



## تولید و بررسی ویژگی ساختاری، نوری و فتوکاتالیستی الیاف چندسازه ZnO/TiO<sub>2</sub> تزئین شده به نقره

محمد قائدگیوی<sup>۱</sup> | مصطفی فضلی<sup>۱\*</sup> | محمدحسین احسانی<sup>۲\*</sup> | ساناز علمداری<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>گروه شیمی، پردیس علوم، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران  
<sup>۲</sup>گروه فیزیک، پردیس علوم، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

**چکیده:** در این پژوهش، الیاف چندسازه اکسیدروی/تیتانیوم دی‌اکسید تزئین شده به نقره (ZnO/TiO<sub>2</sub>: Ag) با روش ساده کشش تهیه شدند. خصوصیات و ویژگیهای ساختاری، نوری و فتوکاتالیستی الیاف تهیه شده بررسی شد. نتایج حاصل از پراش پرتوی ایکس (XRD) ساختار بلوری هگزاگونال ZnO و روتایل TiO<sub>2</sub> در چندسازه را تایید کرد. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نشان داد اندازه قطر الیاف تهیه شده حدود ۱۰ میکرومتر است. مطابق با بررسی طیف سنجی تبدیل فوریه فروسرخ (FTIR) و پراکندگی انرژی پرتو ایکس (EDX)، پیوندهای قوی عناصر مربوطه و حضورشان در ساختار چندسازه تایید شد. افزایش دمای کلسیناسیون سبب بهبود ساختار و خلوص بیشتر چندسازه شد. عملکرد فتوکاتالیستی الیاف تهیه شده با استفاده از تخریب کنندگی رنگ متیلن آبی (MB) تحت تابش نور UVA مورد مطالعه قرار گرفت. مشاهده شد که نانوالیاف تهیه شده ویژگیهای فیزیکی-نوری مناسب و خواص رنگبری (۹۸٪) در زمان ۱۰۰ دقیقه تحت تابش نور در دسترس UVA را برای کاربردهای تصفیه پساب‌های صنعتی حاوی رنگ دارند.

**واژگان کلیدی:** الیاف، چندسازه، فتوکاتالیست، خواص نوری، اکسیدروی، تیتانیوم دی‌اکسید.

ehsani@semnan.ac.ir  
mfazli@semnan.ac.ir

### ۱- مقدمه

فاصلاب‌های حاوی رنگ به دلایل مزایای فراوانش مورد توجه بیشتری قرار گرفته است [۴،۵]. اکسید روی (ZnO) و تیتانیوم دی‌اکسید (TiO<sub>2</sub>) به دلیل ویژگی نیم‌رسانا و پیزوالکتریک دوگانه با شکاف نوری پهن به ترتیب ۳/۳۷ و ۳/۲ الکترون‌ولت، ویژگی فیزیکی و نوری منحصر به فردی ارائه کرده‌اند [۲]. این مواد توسط سازمان غذا و داروی ایالات متحده (USFDA) تحت عنوان مواد ایمن (GRAS) برای مصرف انسانی طبقه‌بندی می‌شوند [۲]. با توجه به ویژگی قابل توجه خود، این مواد به طور گسترده به عنوان مواد ضدباکتری بالقوه، ضدسرطان، کاتالیست، حسگر، نوری، اپتوالکترونیک و مواد انرژی مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۸-۱۰].

در طی این سال‌ها، در نتیجه توسعه صنعتی، انواع آلاینده‌ها به بدنه‌های آبی و رودخانه‌ها تخلیه شده‌اند که بسیار آثار منفی بر محیط‌زیست برجای گذاشته‌اند. به‌عنوان مثال رنگ‌هایی، مانند MB، به طور گسترده در صنایع نساجی استفاده می‌شود که به دلیل ثبات رنگی آنها، میکروارگانیزم‌های موجود در آب نمی‌تواند بیشتر رنگ‌ها و برخی از آنها را به راحتی تجزیه کند حتی در بعضی موارد در طول تجزیه آنها مواد سرطان‌زا تولید می‌شود [۱،۳]. معمولاً روش‌های فیزیکی و بیولوژیکی در حذف رنگ‌ها از آب مؤثر نیستند. به تازگی روش تخریب نوری در تصفیه

