



حذف رنگ متیلن بلو از پساب با استفاده از Fe-BTC

رضا علیزاده^{۱*}

۱- عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی قم-دانشکده فنی مهندسی-گروه مهندسی عمران-قم-ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: پژوهشی	در این تحقیق ماده آلی فلزی Fe-BTC (آهن-بنزن تری کربوکسیلات) تهیه شده با تابش فراصوت، به عنوان یک کاتالیست نوری جهت تخریب رنگ متیلن بلو (MB) از درون پساب استفاده شده است. اثرات دما (۵۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد) و زمان تابش (۹۰ و ۱۲۰ دقیقه) برای تهیه این ماده مورد بررسی قرار گرفت. نانوذرات تهیه شده Fe-BTC عملکرد کاتالیستی نوری خوبی را از خود نشان داده و در محدوده دمای ۱۲۰-۷۰ سانتی‌گراد بیشترین فعالیت را در حذف رنگ متیلن بلو دارا بود. این عملکرد نتیجه دو عامل مهم شامل مهار فرآیند نوترکیبی حامل‌های بار و افزایش سطح کاتالیست نوری است. سرعت واکنش تخریب رنگ متیلن بلو از معادله سرعت شبه مرتبه اول لانگمویر پیروی می‌کند. نمونه Fe-BTC70-120 به دلیل ذرات کوچکتر و همچنین نوترکیب الکترون-حفره کمتر، بیشترین تخریب رنگ را از خود نشان داد، این تخریب رنگ نتیجه خواص اکسیدکنندگی رادیکال هیدروکسیل است. آزمون‌ها، پایداری نمونه را برای سه دوره مصرف متوالی نشان داد. استفاده از کاتالیست نوری Fe-BTC با فعالیت و پایداری بالا، می‌تواند انتخاب نوبنی در تصفیه پساب‌های رنگی باشد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۰۲	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۰۱	
دسترسی آنلاین: ۱۴۰۱/۱۲/۲۵	
کلید واژه‌ها: Fe-BTC، چارچوب آلی فلزی، فوتو کاتالیست فراصوت، رنگ متیلن بلو	

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Alizadeh_environment@yahoo.com



Removal of methylene blue dye from wastewater by using Fe-BTC

Reza Alizadeh^{1*}

1- Faculty member, Faculty of Technology and Engineering, Qom University of Technology, Qom, Iran

Article Info

Abstract

Article type:
Research Article

Article history:
Received:
24/07/2022

Accepted:
23/10/2022

Available online:
16/03/2023

Keywords:
Fe-BTC,
Metal organic
framework,
Ultrasonic photo
catalyst,
MB Dye

In this research, Fe-BTC (iron-benzene tricarboxylic) synthesized by Ultrasonic irradiation as a novel photo catalyst was investigated for degradation of methylene blue (MB) from water solution. The effects of temperature (50 and 70 °C) and irradiation time (90 and 120 min) were investigated for preparation of the photo catalyst. Fe-BTC nanoparticles prepared in the temperature range of 70-120 °C had the best photocatalytic performance in removing methylene blue dye. The enhanced photocatalytic performance was related to two important factors which are the inhibition of the recombination process of the charge carriers and also the increase in the total area of the photo catalyst. The kinetics of degradation in this study has followed Langmuir-Hinshelwood pseudo-first-order theory. Fe-BTC₇₀₋₁₂₀ sample showed the most color degradation due to smaller particles and less electron-hole recombination. This color degradation is the result of the oxidizing properties of the hydroxyl radical. The tests showed the stability of Fe-BTC₇₀₋₁₂₀ sample for three cycles. Using Fe-BTC photo catalyst with high activity and stability may provide a new choice for dye wastewater treatment.

