

# استفاده از نانو ذرات اکسید روی آلاینده شده با سرب برای حذف آلاینده ها رنگی تحت پرتوهای نور مرئی

لادن زمان<sup>۱</sup>، رامین یوسفی<sup>۲\*</sup>، محمد نیایی<sup>۳</sup>  
<sup>۱</sup> و <sup>۲</sup> گروه فیزیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، اهواز، ایران  
<sup>۳</sup> گروه فیزیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مسجد سلیمان، مسجد سلیمان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۵/۱۹ تاریخ تصحیح: ۹۴/۰۷/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۸/۱۷

## چکیده

در این پژوهش نانوذرات اکسید روی خالص و آلاینده با میزان های ۲٪ و ۴٪ و ۶٪ سرب به وسیله روش سل - ژل در محیطی ژلاتینی تهیه شدند. در این فرآیند، ژلاتین، به عنوان یک عامل پلیمریزاسیون و نیز عامل پایان دهنده به رشد ذرات در حین تکلیس، مورد استفاده قرار گرفت. اثر درصد های مختلف سرب در ساختار نمونه ها توسط دستگاه های مختلفی مورد بررسی و آنالیز قرار گرفت. الگوهای دستگاه پراش پرتو ایکس (XRD)، نشان دهنده ساختار وورتسایت و شش وجهی نمونه ها و بلوری بودن آنها هستند. با توجه به تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM)، بیشتر نمونه ها دارای شکل های واضح کروی و ابعاد شش گوش کاملاً مشخصی در محدوده بین ۴۲ - ۵۵ nm می باشند. نتایج طیف سنجی مرئی - فراء بنفش (UV-Visible)، نشان می دهد که قله جذب یک جابجایی بسیار کوچک به سمت راست و در جهت طول موج های کوچکتر یا به اصطلاح یک جابه جایی قرمز دارد. مدهای مشاهده شده در طیف سنجی رامان (Raman) بیانگر کیفیت بلوری و تک بلور بودن بیشتر نانوذرات، ساختار وورتسایت شش گوش آنها می باشد. در نهایت این نانوساختارها به منظور بررسی خواص فتوکاتالیستی آنها و جهت حذف رنگ متیلن بلو، که از جمله رنگ های پر کاربرد و مهم در صنایع نساجی بوده و برای سلامت محیط زیست بسیار مضر می باشد، بکار برده شد.

**واژگان کلیدی:** نانو ذرات اکسید روی، سل - ژل، خواص فتوکاتالیستی، آلاینده های رنگی.

## ۱ - مقدمه

فرآیند فتوکاتالیستی یکی از فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته است، که توانایی آن برای حذف انواع ترکیبات سمی و سخت تجزیه پذیر اثبات شده است. هنگامی که مواد فتوکاتالیست نیم رسانا در معرض نور خاصی قرار بگیرند، واکنش های شیمیایی (مثل تجزیه مولکول های آلی) را آغاز کرده یا سرعت می بخشند. نانوذرات فلزی و اکسید فلزی از اصلی ترین و پرکاربردترین کاتالیست های نانوساختار هستند.

\* نویسنده مسئول: استادیار گروه فیزیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مسجد سلیمان، مسجد سلیمان، ایران Yousefi.ramin@gmail.com

ذرات کاتالیست نانومتری، با توجه به نسبت سطح به حجم بزرگشان، در مقایسه با ذرات بزرگ تر و یا مواد توده ای، به طور قابل توجهی واکنش بیشتری نشان می دهند [۱]. در این میان اکسید روی می تواند به عنوان یک نیم رسانا، نامزد فتوکاتالیست ایده آلی که مقرون به صرفه و دوست دار محیط زیست است، محسوب گردد. پراکندگی و سطح مقطع اکسید روی، که وابسته به روش سنتز آن است، از عوامل مهم برای تعیین فعالیت فتوکاتالیستی آن می باشد؛ و توجه ویژه ای را، به دلیل حساسیت نوری بالا، ماهیت غیرسمی، پایداری زیاد، خاصیت قطبی، شکاف انرژی گسترده (۳/۳۷ الکترون ولت) و راندمان بالا در تولید الکترون ها، به خود جلب کرده است [۳ و ۲].

متیلن بلو یک رنگ شیمیایی آروماتیک پر کاربرد و مهم در صنایع نساجی می باشد. متیلن بلو با وزن مولکولی ۳۱۹/۸۵ گرم بر مول، رنگ کاتیونی محلول در آب است و با علامت اختصاری MB مشخص می گردد [۴]. پساب های حاوی رنگ هایی مانند متیلن بلو برای اکوسیستم و سلامت عمومی خطرناک هستند، این مواد ممکن است با کاهش نفوذ نور، بر روی فعالیت نوری گیاهان آبی، افزایش مواد معلق و کدورت آب ها تأثیر بگذارند. علاوه بر آن، رنگ ها برای انسان سرطان زا و جهش زا هستند. پس بررسی یک روش تصفیه مناسب طبق استانداردهای موجود امری ضروری و اجتناب ناپذیر است [۵]. در دو دهه گذشته اکسید روی، با توجه به توانایی آن در تخریب آلاینده های مختلف و با توجه به حساسیت بالا، ثبات و شکاف باند گسترده آن توجه زیادی را به خود جلب نموده است [۶]. اما بزرگترین مشکل این نانو فتوکاتالیست در محدوده ماوراء بنفش می باشد. لذا با آرایش آن با یک عنصری که داری شعاع یونی بزرگی نسبت به روی باشد و همچنین اکسید آن قادر به کوچک کردن گاف انرژی اکسید روی باشد بسیار با اهمیت است. سرب عنصری است که قادر به ایجاد شرایط فوق می باشد. شعاع بونی بزرگتر سرب بر خواص نوری اکسید روی تأثیر می گذارد، و از آنجا که بین خواص نوری و خواص فوتوکاتالیستی یک رابطه مستقیم برقرار است، بنابراین می تواند در بهره وری تخریب رنگ متیلن بلو موثر باشد [۷].

