

Study of Sonophotocatalytic Degradation of Acid Red 37 Dye Using MgO/g-C₃N₄@Zeolite Nanocomposite

Elham Fathi¹, Fahimeh Derakhshanfard¹, Parvin Gharbani^{*2}, Zohre Ghazi Tabatabaei²

1- Department of Chemical Engineering, Ahar Branch, Islamic Azad University, P.O. Box: 775/14515, Ahar, Iran

2- Department of Chemistry, Ahar Branch, Islamic Azad University, P.O. Box: 775/14515, Ahar, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 11-07-2021

Accepted: 18-10-2021

Available online: 11-09-2022

Print ISSN: 1735-8779

Online ISSN: 2383-2169

DOR: 20.1001.1.17358779.1401.16.2.5.9

Keywords:

MgO/g-C₃N₄@Zeolite nanocomposite

Sonophotocatalyst

Acid Red 37 dye

degradation

ABSTRACT

This research aimed to study sonophotocatalytic degradation of Reactive Orange 16 dye (RO16) by MgO/g-C₃N₄@Zeolite nanocomposite. MgO/g-C₃N₄@Zeolite nanocomposite was synthesized and characterized using the following methods: X-ray diffraction (XRD), fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), field emission scanning electron microscopy (FESEM), energy dispersive spectroscopy (EDS) and dot mapping. The synthesized nanocomposite was used as a photocatalyst to degrade RO16 dye aqueous solution. The tests were performed under UV light and ultrasound irradiation. The effect of main factors on the removal of the dye, such as reaction time, solution pH, initial dye concentration, and nanocomposite dosage, were investigated. Results demonstrated that the percentage of dye removal was increased by raising the reaction time, the solution pH, and nanocomposite dosage and decreased by increasing the initial dye concentration. The maximum removal percentage reached 72.36 % at a reaction time of 50 min., pH of 10, initial dye concentration of 10 mg/L, and nanocomposite dosage of 0.25 g/500mL.

*Corresponding author: p-gharabani@iau-ahar.ac.ir





مطالعه تخریب فراصوتی کاتالیزور نوری رنگزای اسید قرمز ۳۷ با استفاده از نانوکامپوزیت $MgO/g-C_3N_4 @ Zeolite$

الهام فتحی^۱، فهیمه درخشان فرد^۲، پروین غربانی^{۳*}، زهره قاضی طباطبایی^۴

۱- دانشجوی دکترا، گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی و مهندسی، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران، صندوق پستی: ۷۷۵/۱۴۵۱۵

۲- استادیار، گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی و مهندسی، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران، صندوق پستی: ۷۷۵/۱۴۵۱۵

۳- دانشیار، گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران، صندوق پستی: ۷۷۵/۱۴۵۱۵

۴- استادیار، گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران، صندوق پستی: ۷۷۵/۱۴۵۱۵

چکیده

هدف از این تحقیق بررسی تخریب فراصوتی کاتالیزور نوری رنگزا اسید قرمز ۳۷ (AR37) با استفاده از نانوکامپوزیت $MgO/g-C_3N_4 @ Zeolite$ بود. در این تحقیق، نانوکامپوزیت $MgO/g-C_3N_4 @ Zeolite$ سنتز شده و با دستگاه‌های پراش پرتو ایکس (XRD)، طیف‌سنجی تبدیل فوریه زیر قرمز (FTIR)، میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FESEM)، اسپکتروسکوپی پراش انرژی (EDS) و Dot mapping شناسایی شد. نانوکامپوزیت سنتز شده به عنوان کاتالیزور نوری برای تخریب رنگ اسید قرمز ۳۷ در محلول‌های آب تحت نور UV و امواج فراصوت به کار رفت. عوامل مؤثر بر فرآیند حذف رنگ شامل زمان واکنش، pH محلول، غلظت اولیه رنگ و مقدار نانوکامپوزیت بررسی شدند. نتایج نشان داد که درصد حذف رنگ با افزایش زمان واکنش، pH محلول و مقدار نانوکامپوزیت افزایش و با افزایش غلظت اولیه رنگ کاهش می‌یابد. بیشینه درصد حذف در زمان واکنش ۵۰ دقیقه، pH محلول ۱۰، غلظت اولیه رنگ ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر و مقدار کاتالیزور ۰٫۲۵ گرم بر ۵۰۰ میلی‌لیتر، به ۷۲٫۳۶ درصد رسید.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۴/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۷/۲۶

در دسترس به صورت الکترونیکی: ۱۴۰۱/۶/۲۰

شاپا چاپی: ۱۷۳۵-۸۷۷۹

شاپا الکترونیکی: ۲۳۸۳-۲۱۶۹

DOR: 20.1001.1.17358779.1401.16.2.5.9

واژه‌های کلیدی:

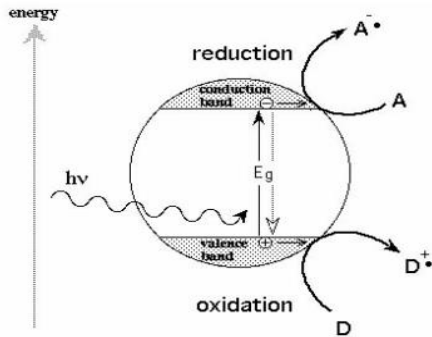
نانوکامپوزیت $MgO/g-C_3N_4 @ Zeolite$

فراصوت کاتالیزور نوری

رنگزا اسید قرمز ۳۷

تخریب





شکل ۲: فرآیند اکسید شدن پیشرفته.

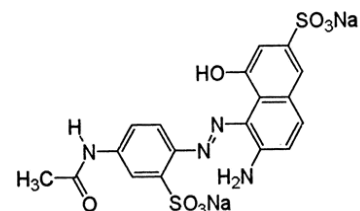
Figure 2: Advanced oxidation process.

حسی زاده فرد^۱ و همکارانش تخریب رنگ آزو راکتیو نارنجی ۱۶ را در حضور نانو کاتالیزور نوری حساس به نور مرئی $Ag/Ag_3VO_4/AgVO_3/GO$ بررسی کردند که بیشینه مقدار تخریب رنگ نارنجی ۱۶ در حدود ۹۷,۴۳ درصد به دست آمده است [۱۱]. جاواد^۲ و همکارانش جذب رنگ نارنجی ۱۶ را در حضور $chitosan-fly$ ash/Fe_3O_4 (CS-FA/ Fe_3O_4) مطالعه کردند که حداکثر ۷۳,۱ درصد از رنگ حذف شد [۱۲]. ملکوتیان^۳ و همکارانش به حذف کارآمد رنگ اورنج ۱۶ با استفاده از پودر دانه پسیلیوم پرداختند که در شرایط بهینه $pH=4$ ، زمان تماس ۴۰ دقیقه و مقدار کاتالیزور ۲ گرم بر لیتر به حذف ۹۴ درصد رنگ اورنج ۱۶ دست یافتند [۱۳]. همچنین بدیکار^۴ و همکارانش با استفاده از باکتری تجزیه کننده رنگ *Lysinibacillus sp.* RGS به بررسی تخریب بیولوژیکی رنگ نارنجی ۱۶ پرداخته اند که ۸۵ درصد از آن حذف شد [۱۴]. نانواکسیدهای فلزی دارای ویژگی هایی هستند که به اندازه آنها وابسته است و این ویژگی ها از گونه توده آنها قابل حصول نیست که عبارتند از: نسبت سطح به حجم بسیار بالا، خواص زیست پذیری مناسب، خواص الکتریکی، نوری، مغناطیسی و ویژگی های شیمیایی [۱۵]. از اکسیدهای فلزی مورد استفاده در فرآیندهای کاتالیزوری می توان اکسید منیزیم را نام برد. اکسید منیزیم یک نیم رسانا است که به دلیل دارا بودن حساسیت نوری بالا، خواص شیمیایی، مکانیکی، الکتریکی جالب، شکافت باند انرژی زیاد، پایداری بالا، ارزان قیمت بودن، ماهیت غیرسمی داشتن و بازده بالای تولید الکترون ها در فرآیندهای کاتالیزوری نوری بسیار مورد توجه است [۱۶]. اما شکافت باند انرژی گسترده، مانع استفاده از آن در فرآیندهای کاتالیزوری نوری می شود. همچنین تلاش های زیادی برای طراحی و تولید کاتالیزورهای نوری که دارای فعالیت نوری بیشتر و شکافت انرژی کوچک تر که قادر به برانگیخته شدن در معرض نور مرئی هستند،

