

## بررسی کارایی نانوکامپوزیت BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> در حذف کاتالیزوری نوری رنگزای قرمز کنگو

- مهرناز بابایی شکردهشت<sup>۱</sup>، محمد هادی گیویان راد<sup>۲\*</sup>، پروین غربانی<sup>۳\*</sup>، زهره میرجعفری<sup>۴</sup>، علی مهروی زاده<sup>۵</sup>  
۱- دانشجوی دکتری، گروه شیمی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، صندوق پستی: ۷۷۵/۱۴۵۱۵  
۲- استادیار، گروه شیمی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، 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، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، صندوق پستی: ۷۷۵/۱۴۵۱۵  
۵- دانشیار، گروه شیمی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران، صندوق پستی: ۷۷۵/۱۴۵۱۵

### چکیده

در این پژوهش، نانوکامپوزیت BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> توسط روش هیدروترمال سنتز شد. خواص ساختاری نانوکامپوزیت BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> با استفاده از EDX، FESEM، FTIR، XRD و Dot Mapping آنالیز شد. به منظور اندازه‌گیری سطح ویژه و قطر حفرات نانو کامپوزیت BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> از آنالیز BET و BJH استفاده شد. کارایی نانوکامپوزیت BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> به عنوان کاتالیزور نوری روی تخریب کاتالیزوری نوری رنگزا قرمزکنگو تحت نور مرئی ارزیابی شد. اثر فاکتورهای کلیدی شامل زمان، pH محلول، غلظت اولیه رنگزا قرمزکنگو و مقدار کاتالیزور نوری BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> بررسی شدند. نتایج نشان داد که درصد حذف رنگزا قرمزکنگو با افزایش زمان واکنش و مقدار نانوکامپوزیت BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>، افزایش و با افزایش pH محلول و غلظت اولیه رنگزا قرمزکنگو، کاهش می‌یابد. بیشینه درصد حذف رنگزا قرمزکنگو در زمان واکنش ۳۰ دقیقه، pH محلول ۲، غلظت اولیه رنگزا ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر، مقدار کاتالیزور نوری ۰.۰۵ g/۱۰۰ ml و شدت نور مرئی ۳۰ وات به ۷۴.۶۶ درصد رسید. به طور کلی نتایج نشان داد که نانوکامپوزیت BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> یک کاتالیزور نوری بالقوه تحت نور مرئی در حذف کاتالیزوری نوری رنگزا قرمزکنگو زیر نور مرئی است.

### اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:  
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۲/۲۳  
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۵/۲۰  
در دسترس به صورت الکترونیکی: ۱۴۰۱/۱/۳۰  
شاپا چاپی: ۱۷۳۵-۸۷۷۹  
شاپا الکترونیکی: ۲۳۸۳-۲۱۶۹

DOR: 20.1001.1.17358779.1401.16.1.6.8

### واژه‌های کلیدی:

نانوکامپوزیت BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>  
کاتالیزور نوری  
رنگزا قرمزکنگو  
حذف کاتالیزوری نوری

\*Corresponding author: \*mh.givian@srbiau.ac.ir,

\*\*p-gharabani@iau-ahar.ac.ir



## Evaluation of BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Nanocomposite Efficiency on Photocatalytic Removal of Congo Red Dye

Mehrnaz Babaei Shekardasht<sup>1</sup>, Mohammad Hadi Givianrad<sup>\*1</sup>, Parvin Gharbani<sup>\*\*2</sup>, Zohreh Mirjafary<sup>1</sup>, Ali Mehrizad<sup>3</sup>

1- Department of Chemistry, Science and Research Branch, Islamic Azad University, P.O. Box: 775/14515, Tehran, Iran

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

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

### ARTICLE INFO

Article history:

Received: 13-05-2021

Accepted: 11-08-2021

Available online: 19-04-2022

Print ISSN: 1735-8779

Online ISSN: 2383-2169

DOR: 20.1001.1.17358779.1401.16.1.6.8

### Keywords:

BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> nanocomposite

Photocatalyst

Congo Red dye

Photocatalytic removal

### ABSTRACT

*In this research, BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> nanocomposite was prepared via the hydrothermal method and was analyzed by FTIR, XRD, FESEM, Dot mapping, and EDS. BET and BJH techniques were used to determine the specific surface area and pore size of BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> nanocomposite. The efficiency of BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> nanocomposite as a photocatalyst was evaluated on photocatalytic degradation of Congo Red dye under visible light irradiation. The effect of key factors, i.e., time, pH of the solution, initial Congo Red concentration, and BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> dosage, was studied on photocatalytic degradation of Congo Red dye. Results revealed that degradation of Congo red is increased by increasing time and BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> dosage and is decreased by increasing Congo Red concentration and pH. The maximum removal percentage of Congo red reached 74.66% at 40 min, pH=2, initial dye concentration of 10 mg/L, photocatalyst dosage of 0.05 g/100mL under 30 w visible light. It can be deduced that BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> nanocomposite act as an effective photocatalyst for removing Congo red from aqueous solutions when exposed to visible light.*

\*Corresponding author: [mh.givian@srbiau.ac.ir](mailto:mh.givian@srbiau.ac.ir),

\*\* [p-gharabani@iau-ahar.ac.ir](mailto:p-gharabani@iau-ahar.ac.ir)



## ۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، مشکلات زیست‌محیطی از جمله تصفیه آب و به‌طور ویژه آلودگی منابع آبی توسط رنگ‌های صنعت نساجی سبب نگرانی دولت‌ها و محققان محیط زیستی شده است [۱]. رنگ‌های آزو گروهی از رنگ‌های مصنوعی هستند که ۵۰ درصد کل مواد رنگی را تشکیل می‌دهند. این رنگ‌ها به علت مقرون به صرفه بودن، استحکام و تنوع رنگ بیشتر نسبت به رنگ‌های طبیعی، به‌طور گسترده در صنایع رنگرزی استفاده می‌شوند. رنگ‌های استفاده شده در لوازم آرایشی، بهداشتی، مواد غذایی، منسوجات، پلاستیک، چاپ روی کاغذ و رنگرزی چرم را رنگ‌های آزو تشکیل می‌دهند و به عنوان مواد افزودنی در محصولات نفتی نیز استفاده می‌شوند. از جمله رنگ‌های پرکاربرد در صنایع نساجی، رنگزای قرمز کنگو است. رنگزای قرمز کنگو (CR) شامل دو گروه آزو بوده و به خاطر تولید آمین‌های آروماتیک، سمی و سرطان‌زا و نسبت به تجزیه‌های بیولوژیکی محیط‌زیستی مقاوم است [۲]. کاتالیزورهای نوری سال‌هاست برای حذف آلاینده‌هایی که به وسیله فرآیندهای زیستی حذف نمی‌شوند، مورد استفاده قرار می‌گیرند. از آنجا که اغلب کاتالیزورهای نوری، فقط در ناحیه UV فعال هستند و تنها ۴ درصد از نور خورشید را پرتو UV تشکیل می‌دهد [۳]، لذا نیاز به کاتالیزورهای نوری است که در ناحیه مرئی و تحت تابش نور خورشید با دریافت انرژی کافی فعال شده و با کمترین هزینه و انرژی بتوان استفاده بهینه از آن را برد یا باید کاتالیزورهای نوری به نحوی اصلاح شوند تا در محدوده نور مرئی فعال شوند. پس توسعه کاتالیزورهای نوری با توانایی جذب در ناحیه نور مرئی ضروری است. علاوه بر دی‌اکسید تیتانیم، سایر اکسیدهای فلزی از قبیل اکسید روی (ZnO)، دی‌اکسید زیرکونیم (ZrO<sub>2</sub>)، تری‌اکسید تنگستن (WO<sub>3</sub>)، سولفید کادمیم (CdS)، سولفید روی (ZnS)، مولیبدنیت (MoS<sub>2</sub>)، کربن نیتريدگرافیتی (g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) و هماتیت (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) و اکسید مس (CuO) و ترکیبات مختلف آن‌ها نیز به عنوان کاتالیزور نوری برای تخریب آلودگی‌های آلی و غیرآلی مورد بررسی قرار گرفته‌اند [۴]. تخریب کاتالیزوری نوری رنگزای قرمز کنگو با کامپوزیت MCM-48/Ni<sub>2</sub>O<sub>3</sub> بر پایه سیلیکا ژل [۵]، فریت کبالت [۶]، نانو ذرات NiO [۷]، نانو کامپوزیت g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub>@polyaniline [۸] و کامپوزیت siligraphene/ g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> [۹] مورد بررسی قرار گرفته است. روش‌های متنوعی برای سنتز کاتالیزورهای نوری وجود دارد که رایج‌ترین آن‌ها روش‌های مرطوب هستند. از جمله روش‌های مرطوب می‌توان به روش هیدروترمال، روش سالووترمال، روش رسوب‌گیری از محیط آبی و روش سوسپانسیون برگشتی اشاره کرد. فرآیند هیدروترمال به عنوان روشی بر پایه شکل‌گیری و رشد بلورهای شیمیایی و تغییرات قابلیت انحلال مواد در یک محلول آبی تحت دما و فشار مناسب شناخته می‌شود. در روش هیدروترمال اگرچه دمای واکنش در مقایسه با سایر

روش‌ها نسبتاً پایین‌تر است، محصول مستقیماً با ساختاری بلوری به دست می‌آید، به‌کارگیری دمای سنتزی پایین‌تر در این روش مانع تجمع ذرات شده و از تشکیل ذرات درشت جلوگیری می‌کند. از دیگر مزایای این روش می‌توان به مقرون به صرفه بودن، دوست‌دار محیط‌زیست بودن، انجام واکنش در دمای پایین و عدم نیاز به کاتالیزور اشاره کرد [۱۰].

کربن نیتريدگرافیتی یا به عبارتی گرافیت دوپ شده با نیتروژن، ساختاری متشکل از کربن و نیتروژن با فرمول عمومی (C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>H)<sub>n</sub> است. وانگ و همکارانش ساختار الکترونی g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> را با استفاده از روش تئوری تابع چگالی بررسی کردند و باند گپ آن را در حدود ۲٫۶ eV به دست آوردند [۱۱]. این کاتالیزورهای نوری نیمه‌هادی به سبب سنتز ساده، زیست‌سازگاری، چگالی پایین، پایداری شیمیایی و حرارتی بالا، استحکام بالا و فراوانی زیاد در کره زمین، زمینه‌ساز ابداع نسل دوم کاتالیزورهای نوری شد [۱۱]. g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> به دلیل شکاف انرژی کوچک ۲٫۷ eV، قدرت اکسید شدن بالای حفره‌های باند ظرفیت، پایداری و غیرسمی بودن، می‌تواند گزینه امیدبخشی برای دستیابی به یک کاتالیزور نوری ایده‌آل در ناحیه نور مرئی باشد. شکاف انرژی کوچک نیتريد کربن این امکان را فراهم می‌کند تا بر خلاف TiO<sub>2</sub> که در ناحیه UV کار می‌کند، واکنش‌های کاتالیزور نوری در زیر نور مرئی انجام شوند [۱۲].

فریت بیسموت با دارا بودن سه ترکیب شیمیایی مختلف یک نیمه‌هادی با خواص جالب توجه است که هر کدام از آن‌ها دارای ساختارهای بلوری متفاوتی می‌باشد. این ترکیب‌ها عبارتند از: BiFeO<sub>3</sub> یا ساختار پروسکایت، Bi<sub>2</sub>Fe<sub>4</sub>O<sub>9</sub> یا ساختار مولایت، Bi<sub>25</sub>Fe<sub>6</sub>O<sub>40</sub> یا ساختار سیلان. فریت بیسموت با ترکیب شیمیایی Bi<sub>2</sub>Fe<sub>4</sub>O<sub>9</sub> (BFO) یک ماده کاربردی در زمینه ذخیره‌سازی داده‌ها (حافظه‌های کامپیوتر و کارت حافظه دیجیتال)، کاتالیزورهای نوری و حس‌گرها می‌باشد. خواص این ماده به شدت تابع عواملی چون ریخت‌شناسی، میکروساختار و اندازه ذرات می‌باشد. فریت بیسموت Bi<sub>2</sub>Fe<sub>4</sub>O<sub>9</sub> یک ماده مولتی‌فروئیک با ساختار اورترومبیک می‌باشد، که دارای ساختار متقارن پنج‌وجهی است. در دهه‌های اخیر فریت بیسموت به عنوان دسته‌ای از اکسیدهای فلزی دوست‌دار محیط زیست با ویژگی‌های مولتی‌فروئیک، الکترونیک، اپتیکی و غیرسمی و پایداری شیمیایی مورد توجه قرار گرفته است [۱۳]. پتانسیل و توانایی بالای فریت بیسموت به عنوان کاتالیزور نوری نیمه‌رسانای حساس به نور مرئی، به دلیل شکافت انرژی کم آن است. با این حال کارآمدی کاتالیزوری نوری BFO تحت نور مرئی به دلیل سریع بودن بازترکیبی جفت الکترون-حفره به اندازه کافی بالا نیست. از این رو افزایش جداسازی الکترون-حفره در BFO، عامل کلیدی مهمی برای بهبود فعالیت کاتالیزوری نوری آن تحت نور مرئی می‌باشد [۱۴]. از آنجایی که مشکل اساسی در استفاده از BFO به عنوان یک کاتالیزور

حرارت داده شد. پس از سرد شدن اتوکلاو و رسیدن به دمای محیط، رسوب حاصل شده از طریق پمپ خلا جدا شده و با ترکیب آب و اتانل خالص با نسبت ۱:۱ پنج بار شستشو داده شد و در دمای ۷۰ °C به مدت ۸ ساعت خشک گردید.

### ۲-۲-۳- سنتز نانوکامپوزیت فریت بیسموت / کربن نیتريد گرافیتی (Bi<sub>2</sub>Fe<sub>4</sub>O<sub>9</sub>/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>)

ابتدا ۰.۸ گرم g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> و ۴.۲ گرم Bi<sub>2</sub>Fe<sub>4</sub>O<sub>9</sub> به ۴۰ میلی لیتر آب مقطر اضافه شد و به مدت ۳ ساعت با سرعت ۸۵۰ rpm روی همزن مغناطیسی هم زده شد، سپس مخلوط حاصل به اتوکلاو منتقل و به مدت ۲ ساعت در دمای ۱۳۰ °C در داخل آون حرارت داده شد. پس از آن رسوب داخل اتوکلاو تا دمای اتاق سرد شده، رسوب حاصل شده از طریق پمپ خلا جدا شده و با ترکیب آب و اتانل خالص با نسبت ۱:۱، پنج بار شستشو داده شد و در دمای ۷۰ °C به مدت ۸ ساعت خشک گردید.