* Corresponding author E-mail address: Alizadeh_environment@yahoo.com

مقدمه

روش تخریب فوتوکاتالیستی یک فرایند مهم برای حل مشکلات زیست محیطی است (Xiyi et al., 2016). از زمان کشف سیستم‌های فوتوکاتالیستی تاکنون، بسیاری از سولفیدها و اکسیدهای فلزی مانند Zn, CdS, ZnO به عنوان کاتالیزور فعال نوری برای تخریب آلاینده‌ها در فاز گاز و مایع شناخته شده‌اند (Haque et al., 2017). مطالعات بمنظور دست یابی به کاتالیزورهای نوری جدید و خصوصاً کاتالیزورهای نوری بهبود یافته، ادامه دار است. چارچوب‌های آلی-فلزی (MOFs) مواد جامد آلی فلزی هیبریدی و کریستالی با ساختارهای توسعه‌یافته هستند که می‌توانند در بسیاری از زمینه‌ها مانند جداسازی گاز، حسگرها، دارورسانی، جذب آلاینده‌ها و کاتالیزور استفاده شود (Assi et al., 2017). از آنجا که کاربردهای کاتالیزوری مواد آلی فلزی به ساختار و ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی آنها بستگی دارد، بنابراین با تغییر خوشه‌های فلزی و لیگندهای آلی در ساختار این مواد، کاربردهای کاتالیزوری متفاوتی از آنها را می‌توان مشاهده کرد (Mousavi et al., 2018). هنگامی که مواد آلی فلزی در معرض تابش نور قرار می‌گیرند، می‌توانند عملکرد نورکافتی داشته باشند، بنابراین به دلیل ویژگی‌های منافذ کاملاً مشخص، مساحت سطح بالا و ساختار قابل تنظیم آنها، این مواد می‌تواند به عنوان فوتوکاتالیست‌های ناهمگن برای پالایش آلودگی‌های محیط زیست مورد استفاده قرار گیرد. برخلاف کاتالیزورهای نوری معمولی، خواص فوتوکاتالیستی مواد آلی فلزی هنوز روشن نشده است (Pirhashemi et al., 2018). در این تحقیق، تخریب فوتوکاتالیستی رنگ متیلن بلو (MB) تحت تابش ماورای بنفش با استفاده از آهن و بنزن تری کربوکسیلات (Fe-BTC) به عنوان یک کاتالیزور نوری جدید مورد بررسی قرار گرفته است. چارچوب آلی-فلزی بر پایه آهن Fe-BTC دارای مساحت سطح بالایی است که ترکیب شیمیایی آن مشابه MIL-100 (Fe) است. ماده دوم شامل لیگندهای BTC است که با هشت وجهی آهن هماهنگ شده است (Fe₃-U₃₀) که دارای یک راس مشترک U₃₀ است. این هشت وجهی حاوی مکان‌های فلزی غیراشباع و هماهنگی است که در فعالیت‌های کاتالیزوری شرکت می‌کنند. MOF-III-Fe ها می‌توانند فوتون‌هایی با انرژی برابر یا بیشتر از شکاف انرژی HOMO-LUMO خود را جذب کنند، که با شکاف نواری کاتالیزورهای نوری نیمه‌رسانای سنتی، مانند TiO₂ قابل مقایسه است (Moradi et al., 2016). زمان لازم برای تهیه این ماده نسبتاً طولانی است و همین موضوع تهیه ماده Fe-BTC با فعالیت نورکافتی و در مدت زمان کوتاه را جذاب تر می‌کند. اخیراً توجه زیادی به استفاده از امواج فراصوت برای سنتز مواد شده است. در این روش به دلیل پدیده کاویتاسیون صوتی، تغییرات فیزیکی و شیمیایی مانند تشکیل سریع، رشد و ریزش حباب‌های ناپایدار در مایعات ایجاد می‌شود که باعث تولید ذرات نانومتری و همچنین صرفه‌جویی در زمان آماده‌سازی می‌شود. در این مطالعه، برای اولین بار از روش ساده فراصوت برای تهیه Fe-BTC به عنوان کاتالیزور نوری استفاده شده است. روش ماورای صوت یک روش ساده، موثر، کم هزینه و سازگار با محیط زیست برای تهیه مواد آلی فلزی در مقیاس نانو است. مزایای سنتز ماورای صوت را می‌توان از نظر عملکرد محیطی، سادگی عملیات، انتخاب محصول، کاهش زمان واکنش و تولید اندازه ذرات کوچکتر توصیف کرد (Kozlova et al., 2016). اثرات دمای تابش فراصوت و زمان واکنش برای بدست آوردن کاتالیزور نوری بهینه به منظور تخریب رنگ مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌های سنتز شده Fe-BTC با استفاده از روش‌های UV-Vis، BET، SEM، XRD، FT-IR شناسایی شد. آزمایش‌های تخریب فوتوکاتالیستی در یک راکتور نوری معمولی انجام شده است. مطالعات سینتیکی و مکانیسم تخریب رنگ MB در سیستم Fe-BTC/UV مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