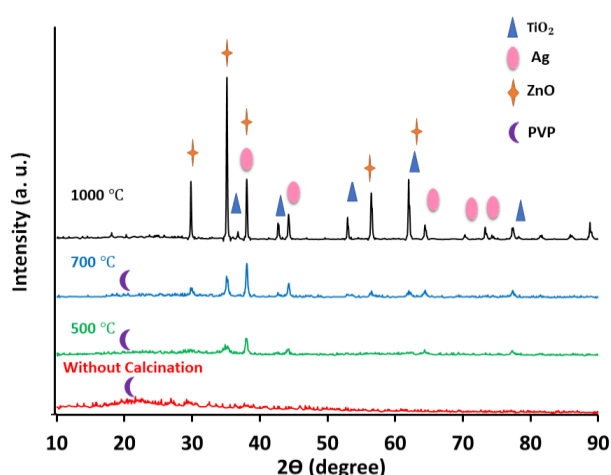
۱. نیم‌رسانا  $TiO_2$  و  $ZnO$  به دلیل دارا بودن گاف انرژی مناسب و پایداری بالا، انرژی نور را در محدوده UV جذب می‌کنند و آنها را برای برنامه‌های کاربردهای در این ناحیه جذاب می‌کند [۳]. به تازگی ساختار ناهمگونی (S-S) چندسازه  $TiO_2/ZnO$  به ترتیب ۲۵٪ و ۱۳٪ رنگ‌های MB و MR در نور مستقیم خورشید را تخریب کرد [۱]. در مطالعه دیگری تحت تابش نور مرئی، عملکرد تخریب فوتوکاتالیستی الیاف  $TiO_2/ZnO$  برای رنگ MB حدود ۷۲٫۴۵٪ در ۱۲۵ دقیقه به دست آمد و دمای بازپخت بهینه بررسی شد [۹]. عوامل متفاوتی مانند pH محیط، دمای بازپخت، غلظت، آلیش، نوع رنگ، ماتریس پایه الیاف، ساختار، نوع و اندازه کاتالیست بر عملکرد فوتوکاتالیستی بسیار تاثیر گذار هستند [۱۰ و ۱۱]. گزارش شده است نقره به شکل موثری در بهبود ویژگی فوتوکاتالیستی الیاف چند پوسته  $ZnO/TiO_2/ZnSe$  نقش داشته است [۱۲]. در این پژوهش نانوالیاف  $ZnO/TiO_2/Ag$  به روش الکترورسی تولید و مشخصه‌یابی شدند. ویژگی فوتوکاتالیستی نیز در مقایسه با سایر مطالعات در حوزه این نانوجندسازه، درصد تخریب رنگ بالاتری در زمان کوتاه‌تر نشان داد.

نانوالیاف  $ZnO/TiO_2/Ag$  تهیه شده به روش الکترورسی ظرفیت ویژه و برگشت‌پذیری بالا و عملکرد سرعت عالی به‌عنوان مواد آند در باتری‌های یونی - لیتیومی نشان دادند [۲]. نانوجندسازه سه‌تایی  $ZnO/TiO_2/Ag$  تهیه شده به روش هم رسوبی ویژگی ضد میکروبی و زیست سازگاری قوی از خود نشان دادند [۳]. در مطالعه دیگری نانوالیاف چندسازه  $ZnO/TiO_2$  تهیه شده به روش الکترورسی ۹۵/۸ درصد تخریب مولکول‌های رنگ را در مدت زمان ۱۲۵ دقیقه تحت تابش نور مرئی از خود نشان دادند [۴]. در این مطالعه الیاف چندسازه  $ZnO/TiO_2$  ترین شده به نقره با روش ساده و کم‌هزینه کشش تهیه شدند و ویژگی ساختاری و نوری آنها مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین خاصیت رنگ‌بری آنها نسبت به رنگ پایدار MB تحت تابش نور UVA که نسبت به نور UV ارزان‌تر، سالم‌تر و قابلیت دسترسی بیشتر دارد بررسی شد.