### ۲-۲-۳- آزمایش های کاتالیزوری نوری

برای بررسی عملکرد کاتالیزوری نوری نانوکامپوزیت سنتز شده، تمامی آزمایش های تخریب رنگزای قرمز کنگو توسط نانوهیبرید Bi<sub>2</sub>Fe<sub>4</sub>O<sub>9</sub>/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> تحت نور مرئی، در یک راکتور نوری مورد مطالعه قرار گرفت. لامپ LED ۳۰ واتی مدل SH-3030 ساخت کشور چین به عنوان منبع تابش استفاده قرار گرفت. ۱۰۰ میلی لیتر از محلول قرمز کنگو با غلظت های اولیه ی مختلف تهیه و مقدار مشخصی از کاتالیزور نوری در pH های مختلف به آن اضافه شد. سپس محلول توسط نور مرئی داخل راکتور نوری تحت تابش قرار گرفت و در زمان های مشخص از آن نمونه برداری شد. در همه آزمایشات برای جلوگیری از نفوذ نور UV به داخل محلول از صافی با  $\lambda > 420 \text{ nm}$  استفاده شد. در نهایت محلول صاف شده و غلظت رنگزای قرمز کنگو با استفاده از طیف سنج UV-Vis اندازه گیری شد. درصد حذف و تخریب رنگزا قرمز کنگو بر اساس رابطه ۱ محاسبه گردید.

$$R(\%) = \frac{[C]_0 - [C]_t}{[C]_0} \times 100 \quad (1)$$

در این رابطه  $[C]_0$  و  $[C]_t$  میزان غلظت رنگزای قرمز کنگو (mg/L) به ترتیب قبل و بعد از تخریب کاتالیزوری نوری و R درصد حذف رنگزا می باشند.

### ۲-۲-۴- مشخصه یابی نمونه ها

نانوکامپوزیت سنتز شده توسط دستگاه های FT-IR (مدل Bruker Philips PW) و FTIR instrument using KBr plates (مدل Philips PW)

نوری، سریع بودن باز ترکیبی جفت الکترون - حفره تولید شده و لذا کاهش کارایی کاتالیزوری نوری آن است در این تحقیق هدف افزایش و بهبود کارایی BFO در نقش کاتالیزوری نوری است. لذا برای افزایش جداسازی الکترون - حفره تولید شده در BFO و جلوگیری از باز ترکیب آن، در این تحقیق از g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> استفاده شد. طبق گزارشات هم BFO و هم g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> می توانند زیر نور مرئی الکترون و حفره ایجاد کنند. در هیبرید BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>، الکترون های حاصل از نور در باند هدایت BFO می توانند سریعاً به باند ظرفیت g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> منتقل شوند [۱۵]. این پدیده منجر به تجمع الکترون ها در باند ظرفیت g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> و تجمع حفره ها در باند هدایت BFO می شود که به ترتیب توانایی اکسید شدن و احیا بالایی دارند و باعث بهبود فرآیند کاتالیزوری نوری می شوند.

هدف اصلی از این تحقیق، سنتز کاتالیزور نوری بیسموت بر پایه نیتريد کربن گرافیتی به روش هیدروترمال، شناسایی کاتالیزور نوری سنتز شده و بررسی کارایی کاتالیزور نوری سنتز شده در تخریب قرمز کنگو تحت نور مرئی است. در این راستا اثر مشخصه های اصلی بر فرآیند تخریب کاتالیزوری نوری مورد بررسی قرار گرفتند.

## ۲- بخش تجربی

### ۲-۱- مواد

ملامین (C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>N<sub>6</sub>)، نیترات بیسموت (Bi(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>.5H<sub>2</sub>O)، نیترات آهن (Fe(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>.9H<sub>2</sub>O)، اسید نیتريك (HNO<sub>3</sub>) ۹۸ درصد، هیدروکسید پتاسیم (KOH) با درصد خلوص بالای ۹۹ درصد بودند که همگی از شرکت مرک خریداری شدند.

### ۲-۲- روش سنتز

#### ۲-۲-۱- سنتز کربن نیتريد گرافیتی (g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>)

به منظور سنتز کربن نیتريد گرافیتی از روش تراکمی استفاده شد [۱۶]. در این روش ۵ گرم ملامین در یک کروم نیمه بسته ریخته شده و در داخل کوره با دمای ۵۲۰ °C به مدت ۶ ساعت با جریان دمایی ۹°C/min قرار داده شد. در نهایت نمونه زرد رنگی حاصل شد.

#### ۲-۲-۲- سنتز نانوذرات فریت بیسموت (Bi<sub>2</sub>Fe<sub>4</sub>O<sub>9</sub>(BFO))

برای سنتز BFO از روش هیدروترمال استفاده شد [۱۶]. در ابتدا ۴.۸۵ گرم Bi(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>.9H<sub>2</sub>O و ۴.۴ گرم Fe(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>.9H<sub>2</sub>O به محلول حاوی ۱۳ میلی لیتر آب مقطر و ۲ میلی لیتر اسید نیتريك اضافه شد. محلول در دمای اتاق به مدت نیم ساعت با سرعت ۷۰۰ rpm روی همزن مغناطیسی هم زده شد. در ادامه ۷۵ میلی لیتر از هیدروکسید پتاسیم ۸ مولار به محلول قبلی اضافه کرده و سوسپانسیون حاصل به داخل اتوکلاو منتقل شد و در دمای ۲۰۰ °C به مدت ۲۴ ساعت

۱۷۰] و پیک پهن حاصل در  $3048\text{ cm}^{-1}$  منطبق با پیوند N-H [۱۹] و O-H شامل پیوند هیدروژنی درون صفحه‌ای است [۱۸] که با هم هم‌پوشانی شده‌اند. طیف حاصل در  $1389\text{ cm}^{-1}$  نیز ناشی از ارتعاشات کششی نیترات (نیترات‌های به تله افتاده در سنتز BFO) است. از آنجایی که در سنتز BFO از نیترات بیسموت و نیترات آهن استفاده شده است؛ لذا در حین سنتز، امکان دارد مقداری از نیترات‌ها بدون واکنش دادن در داخل BFO گیر بیفتند که احتمال دارد این طیف ناشی از نیترات‌های به تله افتاده باشد [۱۹] که ارتعاشات کششی  $\text{NO}_3$  در ناحیه  $1300\text{ cm}^{-1}$  دیده می‌شود [۱۳]. باندهای جذبی دیده شده در  $634.84$  و  $814.19\text{ cm}^{-1}$  به ترتیب مربوط به ارتعاشات کششی Bi-O و Fe-O-Fe و Fe-O-Fe خمشی در  $\text{FeO}_4$  tetrahedron است [۱۴].