آهن (III) نیترات Fe-(NO₃)₃، بنزن تری کربوکسیلیک اسید (H₃BTC)، N,N-دی متیل فرمامید (DMF)، اتانول (Et) و متیلن بلو (MB) ساخت شرکت مرک آلمان در این تحقیق استفاده شد. متانول (Me OH) با درجه HPLC به دست آمد. تمام مواد شیمیایی این مطالعه بدون خالص‌سازی بیشتر مورد استفاده قرار گرفت. اندازه‌گیری‌های پراش پرتو ایکس XRD با استفاده از پراش‌سنج پودری (Philips PW1800) با تابش Cu K α [2θ = 0.15406] نانومتر و زاویه اسکن (۲۰) = ۴۰۶۰ درجه انجام شد. طیف‌سنجی فرسرخ تبدیل فوریه (FTIR) بر روی یک طیف‌سنج FTIR شیمادزو ساخت ژاپن ثبت شد (Oveisi et al., 2016). طیف بازتاب پراکنده UV-

Vis نمونه‌ها با استفاده از اسپکتروفتومتر آوانتس (Avaspec-2048-TEC) به دست آمد. محدوده آنالیز از ۲۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر بوده و BaSO-4 به عنوان نمونه مرجع استفاده شد. مساحت سطح BET (Brunauer-Emmett-Teller) و ساختار متخلخل با استفاده از دستگاه Belsorp mini اندازه‌گیری شد. میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) با استفاده از TE.SCAN Mira 3 انجام شد. آماده‌سازی واکنش دهنده‌ها به طور جداگانه با حل نمودن ۱۰ میلی‌مول از Fe-(NO₃) 3.9H₂O در ۳۰ میلی‌لیتر DMF و ۱۰ میلی‌مول از H₃BTC در ۳۰ میلی‌لیتر DMF انجام گرفته است. دو محلول فوق با یکدیگر مخلوط شده و تحت تابش فراصوت ۵۰ کیلوهرتز در دماهای ۵۰ و ۷۰ درجه سانتیگراد و زمان واکنش ۹۰ و ۱۲۰ دقیقه قرار گرفتند. چهار نمونه Fe-BTC با دما و زمان واکنش مندرج در جدول ۱ مورد بررسی قرار گرفت. البته نمونه Fe-BTC 50-90 بعد از تابش فراصوت، به صورت ژل در نیامد، که این ممکن است به دلیل انرژی ناکافی واکنش در این شرایط باشد (Du et al., 2011). سه نمونه دیگر (Fe-BTC 50-120، Fe-BTC 70-90 و Fe-BTC 70-120) تهیه شده و سپس برای جداسازی و ته‌نشینی تا دمای محیط سرد شدند. بلورهای قهوه‌ای رنگ فیلتر شده، با آب دیونیزه و اتانول (۲۰ میلی‌لیتر در ۳ میلی‌لیتر) چند بار شستشو و سپس در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲ ساعت به طور کامل خشک شد.

آزمایش‌ها

فعالیت نورکافتی نمونه‌های Fe-BTC جهت تخریب رنگ متیلن بلو تحت تابش پرتوهای ماورای بنفش مورد بررسی قرار گرفت. تغییر رنگ در راکتور نوری استوانه‌ای از جنس پیرکس انجام شد. نمونه‌هایی از محلول واکنش در فواصل زمانی معین سانتی‌فریژ و با استفاده از اسپکتروفتومتر شناسایی شد. از دو عدد لامپ UV 4W، برای تابش محلول‌ها استفاده شد (Laurier et al., 2013). در جدول ۱ چهار نمونه Fe-BTC تهیه شده مورد بررسی (در دما و زمان‌های متفاوت)، آمده است.

جدول ۱- مطالعه تهیه چهار نمونه Fe-BTC در دما و زمان متفاوت

نمونه	دمای التراسونیک (°C)	زمان تابش التراسونیک (دقیقه)
Fe-BTC ₅₀₋₉₀	50	90
Fe-BTC ₅₀₋₁₂₀	50	120
Fe-BTC ₇₀₋₉₀	70	90
Fe-BTC ₇₀₋₁₂₀	70	120

