بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شهید چمران اهواز،
خوزستان، ایران.
۱۴-۱۲ بهمن ۱۴۰۰

# بررسی تاثیر نانو ذرات نقره بر ویژگی فوتوکاتالیستی تیتانیوم دی اکسید به منظور حذف آلاینده‌های محیطی با استفاده از منبع نور طبیعی

**مهین عساکره[۱*]، عبدالمحمدقلمبردزفولی[۱و۲]**

**[۱]گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران**

**[۲]مرکزتحقیقات لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران**

**[*]mahin-asakereh@stu.scu.ac.ir, a.ghalambor@scu.ac.ir**

**چکیده –با گسترش صنعت و تکنولوژی و افزایش زندگی مدرن شهری و همچنین مصرف بیشتر جوامع شهری، امروزه توجه به الاینده‌های محیطی بخصوص منابع آبی از اهمیت بالایی برخوردار است. یکی از آلاینده‌های مورد توجه و رایج این منابع رنگ‌های صنعتی می‌باشند. دراین مقاله میزان حذف آلایندهای محلول در آب (متیلن بلو) با استفاده ازخاصیت فوتوکاتالیستی نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم($TiO_2$) و تاثیر افزودن نانوذرات نقره(Ag) مورد بررسی قرار می‌گیرد، مطالعات تجربی در حضور نورو شرایط طبیعی (نورخورشید و محیط هوای آزاد) انجام شده و تاثیرات مدت زمان در معرض تابش، مقادیر مختلف غلظت‌های فوتوکاتالیست و آلاینده مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهند افزودن نانو ذرات نقره به نمونه‌های موردنظر، میزان حذف آلاینده (متیلن بلو) را به مقدار قابل توجهی افزایش می‌دهد. پیش بینی می‌شود که افزایش خصوصیت حذف آلایندگی محیط آبی می‌تواند ناشی از خاصیت پلاسمونیکی بالای نقره و اندرکنش قوی نور با آن، و همچنین شیفت ناحیه جذب طیفی به نزدیک ناحیه مرئی در ترکیب $TiO_2/Ag$ باشد.**

کلید واژه- آلاینده، تیتانیوم دی اکسید، فوتوکاتالیست، نقره، نورطبیعی

# Investigation of the effect of silver nanoparticles on the photocatalytic properties of titanium dioxide for removing environmental pollutants with natural light source

**Mahin Asakereh[۱*], Abdolmohammad Ghalambor Dezfuli[۱،۲]**

[۱]□□□□□□□□□□□□ □□ □□□□□□□□, □□□□□□□□ □□ □□□□□□□□, □□□□□□□ □□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□ □□ □□□□□□, □□□□□□,

**Iran**

[۲]□□□□□□□ □□□□ □□□□□□□□□ □□ □□□□□□ □□□□ □□□□□□□, □□□□□□□ □□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□ □□ □□□□□□, □□□□□□, □□□□

**[*]mahin-asakereh@stu.scu.ac.ir, a.ghalambor@scu.ac.ir**

**Abstract- With the expansion of industry and technology and the increase of modern urban life as well as more consumption of urban communities, today it is very important to pay attention to environmental pollutants, especially water resources. One of the most common pollutants in water resources is the industrial paints. In this paper, the rate of removal of water-soluble contaminants (methylene blue) by photocatalytic properties of titanium dioxide ($TiO_2$) nanoparticles and the effect of adding silver nanoparticles (Ag) to $TiO_2$ are investigated. Experimental studies in the natural conditions (sunlight and open-air) have been performed and the effects of sunlight exposure time, different amounts of photocatalyst, and pollutant concentrations have been investigated. The results show that the addition of silver nanoparticles to the $TiO_2$ nanoparticles will significantly increase the amount of contaminant removal (methylene blue). it is predicted that the increase in the removal of aquatic pollution can be attributed to the high plasmonic properties and the strong interaction of the electromagnetic**



[ Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06 ]

**wave with plasmonic properties of silver nanoparticles, as well as shift in the spectral absorption region of the $TiO_2$ / Ag compound from UV to the visible region.**
Keywords: pollutant, Titanium dioxide, Photocatalyst, Silver, Natural light