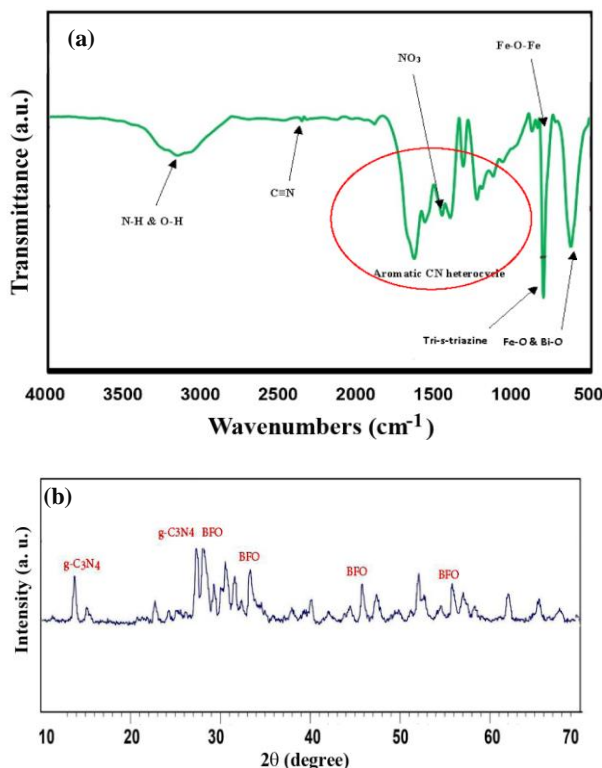
الگوی XRD نانو کامپوزیت BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> در شکل ۱ب نشان داده شده است. پیک‌های مشاهده شده در  $2\theta=13.25^\circ$ ،  $27.3^\circ$  به ترتیب مربوط به واحدهای s-triazine و گروه‌های آروماتیک مزدوج لایه‌های g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> است که مطابق با استاندارد (JCPDS-۸۷-۱۵۲۶) است [۲۰]. پیک‌های مشخصه BFO در  $2\theta=32.84^\circ$ ،  $46.80^\circ$ ،  $56.48^\circ$  است [۲۱]. همه پیک‌های پراش BFO به طور کامل منطبق با ساختار Orthorhombic  $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$  با ثابت‌های شبکه  $a=7.965\text{ \AA}$ ،  $b=8.44\text{ \AA}$ ،  $c=5.994\text{ \AA}$  است که مطابق با داده‌های استاندارد  $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$  (JCPDS-۷۴-۱۰۹۸) است [۲۱].

ساخت کشور ژاپن آنالیز شد. سپس اندازه ذرات با دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی انتشار میدانی (FESEM, SIGMA VP-) (500, Zeiss) تعیین شد. آنالیز عنصری نقطه‌ای EDX و تعیین پروفایل پراکندگی عناصر (Dot Mapping) به روش Aztec Energy Software (Oxford Instruments) انجام شد و میزان حذف رنگزا توسط دستگاه طیف‌سنج UV/Vis مدل DR5000-15V (HACH CO, America) برای تعیین مساحت سطح ویژه و توزیع اندازه حفره‌ها از دستگاه BET مدل Belsorp mini II ساخت کشور ژاپن استفاده گردید. برای اندازه‌گیری خواص نوری و محاسبه باندگپ مواد سنتز شده از UV/Vis-DRS مدل UV-2550 Shimadzu استفاده شد.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- شناسایی نانوکامپوزیت تهیه شده

برای شناسایی گروه‌های عاملی موجود در BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>، از طیف‌سنج زیر قرمز در محدوده عدد موجی  $4000$  تا  $400\text{ cm}^{-1}$  استفاده شد (شکل ۱a). باندهای g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> در  $803\text{ cm}^{-1}$ ، محدوده  $1230-1635$ ،  $2325$  و  $3048\text{ cm}^{-1}$  ظاهر شدند که باند حاصل در  $805\text{ cm}^{-1}$  از خصوصیت tri-triazine، باندهای حاصل در محدوده  $1230-1635\text{ cm}^{-1}$  مربوط به مدهای کششی هتروسیکل CN، باند کوچک حاصل در  $2325\text{ cm}^{-1}$  مربوط به مدهای ارتعاشی کششی پیوند  $\text{C}\equiv\text{N}$  [۱۸]



شکل ۱: (a) طیف FTIR و (b) طیف XRD نانو کامپوزیت BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>.

Figure 1: FTIR and XRD of g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/ BFO nanocomposite.

g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> خالص در حدود ۴,۹۸ m<sup>2</sup>/g به دست آمد که بعد از اضافه کردن BFO بر روی g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> به ۷,۰۶ m<sup>2</sup>/g افزایش یافت. بنابراین می توان نتیجه گرفت نانوصفات g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> یک بستر ایده آل برای BFO است.

خواص نوری BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> با استفاده از روش UV-Vis DRS اندازه گیری شد. از روی طیف UV-Vis مقدار باند گپ محاسبه و برای BFO, g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> و BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> به ترتیب ۲,۳۸، ۲,۵۴، ۲,۶۴ بدست آمد. این نتایج نشان می دهند که BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> می تواند به عنوان یک کاتالیزور نوری موثر، جفت های الکترون-حفره بیشتری در زیر نور مرئی ایجاد کند.

