فصلنامه‌ی علمی پژوهشی

علم و مهندسی سرامیک

دوره‌ی ۷، شماره‌ی ۱، بهار ۱۳۹۷

سنتز، مشخصه‌یابی و بررسی خواص فوتوکاتالیستی نانوکامپوزیت مزوپور اکسید تیتانیوم– اکسید روی آلاییده شده با نقره تحت نور مرئی و فرابنفش

نازنین محمدی ظلانی[۱*]، بابک مزینانی[۱]، مسعود سکاکی[۱و۲]

[۱] گروه مهندسی مواد، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

[۲] آزمایشگاه تحقیقات شیمی هیدروترمال، دانشگاه کوچی، کوچی، ژاپن

* N_mohamadi69@yahoo.com

اطلاعات مقاله:

دریافت: ۲۹ خرداد ۱۳۹۷

پذیرش: ۱۹ شهریور ۱۳۹۷

کلید واژه:

اکسید تیتانیوم– اکسید روی/ نقره، نانوکامپوزیت،مزوپور، متیلن بلو، فوتوکاتالیست

چکیده:

در این پژوهش نانوکامپوزیت مزوپور اکسید تیتانیوم– اکسید روی آلاییده شده با نقره (TiO_2-ZnO-5%Ag) به روش هیدروترمال سنتز و تهیه گردید. از تیتانیوم سولفات، نیترات روی ۶ آبه و نیترات نقره به ترتیب به عنوان پیش‌ماده اکسید تیتانیوم، اکسید روی و نقره استفاده شد. جهت شناسایی فازهای تشکیل شده از آزمون پراش پرتو ایکس (XRD) استفاده گردید. همچنین جهت مشخصه‌یابی نانوذرات از طیف سنجی مرئی– فرابنفش (UV-Vis)، توزیع انرژی پرتو ایکس (EDS)، میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FE-SEM)، ایزوترم جذب– واجذب نیتروژن استفاده شد. فوتوکاتالیست تهیه شده جهت تخریب متیلن بلو به عنوان مدلی از آلاینده‌ی آلی، تحت تابش‌دهی اشعه فرابنفش و نور مرئی به کار گرفته شد. نتایج آنالیز XRD، EDX و Map، حضور اکسید روی، اکسید تیتانیوم و نقره را در نانوکامپوزیت بعد از کلسینه کردن در دمای ۴۰۰ °C تاییدکرد، همچنین فعالیت فوتوکاتالیستی کامپوزیت TiO_2-ZnO-5%Ag با نمونه تجاری اکسید تیتانیوم دگوسا (P25) و نانو کامپوزیت TiO_2-ZnO مقایسه گردید. بالاترین درصد تخریب آلاینده تحت نور مرئی توسط نمونه مزوپور TiO_2-ZnO-5%Ag مشاهده شد.

۱- مقدمه

آلودگی آب و هوا یکی از مشکلات اصلی محیط‌زیست در سراسر جهان است، از این‌رو در دهه گذشته احیاء محیط زیست و زدودن آلودگی از آن، یکی از اولویت‌های جهانی بوده است[1]. یکی از کاربردهای فن آوری نانو در زمینه احیا محیط زیست و حذف آلاینده‌ها استفاده از کاتالیست‌ها و فوتوکاتالیست‌ها می‌باشد. فوتوکاتالیست‌ها جز آن دسته از کاتالیست‌هایی هستند که با تابش نور فعال شده و آلاینده‌های موجود در هوا و آب را به مواد کم ضرر مانند آب و دی اکسید کربن تبدیل می‌کنند[2]. اکسید تیتانیوم یکی از مهمترین نیمه‌هادی‌ها با خاصیت فوتوکاتالیستی بالا است که با داشتن ویژگی‌هایی همچون پایداری شیمیایی خوب،

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-15]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1397.7.1.2.6]

غیر سمی بودن و قیمت نسبتا ارزان بسیار مورد توجه می‌باشد[3][4].

انرژی باند ممنوعه اکسید تیتانیوم در حدود ۳/۲ev است و در اثر تابش نور UV الکترون و حفره تولید کرده و خاصیت اکسید کنندگی پیدا می‌کند. با توجه به اینکه اکسید تیتانیوم فقط قادر به جذب نور فرابنفش می‌باشد که تنها ۴٪ از نور خورشید را شامل می‌شود، به منظور افزایش دامنه جذب اکسید تیتانیوم به محدوده نور مرئی و همچنین افزایش بهره نور کاتالیزوری آن تحقیقات بسیاری انجام شده است؛ ازجمله دوپ کردن با فلزات نجیب، دوپ کردن با یون‌های فلزی، دوپ کردن همزمان با فلز و نافلز و جفت کردن دو نیمه‌هادی، که نتایج نشان دهنده‌ی مفید بودن بسیاری از تحقیقات بوده است[5][6].