۱- مقدمه

تولید رنگ در جهان سالانه در حدود یک میلیون تن تخمین زده می شود که در صنایع متعدد نظیر تولید مواد آرایشی، چرم، کاغذ و صنایع نساجی مصرف می شود. مصرف این ترکیبات در فرآیندهای صنعتی منجر به تولید حجم زیادی از پساب های رنگی می شود که تصفیه مؤثر و کارآمد آنها جزو الزامات زیست محیطی است [۱]. این رنگ ها باعث آلودگی شدید محیط زیست شده و حیات موجودات زنده اعم از انسان ها و حیوانات را به خطر می اندازند [۲]. رنگزاهای راکتیو با ساختار آزو بخش مهمی از رنگ های مصنوعی تجاری می باشد که دارای عامل رنگی پیوند دوگانه نیتروژن هستند و از جمله رنگزاهای پرکاربرد در صنایع نساجی هستند [۳]. رنگ های راکتیو به دلیل حلالت بالا در آب و تجزیه پذیری پایین به عنوان مسئله سازترین ترکیبات پساب های صنایع نساجی شناخته شده اند. این رنگ ها سرطان زا و سمی هستند و همچنین ممکن است سبب حساسیت یا تنگی نفس شوند و مشکلات تنفسی ایجاد کنند [۴-۵]. رنگزا اسید قرمز ۳۷ (AR37) (شکل ۱) که به طور گسترده در فرآیند رنگرزی ابریشم و نخ استفاده می شود. رنگ اسید قرمز ۳۷ دارای فرمول شیمیایی $C_{18}H_{14}N_4Na_2O_8S_2$ ، وزن مولکولی ۵۲۴,۴۴ بوده و طول موج بیشینه آن ۵۱۳ نانومتر می باشد [۶-۷].

روش های تصفیه مختلفی از قبیل روش های فیزیکی (جذب)، روش های زیستی، روش های اکسید شدن شیمیایی (نظیر ازن زنی)، روش های اکسید شدن پیشرفته، لخته سازی الکتریکی و غیره به منظور حذف رنگ از پساب های صنایع وجود دارد [۸-۹]. امروزه فرآیندهای اکسید شدن پیشرفته بر اساس فرآیند فراصوتی کاتالیزور نوری توسط اکسیدهای فلزی، به دلیل کارایی بسیار بالا و همچنین عدم ایجاد آلودگی های ثانویه در حذف آلاینده های آلی و عوامل میکروبی مورد توجه ویژه قرار گرفته است. سازوکار این فرآیندها، تابش اشعه با طول موج معین به ماده نیمه هادی در حضور امواج فراصوت و متعاقب آن برانگیختگی الکترون از باند ظرفیت به باند هدایت است. برانگیختگی الکترون باعث تولید رادیکال های هیدروکسیل در محیط های آبی می شود که این رادیکال ها از میل ترکیبی بسیار قوی برخوردارند و سبب تخریب آلاینده های آلی می گردند (شکل ۲) [۱۰].



شکل ۱: ساختار مولکولی رنگ اسید قرمز ۳۷.

Figure 1: Molecular structure of acid red dye 37.

- 1- Hazizadeh Fard
- 2- Jawad
- 3- Malakootian
- 4- Bedekar

صورت گرفته است. کربن نیتريد گرافیتی نیمه‌رسانای غیرفلزی، غیرسمی با پایداری حرارتی و شیمیایی بالا و باند گپ مناسب (۲,۷ الکترون‌ولت) است که استفاده از آن در فرآیندهای اکسایش پیشرفته به شدت مورد توجه قرار گرفته است [۱۷]. زئولیت یک ماده معدنی است که عمدتاً از آلیمینوسیلیکات‌ها تشکیل شده و کاربرد عمده آن در صنایع به‌عنوان جاذب سطحی و کاتالیزوری است [۱۸]. زئولیت کلینوپتیلولیت دارای سطح بزرگی بوده و می‌تواند به‌عنوان بستر برای $MgO/g-C_3N_4$ به کار رود.

در این تحقیق در نظر است ابتدا نانوکامپوزیت $MgO/g-C_3N_4@Zeolite$ سنتز شده و سپس کارایی آن در حذف سونوفوتوکاتالیتیکی رنگزا اسید قرمز ۳۷ مورد بررسی قرار گیرد.

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد

ملامین، منیزیم کلرید ۶ آبه، سدیم هیدروکسید و کلریدریک اسید از شرکت مرک خریداری شدند. رنگ اسید رد ۳۷ از شرکت زرین ارسباران اردبیل و زئولیت طبیعی کلینوپتیلولیت از شرکت افرازند سمنان تهیه شدند.

۲-۲- روش سنتز

۲-۲-۱- سنتز کربن نیتريد گرافیتی ($g-C_3N_4$)

برای تهیه کربن نیتريد گرافیتی، ۵ گرم از ملامین در یک بوته چینی نیمه‌بسته ریخته شده و داخل کوره با دمای ۵۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶ ساعت با جریان دمای ۴ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه قرار گرفت. نمونه حاصل، زرد رنگ بود.

۲-۲-۲- سنتز نانوذرات اکسید منیزیم (MgO)

۱۰۰ گرم از $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ داخل یک بشر یک لیتری حاوی ۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد. سپس بر روی آن قطره‌قطره محلول یک نرمال سود اضافه شد و تا زمانی که رسوب سفید رنگی حاصل شود با سرعت زیاد هم زده شد. سپس نمونه صاف شد تا $Mg(OH)_2$ حاصل شود. $Mg(OH)_2$ حاصل چندین بار با آب دیونیزه شستشو داده شده، در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شد. سپس به مدت ۲ ساعت در دمای ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد کلسینه شد تا نانوذرات اکسید منیزیم حاصل شود.

