I). *Rare Metals*, 27(3) (2008) 243-250.
- [12] Guillodo, M., Fouletier, J., Dessemond, L. and Del Gallo, P., Electrical properties of dense Me-doped bismuth vanadate (Me= Cu, Co) pO 2-dependent conductivity determined by impedance spectroscopy. *Journal of the European Ceramic Society*, 21(13) (2001) 2331-2344.
- [13] Xu, H., Li, H., Wu, C., Chu, J., Yan, Y., Shu, H. and Gu, Z., Preparation, characterization and photocatalytic properties of Cu-loaded BiVO_4 . *Journal of Hazardous Materials*, 153(1) (2008) 877-884.

- [14] Zhang, A. and Zhang, J., Synthesis and characterization of Ag/BiVO₄ composite photocatalyst. *Applied Surface Science*, 256(10) (2010) 3224-3227.
- [15] Sahebalzamani, H., A comparative study on FT-IR, conformational and electronic structure of 6-methylpurine. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 128 (2014) 559-566.
- [16] Davis, E.A. and Mott, N., Conduction in non-crystalline systems V. Conductivity, optical absorption and photoconductivity in amorphous semiconductors. *Philosophical Magazine*, 22(179) (1970) 0903-0922.