## مقدمه

با گسترش صنعت و تکنولوژی و افزایش زندگی مدرن شهری و همچنین مصرف بیشتر جوامع شهری، امروزه توجه به الاینده‌های محیطی بخصوص منابع آبی از اهمیت بالایی برخوردار است. یکی از آلاینده‌های مورد توجه و رایج این منابع، مواد آلی و بطور خاص رنگ‌های صنعتی می‌باشند. تاکنون روش‌های متعددی برای حذف این آلاینده‌ها از منابع آبی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته‌اند، اما در این‌میان روش‌های مبتنی بر استفاده از کاتالیست‌ها و اخیرا فوتوکاتالیست‌ها بیشتر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته‌اند[۲]. مواد مورد استفاده در روش آخری، مواد نیم-رسانا می‌باشند که به دلیل داشتن گاف انرژی، خاصیت فوتوکاتالیستی دارند[۶]. در نیم‌رساناها، بین نوار ظرفیت و نوار رسانش، یک نوار انرژی ممنوعه وجود دارد؛ که اگر ماده نوری با حداقل انرژی برابر با اندازه این نوار دریافت کند، الکترون‌ها می‌توانند از نوار ظرفیت به نوار رسانش جا به جا شده و حفره ها (مکان خالی الکترون‌ها) با بار مثبت در نوار ظرفیت شکل می‌گیرند. به زوج الکترون – حفره اکسایتون گفته می‌شود. هر دو ذره الکترون و حفره، چنانچه باز ترکیب نگردند، می‌توانند در فرآیند فوتوکاتالیستی از طریق عمل اکسایش و کاهش شرکت نمایند. در طی فرآیند فوتوکاتالیستی رادیکال‌های آزاد تولید می‌شوند که شرایط حذف آلاینده‌ها را از محیط مورد نظر فراهم می‌سازند. از بین مواد فوتوکاتالیست استفاده از $TiO_2$ و ZnO برای حذف آلاینده‌ها آلی توجه زیادی به‌خود جلب نموده‌اند[۲]. از طرفی نیم‌رسانای $TiO_2$ به دلیل دوام بالا، هزینهٔ پایین، سمیت کم، فوق آب‌دوست بودن، پایداری شیمیایی و فوتوشیمیایی بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد[۱].

با توجه به این که مقدار گاف انرژی در $TiO_2$ برابر eV ۳٫۲ است؛ جذب این ماده درناحیهٔ UV صورت می‌گیرد. از طرفی افزودن فلزهایی مانند: Sn، Mn، Au، Pd و Agبه این ماده می‌تواند طیف جذب مادهٔ موردنظر را در ناحیهٔ مرئی قرار داده، و هم‌چنین درصد باز ترکیب الکترون‌ها و حفره‌ها را در فوتوکاتالیست کاهش نماید، که این امر در نهایت عمل فوتوکاتالیستی ماده را تقویت می-نماید[۱].

در این میان استفاده از فلز نقره به علت خاصیت قوی پلاسمونی؛ تقویت جذب امواج الکترومغناطیسی از طریق اندرکنش قوی این امواج با پلاسمون‌ها، تغییر ناحیه جذب نوری، و نهایتا کاهش بازترکیب الکترون ـ حفره می‌تواند خصوصیت فوتوکاتالیستی دی اکسید تیتانیوم را تقویت نماید. هم‌چنین این عنصر از دیرباز بعنوان یک ماده با خاصیت ضدباکتری شناخته می‌شود. بطور خلاصه خاصیت پلاسمونی نقره، برهم‌کنش‌های مختلف ماده و نور را به طرز چشمگیری افزایش می‌دهد. به دلیل افزایش این برهم‌کنش‌ها؛ ماده، مقدار نور بیشتری جذب کرده و در نتیجه میزان تولید الکترون ـ حفره افزایش می‌یابد[۴،۵].

گزارش حاضر سعی دارد عملکرد فوتوکاتالیستی $TiO_2$، با حضور و بدون حضور نانوذرات نقره، تحت شرایط نور و محیط طبیعی (نورخورشید و محیط هوای آزاد) جهت حذف یک آلاینده آلی منتخب، بطور خاص یک رنگ صنعتی (متیلن بلو)، مورد بررسی و مطالعه قرار دهد. در این فرآیند تاثیرات مدت زمان در معرض تابش، مقادیر مختلف غلظت‌های فوتوکاتالیست، و آلاینده، مورد مطالعه قرار گرفته است. در این‌صورت با توجه به توضیحاتی که

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06 ]

در بالا به آن اشاره گردید، در این مطالعات انتظار داریم که در حضور نانو ذرات نقره، عملکرد فوتوکاتالیستی $TiO_2$ در مقابل نور طبیعی، به میزان قابل توجهی تقویت یافته و جذب به ناحیه مرئی نزدیک گردد. لازم به ذکر است که این آزمایش بدون حضور نقره و تحت تابش نور UV مصنوعی، توسط همین تیم، در محیط کنترل شده آزمایشگاه قبلا انجام شده و نتایج خوبی در این باره حاصل شده است.