۲-۲-۳- تهیه $MgO/g-C_3N_4$

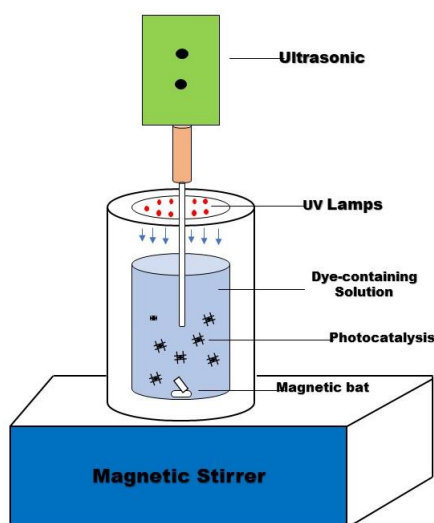
ابتدا ۰,۲۵ گرم از نانوذرات اکسید منیزیم با ۱,۲۵ گرم از ملامین مخلوط و به مدت ۴ ساعت در ۵۲۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت دمای ۴ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه داخل کوره قرار گرفت. نمونه حاصل آسیاب شده و برای تهیه کامپوزیت مورد استفاده قرار گرفت.

۲-۲-۴- تهیه کامپوزیت $MgO/g-C_3N_4@Zeolite$

ابتدا ۱۰ گرم از زئولیت در ۴۰۰ میلی‌لیتر از آب مقطر به مدت ۴۰ دقیقه با التراسونیک بصورت تعلیق درآمد و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار داده شد. سپس ۰,۶۴ گرم از $MgO/g-C_3N_4$ تهیه شده همراه با ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر، داخل ارلن مایر ۲۵۰ سی‌سی ریخته شد و ۳۰ دقیقه زیر التراسونیک قرار گرفت تا کاملاً معلق شود. این محلول تعلیق آرام‌آرام به داخل محلول زئولیت زیر همزن شدید اضافه شد. هم‌زمان محلول سدیم هیدروکسید نیم مولار هم اضافه شد تا pH محلول حدود ۱۰ شود. نمونه حاصل به مدت ۱۲ ساعت در دمای اتاق ماند. سپس محلول صاف شده و چندین بار با آب مقطر شسته شد. نمونه در آن ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک شده و در نهایت رسوب حاصل به مدت ۲ ساعت در داخل کوره با دمای ۲۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد.

۲-۳- آزمایش‌های سونوفوتوکاتالستی

تمامی آزمایش‌ها در درون بشر ۱ لیتری حاوی ۵۰۰ میلی‌لیتر محلول رنگی انجام شد و از همزن مغناطیسی جهت هم زدن محلول و ایجاد شرایط پایا استفاده شد. برای تنظیم pH محلول از هیدروکلریدریک اسید ۱ نرمال و سدیم هیدروکسید ۳ نرمال استفاده شد. در همه آزمایش‌ها از دستگاه اولتراسونیک مدل UP400S در فرکانس ثابت ۲۴ کیلوهرتز و توان ۴۰۰ وات استفاده شد. از یک راکتور از جنس استیل ضدزنگ که در قسمت بالای آن ۹ عدد لامپ فرابنفش ۳,۳ واتی تعبیه شده بود، برای انجام آزمایش‌ها استفاده شد (شکل ۳).



شکل ۳: شماتیک سونو راکتور نوری مورد استفاده در تخریب سونوفوتوکاتالستی AR37.

Figure 3. Schematic of sonophotoreactor used in sonophotocatalytic degradation of AR37

۳- نتایج و بحث

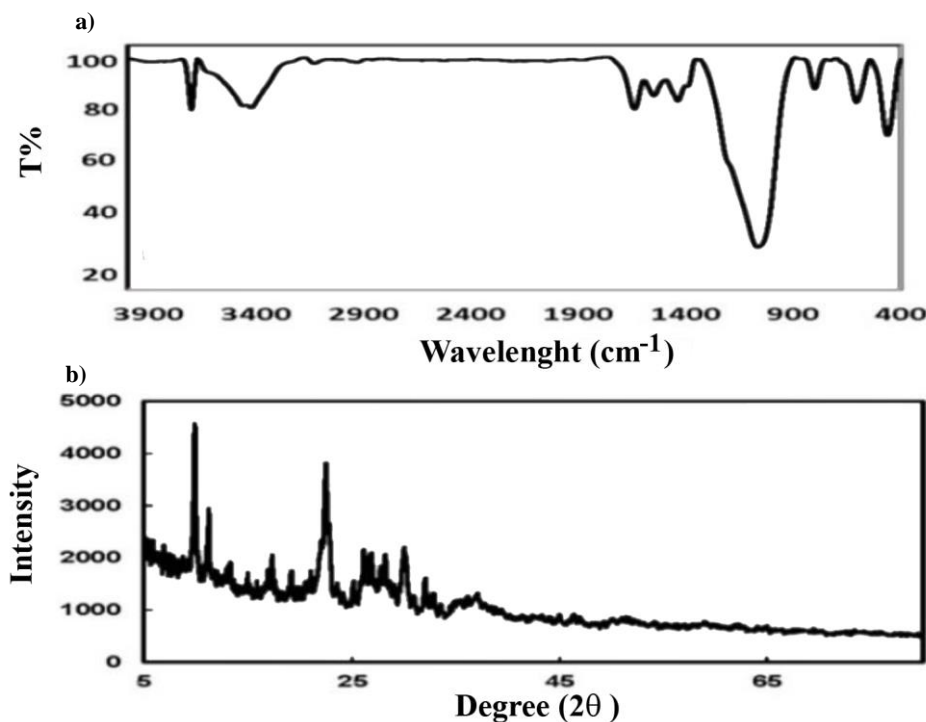
۳-۱- شناسایی مواد سنتز شده

در طیف FTIR کامپوزیت $MgO/g-C_3N_4/Zeolite$ در شکل ۴(a)، باند مشاهده شده در 1064 cm^{-1} مربوط به زئولیت، باند در 1428 و 1645 cm^{-1} مربوط به ملامین (گروه‌های H-N-H ملامین)، باند حاصل در 795 cm^{-1} مربوط به گروه C_3N_4 Tri-s-triazine، باندهای $461-605\text{ cm}^{-1}$ مربوط به ارتعاش‌های اکسید منیزیم، باند 3421 cm^{-1} منطبق بر مد کششی گروه‌های O-H و باند حاصل در 3707 cm^{-1} مربوط به ارتعاش کششی گروه‌های O-H است [۲۰]. در شکل ۴ (b) طیف XRD برای $MgO/g-C_3N_4/zeolite$ نشان داده شده است. در طیف پراش پرتو X کامپوزیت $MgO/g-C_3N_4/zeolite$ تهیه شده، طیف‌های دیده شده در 2θ برابر با 9.88° ، 11.21° ، 17.46° ، 22.90° ، 22.62° ، 22.46° ، 27.97° ، 37.18° دیده شده در $2\theta = 13.21^\circ$ زئولیت کلینوپتیلولیت، طیف دیده شده در $2\theta = 37.18^\circ$ مربوط به $g-C_3N_4$ ، طیف دیده شده در $2\theta = 37.18^\circ$ مربوط به واکنش متقابل MgO با $g-C_3N_4$ است [۲۲].