## ۲- بخش تجربی و مشخصه‌یابی

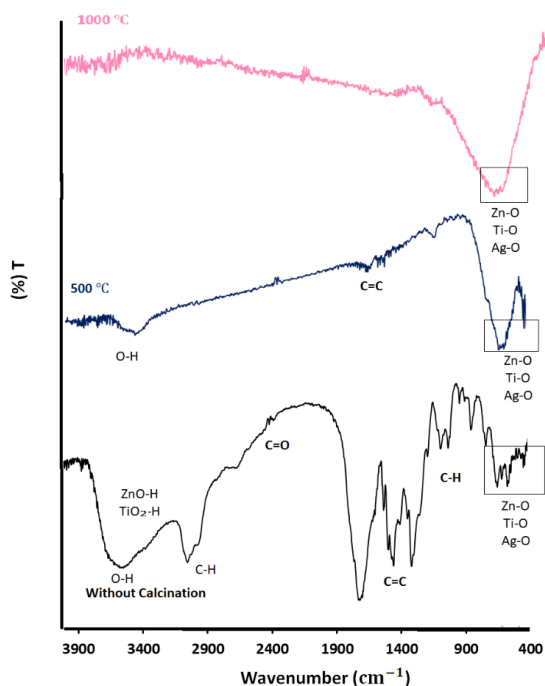
مواد استفاده شده در سنتز نانوالیاف چندسازه‌ی شامل استات روی دی هیدرات ۹۹/۹۹ درصد مرک، اتانول مطلق مرک، نیترات نقره ۹۹/۹۹ درصد مرک، تری اتانول آمین ۹۹/۹۹ درصد مرک، استیک اسید ۹۸ درصد سیگما، تترا بوتیل تیتانات ۹۹ درصد سیگما و پلی‌وینیل پیرولیدون (PVP) با درصد وزن مولی ۴۰۰۰۰ سیگما بودند.

در ابتدا مقدار ۰/۲۵ مولار استات روی در ۲۰ سی‌سی اتانول حل شد و مقداری تری اتانول آمین با نسبت ۳ به ۵ به آن اضافه و به مدت ۳۰ دقیقه روی همزن مغناطیسی قرار گرفت. بعد از آن مقدار ۲ سی‌سی تری بوتیل تیتانات به محلول فوق اضافه شد و بعد از گذشتن ۲۰ دقیقه، مقدار معینی از نیترات نقره که جداگانه در ۵ سی‌سی آب دیونیزه حل شده بود همراه چند قطره استیک اسید به آرامی درون محلول ریخته شدند.  $ZnO-TiO_2$  ترین شده به نقره مطابق استوکیومتری ۲۰-۸۰ به بسپار PVP در یک بشر بزرگ‌تر با یکدیگر مخلوط شدند تا یک محلول کامل همگن از مواد اولیه حاصل شود. جهت تولید الیاف، پودر PVP به صورت تدریجی درحالی‌که همگن سازی محلول‌ها توسط همزن مغناطیسی ادامه داشت به محلول چندسازه افزوده و پس از رسیدن محلول به ویسکوزیته معین، آماده تهیه نانوالیاف به روش کشش شدند. در حالت کشش جهت افزایش میزان الیاف تولیدی و سرعت تولید ابتدا دو صفحه فلزی قابل انعطاف کوچک ریخته شد و با حرکت صفحه، الیاف تشکیل شد. سپس، در دمای ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۳ ساعت کلسینه شده و جهت آنالیز آماده شدند. ویژگی اپتیکی، ساختاری و ریخت‌شناسی نانوالیاف سنتز شده با مشخصه‌یابی‌های متفاوت از جمله طیف‌سنجی طیف بازتابی نفوذی (UV-vis (diffuse reflectance (S\_4100)، فوتولومینسانس (Perkin-Elmer)، پراش پرتوی ایکس (Panalytical)، تبدیل فوریه فرسوخ (FTIR-Perkin Elmer) RX-I) و میکروسکوپ الکترونی روبشی (MIRA3TESCAN) بررسی شد. ویژگی فوتوکاتالیستی نمونه با بررسی تخریب محلول MB=10ppm تحت تابش نور UVA (UV lamp = 250 W) انجام شد. برای انجام آزمایش، ۰/۰۱ گرم از نمونه پودری در محلول رنگی قرار داده شد و به مدت ۱۰۰ دقیقه تحت تابش نور فرابنفش قرار گرفت. در ادامه، ۵ سی‌سی از محلول برداشته شده سانتریفیوژ شده و پایان از محلول جدا شده، جذب نمونه‌ها در طول