## روش انجام آزمایش

ابتدا سه غلظت ٪۰,۰۰۱۲ ، ٪۰,۰۰۲۰ ، ٪۰,۰۰۲۸ محلول متیلن بلو، از آب دیونیزه و پودرمتیلن بلو تهیه شد. سپس دو محلول دیگر از نانو ذرات $TiO_2$ و ترکیب $Ag + TiO_2$ نیز به صورت جدا آماده سازی شده اند. برای هر کدام از غلظت ها، سه نمونه حاوی محلول به این صورت آماده سازی شدند:

Sample۱: MB

Sample۲: MB+ $TiO_2$

Sample۳: MB+ $TiO_2$+ Ag

نمونه‌ها به مدت یک شب در تاریکی مطلق قرار گرفتندکه هیچ تغییری در رنگ آن ها مشاهده نشد. سپس نمونه‌ها را در یک روز پاییزی (روز آفتابی و کمی ابری) با شدت تابش کم و شاخص UV( index =۴) ( پایین ) در محیط آزاد به مدت ۶ ساعت قرار دادیم. این آزمایش برای سه غلظت متفاوت متیلن، در چند روز مختلف (با UV index برابر ۳و ۴) و در مدت زمان های متفاوت انجام شد. هم‌چنین در طی سه مرحله، سه مقدار مختلف از محلول نانو ذرات به متیلن بلو اضاف شد.

## نتیجه‌گیری

نتیجه مشاهده شده نشان می دهد که Sample۱ در اثرتابش نور خورشید هیچگونه تغییری نداشته است. همچنین در Sample2 که در آن فقط از نانو ذرات $TiO_2$ استفاده شده، تغییرات قابل توجهی در مدت زمان مورد مطالعه مشاهده نگردید. جدول(۱) درصد تغییر نمونه ها را با میزان متفاوتی از نانوذرات نشان می‌دهد؛ تغییرات مورد نظر را در نمودار(۱) نیز مشاهده می کنیم. از آنجاییکه ناحیه جذب $TiO_2$ در حوزه طول موج UV قرار دارد، این امر می‌تواند به علت شاخص پایین UV در مکان آزمایش باشد. نهایتا نتایج نشان می‌دهد که رنگ Sample3 به میزان قابل توجهی تغییر کرده و میزان حذف آلاینده در مدت ۶ ساعت ۱۰٪، ۱۲ ساعت ۳۰٪ ، ۲۴ ساعت ۵۰٪، ۳۶ ساعت ۸۰٪ و نهایتا ۴۸ ساعت ۹۰٪ گزارش می‌شود(جدول۲). در شکل(۲) مشاهده می-شود که تغییرات به صورت صعودی می‌باشند. همانطور که قبلا نیز اشاره گردید در توصیف این نتایج بایستی اذعان داشت که علارغم شاخص پایین UV در مکان آزمایش به علت تغییر ناحیه طیفی $TiO_2$ با اضافه شدن نانو ذرات نقره، تقریبا شاهد حذف کامل آلاینده از محیط مورد نظر می‌باشیم. در شکل(۳) تغییر رنگ Sample3 در طی چهار روز(۴۸ ساعت) را مشاهده می‌کنیم.

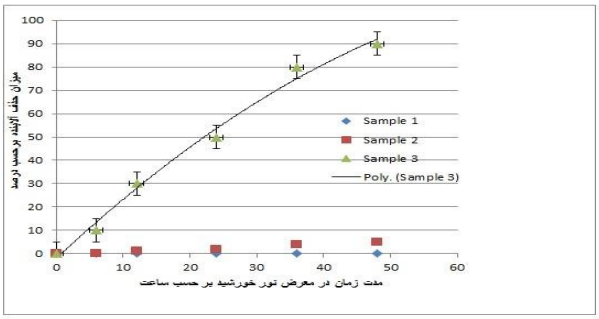
جدول۱: درصدحذف آلاینده ها برای مقدار مختلف نانوذرات در مدت زمان ثابت

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06 ]