با جفت کردن دو نیمه‌هادی به صورت کامپوزیت به دلیل افزایش جای خالی و نواقص سطحی یک باند ممنوعه جدید در کامپوزیت ایجاد می‌شود که موجب افزایش فعالیت فوتوکاتالیستی می‌گردد[7][10]–[8]. در مطالعات دیگر ذکر شده است افزودن اکسید روی به اکسید تیتانیوم مانع از استحاله فاز آناتاز به روتایل گردیده است و از ترکیب مجدد جفت الکترون– حفره ممانعت می‌کند[8]، [11]، [12]. از این رو در صورت کنترل دیگر پارامترها، فعالیت فوتوکاتالیستی کامپوزیت اکسید تیتانیوم– اکسید روی نسبت به پودر اکسید تیتانیوم تجاری و اکسید روی خالص افزایش می‌یابد[13]. افزودن دوپنت به ساختار نیمه هادی موجب کاهش زمان بازترکیب الکترون–حفره و به تبع آن، بهبود عملکرد فوتوکاتالیستی می‌شود. در میان فلزات نجیب، نقره فلزی پایدار، غیر سمی و در مقایسه با دیگر فلزات نجیب مقرون به صرفه می‌باشد. این فلز دارای بالاترین هدایت الکتریکی و حرارتی در میان فلزات می‌باشد. اصلاح ZnO و TiO_2 با استفاده از نقره به طور گسترده‌ای توسط محققین مورد بررسی قرار گرفته است[14]. طبق مطالعات انجام شده، نقره با ایجاد ترازهای فرعی موجب کاهش باند ممنوعه اکسید تیتانیوم و اکسید روی می‌شود و به دلیل قدرت الکترون بالا به عنوان دام الکترونی عمل می‌کند و از بازترکیب الکترون و حفره‌های ایجاد شده در اثر فرایند فوتوکاتالیستی جلوگیری می‌کند، همچنین نقره طول موج جذب اکسید تیتانیوم را به سمت طول موج مرئی سوق می‌دهد[14][15]. لی[1] و همکارانش طی پژوهشی نانوکامپوزیت $Ag/ZnO–TiO_2$ را به روش مایکروویو سنتز کردند و خواص فوتوکاتالیستی آن را تحت تابش نور UV با آلاینده رودامین بررسی کردند، نتایج نشان داد که فعالیت فوتوکاتالیستی کامپوزیت سنتز شده بسیار بالاتر از P25 وZnO است[16]. در پژوهشی دیگر کو[2] و همکاران به بررسی فعالیت فوتوکاتالیستی اکسید تیتانیوم آلاییده شده با اکسید نقره پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که فعالیت فوتوکاتالیستی TiO_2-Ag تحت نور مرئی بهتر از نور فرابنفش است [17]. تیان[3] و همکارانش نانو فیلم -TiO_2 ZnO را به روش سل ژل سنتز کردند و درصد تخریب آلاینده متیل اورنژ (MO) را در ناحیه فرابنفش (UV) مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که با کاهش درصد وزنی اکسید روی، خاصیت فوتوکاتالیستی بهبود می‌یابد[9]. خواص فیزیکی، شیمیایی و فوتوشیمیایی کامپوزیت اکسید

[1] Lee
[2] Koo
[3] Tian

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-15]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1397.7.1.2.6]

تیتانیوم– اکسید روی/ نقره عمدتا وابسته به روش ساخت می‌باشد. روش‌های مختلفی مانند سل ژل، هیدروترمال، هم‌رسوبی برای سنتز TiO_2 و ZnO گزارش شده است. در این پژوهش از روش هیدروترمال به دلیل مزایای فراوان مانند دمای پایین واکنش، محصول خالص با توزیع اندازه ذرات باریک و درجه آگلومره شدن پایینِ ذرات بدست آمده استفاده شد[19] ,[18].

هدف از پژوهش حاضر سنتز نانو کامپوزیت مزوپور TiO_2-ZnO آلاییده شده با ۵ درصد وزنی نقره (TiO_2-ZnO/5%Ag) با روشی ساده و به صورت یک مرحله‌ای به روش هیدروترمال می‌باشد، در صورتی که در مطالعات پیشین سنتز نانوکامپوزیت‌های چند جزئی در چند مرحله انجام گرفته است. مهمترین ویژگی فوتوکاتالیست تولید شده در این تحقیق بازدهی بالای فوتوکاتالیستی در مدت زمان کم و با استفاده از نور مرئی می‌باشد که خود نوید بخش تصفیه پساب‌های آبی و آلاینده‌های رنگی با استفاده از یک روش کارآمد و به ویژه مقرون صرفه می‌باشد، همچنین فعالیت فوتوکاتالیستی نمونه TiO_2-ZnO-5%Ag با نانو کامپوزیت TiO_2-ZnO و پودر تجاری اکسیدتیتانیوم دگوسا مقایسه گردید.

۲- فعالیت‌های تجربی

به منظور سنتز نانو کامپوزیت مزوپور اکسید تیتانیوم–اکسید روی آلاییده شده با ۵ درصد وزنی اکسید نقره، از تیتانیوم اکسی سولفات $Ti(SO_4)_2$ با خلوص ۹۹/۹٪ از شرکت سیگما آلدریچ به عنوان پیش‌ماده اکسید تیتانیوم، P123 از شرکت سیگما آلدریچ به عنوان سورفکتانت، نیترات روی شش آبه ($Zn(NO_3)_2.6H_2O$) از شرکت مرک به عنوان پیش‌ماده اکسید روی، نیترات نقره ($AgNO_3$) با خلوص ۹۹٪ از شرکت مرک به عنوان پیش‌ماده اکسید نقره ، اوره ($CO(NH_2)_2$) و آمونیوم فلوراید(NH_4F) محصول شرکت مرک و با خلوص بالا استفاده شد.