بر این اساس در این تحقیق هدف تهیه نانوذرات اکسید روی آلاینده شده با درصد های مختلف سرب به روش سل ژل به منظور بررسی خواص فتوکاتالیستی این نانوساختارها جهت حذف رنگ متیلن بلو می باشد [۹ و ۸].

## ۲- روش آزمایش

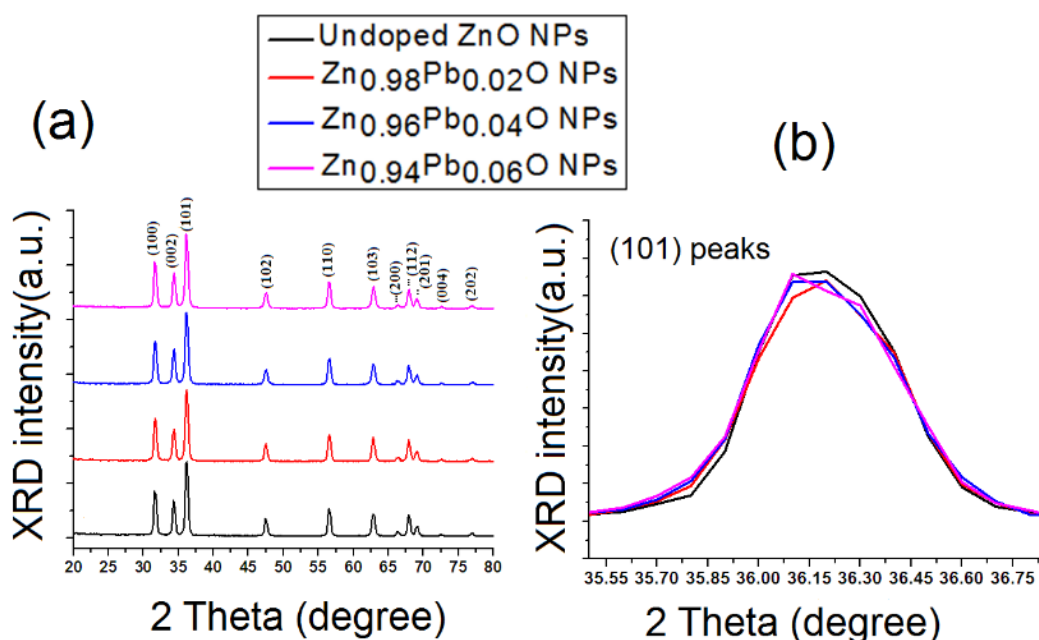
برای آماده سازی نانو ذرات اکسید روی خالص و آلاینده شده با درصد های مختلف سرب، از پودر نیترات روی شش آبه  $[Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O]$  با جرم مولکولی  $\frac{gr}{mol}$  ۲۹۷/۴۶ و خلوص ۹۹/۹۹ درصد؛ پودر نیترات سرب  $Pb(NO_3)_2$  با جرم مولکولی  $\frac{gr}{mol}$  ۳۳۱/۲۱ و خلوص ۹۹/۵ درصد؛ پودر ژلاتین پوست خوک با خلوص ۹۹/۹۹ درصد (همگی محصول شرکت مرک آلمان)، آب

مقطر و روغن سیلیکون استفاده شده است. برای تهیه ۲ گرم نانو ذرات اکسید روی خالص، یک بشر حاوی ۷۰ میلی لیتر آب مقطر را درون یک ظرف کریستالیزور حاوی روغن سیلیکون گذاشته و مجموعه بر روی یک گرم کن الکتریکی استیرر دار قرار داده می شود. با رسیدن دما به  $60^{\circ}\text{C}$  مقدار  $3/6547$  گرم پودر ژلاتین به آرامی به آب مقطر اضافه شده و حدود ۲ الی ۳ ساعت هم می خورد. سپس مقدار  $7/3094$  گرم نیترات روی که در ۱۰ میلی لیتر آب مقطر بر روی یک گرم کن الکتریکی استیرر دار مجزا هم خورده است، آرام آرام به بشر حاوی محلول ژلاتین که به دمای  $80^{\circ}\text{C}$  رسانده شده، اضافه گردید. پس از حدود ۵ ساعت از به هم زدن محلول، یک ژل سفید رنگ چسبنده و کش دار به دست آمد. ژل حاصل در دمای  $550^{\circ}\text{C}$  به مدت ۵/۵ ساعت در کوره حرارت دهی شد تا محصول نهایی به دست آید. برای تهیه ۲ گرم نانوذرات اکسید روی آلیبده با میزان ناخالصی ۲٪ و ۴٪ و ۶٪ سرب، برای هر حالت مقدار مناسبی از نیترات سرب جداگانه در ۳ میلی لیتر آب مقطر حل شده و به محلول اصلی اضافه شد و سپس همانند نمونه خالص عمل گردید.