شکل ۱- الگوی پراش پرتو ایکس الیاف چندسازه تهیه شده در دماهای متفاوت کلسیناسیون

مطابق با شکل ۲ و طیف FTIR، حضور پیوندهای قوی Zn-O و Ag-O، Ti-O و سایر ترکیبات در ساختار چندسازه مشخص شده است [۴]. قله‌های C-H و O-H بیانگر حضور مقداری آب و اتانول نیز در ساختار چندسازه است که با افزایش دمای کلسیناسیون شدت این قله‌ها کاهش و یا از بین رفته است.



شکل ۲- طیف FTIR نانوالیاف چندسازه در دماهای متفاوت کلسیناسیون

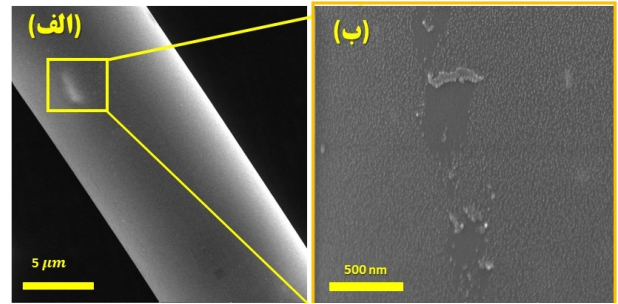
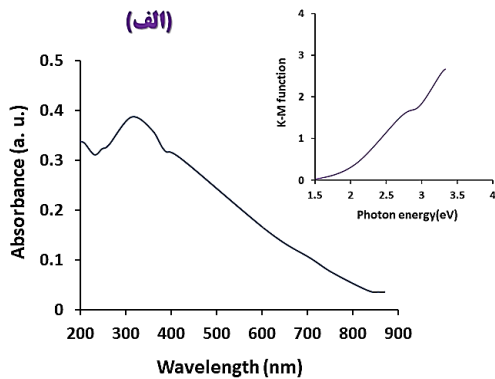
موج ۶۶۴ اندازه‌گیری شد. لازم به ذکر است که پیش از اندازه‌گیری، محلول شامل نمونه پودری به مدت نیم ساعت در محیط تاریک برای رسیدن به جذب - و جذب تعادلی نگهداری شد. برای محاسبه درصد تخریب رنگ از رابطه ۱ استفاده شد که  $A_1$  میزان جذب محلول رنگی MB پس از تابش نور در حضور نمونه پودری و  $A_0$  میزان جذب محلول رنگی پس از افزودن نمونه پودری در محیط تاریک است [۷].

$$D = (A - A_0) / A_0 \times 100 \quad (1)$$

که در آن  $A_0$  جذب اولیه محلول متیلن بلو،  $A$  جذب و  $D$  درصد تخریب را نشان می‌دهد.