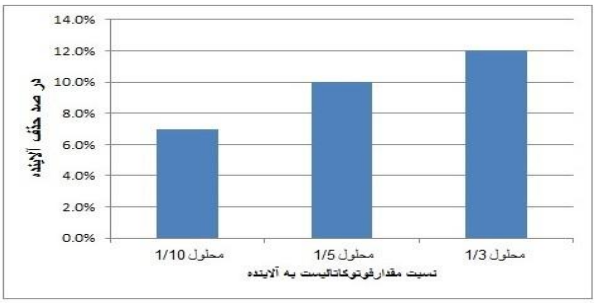
| میزان محلول نانوذرات درمدت زمان۶ ساعت | Sample1 درصدحذف آلاینده ها | Sample2 درصدحذف آلاینده ها | Sample3 درصدحذف آلاینده ها |
|---|---|---|---|
| $\frac{۱}{۱۰}$محلولMB | ۰٪ | ۰٪ | ۷٪ |
| $\frac{۱}{۵}$ محلول MB | ۰٪ | ۱٪ | ۱۰٪ |
| $\frac{۱}{۳}$ محلول MB | ۰٪ | ۲٪ | ۱۲٪ |

جدول۲: درصدحذف آلاینده ها برای مدت زمان مختلف با مقدار ثابت نانوذرات($\frac{۱}{۵}$ محلول MB)

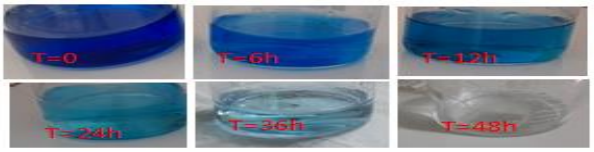
| مدت زمان تابش نور | Sample1 درصدحذف آلاینده ها | Sample2 درصدحذف آلاینده ها | Sample3 درصدحذف آلاینده ها |
|---|---|---|---|
| ۶ ساعت | ۰٪ | ۰٪ | ۱۰٪ |
| یک روز | ۰٪ | ۱٪ | ۳۰٪ |
| دو روز | ۰٪ | ۲٪ | ۵۰٪ |
| سه روز | ۰٪ | ۴٪ | ۸۰٪ |
| چهار روز | ۰٪ | ۵٪ | ۹۰٪ |




شکل۱: نمودار درصد حذف آلاینده ها برحسب میزان نانوذرات(مضربی از متیلن بلو)




شکل۲: نمودار درصد حذف آلاینده ها برحسب مدت زمان




شکل۳: تغییر رنگ Sample۳ در مدت زمان های متفاوت (برحسب ساعت)

## سپاسگزاری

مراتب تقدیر و تشکر صمیمانه خود را جهت استفاده از امکانات آزمایشگاهی دانشگاه شهید چمران اهواز و نیز حمایت شرکت شهرک های صنعتی خوزستان اعلام می نماییم.

## مرجع‌ها

[۱] D. Zhu and Q. Zhou, "Action and mechanism of semiconductor photocatalysis on degradation of organic pollutants in water treatment: A review," Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management ۱۲, ۱۰۰۲۵۵ (۲۰۱۹).

[۲] F. Zhang, X. Wang, H. Liu, C. Liu, Y. Wan, Y. Long ,and Z. Cai, "Recent advances and applications of semiconductor photocatalytic technology," Applied Sciences ۹, ۲٤۸۹ (۲۰۱۹).

[۳] D. Zhu and Q. Zhou, "Action and mechanism of semiconductor photocatalysis on degradation of organic pollutants in water treatment: A review," Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management ۱۲, ۱۰۰۲۵۵ (۲۰۱۹).

[٤] A. Melaiye and W. J. Youngs, "Silver and its application as an antimicrobial agent," Taylor & Francis, (۲۰۰۵).

[٥] H. Yu, Y. Peng, Y. Yang, and Z.-Y. Li, "Plasmon-enhanced light–matter interactions and applications," npj Computational Materials ٥, ۱-۱٤ (۲۰۱۹).

[٦] غ. ر. مرادی، ا. صدیق‌زاده، ر. یاراحمدی، ش. باکند، ع. ا. فرشاد، ب. رضایی‌فرد، م. علمدارخسرقی، " ساخت بسترنانو الیافی به روش الکتروریسی و تعیین کارایی‌آن در حذف نانوآئروسل ها،" مجلهٔ علمی پژوهشی سلامت کارایران ۱۱(۴)، (۱۳۹۳).



[ Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06 ]