جهت حذف فراصوتی کاتالیزور نوری رنگ اسید قرمز ۳۷، محلول رنگی تهیه شده با غلظت مشخص داخل راکتور نوری ریخته شده و بعد از اضافه کردن مقدار مشخص از کاتالیزور $MgO/g-C_3N_4/Zeolite$ و تنظیم pH، راکتور نوری بر روی هم‌زن مغناطیسی و زیر دستگاه اولتراسونیک قرار گرفت. در زمان‌های موردنظر از محلول نمونه‌برداری شده و مقدار جذب توسط دستگاه طیف‌سنج UV-Vis بررسی شد.

۴-۲- آنالیز

$MgO/g-C_3N_4/Zeolite$ سنتز شده توسط دستگاه‌های FTIR مدل (PerkinElmer spectrum Two model)، XRD مدل (Pert Pro، X'Pert Analytical) تأیید شد. سپس ریخت‌شناسی و اندازه قطر ذرات با دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی انتشار میدانی (FESEM، SIGMA VP-500، Zeiss) تعیین شد و آنالیز عنصری نقطه‌ای EDX و پراکندگی عناصر (Dot Mapping) توسط روش (Aztec Energy Software) انجام شد. میزان حذف رنگ اسید قرمز ۳۷ توسط دستگاه طیف‌سنج UV-Vis مدل (DR5000-15V، Oxford Instruments) بررسی شد. اندازه‌گیری شد. (HACH CO, America) اندازه‌گیری شد.



شکل ۴: (a) طیف FTIR و (b) الگوی XRD برای $MgO/g-C_3N_4/zeolite$.

Figure 4 : a) FTIR spectrum and b) XRD pattern for $MgO/g-C_3N_4/zeolite$.

۲-۲-۳- تخریب فراصوتی کاتالیزور نوری

جهت بررسی تأثیر عوامل اصلی در فرآیند فراصوتی کاتالیزور نوری تخریب رنگ اسید قرمز ۳۷ تحت نور فرابنفش، چهار عامل تأثیرگذار بر تخریب رنگ اسید قرمز ۳۷ شامل غلظت اولیه رنگ اسید قرمز ۳۷، مقدار کامپوزیت، زمان و pH انتخاب شدند.

۱-۲-۳- تأثیر غلظت رنگ

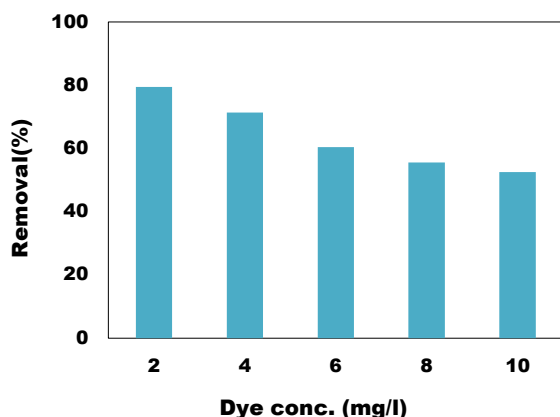
برای بررسی اثر غلظت اولیه رنگ بر میزان تخریب فراصوتی کاتالیزور نوری، میزان تخریب فراصوتی کاتالیزور نوری در غلظت‌های ۵۰-۱۰ میلی‌گرم بر لیتر از رنگ اسید قرمز ۳۷ مطالعه شد. نتایج نشان داد با افزایش غلظت اولیه رنگ، میزان تخریب فراصوتی کاتالیزور نوری آن کاهش می‌یابد (شکل ۶). کاهش در میزان تخریب با افزایش اولیه غلظت رنگ می‌تواند به این صورت توجیه شود که وقتی غلظت اولیه رنگ افزایش می‌یابد، مانع عبور نور به درون محلول شده و در نتیجه عبور کم‌نور به داخل محلول، مقدار کمتری از گونه‌های اکسیدکننده ایجاد می‌شود. علاوه بر این در غلظت‌های بیشتر از رنگ، مقدار بیشتری از مولکول‌های رنگ سطح کاتالیزور نوری را پوشانده و مانع واکنش متقابل فوتون‌ها با کاتالیزور نوری می‌شوند [۲۳].

۲-۲-۳- تأثیر زمان

نتایج نشان داد (شکل ۷) که با افزایش زمان واکنش، درصد تخریب رنگ اسید قرمز ۳۷ افزایش می‌یابد. زیرا با گذشت زمان با تجمع مولکول‌های رنگ در جایگاه‌های خالی و اشغال نشده کامپوزیت، غلظت رنگ کاهش یافته و لذا درصد حذف افزایش می‌یابد [۲۴].

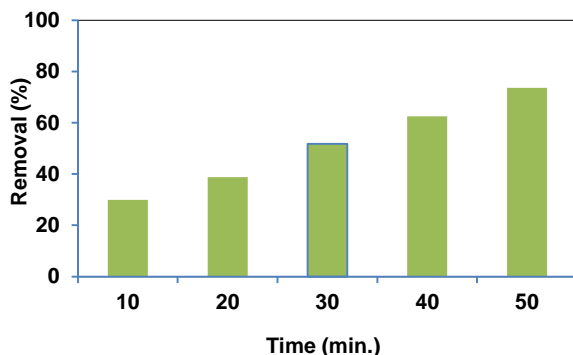
۳-۲-۳- تأثیر مقدار کاتالیزور نوری

از فاکتورهای مهم دیگر در فرآیند فراصوتی کاتالیزور نوری غلظت یا مقدار کاتالیزور نوری است که مطابق نتایج حاصل در این تحقیق، با افزایش مقدار کاتالیزور، درصد تخریب رنگ اسید قرمز ۳۷ افزایش می‌یابد (شکل ۸). دلیل این پدیده به علت افزایش جایگاه‌های خالی و اشغال نشده با افزایش مقدار کاتالیزور نوری است. به‌طور کلی با افزایش مقدار کاتالیزور مکان‌های جذبی بیشتری در دسترس خواهد بود لذا درصد حذف رنگ افزایش خواهد یافت [۲۵]. در مقادیر کم کاتالیزور، احتمالاً به دلیل ناکافی بودن جایگاه‌های فعال و اشباع شدن سطح کاتالیزور، درصد حذف رنگ کاهش می‌یابد [۲۶]. از طرفی در فرآیند فراصوتی کاتالیزور نوری با افزایش مقدار کاتالیزور، دسترسی ذرات نیمه‌هادی برای جذب پروتون افزایش یافته و در نتیجه تعداد بیشتری جایگاه‌های اکسیدکننده تشکیل می‌شود که منجر به تخریب بیشتر رنگ اسید قرمز ۳۷ می‌شود [۲۷].



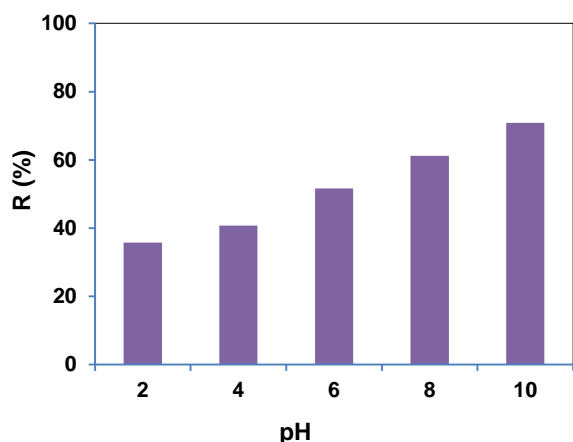
شکل ۶: اثر غلظت اولیه رنگ اسید قرمز ۳۷ در حذف فراصوتی کاتالیزور نوری رنگ اسید رد ۳۷؛ مقدار کاتالیزور نوری ۰.۲۵ g/۵۰۰ ml، pH=۱۰؛ زمان ۵۰ دقیقه.