بحث

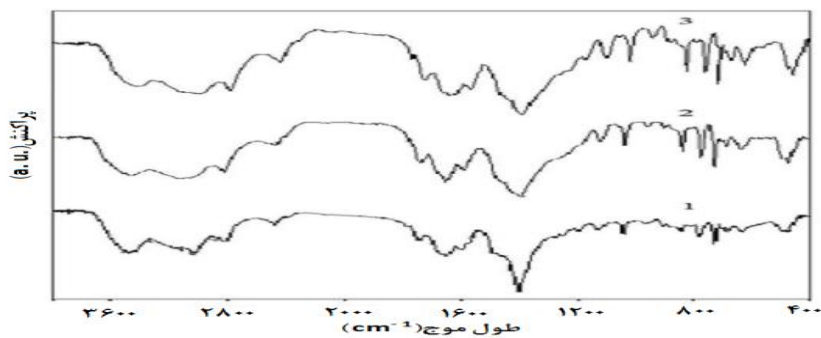
در شکل ۱ ظرف واکنش تهیه نمونه‌های Fe-BTC (در دما و زمان‌های مختلف)، نشان داده شده است، با بررسی‌های صورت گرفته مشخص می‌شود که نمونه‌های تهیه شده ترکیباتی با چارچوب آلی-فلزی و نیمه آمورف هستند. ماهیت نیمه آمورف نمونه‌های Fe-BTC تهیه شده نیز به دلیل اندازه‌های کوچک و کریستالی آنها است (Tomar et al., 2015).



شکل ۱- راکتور نوری

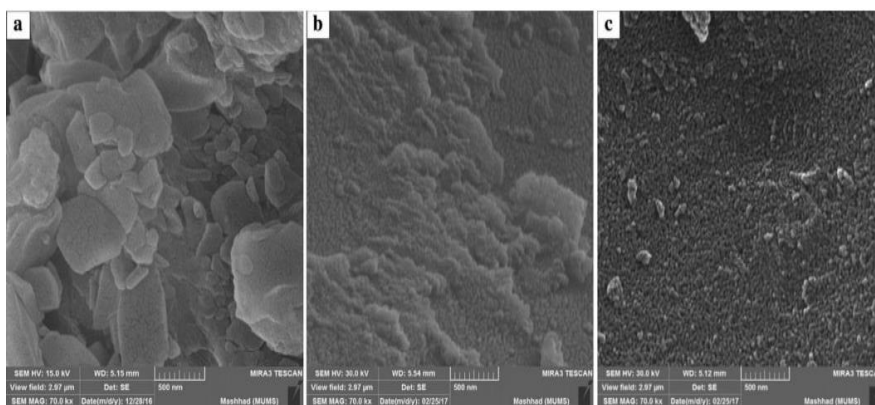
در طیف XRD مخلوط مواد تهیه شده، سه ماده آلی- فلزی Fe-BTC70-120 (2) Fe-BTC70-90 (1) Fe-BTC50-120 قابل تشخیص است، که یکی از آن‌ها با زاویه ۱۱ درجه دارای بیشترین شدت می باشد، این نتیجه با مطالعات قبلی نیز مطابقت دارد (Noman et al., 2018). در این تحقیق به دلیل عدم وجود اطلاعات کامل در مورد ویژگی‌های ساختاری این مواد نیمه آمورف، طیف مادون قرمز (IR)، نیز تهیه شده است (Rojas Garcia et al., 2014). شکل ۲ طیف FTIR نمونه‌های Fe-BTC تهیه شده به روش فراصوت را نشان می‌دهد. در طول موج کمتر از ۱۳۰۰ نوارهای مختلفی که به ارتعاشات لیگاند BTC اختصاص داشته و در محدوده ۱۳۰۰ تا ۱۷۰۰ قرار دارد؛ قابل مشاهده است، این نوارها مربوط به لیگاند کربوکسیلات است (Yi et al., 2017).

Fe BTC50-120 (1)
Fe-BTC70-90 (2)
(3 Fe-BTC 70- 120)