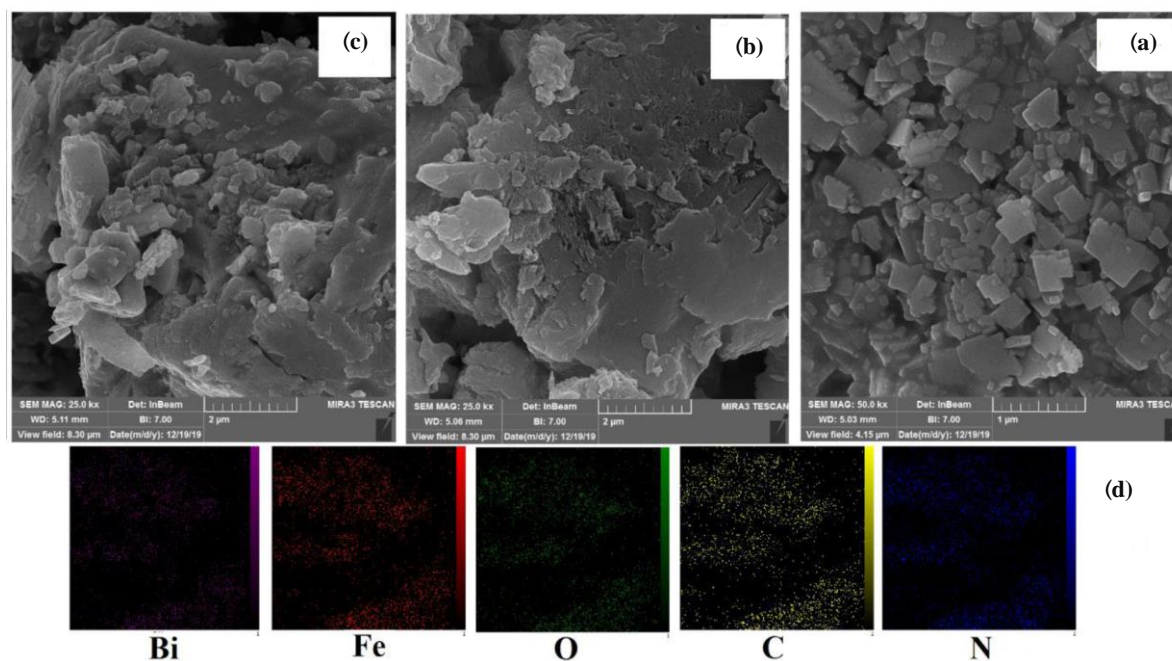
### ۲-۳- نتایج حذف رنگزای قرمز کنگو

در این قسمت ابتدا تأثیر فرآیندهای مختلف بر درصد حذف رنگزای قرمز کنگو بررسی شده و نتایج در شکل ۳ نشان داده شده است. همان طور که از شکل ۳ مشخص است، بیشترین درصد حذف رنگزای قرمز کنگو تحت فرآیند کاتالیزوری نوری با نانوکامپوزیت BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> اتفاق افتاده است. لذا در ادامه تأثیر عوامل موثر بر درصد حذف کاتالیزوری نوری رنگزای قرمز کنگو با نانوکامپوزیت BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> بررسی خواهد شد.

شکل ۲ تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی برای BFO, g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> و BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> را نشان می دهد. ریخت شناسی BFO با ساختار مکعبی منظم شکل (a)، مورفولوژی صفحه ای شکل BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> (b) و تصویر BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> (c) نشان می دهد که BFO تقریباً به طور یکنواخت بر روی سطح g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> پخش شده است. آنالیز EDX عنصری نشان داد که نانوکامپوزیت BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> سنتز شده دارای کربن ۱۸,۱۲ درصد، نیتروژن ۲۵,۹۰ درصد، اکسیژن ۱۶,۰۷ درصد، آهن ۱۱,۱ درصد و بیسموت ۲۸,۸۲ درصد است و نسبت مولی O/Fe/Bi برابر ۱,۴۴/۱/۲,۵۹ و نسبت مولی C/N برابر ۰,۶۹ است. تصاویر dot mapping نانوکامپوزیت سنتز شده (شکل d) نیز نشان می دهد که همه عناصر تقریباً به طور یکدست توزیع شده اند.

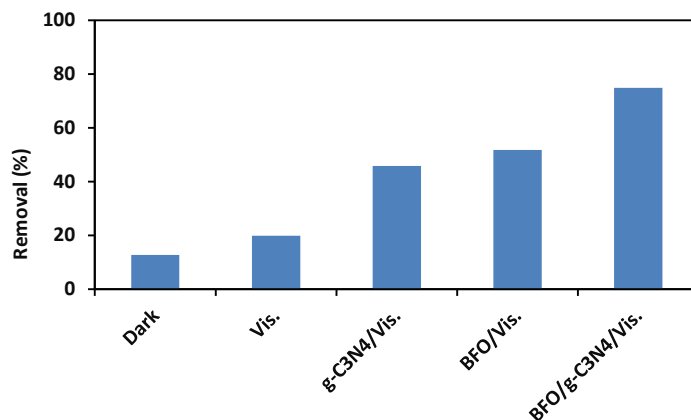
برای تعیین توزیع اندازه حفره ها با استفاده از مدل تمکین، از آنالیز BJH استفاده شد. مطابق نتایج آنالیز BJH، اندازه حفره مرکزی در BFO خالص، g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> و BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> به ترتیب ۱,۲۹، ۱,۲۲، ۷,۹۴ nm به دست آمد که نشان دهنده وجود میکروذرات در هر سه نمونه است [۲۲].

برای تعیین مساحت سطح ویژه از آنالیز BET استفاده شد که مساحت سطح ویژه برای BFO خالص در حدود ۴,۳۶ m<sup>2</sup>/g و برای



شکل ۲: تصاویر FESEM (a) BFO، (b) g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>، (c) BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> و (d) نقشه نقطه به نقطه BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>.

Figure 2: FESEM of a) BFO, b) g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, c) g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/ BFO, d) dot mapping of g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/ BFO.



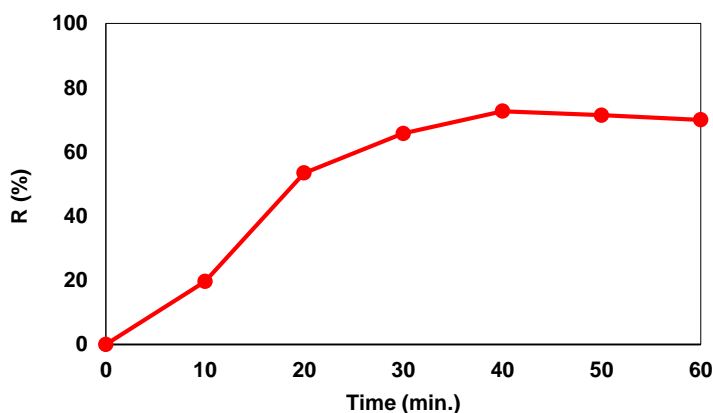
شکل ۳: اثر فرآیندهای مختلف بر حذف رنگزای قرمز کنگو؛ Photocatalyst dosage =0.05 g/100 mL, pH=2; Dye conc. =10 mg/L; Vis. light=30 w, time=40 min.  
**Figure 3:** Effect of various processes on removal of Congo Red dye; Photocatalyst dosage =0.05 g/100 mL, pH=2; Dye conc. =10 mg/L; Vis. light=30 w, time=40 min.

کاتالیزور نوری است که در نتیجه جفت الکترون-حفره‌های زیادی در سطح کاتالیزور نوری ایجاد می‌شوند که باعث تولید رادیکال‌های آزاد هیدروکسیل بیشتری می‌شوند [۲۴]. در واقع با افزایش زمان تابش، رادیکال‌های هیدروکسیل بیشتری تولید شده و این رادیکال‌های هیدروکسیل فرصت کافی برای تجزیه ملکول‌های ماده آلی را خواهند داشت. کاهش در درصد حذف با افزایش زمان تابش می‌تواند همچنین ناشی از مصرف کاتالیزور نوری در طول فرآیند تخریب باشد [۲۴]. با این حال افزایش بیش از حد رادیکال‌های هیدروکسیل باعث بازترکیبی رادیکال‌های هیدروکسیل شده و کاهش رادیکال‌های فعال باعث کاهش یا ثابت ماندن درصد حذف رنگزا خواهد شد. لذا بقیه آزمایشات کاتالیزوری نوری در مدت زمان ۴۰ دقیقه انجام شد.