ابتدا ۳ گرم P123 را در ۸۰ میلی لیتر آب مقطر روی همزن مغناطیسی به طور کامل حل شد، پس از حل شدن به طور کامل ۳/۶۰ گرم تیتانیوم سولفات، ۴/۴۶۲ گرم نیترات روی، ۰/۵۵۵ گرم آمونیوم فلوراید و ۳/۶۰۳ گرم اوره به آرامی به محلول در حین همزدن اضافه کرده، محلول به مدت ۱ ساعت با سرعت متوسط همزده شد. ۰/۱۹۱ گرم نیترات نقره به محلول سفید رنگ اضافه شد و بعد از گذشت یک ساعت همزدن، محلول تهیه شده در اتوکلاو فولادی با آستری از جنس تفلون با حجم ml ۱۰۰ریخته شد و در دمای 180^oC به مدت ۶ ساعت در کوره قرار داده شد. بعد از گذشت مدت زمان ذکر شده و خارج کردن نمونه‌ها از کوره، محلول به طور آهسته سرد گردید تا به دمای محیط برسد. سپس محلول حاصل سانتریفیوژ شد و با آب مقطر و اتانول ۳ مرتبه شستشو داده شد و در دمای 80^oC به مدت ۲۴ ساعت در خشک‌کن قرار داده شد. به منظور حذف مواد آلی ناشی از سورفکتانت P123 و بررسی ساختار–های کریستالی و فاز–های موجود، پودر به دست آمده در دمای 400^oC به مدت ۲ ساعت کلسینه شد.

اکسید تیتانیوم تجاری دگوسا (نسبت فاز آناتاز به روتایل در این محصول ۷۰ به ۳۰، سطح ویژه آن $50 m^2/g$ و اندازه متوسط ذرات در این محصول در حدود ۲۱ نانومتر است) جهت مقایسه فعالیت فوتوکاتالیستی با نانو کامپوزیت سنتز

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-15]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1397.7.1.2.6]

شده TiO_2-ZnO-5%Ag مورد استفاده قرار گرفت و ماده آلاینده رنگی متیلن بلو (شرکت مرک) جهت تست تخریب به کار برده شد.

۲-۱- مشخصه‌یابی ترکیب سنتز شده به روش هیدروترمال

برای تعیین ساختار فازی و میزان کریستاله شدن ذرات نانو کامپوزیت سنتز شده از دستگاه XRD با پرتو CuKα ساخت شرکت Unisantis آلمان مدل XMD300 (45KV) با طول موج λ=۱/۵۴ Å در محدوده زاویه ۲θ=۲۰-۷۰ استفاده شد. مورفولوژی مزوپور TiO_2-ZnO-5%Ag با دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی FE-SEM با ولتاژ ۲۰kv ساخت شرکت TE-SCAN بررسی گردید. سطح ویژه پودر حاصل از سنتز نانو کامپوزیت با استفاده از روش BET مدل Belsorp mini ساخت کشور ژاپن بررسی شد و از دستگاه اسپکتوفتومتر UV-Vis مدل spekol2000 ساخت شرکت Analytikjena برای بررسی خواص فوتوکاتالیستی نانو پودر و محاسبه درصد تجزیه شدن آلاینده استفاده گردید.

۲-۲- تست فوتوکاتالیستی

خواص فوتوکاتالیستی کامپوزیت مزوپور اکسید تیتانیوم-اکسید رویِ آلاییده شده با ۵ درصد وزنی نقره (TiO_2-ZnO-5%Ag)، با استفاده از لامپ یو وی ۱۲۵وات به عنوان منبع نور فرابنفش و لامپ حبابی با رشته تنگستنی با توان۲۰۰ وات به عنوان منبع نور مرئی جهت تخریب رنگ متیلن بلو مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور ۰/۱ گرم از پودر سنتز شده به ۴۰ میلی لیتر محلول متیلن بلو با غلظت ۱۰ppm(mg/L) افزوده شد. مخلوط تهیه شده به مدت ۱ ساعت در محیط تاریک روی همزن مغناطیسی به منظور به تعادل رسیدن تحت همزدن قرار گرفت، سپس در فواصل زمانی معین (۳۰دقیقه)، ۳ میلی لیتر از محلول برای گرفتن طیف جذب و درصد تخریب برداشته شد. لازم به ذکر است جهت جداسازی نانو ذرات از محلول قبل از گرفتن جذب، نمونه به مدت ۲۰ دقیقه با دور ۵۰۰۰rpm سانتریفیوژ شد.

ثابت سرعت واکنش فوتوکاتالیستی($K(min^{-1})$ بر اساس معادله شبه مرتبه اول با استفاده از رابطه ۱ بدست می‌آید [17]:

$$Ln(A_0/A_t)=Kt \qquad (۱$$

در این رابطه A_0 جذب اولیه رنگ، A_t جذب رنگ پس از گذشت زمان t از شروع واکنش، k ثابت سرعت واکنش و t زمان انجام واکنش است[17]. با رسم نمودار $\ln(A_0/A_t)$ بر حسب t و محاسبه شیب آن می‌توان ثابت سرعت واکنش را به دست آورد.