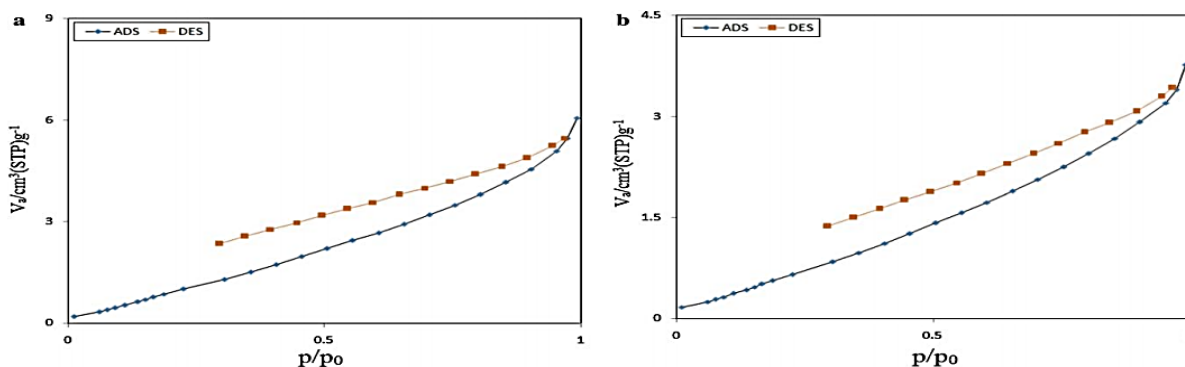
شکل ۲- طیف FTIR نمونه‌های Fe-BTC

در مقایسه میان روش‌های قبلی و روش فراصوت، تطابق خوبی میان موقعیت پیک‌های طیف FTIR نمونه‌های Fe-BTC وجود دارد (Gregg et al., 1982) بررسی سطح و خصوصیات نمونه‌های Fe-BTC در دما و زمان‌های مختلف با دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM انجام شد. همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است، اندازه این ذرات در مقیاس نانومتری قرار دارد. همچنین در مقایسه با نمونه‌های تهیه شده به روش هیدروترمال، ذراتی کوچکتر و با مورفولوژی همگن مشاهده شد (Park et al., 2014).



شکل ۳- تصاویر SEM نمونه‌های a) Fe-BTC₅₀₋₁₂₀ , b) Fe-BTC₇₀₋₉₀ , c) Fe-BTC₇₀₋₁₂₀

دمای واکنش بر رشد کریستال تأثیر گذار بوده و اندازه ذرات محصول نهایی را تعیین می‌کند (Hemalatha et al., 2015). گرمایش سریع و یکنواخت تابش‌های فراصوت منجر به هسته شدن همگن و تشکیل کریستال‌های کوچکتر می‌شود (et al, Naghizadeh- 2015). همچنین نمونه‌های تهیه شده در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد دارای اندازه ذرات کوچکتر (۳۰ تا ۵۰ نانومتر) و شکل یکنواخت تری نسبت به نمونه تهیه شده در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد است، بنابراین با افزایش دما، اندازه ذرات کاهش می‌یابد. این نتایج با مشاهدات هائو (Hao et al., 2017). مطابقت دارد. همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده است، باند اصلی جذب نوری در محدوده ۲۰۵، ۱۸۵، ۱۸۷ نانومتر برای Fe-BTC₅₀₋₁₂₀ است. شکل ۴ همدمای جذب و دفع نیتروژن را نشان می‌دهد. Fe- و Fe-BTC₅₀₋₁₂₀ به ترتیب دارای بیشترین و کمترین اندازه ذرات است. تجزیه و تحلیل BET نیز برای این دو نمونه انجام شد (2008). (Abedin Khan et al.,



شکل ۴- منحنی‌های همدمای جذب و دفع نیتروژن نمونه‌های a) Fe-BTC₅₀₋₁₂₀ b) Fe-BTC₇₀₋₁₂₀

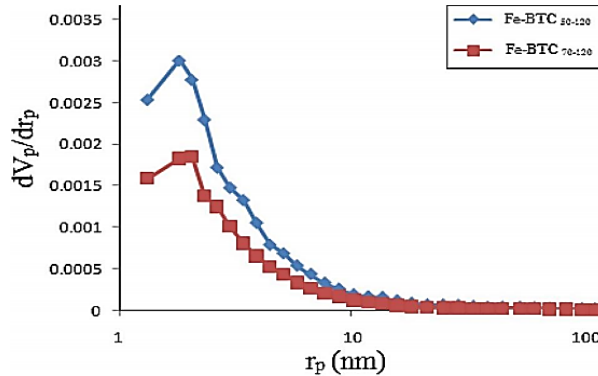
در جدول ۲، اثر دما بر مساحت و قطر متوسط منافذ نمونه‌های Fe-BTC₅₀₋₁₂₀ و Fe-BTC₇₀₋₁₂₀ آمده است.