### ۳-۲-۱- بررسی تاثیر زمان در حذف رنگزای قرمز کنگو با

#### فرآیند کاتالیزوری نوری نانوکامپوزیت BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>

نتایج تخریب کاتالیزوری نوری رنگزای قرمز کنگو در بازه زمانی ۶۰ دقیقه نشان داد که تا ۴۰ دقیقه ابتدایی افزایش زمان اثر مثبت در بازه حذف رنگزا دارد و سپس درصد حذف تقریباً ثابت می‌ماند (شکل ۴). مطابق مقاله علی و همکارانش، دلیل افزایش سرعت حذف رنگ در زمان‌های اولیه این است که غلظت رنگ در ابتدا بیشتر بوده و لذا با سرعت بیشتری حذف نیز اتفاق می‌افتد در حالی که با گذشت زمان غلظت رنگ کاهش یافته و در نتیجه درصد حذف آن کاهش می‌یابد [۲۳]. از طرفی مطابق گزارش Alshabanat و AL-Anazy افزایش درصد حذف در زمان‌های اولیه به دلیل افزایش فرآیند تهیج بسیاری از الکترون‌ها از باندها و الانس به باند هدایت



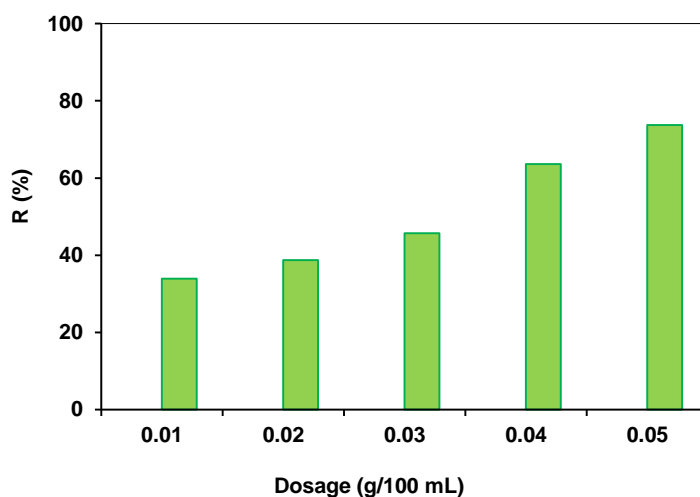
شکل ۴: اثر زمان واکنش؛ BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> dosage =0.05 g/100 ml, pH=2; Dye conc. =10 mg/l; Vis. light=30 w.  
**Figure 4:** Effect of reaction time, BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> dosage =0.05 g/100 ml, pH=2; Dye conc. =10 mg/l; Vis. light=30 w.

### ۳-۲-۳- تأثیر میزان pH بر عملکرد رنگ‌زدایی کاتالیزور نوری BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>

برای بررسی تأثیر pH بر فرآیند تخریب کاتالیزوری نوری رنگزای قرمز کنگو، محلول‌هایی از رنگزا به غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر در pH های ۲-۱۰ تهیه و میزان تخریب رنگزای قرمز کنگو بررسی شد. نتایج نشان داد که با افزایش pH درصد حذف رنگزای قرمز کنگو کاهش می‌یابد. از آنجایی که ماده رنگزای قرمز کنگو در محیط اسیدی قوی ( $pH \leq 2$ ) تغییر ساختار میدهد و به شکل رسوب روی سطح جاذب نانوکامپوزیتی قرار می‌گیرد، در نتیجه جذب آن کاهش می‌یابد. از طرفی در محدوده pH ۴ تا ۶ میزان جذب آن افزایش می‌یابد و بعد از آن با بازی شدن محیط جذب آن کاهش می‌یابد. برای توضیح این پدیده ابتدا  $pH_{zpc}$  برای نانوکامپوزیت BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> اندازه‌گیری شد که در حدود ۴٫۶۵ به دست آمد. همان‌طور که می‌دانیم بار روی ذرات در  $pH < pH_{zpc}$  مثبت، در  $pH > pH_{zpc}$  منفی و در  $pH = pH_{zpc}$  بدون بار است لذا در  $pH > ۴٫۶۵$  بار روی سطح کاتالیزور، منفی و در  $pH < ۴٫۶۵$  بار آن مثبت است. از آنجایی که رنگزای قرمز کنگو یک رنگزای آنیونی است، بنابراین در محلول دارای بار منفی خواهد بود. لذا اثر دافعه بار الکتریکی بین رنگزای با بار منفی و جاذب با بار منفی در  $pH > ۴٫۶۵$  است، سبب کاهش جذب رنگزا بر روی جاذب و در نتیجه سبب کاهش درصد تخریب رنگزا خواهد شد. به همین دلیل افزایش pH اثر منفی در درصد تخریب رنگزای قرمز کنگو خواهد داشت [۲۸]. نظرزاده و همکارانش نیز در حذف قرمز کنگو نتیجه گرفتند که بیشترین میزان تخریب بین ۴ تا ۶ اتفاق می‌افتد [۲۷].

### ۳-۲-۲- تأثیر مقدار کاتالیزور نوری BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> در حذف رنگزای قرمز کنگو

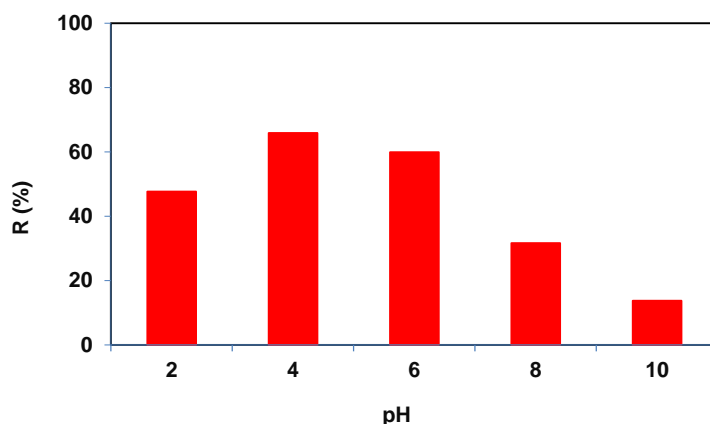
برای بررسی تأثیر مقدار کاتالیزور نوری در فرآیند تخریب کاتالیزوری نوری رنگزای قرمز کنگو، مقادیر ۰٫۰۱ تا ۰٫۰۵ گرم از کاتالیزور نوری انتخاب و در ۱۰۰ میلی‌لیتر از محلول رنگزا با غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر مورد آزمایش قرار گرفت (شکل ۵). نتایج نشان داد افزایش مقدار کاتالیزور نوری، تأثیر مثبت بر روی فرآیند تخریب دارد. تأثیر مثبت افزایش مقدار کاتالیزور نوری مربوط به افزایش مساحت سطح در دسترس جهت جذب آلاینده و وجود مکان‌های جذبی بیشتر است. افزایش مقدار کاتالیزور نوری، باعث افزایش سطح فعال کاتالیزور شده و باعث افزایش میزان تولید رادیکال هیدروکسیل و دیگر رادیکال‌های اکسید کننده می‌شود. در واقع افزایش مقدار کاتالیزور، سبب افزایش تعداد فوتون‌های جذبی شده و در نتیجه سبب افزایش تعداد مولکول‌های آلی جذب شده خواهد شد [۲۵]. سوپریا و ساتیش نیز در حذف کنگو قرمز با کامپوزیت ZnO اصلاح شده به همین نتیجه رسیدند که افزایش مقدار کاتالیزور نوری باعث افزایش درصد حذف به دلیل افزایش تولید رادیکال‌های هیدروکسیل می‌شود [۲۶]. زارع و همکارانش نیز در حذف کنگو قرمز با نانوکامپوزیت بر پایه پلی-N وینیل پیرولیدون-کو-مالئیک انیدرید نتیجه گرفتند که به دلیل افزایش تعداد جایگاه‌های فعال قابل دسترس با افزایش مقدار نانوکامپوزیت، درصد حذف رنگ افزایش می‌یابد [۲۷].