درصد تجزیه شدن محلول رنگی در حضور نانوکامپوزیت اکسید تیتانیوم- اکسید روی-نقره نیز با استفاده از رابطه۲ محاسبه شده است که از داده‌های مربوط به آنالیز اسپکتروفتومتری نور مرئی- فرابنفش (UV-Vis) حاصل شده است[11].

$$d(\%) = (1- A_t/A_0) \times 100 \qquad (۲$$

در این رابطه، A_0 جذب اولیه محلول آلاینده بدون تابش UV-Vis در لحظه t=0، A_t مقدارجذب محلول آلاینده بعد از زمان‌های تابش معین می‌باشد.

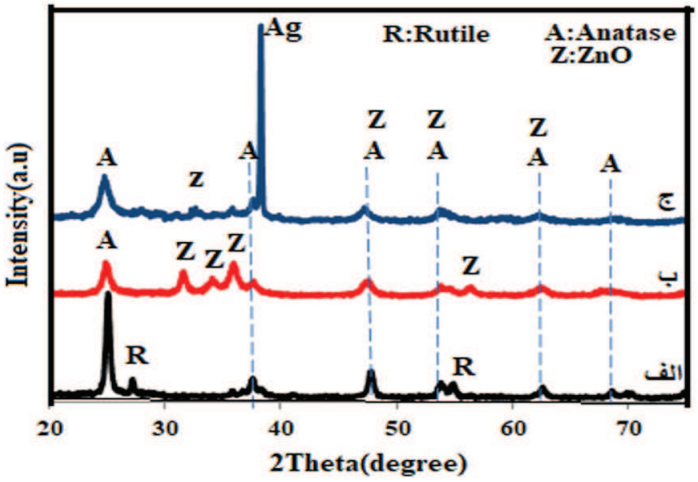
[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-15]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1397.7.1.2.6]

۳- نتایج و بحث

۳-۱- آنالیز XRD

الگوی پراش پرتو ایکس مربوط به نمونه مزوپور TiO_2-ZnO/Ag و نانو کامپوزیت TiO_2-ZnO که به روش هیدروترمال در دمای ۴۰۰°C به مدت ۲ ساعت کلسینه شده به همراه نمونه تجاری اکسید تیتانیوم P25 در شکل ۱ نشان داده شده است. در شکل ۱-الف الگوی پراش پرتو ایکس مربوط به نمونه P25 در زوایای °۲۵/۳۷، °۳۷/۴۸، °۴۷/۶۲ و °۵۳/۷۰ فاز آناتاز مطابق با کارت مرجع (JCPDS:21-1272) و در زاویه °۲θ=۲۷/۷۴ فاز روتایل مطابق با کارت مرجع (JCPDS:21-1276) شناسایی شد. در شکل ۱-ب مربوط به نانو کامپوزیت اکسید تیتانیوم-اکسید روی، فاز آناتاز و فاز ورتزیت اکسید روی در زوایای مشخص مطابق با کارت مرجع (JCPDS:21-1272) و (JCPDS:36-1451) مشاهده گردید. در شکل ۱-ج، مربوط به نانو کامپوزیت مزوپور اکسید تیتانیوم- اکسید روی-نقره، شدیدترین پیک مربوط به فلز نقره در زاویه °۲θ=۳۸/۱۱ و مطابق با کارت مرجع (JCPDS:65-8426) مشاهده و فازهای آناتاز و اکسید روی در زوایای مشخص شناسایی شد.



شکل ۱- الگوی پراش پرتو ایکس (الف) نمونه تجاری اکسید تیتانیوم P25 (ب) نانو کامپوزیت TiO_2-ZnO (ج) نانو کامپوزیت TiO_2-ZnO-5%Ag

۳-۲- میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FE-SEM)

نتایج حاصل از آنالیز FE-SEM از نمونه مزوپور TiO2-ZnO-5%Ag با بزرگنمایی‌های مختلف در شکل۲ -الف و شکل ۲-ب نشان داده شده است. با توجه به تصاویر، مورفولوژی ذرات کروی شکل و متوسط اندازه ذرات در محدوده ۲۰-۴۰ نانومتر مشاهده می‌شود. در شکل ۲-ج، آنالیز EDS از نمونه TiO2-ZnO-5%Ag عنصر تیتانیوم، روی، نقره و اکسیژن شناسایی شد و هیچ گونه ناخالصی در نمونه مشاهده نمی‌شود. شکل ۲-د آنالیز عنصری صفحه‌ای، درصد تجمع ذرات اکسید تیتانیوم، اکسید روی و نقره را نشان می‌دهد وتوزیع اندازه ذرات در کنار هم از همپوشانی بالایی برخوردار می‌باشد.