Figure 6: The effect of the initial concentration of acid red 37 dye in the sonophotocatalytic removal of acid red 37 dye; The amount of photocatalyst=0.25 g/500 ml; pH=10; Time 50 min.



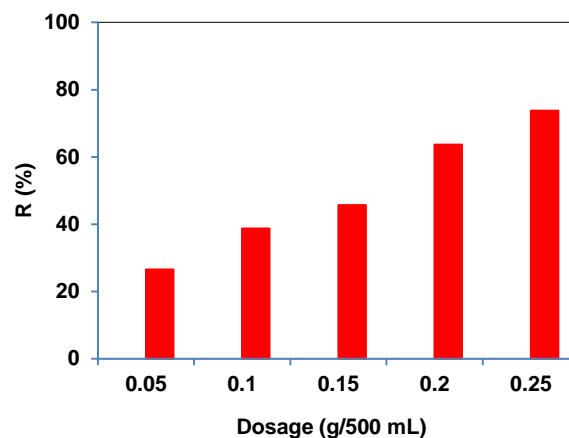
شکل ۷: اثر زمان واکنش در حذف فراصوتی کاتالیزور نوری رنگ اسید قرمز ۳۷؛ مقدار کاتالیزور نوری ۰.۲۵ g/۵۰۰ ml، غلظت رنگ ۱۰ mg/l؛ pH=۱۰.

Figure 7: The effect of reaction time on the sonophotocatalytic removal of acid red 37 dye; The amount of photocatalyst is 0.25g/500 ml; Color concentration 10 mg/l; pH= 10.



شکل ۹: اثر pH در حذف فراصوتی کاتالیزور نوری رنگ اسید قرمز ۳۷؛ مقدار کاتالیزور نوری ۵۰۰ ml / ۰.۲۵ g؛ غلظت رنگ ۱۰ mg/l؛ زمان ۵۰ دقیقه.

Figure 9: Effect of pH in the sonophotocatalytic removal of acid red 37 dye; The amount of photocatalys = 0.25 g/500 ml; Color concentration = 10 mg/l; Time 50 min.



شکل ۸: تأثیر مقدار نانوکامپوزیت در حذف فراصوتی کاتالیزور نوری رنگ اسید قرمز ۳۷ غلظت رنگ ۱۰ mg/l؛ pH= ۱۰؛ زمان ۵۰ دقیقه.

Figure 8: The effect of the amount of nanocomposite on the sonophotocatalytic removal of acid red 37 dye; Color concentration=10 mg/l; pH = 10; Time 50 min.

۳-۲-۴- تأثیر pH

با افزایش تولید رادیکال‌های هیدروکسیل (بر اساس رابطه‌های ۲-۹)، مولکول‌های رنگ داخل محلول سریع‌تر تخریب شده و لذا درصد تخریب در pH های قلیائی افزایش می‌یابد. در واقع می‌توان نتیجه گرفت که رادیکال‌های هیدروکسیل مسئول اصلی تخریب فراصوتی کاتالیزور نوری AR37 هستند [۳۱].

در فناوری کاتالیزور فراصوت، امواج فراصوت با بسامد بالا برای تشکیل، رشد، نوسان و ایجاد حباب‌هایی با اندازه کوچک استفاده می‌شوند که باعث ایجاد نقاط دائمی فشار و دمای بالا می‌شود. این شرایط باعث پیرولیز آب شده و به دنبال آن مولکول‌های اکسیژن حل شده و رادیکال‌های هیدروکسیل تولید می‌کند که مولکول‌های AR37 را اکسید می‌کند [۳۲]. (معادلات ۲-۹):



مقدار pH محلول از جمله عوامل بسیار مهم و تأثیرگذار بر انجام واکنش‌های شیمیایی است که بر ساختار آلاینده مورد بررسی، خواص سطحی نانوکاتالیزور یا نانوماده و سینتیک مواد واکنش‌گر اثر می‌گذارد [۲۸]. از طرفی در سیستم‌های کاتالیزوری ناهمگن، pH می‌تواند بر خواص سطحی اکسیدهای فلزی که توسط گروه هیدروکسیل در حضور آب تولید می‌شوند اثر بگذارد. علاوه بر این در حالت طبیعی بار الکتریکی سطحی مؤثر در سطح انواع مختلف کاتالیزورها ممکن است به صورت مثبت یا منفی باشند که به خصوصیات سطحی به‌ویژه گروه‌های عامل سطحی و اجزا تشکیل‌دهنده کاتالیزور بستگی دارد. با افزایش pH، بار الکتریکی غالب در سطح کاتالیزور منفی شده و با کاهش pH، بار الکتریکی غالب در سطح کاتالیزور مثبت می‌گردد [۲۹]. مطابق نتایج حاصل با افزایش pH، درصد تخریب فراصوتی کاتالیزور نوری رنگ اسید قرمز ۳۷ افزایش می‌یابد (شکل ۹). در pH پایین، MgO های داخل نانوکامپوزیت با H^+ های موجود در محلول واکنش داده و به طور کامل در محلول حل می‌شود. در ضمن در pH های پایین H^+ با AR37 با بار منفی کمپلکس تشکیل می‌دهد و بنابراین واکنش متقابل الکترواستاتیک با مکان‌های فعال نانوکامپوزیت کاهش می‌یابد [۳۰].

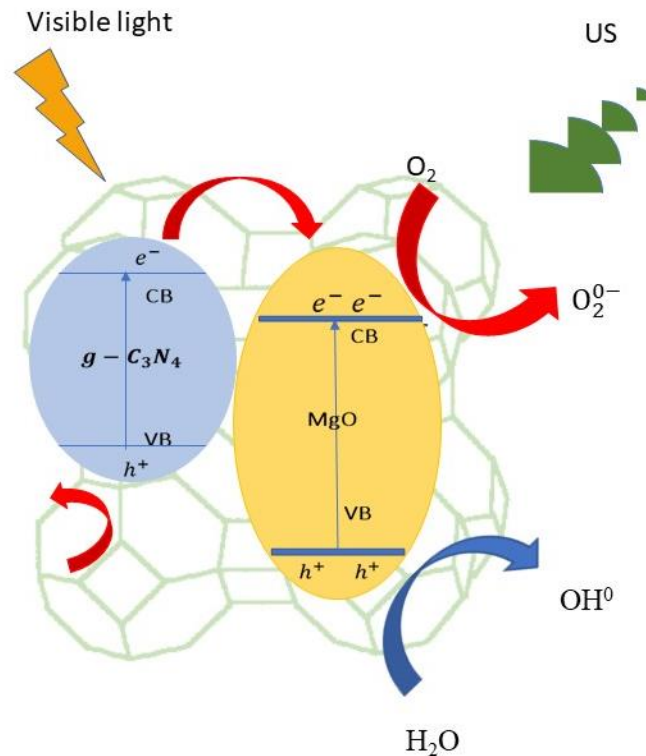
رنگ اسید قرمز ۳۷ به شکل پروتونه می‌باشد. در شکل پروتونه بار مثبت مولکول زیاد است و به همین دلیل با توجه به مثبت بودن سطح کاتالیزور نوری در pH های پایین، احتمال جذب رنگزا روی سطح کاتالیزور نوری کاهش می‌یابد. از طرفی با افزایش مقدار pH، در فرآیند فراصوتی کاتالیزور نوری غلظت یون‌های هیدروکسیل افزایش یافته و در نتیجه تشکیل رادیکال‌های هیدروکسیل افزایش می‌یابد [۲۷].