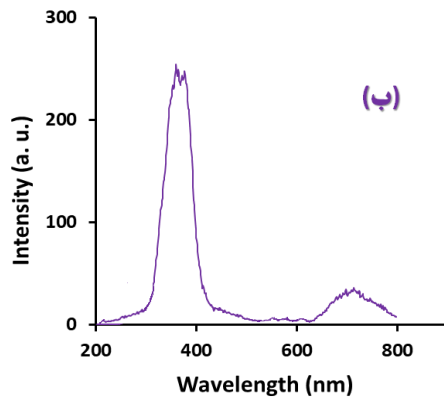
### ۳- بررسی نتایج

در شکل ۱، الگوی پراش XRD نمونه چندسازه الیاف تهیه همراه با فازها و دسته صفحات مربوط به هر ساختار نشان داده شده است. مطابق با شکل ۲، ماده موردنظر منطبق با ساختار کریستالی هگزاگونال اکسیدروی و ساختار کریستالی روتایل تیتانیوم دی‌اکسید است که با کارتهای استاندارد CPDS شماره 98-016-5011 و 98-015-4604 و 98-060-4629 به ترتیب برای ساختارهای کریستالی ZnO و  $TiO_2$ ، نانوذرات نقره مطابقت دارد [۵]. نتایج ساختاری و قله‌های پراش ایجاد شده در کار مشابهی در چندسازه سه تایی ZnO/TiO<sub>2</sub>/Ag مشاهده شد [۵]. همچنین با افزایش دمای کلسیناسیون، شدت قله‌ها افزایش یافته و قله‌های ناخواسته مربوط به ناخالصی‌ها کاهش یافته که بیانگر این است که خلوص چندسازه بیشتر شده و پیوندهای کربنی ناشی از بسپار و آب از ساختار بیشتر خارج شده است. بنظر میرسد قله‌های ریز زیر ۲۵ درجه مربوط به باقی ماندن مقداری از گروههای استات یا شست شوی ناکافی باشد.

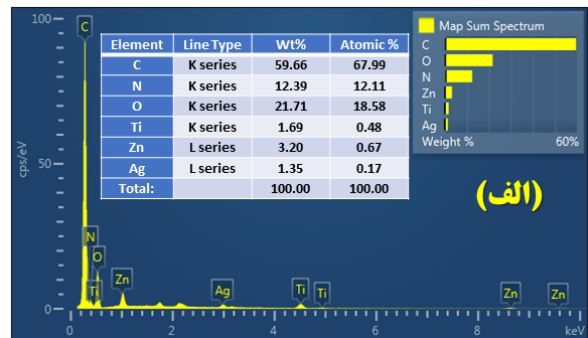


شکل ۳- (الف و ب): تصاویر SEM الیاف چندسازه ZnO/TiO<sub>2</sub>:Ag

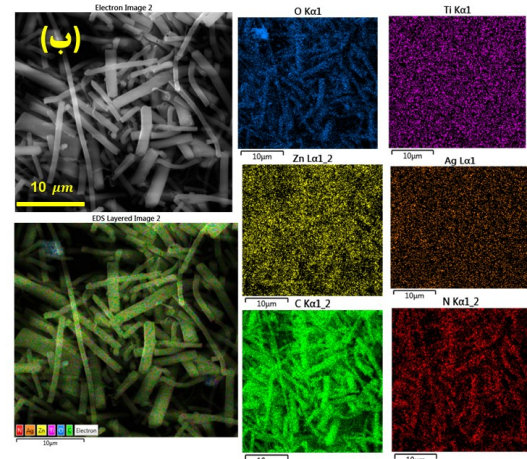
شکل ۳، نیز تصاویر SEM الیاف تهیه شده را در دو بزرگ‌نمایی متفاوت نشان می‌دهد، مطابق با شکل، الیاف تهیه شده به روش کشش دارای قطر میانگین حدود ۱۰ میکرومتر هستند و نانوذرات چندسازه به خوبی روی آنها پخش و تزیین شده‌اند. مطابق با شکل ۴ (الف) طیف EDX نیز حضور عناصر روی، تیتانیوم، اکسیژن، کربن و مقداری نیتروژن در ساختار چندسازه‌ی الیاف تهیه شده بر پایه PVP را تأیید کرد. شکل ۴(ب)، نیز Elemental mapping و توزیع همگن عناصر موجود در ساختار را به خوبی نشان می‌دهد.