همچنین به منظور بررسی خواص فتوکاتالیستی، ابتدا محلول متیلن بلو را تهیه نموده و مقدار ۵۰ میلی لیتر از آن را درون یک بشر بر روی همزن مغناطیسی قرار داده شد. سپس مقدار  $0/04$  گرم از پودر نانوذرات اکسید روی خالص و آلیبده تهیه شده، به آن اضافه گردید و ۲۰ دقیقه هم زده شد. پس از آن مقدار ۱۰ میلی لیتر از محلول متیلن بلو درون ظرف سل ریخته شده و اولین تست با استفاده از دستگاه طیف سنج مرئی - فراء بنفش گرفته شد. در مراحل بعدی محلول برای ۶ بار متوالی و هر بار به مدت نیم ساعت در معرض نور سفید حاصل از یک لامپ بخار جیوه قرار گرفته و از آن تست به عمل آمد.

### ۳- نتایج و بحث

برای مطالعه و بررسی ساختار مواد بلوری، حضور ناخالصی ها و تعیین اندازه ریز بلورک ها از دستگاه پراش پرتو ایکس (XRD) به نام Siemens D5000 استفاده شده است. شکل (۱) الگوهای پراش پرتو ایکس را نشان می دهد.



شکل (۱): (a) نتایج XRD برای نانوذرات اکسیدروی خالص و آلیبده با میزان های ۲٪، ۴٪ و ۶٪ از سرب، (b) جابه جایی در قله (۱۰۱).

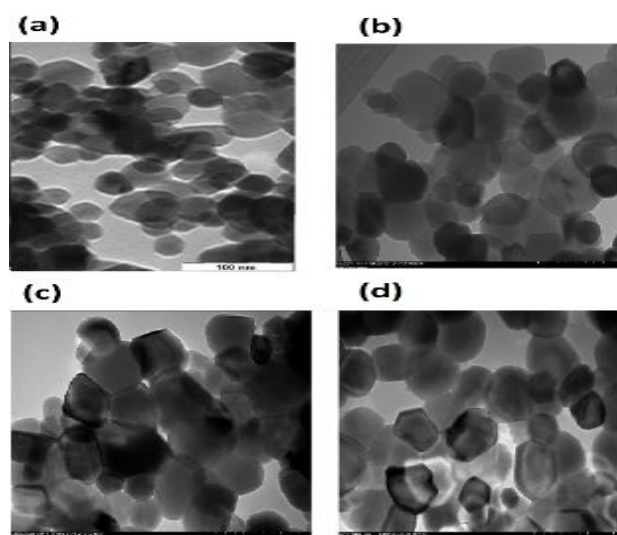
پیک های قابل تشخیص کاملاً با موقعیت پیک های اکسید روی توده ای و مطابق با کارت استاندارد JCPDS no. 800075 (هماهنگی دارند). الگوها نشان دهنده ساختار وورتسایت و شش وجهی نمونه‌ها و بلوری بودن آنها هستند. همچنین مشاهده می شود آرایش اکسید روی با سرب هیچ پیک اضافه و فاز واکنشی دیگری از سایر ناخالصی ها را مانند Pb و PbO و ZnPbO ایجاد ننموده است. آرایش بوسیله سرب و افزایش غلظت آن باعث جابجایی جزئی پیک های پراشی مربوط به آن به سمت چپ (زوایای پراش کمتر) گردیده؛ که علت را می توان بزرگتر بودن شعاع یونی موثر  $Pb^{+2}$  نسبت به  $Zn^{+2}$  که در نقاط جانشینی شبکه بلوری اکسید روی جایگزین شده و موجب گسترش شبکه کریستالی آن گشته، بیان نمود. در شکل بالا جابه جایی ها در قله (۱۰۱) که برای محاسبه پارامترهای شبکه و اندازه کریستالی نانوذرات اکسید روی خالص و آلیبده با سرب مورد استفاده قرار گرفت، نشان داده شده است. موقعیت این قله در  $36/2$  درجه واقع است [۱۰]. مشخصات پیک ها و اندازه ریزبلورکها بر اساس رابطه دبای-شرردر جدول (۱) آمده است :

جدول (۱): مشخصات پیک های طیف XRD نانوذرات اکسید روی خالص و آلییده شده با سرب

اندازه بلورک ها D (nm)	FWHM (°2 Th.)	زاویه موقعیت قله ۱۰۱ (°2 Th.)	نمونه
۵۴/۲۹۶	۰/۵۰۵۲	۳۶/۲	ZnO
۴۶/۰۲۴	۰/۵۱۹۹	۳۶/۲	Zn <sub>0.98</sub> Pb <sub>0.02</sub> O
۴۱/۰۳۷	۰/۵۲۸۳	۳۶/۲	Zn <sub>0.96</sub> Pb <sub>0.04</sub> O
۴۷/۳۰۶	۰/۵۱۹۲	۳۶/۱	Zn <sub>0.94</sub> Pb <sub>0.06</sub> O