افزایش می‌دهند و به این ترتیب درصد حذف رنگ اسید قرمز ۳۷ افزایش می‌یابد. این نتایج همچنین با مطالعات قبلی توافق خوبی خواهد داشت [۳۳-۳۴]. شکل ۱۰ فرآیند پیشنهادی تخریب فراصوتی کاتالیزور نوری AR37 با استفاده از نانوکامپوزیت MgO را نشان می‌دهد.

۳-۳- مقایسه کارآیی نانوکامپوزیت $MgO/g-C_3N_4@Zeolite$ با سایر کاتالیست‌ها

جدول ۱. مقایسه اثر کاتالیزور نوری نانوکامپوزیت $MgO/g-C_3N_4@Zeolite$ را با سایر کاتالیست‌های نوری نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود نانوکامپوزیت $MgO/g-C_3N_4@Zeolite$ در مقایسه با سایر کامپوزیت‌ها در مدت‌زمان کمتری یعنی ۵۰ دقیقه حدود ۷۲ درصد از AR37 را حذف کرده است. بدیهی است که با افزایش زمان، درصد حذف بیشتری از AR37 حذف خواهد شد.

در فرآیند فراصوتی کاتالیزور نوری نیز تحت تابش نور مرئی به کامپوزیت، الکترون‌ها (e^-) ایجاد می‌شوند که از نوار والانس MgO (VB) و $g-C_3N_4$ به نوار هدایت خود (CB) برانگیخته می‌شوند که منجر به ایجاد حفره‌های (h^+) در نوار والانس می‌شوند. الکترون‌های حاصل از نور به سختی می‌توانند توسط اکسید منیزیم با باند گپ وسیع (5.2 eV) جذب شوند و نمی‌توانند جذب قابل توجهی تحت نور مرئی داشته باشند. از طرف دیگر، کربن نیتريد گرافیتی ($g-C_3N_4$) دارای انرژی نوار هدایت بالاتری ($CB = -1.15$ eV) در مقایسه با اکسید منیزیم ($CB = -1.02$ eV) می‌باشد؛ بنابراین، در فرآیند کاتالیزور نوری، پیوند ناهمگون بین اکسید منیزیم و کربن نیتريد گرافیتی به وجود می‌آید که الکترون‌های حاصل از نور هدایت کربن نیتريد گرافیتی به نوار هدایت اکسید منیزیم انتقال پیدا می‌کند. در نتیجه حفره‌های ایجاد شده افزایش یافته و از اختلاط مجدد الکترون‌ها و حفره‌ها جلوگیری می‌شود. در واقع تعامل متقابل بین MgO و $g-C_3N_4$ نوترکیبی حفره- الکترون را سرکوب می‌کند. از طرفی امواج فراصوت سرعت واکنش تولید رادیکال‌های فعال را



شکل ۱۰: فرآیند پیشنهادی تخریب فراصوتی کاتالیزور نوری AR37 با استفاده از نانوکامپوزیت $MgO/g-C_3N_4@Zeolite$.

Figure 10: Proposed process of sonophotocatalytic degradation of AR 37 using $MgO/g-C_3N_4@Zeolite$ nanocomposite.

جدول ۱: مقایسه کارایی کاتالیزورهای نوری مختلف در حذف رنگ‌های مختلف.

Table 1: Comparison of the efficiency of different photocatalysts in removing different colors.

Samples	Application	Light source	Performance	Ref.
$\text{SnO}_2\text{-ZnO QDs/g-C}_3\text{N}_4$	RhB	Visible light	100%/60 min	[35]
$\text{MoS}_2\text{/g-C}_3\text{N}_4\text{/Al}_2\text{O}_3$	CV	Visible light	97.3%/90 min	[36]
$\text{Ag/g-C}_3\text{N}_4$	MG	UV light	80%/100 min	[37]
CNTs/pg-CN	RhB	Visible light	99%/40 min	[38]
$\text{g-C}_3\text{N}_4\text{/ZnO}$	MB	Visible light	98%/70 min	[39]
$\text{CuS-g-C}_3\text{N}_4\text{/Ag}$	RhB	Visible light	91%/90 min	[40]
5% $\text{g-C}_3\text{N}_4\text{/LaFeO}_3$	RhB	Visible light	58.4%/120 min	[41]
$\text{g-C}_3\text{N}_4\text{/Fe}_3\text{O}_4\text{/AgCrO}_4$	RhB	Visible light	95%/300 min	[42]
$\text{g-C}_3\text{N}_4\text{/H-ZSM-5}$	MB	Visible light	92.7%/120 min	[43]
$\text{Bi}_4\text{O}_5\text{Br}_2\text{/g-C}_3\text{N}_4$	RhB	Visible light	92%/60 min	[44]
20 K-CN/BiOBr	RhB	Visible light	99%/90 min	[45]
$\text{Cds/g-C}_3\text{N}_4$	RhB	Visible light	95.6%/60 min	[46]
Ti- $\text{g-C}_3\text{N}_4$	RhB	Visible light	99.4%/100 min	[47]
$\text{TiO}_2\text{/g-C}_3\text{N}_4$	RhB	Visible light	45%/720 min	[48]
$\text{g-C}_3\text{N}_4\text{/DE}$	MB	Visible light	98.5%/120 min	[49]
$\text{MgO/g-C}_3\text{N}_4@Zeolite$	AR37	Visible light	72.36%/50 min	This paper

درصد می‌رسد.

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه دوره دکتری در دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر می‌باشد. از معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر جهت همکاری در اجرای این تحقیق قدردانی می‌شود.

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق نانوکامپوزیت $\text{MgO/g-C}_3\text{N}_4\text{/Zeolite}$ سنتز و با XRD، FTIR، FESEM، EDS و Dot mapping آنالیز شد. کارایی نانوکامپوزیت $\text{MgO/g-C}_3\text{N}_4\text{/Zeolite}$ سنتز شده به‌عنوان کاتالیزور نوری برای تخریب رنگ اسید قرمز ۳۷ در محلول‌های آب تحت نور فرابنفش در حضور اشعه امواج فراصوت مورد ارزیابی قرار گرفت به این صورت که تأثیر ۴ فاکتور تأثیرگذار بر تخریب رنگ اسید قرمز ۳۷ شامل غلظت اولیه رنگ اسید قرمز ۳۷، مقدار کاتالیزور نوری، زمان و pH مطالعه شدند. نتایج نشان داد که تحت شرایط بهینه، کارایی تخریب فراصوتی کاتالیزور نوری تحت نور فرابنفش به ۷۲،۳۶