شکل ۵: تأثیر مقدار کاتالیزور نوری؛ Dye conc.=10 mg/L; pH=2; time=40 min; Vis. light=30 w

Figure 4: Effect of photocatalyst dosage; Dye conc.=10 mg/L; pH=2; time=40 min; Vis. light=30 w





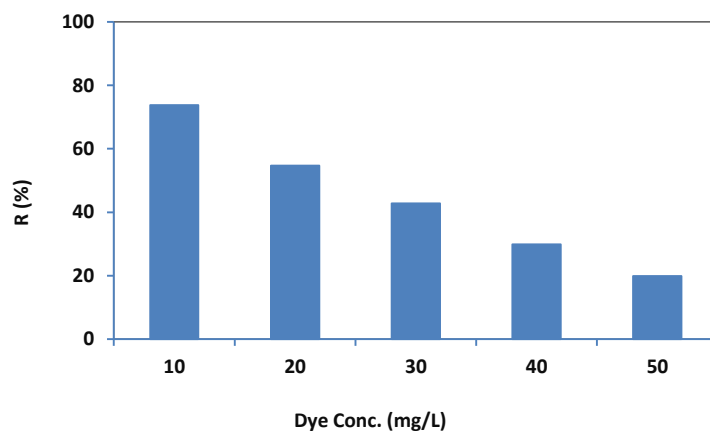
شکل ۶: اثر pH؛ BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> dosage =0.05 g/100 mL, Dye conc.=10 mg/L; time=40 min; Vis. light=30 w

Figure 6: Effect of pH; BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> dosage =0.05 g/100 mL, Dye conc.=10 mg/L; time=40 min; Vis. light=30 w.

کاتالیزور نوری توسط مولکول‌های رنگزا، امکان جذب مولکول بیشتر توسط کاتالیزور وجود نخواهد داشت [۲۹]. موحدی و همکارانش نیز نتیجه گرفتند که با افزایش غلظت رنگ، درصد حذف رنگ کاهش می‌یابد که دلیل آن این است که با افزایش غلظت رنگ، مقدار بیشتری رنگ بر روی نانوکامپوزیت جذب می‌شود و بنابراین تولید رادیکال‌های هیدروکسیل کاهش می‌یابد چرا که جایگاه‌های فعال در سیستم کمتر شده و باعث جذب کمتر یون‌های هیدروکسیل می‌شود. به علاوه، با افزایش غلظت رنگ، فوتون‌ها قبل از رسیدن به سطح کاتالیزور، به وسیله مولکول‌های مورد تجزیه جذب می‌شوند، از این رو جذب فوتون‌ها توسط کاتالیزور کاهش می‌یابد و در نتیجه درصد تخریب کاهش می‌یابد [۳۰].

### ۳-۲-۴- تأثیر غلظت اولیه کاتالیزور نوری بر عملکرد حذف رنگزای قرمز کنگو

نتایج نشان داد با افزایش غلظت اولیه قرمز کنگو از ۱۰ تا ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر، درصد حذف آن کاهش یافته و از ۷۳٫۷۶ به ۱۹٫۷۸ درصد می‌رسد (شکل ۷). علت تأثیر منفی افزایش غلظت اولیه رنگزای قرمز کنگو بر مقدار درصد حذف رنگزا می‌تواند ناشی از این مساله باشد که در حضور مقدار ثابتی از کاتالیزور نوری و در نتیجه مقدار ثابتی از رادیکال‌های هیدروکسیل، با افزایش غلظت اولیه رنگزای قرمز کنگو رادیکال‌های موجود توانایی تخریب یا حذف مولکول‌های بیشتری از رنگزا را نخواهند داشت. از طرفی با افزایش غلظت اولیه رنگزای قرمز کنگو به دلیل پر شدن مکان‌های فعال



شکل ۷: تاثیر غلظت اولیه رنگزای قرمز کنگو؛ BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> dosage =0.05 g/100 mL, pH=2; time=40 min; LED light=30 w

Figure 7: The effect of initial concentration of Congo Red; BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> dosage =0.05 g/100 mL, pH=2; time=40 min; LED light=30 w.

حذف رنگ دارد. بررسی اثر pH نیز نشان داد که با افزایش pH ابتدا درصد حذف افزایش و سپس کاهش می‌یابد. نتایج نشان داد تحت شرایط بهینه، کارایی تخریب کاتالیزوری نوری رنگزای قرمز کنگو تحت نور مرئی به ۷۴٫۶۶ درصد میرسد. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که نانوکامپوزیت BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> تحت نور مرئی، پتانسیل بالایی در حذف رنگزای قرمز کنگو دارد.

#### تقدیر و تشکر

نویسندگان مقاله مراتب تقدیر خود را از دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران جهت همکاری در این پایان نامه دوره دکتری اعلام می‌دارند.

#### ۴- نتیجه گیری

در این تحقیق تخریب کاتالیزوری نوری رنگزای قرمز کنگو با نانوکامپوزیت BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> تحت نور تحت نور مرئی بررسی شد. ابتدا نانوکامپوزیت BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> به عنوان کاتالیزور نوری تهیه شده و بعد از شناسایی با روش‌های FTIR XRD, FESEM, Dot mapping, EDS, BET and BJH کارایی آن در تخریب کاتالیزوری نوبیر رنگزای قرمز کنگو مورد ارزیابی قرار گرفت. در این راستا تاثیر ۴ عامل موثر بر فرآیند کاتالیزوری نوری شامل pH، غلظت اولیه رنگزای قرمز کنگو، مقدار کاتالیزور نوری و زمان مطالعه شدند. نتایج نشان داد که با افزایش زمان و مقدار کاتالیزور نوری درصد حذف رنگ افزایش می‌یابد در حالی که افزایش غلظت رنگ، اثر منفی در کاهش درصد