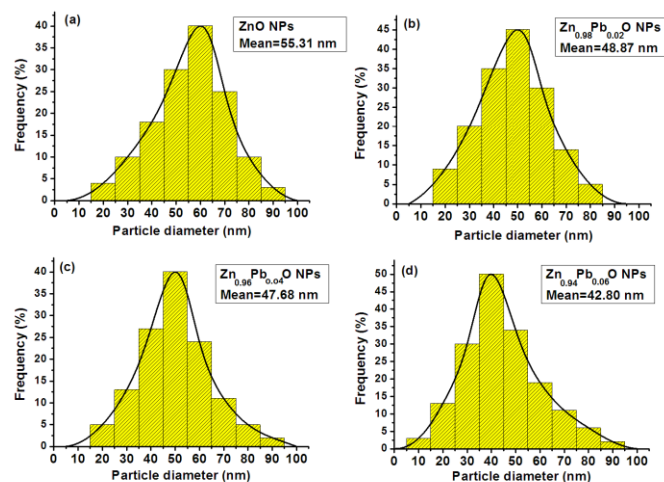
همان طور که مشاهده می شود اندازه ریز بلورکها با افزودن ناخالصی روند رو به کاهشی داشته است و در بین نمونه ها نانوذرات اکسید روی آلییده با ۴٪ سرب دارای کوچکترین اندازه ریزبلورک ها می باشند. همچنین از بین ۳ نمونه آلییده شده، اکسید روی آلیایش یافته با ۶٪ سرب دارای کمترین مقدار FWHM بوده که نشان دهنده خواص بلوری بهتر این نانوذرات می باشد.

میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) ابزاری سودمند برای مشخص نمودن ساختار و مورفولوژی مواد و مطالعه ریزساختاری آنها با قدرت تفکیک بالا و بزرگنمایی خیلی زیاد، و بهترین راه برای بررسی اندازه و شکل نانوذرات می باشد. در این کار از میکروسکوپ مدل Hitachi H-7100 استفاده شده است. تصاویر (۲: a الی d) با بزرگنمایی ۱۰۰ نانومتر ارائه شده اند.

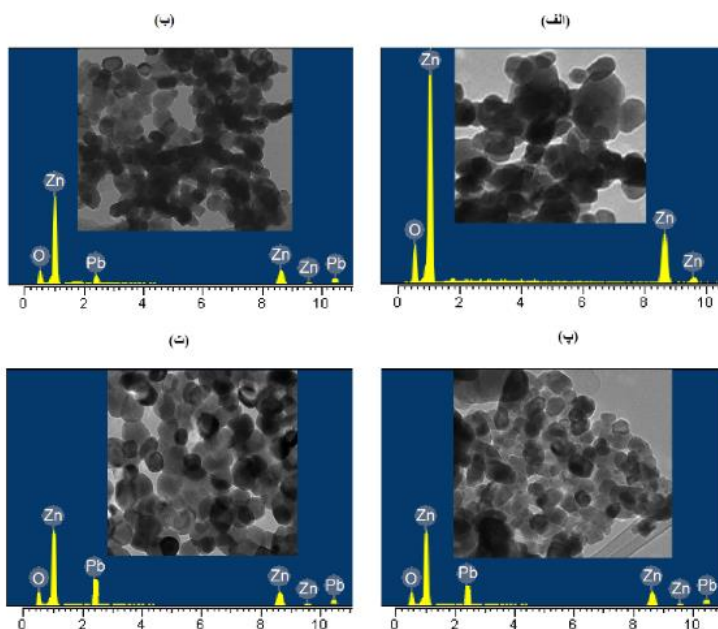


شکل (۲): تصاویر TEM نمونه اکسیدروی (a) خالص (b) ۲٪ سرب (c) ۴٪ سرب (d) ۶٪ از سرب

با توجه به تصاویر TEM، بیشتر نمونه ها دارای شکلها واضح کروی و ابعاد شش گوش کاملا مشخصی هستند. اندازه ی میانگین نانوذرات اکسیدروی خالص در بازه ی بین ۸۰ - ۳۰ nm تخمین زده شده است. افزودن ناخالصی سرب به نانوذرات اکسید روی تاثیر بسیار خوبی در کاهش سایز ذرات نسبت به اکسیدروی خالص داشته است. شکل (۳) نمودارهای هیستوگرام توزیع اندازه نانو ذرات اکسید روی خالص و آلیاژده با سرب را نشان می دهد. این نمودارها بیان می کنند که عمده اندازه (سایز) نانوذرات کلسینه شده در دمای ۵۵۰ °C، برای اکسید روی خالص حدود  $50 \pm 20$  نانومتر، اکسید روی آلیاژده با ۲٪ سرب حدود  $40 \pm 10$  نانومتر، اکسید روی آلیاژده با ۴٪ سرب حدود  $40 \pm 10$  نانومتر، اکسید روی آلیاژده با ۶٪ سرب حدود  $40 \pm 10$  می باشند.