شکل ۵- (الف): طیف بازتابی نفوذی به همراه گاف نواری و (ب): طیف فوتولومینسانس الیاف چندسازه



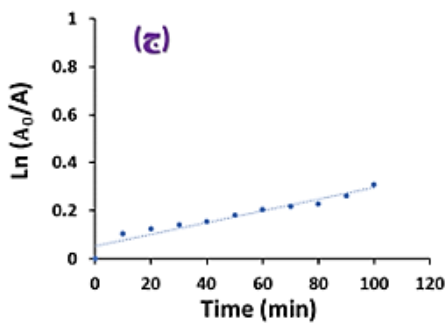
مقدار گاف انرژی الیاف چندسازه ZnO/TiO<sub>2</sub>:Ag در شکل ۵ (الف) مطابق با قانون کیوبلکا مانک (K-M) حدود ۲/۲ الکترون‌ولت به دست آمد. طیف فوتولومینسانس الیاف سنتز شده نیز در شکل ۵(ب) و دمای اتاق ( $\lambda_{ex} = 280 \text{ nm}$ ) نشان داده شده است. الیاف تهیه شده در ناحیه آبی یک نشر قوی و در ناحیه قرمز نشر ضعیف تری را به دلیل وجود نواقص ذاتی و غیرذاتی در شبکه اکسیدروی و تیتانیوم دی اکسید از خود نشان داد. در واقع نشر قوی ناحیه اول به دلیل کوپل شدگی قوی نانوذرات ZnO و TiO<sub>2</sub> نزدیک لبه نواری است [۸-۶]. ویژگی فتوکاتالیستی الیاف تولید شده بر روی رنگزای متیلن بلو تحت تابش نور در زمان متفاوت انجام گرفت که نتایج طیف جذبی آن در شکل ۶ (الف) ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، رنگبری خوبی برای این ماده قابل پیش بینی است. برای بدست آوردن میزان درصد تخریب رنگ نمونه‌ها از معادله (۱) استفاده شد.



شکل ۴(الف): طیف EDX و (ب) Elemental mapping الیاف چندسازه

مطابق با شکل ۶ (ب)، در زمان ۱۰۰ دقیقه بازده تخریب حدود ۹۶ درصد به دست آمد. نمودار مربوط به ثابت ظاهری سرعت واکنش درجه اول در شکل ۶ (ج) نشان داده شده است [۱۱-۱۳].





شکل ۶- (الف): طیف جذبی، (ب): درصد تخریب رنگ MB و (ج) نمودار ظاهری سینتیتیک اولیه برای الیاف چندسازه تهیه شده تحت تابش نور در زمان‌های متفاوت

## نتیجه‌گیری

در این پژوهش، الیاف ZnO/TiO<sub>2</sub>:Ag به روشی ساده و کم‌هزینه کشش تهیه شد. ساختار، ریخت‌شناسی، ویژگی نوری و فتوکاتالیستی نمونه تهیه شده با استفاده از تکنیک‌های متفاوت مورد بررسی قرار گرفت. مطابق با الگوی پراش XRD و کارت‌های استاندارد JCPDS ساختار بلوری چندسازه با ماده‌های اکسید روی و تیتانیم دی‌اکسید مطابقت داشت. اندازه قطر میانگین الیاف تهیه شده حدود ۱۰ میکرومتر برآورد شد. حضور عناصر مربوطه در ساختار تأیید شد. نتایج نشان داد الیاف چندسازه تهیه شده با این روش ساده و کم‌هزینه، به دلیل ویژگی نوری جذاب در ناحیه فرابنفش - مرئی برای کاربردهای فتوکاتالیستی و نوری می‌توانند گزینه مناسبی باشند که در آینده به بررسی آنها بیشتر خواهیم پرداخت. در واقع عناصری مانند نقره با اثر تشدید پلاسمون سطح و اتصال نانو ساختارهای پلاسمونیک به فتوکاتالیست‌های نیم‌رسانا، سبب تقویت نوری از طریق افزایش طول مسیر نوری و تمرکز میدان فرودی، افزایش جذب نور، انتقال مستقیم انرژی پلاسمونیک از فلز به نیم رسانا، سبب تفکیک موثر بار در نیم‌رسانا شده و بهره فتوکاتالیستی را بهبود می‌بخشند.