۵- مراجع

1. C. De Benedetto, A. Macario, C. Siciliano, B. Nagy J, P. De Luca, Adsorption of reactive blue 116 dye and reactive yellow 81 dye from aqueous solutions by multi-walled carbon nanotubes. *Mater.* 12(2020), 2757.
2. M. A. Khan, M. Siddique, F. Wahid, R. Khan, Removal of reactive blue 19 dye by sono, photo and sonophotocatalytic oxidation using visible light. *Ultrason. Sonochem.* 26(2015), 370-377.
3. A. Lopez, JS. Pic, H. Debellefontaine, Ozonation of azo dye in a semi-batch reactor: A determination of the molecular

- and radical contributions. *Chemosphere*. 11(2007), 2120-2126.
4. D. D. Asouhidou, K. S. Triantafyllidis, N. K. Lazaridis, K. A. Matis, S. S. Kim, T. J. Pinnavaia, Sorption of reactive dyes from aqueous solutions by ordered hexagonal and disordered mesoporous carbons. *Microporous Mesoporous Mater.* 1-2(2009), 257-267.
 5. Z. Saberi, S. Sharifi, A. Makhdomi, E. Asadi, Kh. Alizadeh, Study of Bio-decolorization of Xanthene dyes using Spore Laccase based on Laser Spectroscopy. *Journal of Color Science and Technology*. (2021), JCST-2008-1107.
 6. M. Rezaei, F. Hosseini Shekarabi, M. Varsei, A. Samiee Bayragh, Investigating And Comparing Removal Of Acid Red 37 With The Electrofenton And Electrocoagulation Processes. *Environ. Sci.* 13(2016), 85-96.
 7. V. Khandegar, A. K. Saroha, Electrochemical treatment of textile effluent containing Acid Red 131 dye. *J. Hazard. Toxic. Radioact. Waste.* 1(2013) 38-44.
 8. E. Cheikh S'Id, A. Kheribech, M. Degué, Z. Hatim, R. Chourak, C. M'Bareck, Removal of Methylene Blue from Water by Polyacrylonitrile-Co-Sodium Methallylsulfonate Copolymer (AN69) and Polysulfone (PSf) Synthetic Membranes. *Prog. Color, Colorants Coat.* 14 (2021), 89-100.
 9. S. Sadat Gujarati, M. Hajisafari, M. M. Khosravirad ,Comparison of Zinc Oxide Nanoparticle Performance Extracted from Leaching Residue of Zinc Melting Factory with Merck Zinc Oxide Nanoparticle in Bleaching from NB21 Color under UV Rays. *J. Color Sci. Technol.* 14(2020), 163-172.
 10. C. Lops, A. Ancona , K. D. Cesare, B. Dumontel, N. Garino, G. Canavese, S. Hernández, V. Cauda, Sonophotocatalytic degradation mechanisms of Rhodamine B dye via radicals generation by micro- and nano-particles of ZnO. *Appl. Catal. B-Environ.* 243(2019), 629-640.
 11. B. Hazizadeh Fard, R. Ranjineh Khojasteh, P. Gharbani, Preparation and Characterization of Visible-Light Sensitive Nano Ag/Ag₃VO₄/AgVO₃ Modified by Graphene Oxide for Photodegradation of Reactive Orange 16 Dye. *J. Inorg. Organomet. Polym. Mater.* 3(2018), 1149-1157.
 12. A. H. Jawad, N. N. Abd Malek, A. S. Abdulhameed, R. Razuan, Synthesis of Magnetic Chitosan-Fly Ash/Fe₃O₄ Composite for Adsorption of Reactive Orange 16 Dye: Optimization by Box- Behnken Design. *J. Polym. Environ.* 3(2020), 1068-1082.
 13. M. Malakootian, M. R. Heidari, Reactive orange 16 dye adsorption from aqueous solutions by psyllium seed powder as a low-cost biosorbent: kinetic and equilibrium studies. *Appl. Water Sci.* 7(2018), 1-9.
 14. P. A. Bedekar, R. G. Saratale, G. D. Saratale, S. P. Govindwar, Oxidative stress response in dye degrading bacterium *Lysinibacillus* sp. RGS exposed to Reactive Orange 16, degradation of AR37 and evaluation of toxicity. *Environ. Sci. Pollution Res.* 18(2014), 11075-11085.
 15. J. Park, J. Joo, S. G. Kwon, Y. Jang, T. Hyeon, Synthesis of monodisperse spherical nanocrystals. *Angew. Chem. Int. Ed.* 25(2007), 4630-4660.
 16. S. Jorfi, G. Barzegar, M. Ahmadi, R. D. Soltani, A. Takdastan, R. Saeedi, M. Abtahi, Enhanced coagulation-photocatalytic treatment of Acid red 73 dye and real textile wastewater using UVA/synthesized MgO nanoparticles. *J. Environ. Manag.* 177(2016), 111-118.
 17. M. Ghaemizade, M. Khajeh Mehrizi , Application of Photocatalysts and Their Effective Parameters in the Treatment of Colored Wastewaters. *J. Studies in Color World.* 9 (1398), 9-21.
 18. P. Kardar, R. Amini, Studying the Active Corrosion Inhibition Effect of the Ce³⁺/2-Mercaptobenzothiazole Loaded NaY Zeolite/Zn-Al LDH Based Containers in a Silane Coating. *Prog. Color, Colorants Coat.* 15 (2022), 1-9.
 19. N. Mao, J. X. Jiang, MgO/g-C₃N₄ nanocomposites as efficient water splitting photocatalysts under visible light irradiation. *Appl. Surf. Sci.* 476 (2019). 144-150.
 20. H. Zou, X. Yan, J. Ren, X. Wu, Y. Dai, D. Sha, J. Liu, Photocatalytic activity enhancement of modified g-C₃N₄ by ionothermal copolymerization. *J. Mater.* 4(2015), 340-347.
 21. S. F. Bdewi, O. G. Abdullah, B. K. Aziz, A. A. Mutar, Synthesis, structural and optical characterization of MgO nanocrystalline embedded in PVA matrix. *J. Inorg. Org. Polym. Mater.* 2(2016), 326-334.
 22. L. Ge, Z. Peng, W. Tan, X. Wang, B. Su, P. K. Wong, gC₃N₄/MgO nanosheets: light-independent, metal-poisoning-free catalysts for the activation of hydrogen peroxide to degrade organics. *J. Mater. Chem. A.* 34(2018), 16421-16429.
 23. Z. Mengyue, C. Shifu, T. Yaowu, Photocatalytic degradation of organophosphorous pesticides using thin films of TiO₂. *J. Chem. Tech Biotech.* 64(1995), 339-344.
 24. R. Dutta, T. V. Nagarjuna, S. A. Mandavgane, J. D. Ekhe, Ultrafast removal of cationic dye using agrowaste-derived mesoporous adsorbent. *Ind. Eng. Chem. Res.* 48(2014), 18558-18567.
 25. N. Esfandiari, B. Nasernejad, T. Ebadi, Removal of Mn (II) from groundwater by sugarcane bagasse and activated carbon (a comparative study): application of response surface methodology (RSM). *J. Ind. Eng. Chem.* 5(2014), 3726-3736.
 26. N. Sapawe, A. A. Jalil, S. Triwahyono, M. I. Shah, R. Jusoh, N. F. Salleh, B. H. Hameed, A. H. Karim, Cost-effective microwave rapid synthesis of zeolite NaA for removal of methylene blue. *Chem. Eng. J.* 229(2013), 388-398.
 27. R. C. Hsiao, L. Roselin, H.L. Hsu, R. Selvin, R.S. Juang, Photocatalytic degradation of reactive orange 16 dye over Au-doped TiO₂ in aqueous suspension. *Int. J. Mater. Eng. Innovation.* 1(2011), 96-108.
 28. G. Asgari, A. Seid Mohammadia, Mortazavib SM, Ramavandic B. Investigation on the pyrolysis of cow bone as a catalyst for ozone aqueous decomposition: Kinetic approach. *J. Anal. Appl. Pyrolysis.* 99(2013), 149-154.
 29. B. Kasprzyk-Hordern, M. Ziółek, J. Nawrocki, Catalytic ozonation and methods of enhancing molecular ozone reactions in water treatment. *Appl. Catal. B.* 4(2003), 639-669.
 30. A. Toghan, A. Modwi, Boosting unprecedented indigo carmine dye photodegradation via mesoporous MgO@g-C₃N₄ nanocomposite. *J. Photochem. Photobiol. A* 419 (2021), 113467.
 31. L. Xu, X. Zhou, G. Wang, L. Zhou, X. Sun, Catalytic degradation of acid red B in the system of ultrasound/peroxymonosulfate/Fe₃O₄. *Sep. Purif. Technol.* 276 (2021), 119417.
 32. Y. Panahian, N. Arsalani, R. Nasiri, Enhanced photo and sono-photo degradation of crystal violet dye in aqueous solution by 3D flower like F-TiO₂(B)/ fullerene under visible light. *J. Photochem. Photobiol Chem.* 365(2018), 45-51.
 33. L. Ghalamchi, S. Aber, An aminated silver