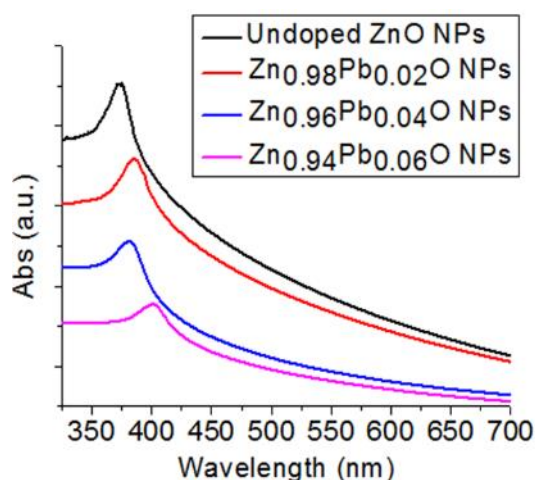
شکل (۳): نمودار اندازه نانوذرات بر حسب فراوانی آنها (به ترتیب اکسید (a) روی خالص و آلیاژده با (b) ۲٪ و (c) ۴٪ و (d) ۶٪ سرب می باشند) طیف سنجی پراش انرژی پرتو ایکس (EDX) روشی برای تجزیه و تحلیل ساختاری یا خصوصیات شیمیایی یک نمونه، جهت مشخص کردن ترکیب عنصری نمونه یا بخشی از آن، بر اساس دریافت انرژی ایکس از هر سطح انرژی می باشد. در شکل (۴) هر یک از پیک های نشان داده شده مختص یک اتم و نشانگر یک عنصر می باشند. پیک های با ارتفاع بیشتر در طیف به معنی غلظت بیشتر عنصر مورد نظر در نمونه است.



شکل (۴): طیف EDX از نانوذرات اکسید روی خالص و آلاینده شده با مقادیر مختلف از سرب کلسینه شده در دمای  $550^{\circ}\text{C}$ .

آنالیز EDX وجود عمده عناصر روی و سرب را در ترکیبات نانوذرات تایید می کند. همچنین طیف ها نشان می دهند که به ترتیب و همزمان با افزایش میزان غلظت آلاینده سرب در نمونه ها، مقدار غلظت عنصر روی نسبت به نوع خالص آن کاهش یافته است.

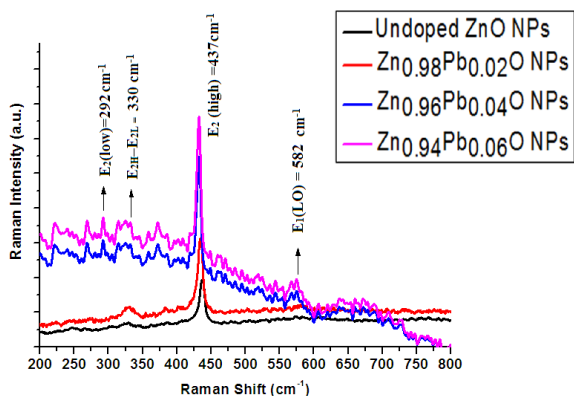
در نهایت از دستگاه طیف سنج مرئی - فراء بنفش و دستگاه طیف سنجی رامان برای مطالعه ی خواص نوری استفاده شده است. نتایج دستگاه طیف سنج جذب مولکولی فراء بنفش-مرئی (UV-visible) نمونه‌ها، ساخت شرکت HACH و مدل DR 5000 نشان می دهد که، شدت قله جذب محلول متیلن بلو با اضافه نمودن پودر نانوذرات اکسید روی خالص و آلاینده، پس از قرار گرفتن در معرض منبع نور سفید دارای کاهش بسیار خوبی از میزان شدت جذب، می گردد. طبق این طیف جذبی در شکل (۵)، مشخص شده که خواص فتوکاتالیستی برای تخریب رنگ متیلن بلو توسط پودرها بهبود می یابد. همچنین با گذشت زمان و افت شدت طیف جذبی، قله جذب یک جابجایی بسیار کوچک به سمت راست و در جهت طول موج های بزرگتر داشته که اصطلاحاً گفته می شود جابه جایی قرمز دارد [۱۱].



شکل (۵): نتایج Uv-visible نانوذرات اکسیدروی خالص و آلیاژده با میزان های ۲٪، ۴٪ و ۶٪ از سرب.