#### ۵- مراجع

1. T. Etemadinia, B. Barikbin, A. Allahresani, Removal of Congo red dye from aqueous solutions using ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/Tragacanth gum magnetic nanocomposite as a novel adsorbent. *Surf. Interfaces*. 14 (2019), 117-126.
2. M. N. Alshabanat, M. M. AL-Anazy, An experimental study of photocatalytic degradation of congo red using polymer nanocomposite films. *J. Chem.* 2018 (2018), 1-8.
3. S. W. Verbruggen, TiO<sub>2</sub> photocatalysis for the degradation of pollutants in gas phase: From morphological design to plasmonic enhancement. *J. Photochem. Photobiol. C*. 24 (2015), 64-82.
4. M. Nademi, M. Keshavarz Moraveji, M. Mansouri, Investigation of UV/TiO<sub>2</sub>-N photocatalytic degradation of AR 40 using response surface methodology (RSM). *J. Bas. Rs. Med. Sci.* 4 (2017), 29-40.
5. M. Shaban, M. R. Abukhadra, A. Hamd, R. R. Amin, A. A. Khalek, Photocatalytic removal of Congo red dye using MCM-48/Ni<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite synthesized based on silica gel extracted from rice husk ash; fabrication and application. *J. Environ. Manage.* 204 (2017), 189-99.
6. N. Ali, A. Said, F. Ali, F. Raziq, Z. Ali, M. Bilal, L. Reinert, T. Begum, H. M. Iqbal, Photocatalytic degradation of congo red dye from aqueous environment using cobalt ferrite nanostructures: development, characterization, and photocatalytic performance. *Water Air Soil Pollut.* 231(2020), 1-6.
7. S. A. Bhat, F. Zafar, A. H. Mondal, A. Kareem, A. U. Mirza, S. Khan, A. Mohammad, Q. M. Haq, N. Nishat. Photocatalytic degradation of carcinogenic Congo red dye in aqueous solution, antioxidant activity and bactericidal effect of NiO nanoparticles. *J. Iran. Chem. Soc.* 17 (2020), 215-227.
8. M. A. Alenizi, R. Kumar, M. Aslam, F. A. Alseroury, M. A. Barakat, Construction of a ternary g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub>@polyaniline nanocomposite for the enhanced photocatalytic activity under solar light. *Sci. Rep.* 9(2019), 1-8.
9. S. Darvishi-Farash, M. Afsharpour, J. Heidarian, Novel siligraphene/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> composites with enhanced visible light photocatalytic degradations of dyes and drugs. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 28 (2021), 5938-52.
10. M. Shandilya, R. Rai, J. Singh, Hydrothermal technology for smart materials. *Adv. Appl. Ceram.* 115(2016), 354-376.
11. W. Wang, J. C. Yu, D. Xia, P. K. Wong, Y. Li, Graphene and g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> nanosheets cowrapped elemental  $\alpha$ -sulfur as a novel metal-free heterojunction photocatalyst for bacterial inactivation under visible-light. *Environ. Sci. Technol.* 47 (2013), 8724-8732.
12. T. Zhou, Y. Xu, H. Xu, H. Wang, Z. S. Huang, H. Li, In situ oxidation synthesis of visible-light-driven plasmonic photocatalyst Ag/AgCl/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> and its activity. *Ceram. Int.* 40(2014), 9293-9301.
13. M. Muneeswaran, P. Jegatheesan, N. V. Giridharan, Synthesis of nanosized BiFeO<sub>3</sub> powders by co-precipitation method. *J. Exp. Nanosci.* 8(2013), 341-346.
14. J. Zhao, T. Liu, Y. Xu, Y. He, W. Chen, Synthesis and characterization of Bi<sub>2</sub>Fe<sub>4</sub>O<sub>9</sub> powders. *Mater. Chem. Phys.* 128(2011), 388-391.
15. L. Di, H. Yang, T. Xian, X. Chen, Construction of Z-scheme g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/CNT/Bi<sub>2</sub>Fe<sub>4</sub>O<sub>9</sub> composites with improved simulated-sunlight photocatalytic activity for the dye degradation. *Micromachines* 9(2018), 613-619.
16. X. Wang, W. Mao, J. Zhang, Y. Han, C. Quan, Q. Zhang, T. Yang, J. Yang, X.A. Li, W. Huang, Facile fabrication of highly efficient g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/BiFeO<sub>3</sub> nanocomposites with enhanced visible light photocatalytic activities. *J. Colloid Interface Sci.* 448(2015), 17-23.
17. Q. Hao, T. Chen, R. Wang, J. Feng, D. Chen, W. Yao, A separation-free polyacrylamide/bentonite/graphitic carbon nitride hydrogel with excellent performance in water treatment. *J. Clean. Prod.* 197(2018), 1222-1230.
18. I. A. Mkhallid, R. M. Mohamed, A. A. Ismail, M. Alhaddad, Z-scheme g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> nanosheet photocatalyst decorated with mesoporous CdS for the photoreduction of carbon dioxide. *Ceram. Int.* 47(2021), 17210-17219.
19. W. Shan, Y. Hu, Z. Bai, M. Zheng, C. Wei, In situ preparation of g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/bismuth-based oxide nanocomposites with enhanced photocatalytic activity. *Appl. Catal. B* 188(2016), 1-12.
20. Y. Ye, H. Yang, H. Zhang, H. J. Jiang, A promising Ag<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>/LaFeO<sub>3</sub> heterojunction photocatalyst applied to Photo-Fenton degradation of RhB. *Environ. Technol.* 40(2018), 1-18.
21. Q. Xiang, J. Yu, M. Jaroniec, 2012. Graphene-based semiconductor photocatalysts. *Chem. Soc. Rev.* 41(2012), 782-796.
22. P. Gao, K. Ng, D. D. Sun, Sulfonated graphene oxide-ZnO-

- Ag photocatalyst for fast photodegradation and disinfection under visible light. *J. Hazard. Mater.* 262(2013), 826–835.
- 23.N. Ali, A. Said, F. Ali, Photocatalytic Degradation of Congo Red Dye from Aqueous Environment Using Cobalt Ferrite Nanostructures: Development, Characterization, and Photocatalytic Performance. *Water Air Soil Pollut.* 231, 50 (2020)
- 24.M. N. Alshabanat, M. M. AL-Anazy, An experimental study of photocatalytic degradation of congo red using polymer nanocomposite films. *J. Chem.* 2018 (2018), 1-8.
- 25.Z. Ghasemi, H. Younesi, A. A. Zinatizadeh, Preparation, characterization and photocatalytic application of TiO<sub>2</sub>/Fe-ZSM-5 nanocomposite for the treatment of petroleum. *Chemosphere.* 159(2016), 552-564
- 26.S. Supriya, S. Sathish, 2020. Enhanced photocatalytic decolorization of Congo red dye with surface-modified zinc oxide using copper (II)-amino acid complex. *Inorg. Nano-Met. Chem.* 50(2020), 100-109.
- 27.Z. E. Nazarzadeh, L. M. Mansour, M. Masoumi, An environmentally friendly super-adsorbent nanocomposite based on poly (n-vinylpyrrolidone-co-maleic anhydride) and its application for congo red dye removal from aqueous solution. *J. Color Sci. Tech.* 11(2018), 275-286.
- 28.N. Khoshnamvand, E. Bazrafshan, B. Kamarei, Fluoride removal from aqueous solutions by naoh-modified eucalyptus leaves. *J. Environ. Health. Sustain Dev.* 3(2018), 481-487.
- 29.J. A. Abudaia, M. O. Sulyman, K. Y. Elazaby, S. M. Ben-Ali SM, Adsorption of Pb(II) and Cu (II) from aqueous solution ontoactivated carbon prepared from dates stones. *Int. J. Environ. Sci. Develop.* 2 (2013), 191-195.
- 30.M. Shaban, M. R. Abukhadra, S. S.Ibrahim, M. G. Shahien, Photocatalytic degradation and photo-Fenton oxidation of Congo red dye pollutants in water using natural chromite—response surface optimization. *Appl. Water Sci.*7(2017), 4743-4756.

**How to cite this article:**

M. Babaei Shekardasht, M. Hadi Givianrad, P. Gharbani, Z. Mirjafary, A. Mehrizad, Evaluation of BFO/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Nanocomposite Efficiency on Photocatalytic Removal of Congo Red Dye. *J. Color Sci. Tech.* 16, 1(2022), 69-79.

**DOR:** 20.1001.1.17358779.1401.16.1.6.8