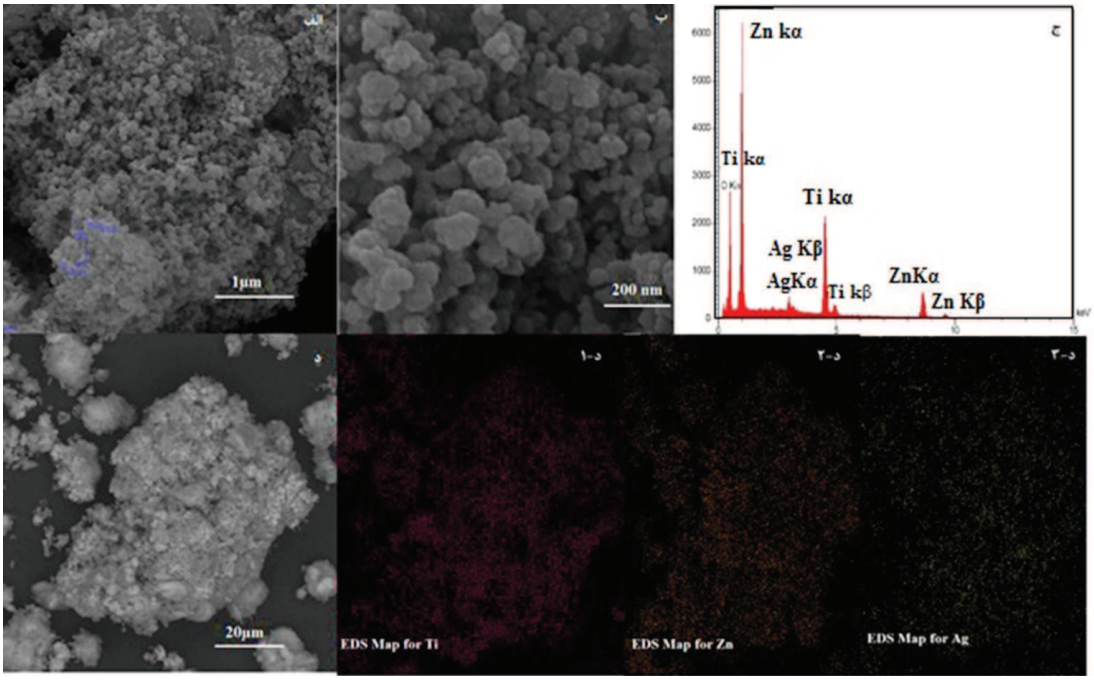
[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-15]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1397.7.1.2.6]

۳-۳- آنالیز سطح ویژه

ایزوترم جذب- دفع و منحنی توزیع اندازه حفرات مربوط به نمونه مزوپور TiO_2-ZnO و TiO_2-ZnO-5%Ag در شکل ۳ نشان داده شده است. بر اساس طبقه بندی آیوپاک، ایزوترم جذب از نوع IV بوده که بر این اساس ماده سنتزی TiO_2-ZnO و TiO_2-ZnO-5%Ag از نوع مزوپور است و حلقه هیسترزیس در این ایزوترم مطابق با طبقه بندی BDDT نوع H2 است[20][21].

مساحت سطح ویژه و قطر حفرات نمونه‌های سنتز شده که با استفاده از آنالیز BET اندازه گیری شده در جدول ۱ نشان داده شده است.



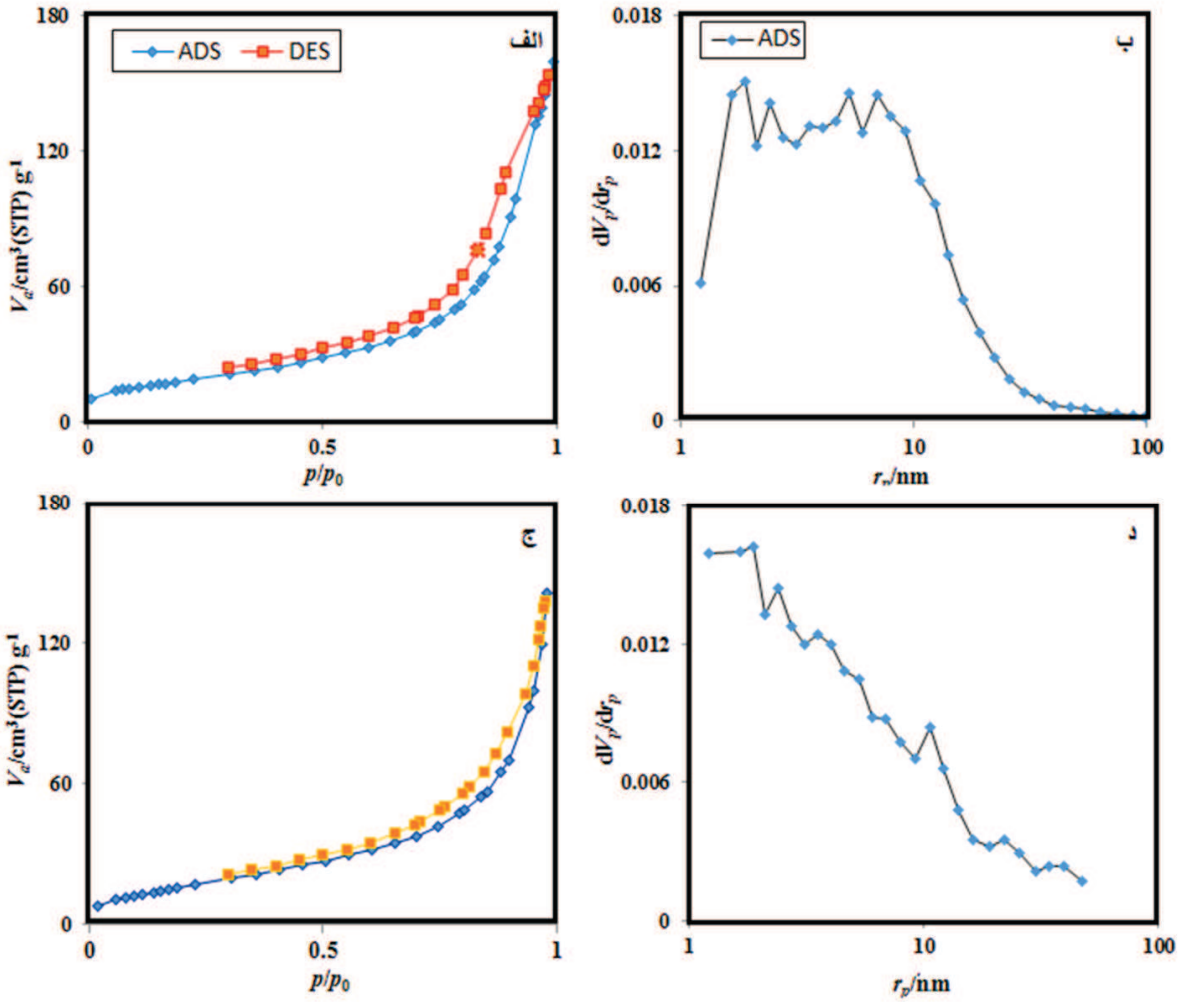
شکل ۲- (الف، ب)-تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نمونه TiO_2-ZnO-5%Ag در بزرگنمایی µm ۱ و nm ۲۰۰ (ج) طیف EDS از نمونه TiO_2-ZnO-5%Ag (د)آنالیز عنصری صفحه‌ای مربوط به نانوکامپوزیت مزوپور TiO_2-ZnO-5%Ag (د-۱) توزیع عنصر Ti(د-۲) توزیع عنصر Zn (د-۳) توزیع عنصرAg در نمونه TiO_2-ZnO-5%Ag