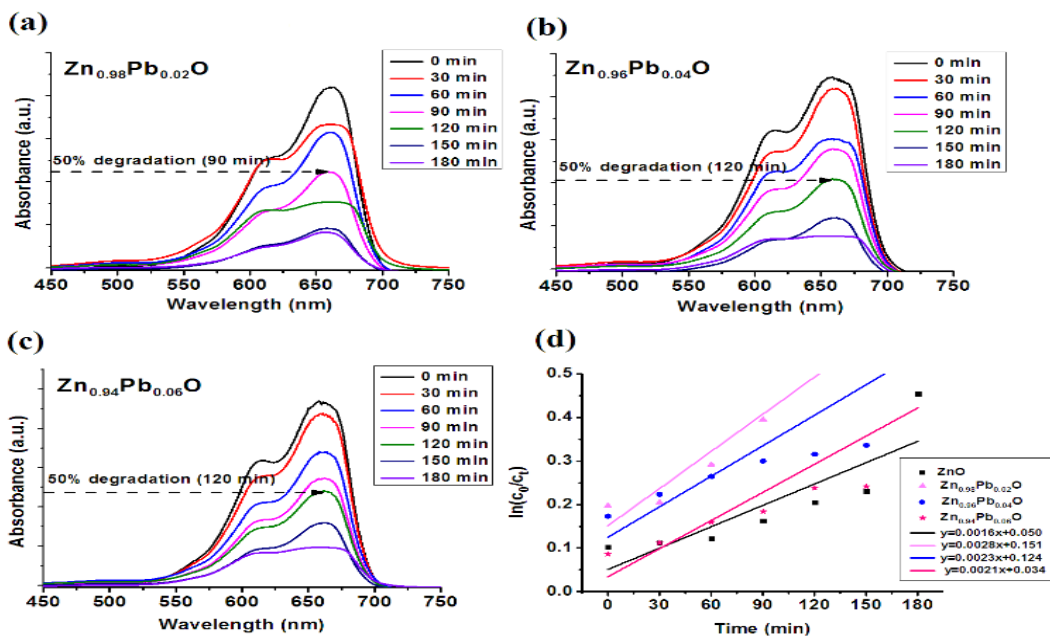
یکی دیگر از ابزارهای مفیدی که برای مطالعه و بررسی مدهای ارتعاشی، چرخشی و دیگر مدهای کم فرکانس سیستم و نیز برای تخمین تبلور نانوذرات و بررسی خواص بلورینگی آنها مورد استفاده قرار گرفت دستگاه طیف سنجی رامان (Raman) ساخت شرکت Jobin Yvon Horiba و مدل HR 800UV است. در طیف رامان نمونه ها که در شکل (۶) آمده، مد  $E_{2H}-E_{2L}$  مشاهده شد، که می تواند بیانگر تک بلور بودن بیشتر نانوذرات باشد [۱۲]. برای نمونه های ۴٪ و ۶٪ نیز مد  $E_1(LO)$ ، که بر حضور ناخالصی ها و شکل گیری نقص هایی چون جای خالی اکسیژن و روی اشاره می کند، مشاهده شد. اما این پیک برای نمونه خالص و ۲٪ بسیار ضعیف بوده و چندان قابل تشخیص نیست که این نشان دهنده کیفیت بلوری بهتر و نقص های کمتر این دو نمونه نسبت به دو نمونه قبلی می باشد [۱۳]. مد  $E_2(high)$  که مشخصه ساختار وورتسایت شش گوش ZnO می باشد، و تایید می کند که تمام نمونه ها دارای این ساختار هستند [۱۴]. همچنین مد  $E_2(low)$  برای دو نمونه ۴٪ و ۶٪ وجود دارد که آن هم به تک بلور بودن نمونه ها اشاره دارد. افزایش شدت برای نمونه های آلیاژی نسبت به نمونه ی خالص نشان می دهد که ناخالصی سرب، نقص ها را کاهش می دهد. همچنین پیک رامان نانوذرات اکسیدروی آلیاژده با سرب در قیاس با نمونه ی بدون آلیاژ جابه جایی آبی (طول موج های کوچکتر) داشته که بیانگر وجود حضور ناخالصی ها و شکل گیری نقص ها در نانوذرات آلیاژده شده است و این نتایج با نتایج Uv-visible مطابقت کامل دارد [۱۵].





شکل (۶): طیف رامان نانوذرات اکسیدروی خالص و آلیاژ با میزآنهای مختلف از سرب

در نهایت خواص فتوکاتالیستی نانومواد جهت حذف رنگ متیلن بلو مورد بررسی قرار گرفت. به منظور بهره گیری بهتر از نتایج به دست آمده، از دستگاه طیف سنج جذب مولکولی مرئی - فراء بنفش به عنوان یک ابزار کمکی استفاده شد. در آزمایش های انجام گرفته، از میزان ۵۰ میلی لیتر محلول متیلن بلو به عنوان آلاینده و مقدار ۰/۰۴ گرم از نانوذرات به عنوان کاتالیست استفاده گردید. شکل (۷) طیف جذبی نوری متیلن بلو را در حضور نانوذرات و طی زمان های مختلف از تابش نور مرئی نشان می دهد.