## مراجع

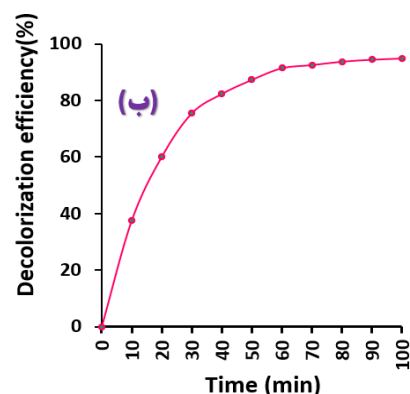
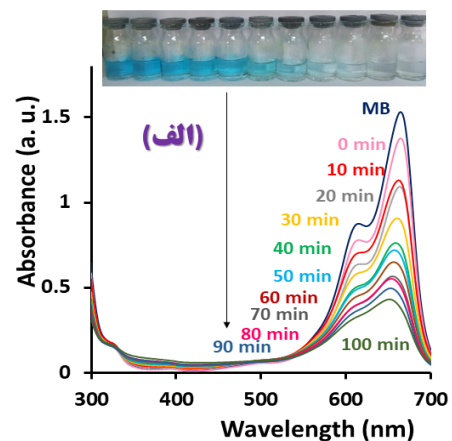
[1] Q.i Li, P. Wu, Y. Huang, P. Chen, K. Wu, J. Wu, Y. Luo, L. Wang, S. Yang, Z. Liu, X. Guo, "Synthesis A novel lattice-embedded ZnO@TiO<sub>2</sub>(B) anoflowers promotes photocatalytic

طبق رابطه (۲) و از برازش خطی داده‌ها در شکل ۶ (ج) ثابت سرعت واکنش  $K_{app}$  حدود  $0.002 \text{ min}^{-1}$  به دست آمد.

در رابطه (۲) نشان دهنده سرعت واکنش،  $A_0$  غلظت اولیه رنگ در  $t=0$  و  $A$  غلظت محلول در زمان واکنش  $t$  است.

$$-\ln(A / A_0) = K_{app} t \quad (2)$$

در مطالعه اخیری پراگاتیسواران و همکارانش، چندسازه پودری TiO<sub>2</sub>/ZnO تزیین شده به نقره را با روش سل ژل سنتز کردند و در خصوص رنگ آلیزارین و کریستال ویولت درصد تخریب را حدود ۹۲ و ۹۵ به ترتیب گزارش کردند [۴-۶]. در این پژوهش نانوالیاف ZnO/TiO<sub>2</sub>/Ag تولید شده به روش الکترورسی درصد تخریب رنگ بالاتری در زمان کوتاه‌تر در مقایسه با سایر مطالعات انجام شده نشان داد [۱۴].



of ZnO and CWO Nanopowders for Radiation Sensing,” Progress in Physics of Applied Materials, 1(1), 14-18, 2021.

[9] K. Shanmugam Ranjith, T.Uyar, “ZnO-TiO<sub>2</sub> Composites and Ternary ZnTiO<sub>3</sub> Electrospun Nanofibers: Influence on Annealing on Photocatalytic Response and Reusable Functionality”, CrystEngComm, (2018)

[10] M. Abbaspoor, M. Aliannezhadi, F. S Tehrani, “Effect of solution pH on as-synthesized and calcined WO<sub>3</sub> nanoparticles synthesized using sol-gel method” Optical Materials 121, 111552, (2021)

[11] F. Shariatmadar Tehrani, H. Ahmadian, M. Aliannezhadi, “High specific surface area micro-mesoporous WO<sub>3</sub> nanostructures synthesized with facile hydrothermal method”, The European Physical Journal Plus 136 (1), 1-11, 2021

[12] Li Zhan et al., “Optimized design of multi-shell ZnO/TiO<sub>2</sub>/ZnSe nanowires decorated with Ag nanoparticles for photocatalytic applications”, RSC Adv., , 6, 2016 71800

[13] H. Gulyas, Á. S. O. Argáez, F. Kong, C. L. Jorge, S. Eggers, and R. Otterpohl, "Combining activated carbon adsorption with heterogeneous photocatalytic oxidation: lack of synergy for biologically treated greywater and tetraethylene glycol dimethyl ether" Environmental technology, 34, 1393-1403, 2013.