جدول ۱- مقایسه درصد تخریب آلاینده متیلن بلو تحت نور مرئی و فرابنفش و مساحت سطح نمونه‌های سنتز شده

نمونه	نور مرئی		نور فرابنفش		سطح ویژه	میانگین قطر حفرات
	٪ تخریب آلاینده	$K(min^{-1})$	٪ تخریب آلاینده	$K(min^{-1})$	(m^2/g)	(nm)
TiO_2-ZnO-5%Ag	۴۴	۰/۰۰۳۹	۵۲	۰/۰۰۴۲	۶۷/۶۸	۱۳/۷۲
TiO_2-ZnO	۲۶	۰/۰۰۲۳	۴۳	۰/۰۰۳۵	۶۲	۱۵/۱۸۳
نمونه تجاری اکسید تیتانیوم دگوسا (P25)	۳۱/۷	۰/۰۰۳۲	۶۱/۲	۰/۰۰۸۷	۵۰	۲۱

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-15]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1397.7.1.2.6]



شکل ۳- (الف) ایزوترم جذب- واجذب نمونه TiO_2-ZnO **(ب) منحنی توزیع اندازه حفرات نمونه** TiO_2-ZnO **(ج) ایزوترم جذب- واجذب نمونه** TiO_2-ZnO-%5 Ag **(د) منحنی توزیع اندازه حفرات نمونه** TiO_2-ZnO-%5 Ag

۳-۴- بررسی فوتوکاتالیستی

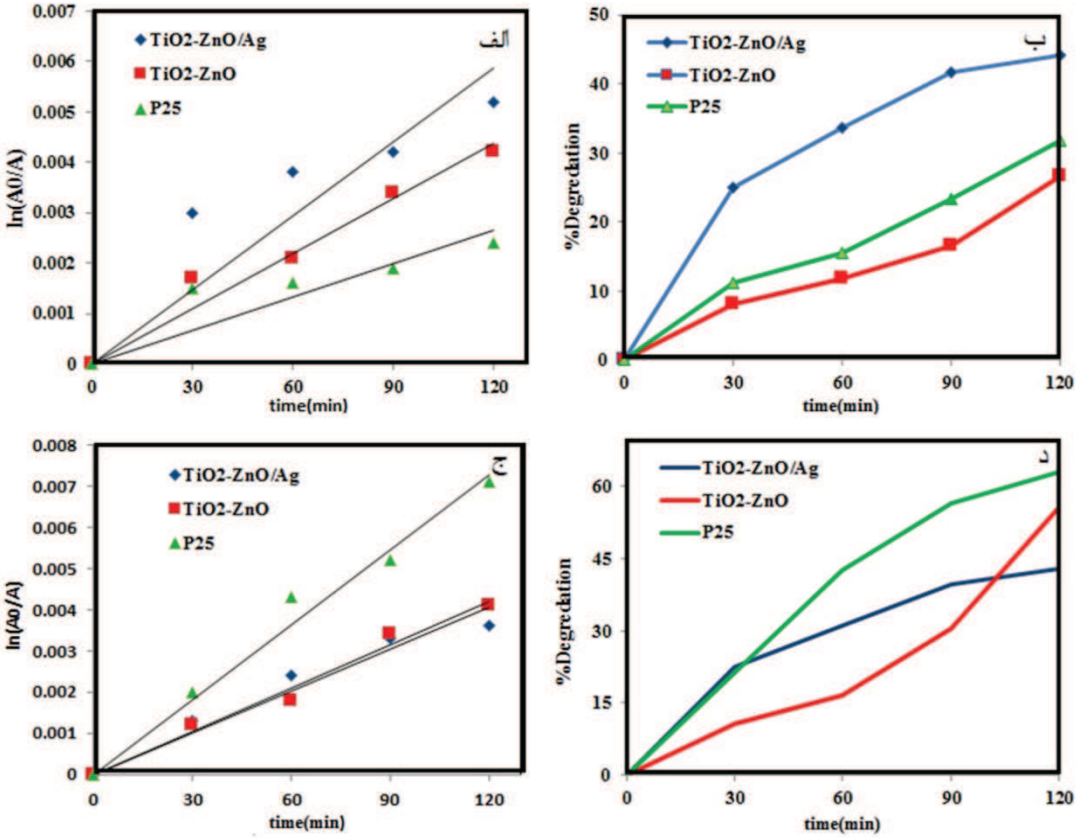
همان طور که در شکل ۴-الف و ۴-ج مشاهده می‌شود، بر اساس مدل Langmuir نمودار در مقابل زمان واکنش تحت تابش نور مرئی و فرابنفش رسم شد که به صورت یک خط راست مشاهده می‌شود و شیب نمودار، ثابت سرعت (K) را نشان می‌دهد. بر این اساس تجزیه فوتوکاتالیستی آلاینده متیلن بلو در حضور نانو کامپوزیت اکسید تیتانیوم- اکسید روی آلاییده شده با نقره و دیگر نمونه‌ها از سینتیک درجه یک پیروی می‌کند .