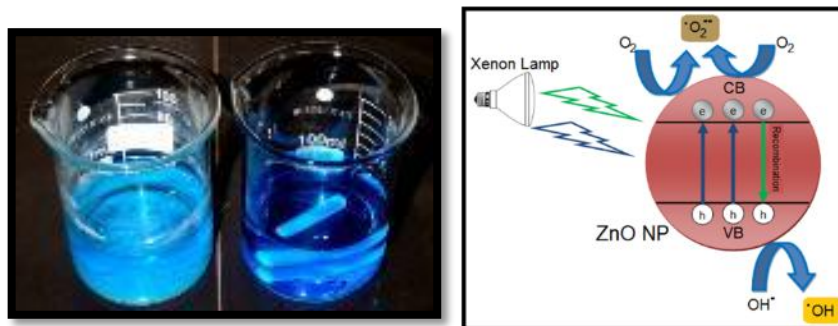


شکل (۷): (a-c) طیف های جذبی (UV-visible) نمونه های محلول متیلن بلو همراه با نانوذرات اکسیدروی آلیاژ با میزان های مختلف سرب و طی زمان های مختلف تحت تابش نور مرئی. (d) نمودار غلظت بر حسب زمان محلول متیلن بلو در حضور نانوذرات برای بررسی خواص فتوکاتالیستی.

نمونه‌های (a) تا (c) نشان می‌دهند که شدت قله جذب محلول متیلن بلو که تقریباً در ۶۶۰ نانومتر واقع شده است، با اضافه نمودن پودر نانوذرات اکسید روی خالص و آلاینده، پس از قرار گرفتن در معرض منبع نور سفید طی ۶ مرحله نیم ساعته، و در یک محدوده طول موج معین، دارای کاهش بسیار خوبی از میزان شدت جذب می‌گردد. طبق این طیف جذبی، مشخص شده که خواص فتوکاتالیستی برای تخریب رنگ متیلن بلو توسط پودرها بهبود می‌یابد. این میزان افت شدت می‌تواند به عملکرد فتوکاتالیستی پودرها و جذب نوری قوی آنها از تابش نور مرئی نسبت داده شود. مشاهده شده که ۵۰ درصد از متیلن بلو، در دقیقه ۹۰ برای پودر ۰.۲٪ و در دقیقه ۱۲۰ برای پودر های ۰.۴٪ و ۰.۶٪ تخریب گشته است. پس محلول متیلن بلو در حضور نانوذرات اکسید روی آلاینده با ۰.۲٪ سرب با داشتن بیشترین افت در کمترین زمان دارای بهترین عملکرد فتوکاتالیستی و رنگ زدایی تحت تابش نور مرئی بوده است.

نمودار  $C_t / C_0$  (غلظت رنگ محلول در زمانهای مختلف تابش نور به غلظت آن قبل تابش نور در زمان ۰) بر حسب زمان برای نمونه‌ها را نشان می‌دهد. تحت شرایط مشابه میزان تخریب متیلن بلو و کاهش غلظت آن در حضور پودرها مورد بررسی قرار گرفت. دیده می‌شود اگرچه تمام نمونه‌ها پس از ۱۸۰ دقیقه رنگ متیلن بلو را تجزیه، و باعث کاهش غلظت آن می‌شوند، اما از بین تمام این پودرها بهترین نتیجه برای بررسی خواص فتوکاتالیستی، مربوط به محلول با نانوذرات اکسید روی آلاینده با ۰.۲٪ سرب با داشتن بیشترین افت دارای بهترین عملکرد فتوکاتالیستی و رنگ زدایی تحت تابش نور مرئی بوده است. کاهش شدت در نمودار به منزله کاهش میزان آلودگی در محلول متیلن بلو بوده که با شفاف تر شدن و کم رنگ تر شدن رنگ آبی محلول خود را نشان می‌دهد. همچنین دیده می‌شود که محلول متیلن بلو، در پودر نانوذرات اکسید روی آلاینده با مقدار ۰.۲٪ سرب، اشباع گشته و درصدهای بیشتری از آلاینده سرب، تاثیر زیادی در بهبود خواص فتوکاتالیستی ندارد [۷].

یک مکانیسم ساده برای درک افزایش فعالیت فتوکاتالیستی از فتوکاتالیست های اکسید روی آلاینده با سرب در شکل (۸) نشان داده شده است. همچنین شکل محلول متیلن بلو را قبل و بعد از ترکیب با نانو ذرات نشان می‌دهد.



شکل (۸): مکانیسم فرآیند فتوکاتالیستی

پارامترهای مهمی که می توانند فعالیت فتوکاتالیستی را بهبود بخشند مساحت سطح موثر ذرات و نحوه شکل گیری نانوذرات می باشد. هرچه مساحت سطح موثر بزرگتر باشد بازده فتوکاتالیستی بالاتر بوده و می تواند جذب واکنش دهنده ها را افزایش دهد. همچنین با برخورد نور مرئی به نانوذرات فتوکاتالیست احتمالاً انرژی کمتری برای برانگیختن الکترون از باند ظرفیت (VB) به باند هدایت (CB) در گاف نیمرسانا مورد نیاز است و می تواند فوتون های بیشتری را برای تحریک الکترون از باند ظرفیت برداشت کند. این برانگیختگی الکترون باعث تولید همان مقدار حفره در باند ظرفیت شده و الکترون های تحریک شده می توانند مستقیم یا غیر مستقیم تولید رادیکال هیدروکسید کنند. این بدان علت است که یون هیدروکسید ( $\text{OH}^-$ ) می تواند بر روی سطوح  $\text{Zn}^{+2}$  جذب شود، بنابراین یون هیدروکسید که الکترونش گرفته شده تبدیل به  $\text{OH}$  رادیکالی می گردد. در این زمان  $\text{Pb}^{+2}$  می تواند طی یک اکسیداسیون قوی از طریق رادیکال های  $\text{OH}$  بر سطح اکسید روی جذب شود.