[14] C. Pragathiswaran, C. Smitha, B. Mahin Abbubakkar, P. Govindhan, N. Anantha Krishnan, “Synthesis and characterization of TiO<sub>2</sub>/ZnO–Ag nanocomposite for photocatalytic degradation of dyes and anti-microbial activity”, Materials Today: Proceedings, 45, 2, 3357-3364, 2021

production of H<sub>2</sub>,” International Journal of Hydrogen Energy, 2022.

[2] M.S Hasan, F. Zemajtis, M. Nosonovsky, K. Sobolev, “Synthesis Synthesis of ZnO/TiO<sub>2</sub>-Based Hydrophobic Antimicrobial Coatings for Steel and Their Roughness, Wetting, and Tribological Characterization,” ASME. J. Tribol, 144(8), 081402, 2022.

[3] M. Hamouda et al., “Synthesis of TiO<sub>2</sub>@ZnO heterojunction for dye photodegradation and wastewater treatment,” Journal of Alloys and Compounds, 886, 733-744, 2021.

[4] J. Zhao, et al., “ZnO/TiO<sub>2</sub>/C nanofibers by electrospinning for high-performance lithium storage,” J Mater Sci 56, 2497–2505, 2021.

[5] P. Sakthi Mohan, F. BSonsuddin, A. B. Mainal, R. Yahya; G. Venkatraman, J. Vadivelu, D. A. Al-Farraj, A. M. Al-Mohaimeed, K. M. Alarijani, “Facile In-Situ Fabrication of a Ternary ZnO/TiO<sub>2</sub>/Ag Nanocomposite for Enhanced Bactericidal and Biocompatibility Properties,” Antibiotics, 10, 86, 2021.

[6] K. Shanmugam Ranjith, T. Uyar, “ZnO–TiO<sub>2</sub> composites and ternary ZnTiO<sub>3</sub> electrospun nanofibers: the influence of annealing on the photocatalytic response and reusable functionality,” CrystEngComm, 20, 5801-5813, 2018 .

[7] J. Singh, S. Kumar, K. Ashis, R. K. Soni, “Fabrication of ZnO–TiO<sub>2</sub> nanohybrids for rapid sunlight driven photodegradation of textile dyes and antibiotic residue molecules,” Optical Materials, 107, 110138, 2020.

[8] S. Alamdari, M. JafarTafreshi, M. H. Majlesara, M. S. Ghamsari, “Preparation and Characterization



# Preparation and study of structural, optical, and photocatalytic properties of ZnO / TiO<sub>2</sub>: Ag composite fibers

Mohammad Ghaedi Givi<sup>1</sup> | Mostafa Fazli<sup>1,\*</sup> | Mohammad Hossein Ehsani<sup>2,\*\*</sup> | Sanaz Alamdari<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Chemistry, College of Science, Semnan University, Semnan, Iran

<sup>2</sup>Faculty of Physics, College of Science, Semnan University, Semnan, Iran

**Abstract:** In this study, ZnO/TiO<sub>2</sub>: Ag composite fibers were prepared by a simple stretching method. The prepared fiber nanocomposites' structural, optical and photocatalytic properties were investigated. X-ray diffraction (XRD) results showed that the structure was successfully synthesized. Scanning electron microscopy (SEM) images showed that the diameter of the prepared fibers was about 10 micrometers. Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy and EDX energy scattering confirmed the strong bonds of the relevant elements and their presence in the composite structure. Increasing the calcination temperature improved the structure and purity of the composite. The photocatalytic performance of nanofiber composites for the degradation color of methylene blue (MB) under UVA light was studied. It was observed that the prepared nanofibers have suitable physical-optical properties and photocatalyst properties (98%) under UVA light exposure in 100 min for the treatment of industrial wastewater containing dyes.

**Keywords:** Fibers, Composite, Photocatalyst, Optical properties, Zinc Oxide, Titanium Dioxide