- orthophosphate/graphitic carbon nitride nanocomposite: An efficient Visible light sonophotocatalyst. *Mater. Chem. Phys.* 256(2020), 123649.
34. Z. Xiu, H. Bo, Y. Wu, X. Hao, Graphite-like C_3N_4 modified Ag_3PO_4 nanoparticles with highly enhanced photocatalytic activities under visible light irradiation. *Appl. Surf. Sci.* 289 (2014), 394–399.
35. S. V. P. Vattikuti, P. A. K. Reddy, J. Shim, C. Byon, Visible-light-driven photocatalytic activity of $\text{SnO}_2\text{-ZnO}$ quantum dots anchored on $\text{g-C}_3\text{N}_4$ nanosheets for photocatalytic pollutant degradation and H_2 production. *ACS Omega*. 7 (2018a), 7587–7602.
36. S. V. P. Vattikuti, C. Byon, Hydrothermally synthesized ternary heterostructured $\text{MoS}_2/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{g-C}_3\text{N}_4$ photocatalyst. *Mater. Res. Bull.* 96(2017), 233–245.
37. P. C. Nagajyothi, M. Pandurangan, S. V. P. Vattikuti, C. O. Tetey, T. V. M. Sreekanth, J. Shim, Enhanced photocatalytic activity of $\text{Ag/g-C}_3\text{N}_4$ composite. *Sep. Purif. Technol.* 188(2017), 228–237.
38. L. hi, Yao, W. Si, One step to prepare CNTs modified porous $\text{g-C}_3\text{N}_4$ with excellent visible-light photocatalytic performance. *J. Mater. Sci. Mater. Electron.* 30(2019), 1714–1723.
39. X. Zhang, W. Liang, Z. Lu, B. Hu, Highly efficient enrichment mechanism of U(VI) and Eu(III) by covalent organic frameworks with intramolecular hydrogen-bonding from solutions. *Appl. Surf. Sci.* 504(2020), 144403.
40. H. Ghafuri, A. Rashidizadeh, Z. T. Mohammadi, Facile preparation of $\text{CuS-g-C}_3\text{N}_4/\text{Ag}$ nanocomposite with improved photocatalytic activity for the degradation of rhodamine B. *Polyhedron*. 179(2020), 11436841.
41. Y. Ye, H. Yang, X. Wang, W. Feng, Photocatalytic, Fenton and photo-Fenton degradation of RhB over Z-scheme $\text{g-C}_3\text{N}_4/\text{LaFeO}_3$ heterojunction photocatalysts. *Mater. Sci. Semicond Process.* 82(2018), 14–24.
42. A. Habibi-Yangjeh, A. Akhundi, Novel ternary $\text{g-C}_3\text{N}_4/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Ag}_2\text{CrO}_4$ nanocomposites: magnetically separable and visible-light-driven photocatalysts for degradation of water pollutants[J]. *J. Mol. Catal. A Chem.* 415(2016), 122–130.
43. S. A. Barman, S. Basu, Complete removal of endocrine compound and toxic dye by visible light active porous $\text{g-C}_3\text{N}_4/\text{H-ZSM-5}$ nanocomposite. *Chemosphere*. 241(2020), 124981.
44. F. Yi, J. Ma, C. Lin, L. Wang, H. Zhang, Y. Qian, k. Zhang, insights into the enhanced adsorption/photocatalysis mechanism of a $\text{Bi}_4\text{O}_5\text{Br}_2/\text{g-C}_3\text{N}_4$ nanosheet. *J. Alloys Compd.* 821(2020), 153557.
45. J. Qu, Y. Du, Y. Feng, J. Wang, B. He, M. Du, Y. Liu, N. Jiang, Visible-light responsive K-doped $\text{g-C}_3\text{N}_4/\text{BiOBr}$ hybrid photocatalyst with highly efficient degradation of Rhodamine B and tetracycline. *Mater. Sci. Semicond. Process.* 112(2020), 105023.
46. X. Liu, Y. Liu, Q. Zhong, X. Ma, In situ self-assembly of 3D hierarchical 2D/2D $\text{CdS/g-C}_3\text{N}_4$ heterojunction with excellent photocatalytic performance. *Mater. Sci. Semicond. Process.* 105(2020), 104734.
47. R. Zhang, S. Niu, X. Zhang, Z. Jiang, J. Zheng, C. Cuo, Combination of experimental and theoretical investigation on Ti-doped $\text{g-C}_3\text{N}_4$ with improved photo-catalytic activity. *Appl. Surf. Sci.* 489, 427–434.
48. W. Tao, M. Wang, R. Ali, S. Nie, Q. Zeng, R. Yang, W. Lau, L. He, H. Tang, X. Jian, Multi-layered porous hierarchical $\text{TiO}_2/\text{g-C}_3\text{N}_4$ hybrid coating for enhanced visible light photocatalysis. *Appl. Surf. Sci.* 495(2019), 143435.
49. H. He, Z. Luo, C. Yu, Diatomite-anchored $\text{g-C}_3\text{N}_4$ nanosheets for selective removal of organic dyes. *J. Alloys Compd.* 816(2020), 152652.

How to cite this article:

E.Fathi, F. Derakhshan fard P. Gharbani, Z. Ghazi Tabatabaei, Study of Sonophotocatalytic Degradation of Acid Red 37 Dye Using $\text{MgO/g-C}_3\text{N}_4 @ \text{Zeolite}$ Nanocomposite. *J. Color Sci. Tech.* 16, 2(2022), 161–172.

DOR: 20.1001.1.17358779.1401.16.2.5.9