این فرایند برای تخریب رنگ متیلن بلو لازم است زیرا رادیکال ها می توانند مواد آلی را به مواد معدنی تبدیل کنند. در حقیقت تخریب ترکیبات آلی  $\text{OH}$  رادیکالی (تخریب رنگ) صورت می گیرد تا به پایداری بیشتری برسد. این ترکیبات آلی با از دست دادن الکترون و در نهایت تبدیل شدن به دی اکسید کربن و آب تخریب شده و به اتمسفر بر می گردند [۱۶ و ۷].

#### ۴- نتیجه گیری

در این تحقیق از یک روش ساده ی سل-ژل برای تولید نانوذرات اکسیدروی خالص و آلاییده با میزانهای متفاوتی ازسرب ( $0.2\%$ ،  $0.4\%$  و  $0.6\%$ ) بهره گرفته شد. از مزایای این روش، استفاده از ژلاتین به عنوان عامل پلیمریزاسیون و نیز عامل پایان دهنده به رشد ذرات در حین تکلیس بود. ابتدا ژل اکسیدروی خالص تهیه شد و سپس در کوره با دمای  $550^\circ\text{C}$  به مدت ۵ ساعت و ۳۰ دقیقه قرار گرفت تا نانوذرات مورد نظر به دست آید. همچنین به منظور بررسی خواص فتوکاتالیستی، ابتدا محلول متیلن بلو را تهیه نموده و سپس نانوذرات به آن اضافه گردیده و طی ۶ مرحله نیم ساعته و جمعا به مدت ۱۸۰ دقیقه در معرض نور سفید قرار گرفتند.

با افزودن سرب به نانو ذرات اکسید روی، به عنوان یک کاتیون که قادر است گاف انرژی اکسید روی را تغییر دهد، اثر آن بر خواص فتوکاتالیستی نانو ذرات اکسید روی بررسی شد و این عنصر سمی و مضر به عنصری با کارایی مفید جهت حذف آلودگی ها تبدیل گردید. در حقیقت نیمرسانا بودن نانوذرات و ایجاد یکسری الکترون-حفره در آنها، باعث شکسته شدن پیوند های شیمیایی مضر و تبدیل شدن به پیوند های شیمیایی مفید می گردد که مهم ترین آنها آب است. در واقع هدف این است که با کمترین مقدار نانو ذرات و در کمترین زمان ممکن، بیشترین مقدار آلودگی حذف شود، و نانوذراتی که در اتمام فرآیند درون محلول ته نشین می شوند تکرار پذیر بوده و بتوان در دفعات بعدی آزمایشات جهت حذف آلودگی از آنها استفاده نمود.

## ۵-منابع:

- [1] Ravelli, D. , et al. *Chem. Society Reviews* **38** (2009) 1999–2011.
- [2] Kuznetsov, A.S., et al., *J. Optical Materials Express*, **2**, (2012) 723.
- [3] Farbod , M., & Jafarpour , E., *Ceramics International*, **40** , (2013). 6605 –6610
- [4] Ponnusami , V., Vikram , S., Srivastava, S., *J. hazard mater* **152** (2008) 276–286
- [5] Saeed , A., Iqbal , M., Zafar , S.I., , *J. Hazard Mater.* **168** (2009). 406–415.
- [6] Yousefi, R. , (2011) , *Doped ZnO Nanostructures : Growth, Properties, and Application. Chapter of the Encyclopedia of Semiconductor Nanotechnology*, America: American Scientific Publisher (ASP), 2, 1-43.
- [7] Yousefi, R., et al., (2015) *Materials Science in Semiconductor Processing*, **32** , (2015). 152–159
- [8] T.J. Whang , M.T. Hsieh , , & H.H. Chen , *J. Applied Surface Science*, **258**, (2012) 2796–2801.
- [9] E. Bazrafshan & K. Mostafapour , *J. North Khorasan University of Medical Sci*, **4**, (2012). 523-53
- [10] A. K. Zak , , et al. , *Advanced Powder Technology*, **24** , (2013) 618-624
- [11] Gh.H. Khorrami, et al., *Ceramics International*, **38** (2012) 5683–5690.
- [12] سارا خسروی گندمانی، رامین یوسفی و فرید جمالی شینی، مجله علمی - پژوهشی شیمی کاربردی، سال هشتم، شماره ۴۶، (۱۳۹۲).
- [13] R. Yousefi, M.R. Muhamad, & A. K. Zak, *Curr. Appl. Phys.*, **11** (2011) 767-770.
- [14] A. Sa'aedi, et al., *Ceramics International*, **40** , (2014) 4327–4332
- [15] F. Jamali-Sheini, R. Yousefi, , & K.R. Patil, *Ceramics International*, **38** (2012) 6665–6670
- [16] Z. h. Zhou , , et al., *Journal of Materials Science*, **25** , (2014) 2053-2059