شکل ۴-ب و د نمودار درصد تخریب آلاینده متیلن بلو را در اثر تابش نور مرئی و فرابنفش در مدت زمان‌های ۰ تا ۱۲۰ دقیقه را نشان می‌دهد. در نمودار ۴-ب بیشترین درصد تخریب آلاینده تحت نور مرئی مربوط به نانوکامپوزیت مزوپور TiO_2-ZnO-5%Ag مشاهده شد که دلیل این امر را می‌توان به تاثیر مثبت افزودن نقره در کنار فاز آناتاز و

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-15]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1397.7.1.2.6]

اکسید روی و سطح ویژه بالای این نمونه نسبت داد. در نمودار ۴-د، تحت تابش نور فرابنفش بالاترین فعالیت فوتوکاتالیستی در نمونه تجاری اکسید تیتانیوم دگوسا (P25) مشاهده شد که این بازدهی بالا را می‌توان به درصد بالای فاز آناتاز در این نمونه نسبت داد.



شکل ۴- مقایسه نمودار سینتیکی و تخریب متیلن بلو در زمان‌های مختلف (الف-ب) تحت نور مرئی، (ج-د) تحت نور فرابنفش

درصد تخریب محلول آلاینده متیلن بلو و ثابت سرعت واکنش تحت نور مرئی و نور فرابنفش کامپوزیت اکسید تیتانیوم و اکسید روی آلاییده شده با نقره و نمونه تجاری اکسید تیتانیوم P25 بعد از گذشت ۱۲۰ دقیقه در جدول ۱ مشاهده می‌گردد.

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق نانوکامپوزیت مزوپور TiO_2-ZnO-5%Ag با نسبت وزنی اکسید تیتانیوم به اکسید روی۱:۱ و با آلایش ۵ درصد وزنی نقره به روش ساده هیدروترمال در یک مرحله سنتز شد. نتایج حاصل از الگوی پراش پرتو ایکس مربوط به نمونه TiO_2-ZnO-5%Ag حضور سه فاز اکسید تیتانیوم (آناتاز)، اکسید روی و نقره را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از آنالیز BET نشان داد افزودن نقره به نانوکامپوزیت اکسید تیتانیوم- اکسید روی موجب افزایش سطح ویژه شده است که این عامل بر افزایش فعالیت فوتوکاتالیستی موثر بوده است. نتایج حاصل از آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی از نمونه مزوپور TiO2-ZnO-5%Ag مورفولوژی ذرات را

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-15]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1397.7.1.2.6]

کـروی و محـدوده انـدازه ذرات را ۳۰ نـانومتر گـزارش داد. فعالیت فوتوکاتالیستی نمونه TiO_2-ZnO-5%Ag تحت نور مرئی بیشتر از نمونه‌های TiO_2-ZnO و P25 مشاهده شد.

۵- تشکر و قدردانی

این پروژه با حمایت مالی مرکـز مطالعـات و همکـاری‌هـای علمی بین‌الملل انجام شده است.

مراجع

[1] R. K. C. Walid Elshorbagy., "Water Treatment," vol. 15, 2013.

[2] Q. Wan, T. H. Wang, and J. C. Zhao, "Enhanced photocatalytic activity of ZnO nanotetrapods," Appl. Phys. Lett., vol. 87, no. 8, 2005.

[3] C.-L. Zhang, J.-J. Li, and S.-Y. Li, "Photocatalytic degradation of pefloxacin in water by modified nano-zinc oxide," Mater. Lett., vol. 206, no. June, pp. 146–149, 2017.

[4] B. Mazinani, A. K. A. K. Masrom, A. Beitollahi, and R. Luque, "Photocatalytic activity, surface area and phase modification of mesoporous SiO2-TiO2 prepared by a one-step hydrothermal procedure," Ceram. Int., vol. 40, no. 8 PART A, pp. 11525–11532, 2014.

[۵] احمدی، نسرین. نعمتی، علی. جمشـیدی، علـی "آماده سازی پوشش‌های نانو TiO_2 آلاییده شده بـا هـر دو یـون نیتـروژن و سـریم و بررسـی خـواص فوتوکاتالیستی آن‌ها،" نانو مواد، سال سوم، شماره ۸، زمستان ۹۰.

[6] C. Jaramillo-Páez, J. A. Navío, M. C. Hidalgo, and M. Macías, "High UV-photocatalytic activity of ZnO and Ag/ZnO synthesized by a facile method," Catal. Today, vol. 284, pp. 121–128, 2017.

[7] S. Moradi, P. Aberoomand-Azar, S. Raeis-Farshid, S. Abedini-Khorrami, and M. H. Givianrad, "The effect of different molar ratios of ZnO on characterization and photocatalytic activity of TiO2/ZnO nanocomposite," J. Saudi Chem. Soc., vol. 20, no. 4, pp. 373–378, 2016.

[8] C. Cheng, A. Amini, C. Zhu, Z. Xu, H. Song, and N. Wang, "Enhanced photocatalytic performance of TiO2-ZnO hybrid nanostructures.," Sci. Rep., vol. 4, 2014.

[9] J. Tian, L. Chen, J. Dai, X. Wang, Y. Yin, and P. Wu, "Preparation and characterization of TiO2, ZnO, and TiO2/ZnO nanofilms via sol-gel process," Ceram. Int., vol. 35, no. 6, pp. 2261–2270, 2009.

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-15]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1397.7.1.2.6]

[10] H. R. Pant et al., "Antibacterial and photocatalytic properties of Ag/TiO2/ZnO nano-flowers prepared by facile one-pot hydrothermal process," Ceram. Int., vol. 39, no. 2, pp. 1503–1510, 2013.

[11] J. Tian et al., "Photocatalyst of TiO2/ZnO nano composite film: Preparation, characterization, and photodegradation activity of methyl orange," Surf. Coatings Technol., vol. 204, no. 1–2, pp. 205–214, 2009.

[12] M. R. Delsouz Khaki, M. S. Shafeeyan, A. A. A. Raman, and W. M. A. W. Daud, "Evaluating the efficiency of nano-sized Cu doped TiO2/ZnO photocatalyst under visible light irradiation," J. Mol. Liq., 2017.

[13] P. Silija, Z. Yaakob, V. Suraja, N. N. Binitha, and Z. S. Akmal, "An enthusiastic glance in to the visible responsive photocatalysts for energy production and pollutant removal, with special emphasis on titania," Int. J. Photoenergy, vol. 2012, 2012.

[14] "10.1016- j.jhazmat.2014.12.045- Ag-ZnO- heterostructures- and- their-photocatalytic- activity- under- visible-light- Effect- of- reducing- medium.pdf.".

[۱۵] سارا، یزدخواستی. علی، دوست محمدی. منشی، احمد. "ساخت، مشخصه‌یابی و بررسی مقایسه‌ای خاصیت آنتی باکتریال نانو ذرات Ag-TiO_2,"ZnO-TiO_2, مواد پیشرفته در مهندسی، سال ۳۴، شماره۴، ۱۳۹۳.

[16] Y. Liu, S. Wei, and W. Gao, "Ag/ZnO heterostructures and their photocatalytic activity under visible light: Effect of reducing medium," J. Hazard. Mater., vol. 287, pp. 59–68, 2015.

[17] K. Kalpana and V. Selvaraj, "A novel approach for the synthesis of highly active ZnO/TiO2/Ag2O nanocomposite and its photocatalytic applications," Ceram. Int., vol. 41, no. 8, pp. 9671–9679, 2015.

[18] R. Kumar, M. S. Abdel-Wahab, M. A. Barakat, J. Rashid, N. Salah, and A. A. Al-Ghamdi, "Role of N doping on the structural, optical and photocatalytic properties of the silver deposited ZnO thin films," J. Taiwan Inst. Chem. Eng., vol. 69, pp. 131–138, 2016.

[19] P. Nuengmatcha, S. Chanthai, R. Mahachai, and W. C. Oh, "Visible light-

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-15]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1397.7.1.2.6]

driven photocatalytic degradation of rhodamine B and industrial dyes (texbrite BAC-L and texbrite NFW-L) by ZnO-graphene-TiO2 composite," J. Environ. Chem. Eng., vol. 4, no. 2, pp. 2170–2177, 2016.

[20] B. Mazinani, A. Beitollahi, A. K. Masrom, L. Samiee, and Z. Ahmadi, "Synthesis and photocatalytic performance of hollow sphere particles of SiO2-TiO2 composite of mesocellular foam walls," Ceram. Int., vol. 43, no. 15, pp. 11786–11791, 2017.

[21] B. Mazinani et al., "The effects of hydrothermal temperature on structural and photocatalytic properties of ordered large pore size TiO 2-SiO 2 mesostructured composite," J. Alloys Compd., vol. 519, pp. 72–76, 2012.

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-15]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1397.7.1.2.6]