جدول ۲- تأثیر دما بر مساحت و قطر منافذ نمونه Fe-BTC₅₀₋₁₂₀ و Fe-BTC₇₀₋₁₂₀

نمونه	مساحت ($m^2 g^{-1}$)	قطر متوسط منافذ (nm)
Fe-BTC ₅₀₋₁₂₀	993.15	6.14
Fe-BTC ₇₀₋₁₂₀	950.30	6.17

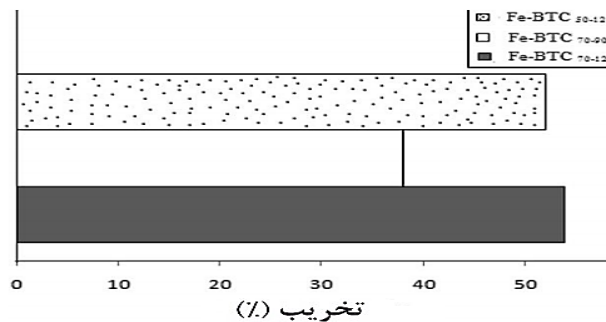
توزیع اندازه منافذ نمونه‌ها با استفاده از معادله BJH انجام شد، نمونه Fe-BTC 50-120 مساحت سطح بالاتری نسبت به Fe-BTC₇₀₋₁₂₀ دارد. نتایج نشان داد که اگرچه Fe-BTC₅₀₋₁₂₀ دارای ابعاد بزرگتری است، اما به دلیل مورفولوژی متفاوت، سطح ویژه بیشتری

دارد. (Safarifard et al., 2015). شکل ۵ توزیع منافذ نمونه‌های تهیه شده ماده جاذب با استفاده از معادله BJH است (2013 et al., Majano).



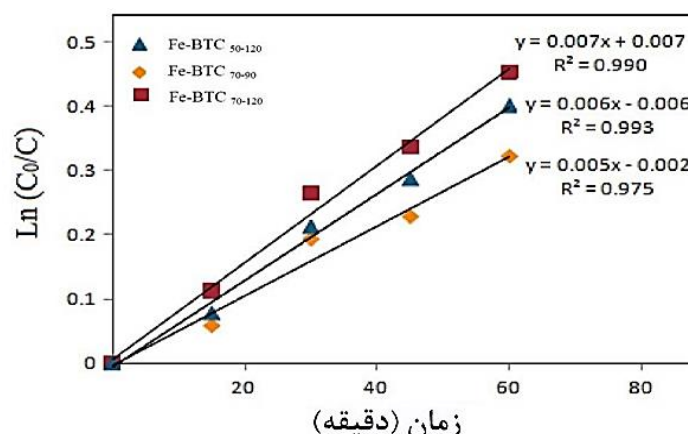
شکل ۵- توزیع اندازه منافذ نمونه‌های Fe-BTC70-120 و Fe-BTC70-120 با استفاده از BJH

تخریب رنگ MB محلول آبی ۲۵ ppm تحت تابش ماورای بنفش با استفاده از ۰/۵ گرم پودر Fe-BTC به عنوان کاتالیزور نوری انجام شد. شکل ۶ نشان می‌دهد که Fe-BTC 70-120 فعالیت نورکافتی بیشتری دارد. راندمان تخریب رنگ با این نمونه در حدود ۵۴٪ در ۹۰ دقیقه است، در حالی که راندمان تخریب ماده Fe-BTC50-120 و Fe-BTC70-90 به ترتیب ۵۲٪ و ۳۸٪ است.



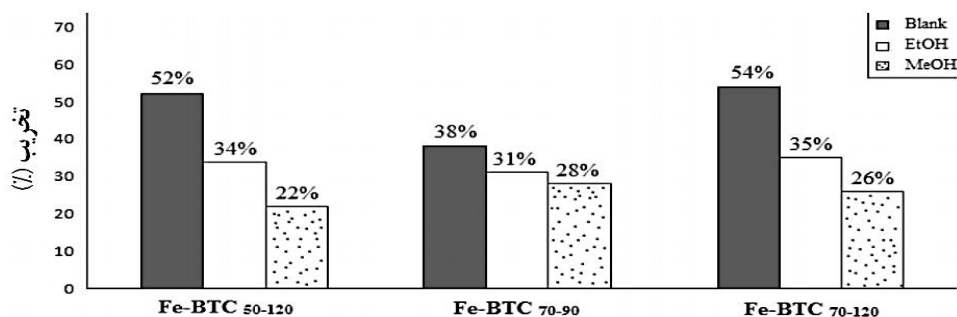
شکل ۶- مقایسه فعالیت نورکافتی مواد Fe-BTC 70-120 ، Fe-BTC 70-90 و Fe-BTC 50-120

فعالیت نوری بیشتر نمونه Fe-BTC70-120 به دلیل ذرات کوچکتر و نو ترکیب الکترون-حفره کمتر است. از آنجایی که در فرآیند فوتوکاتالیستی، ابتدا آلاینده جذب شده و سپس بر روی سطح کاتالیست تجزیه می‌شود، افزایش سطح نمونه یا کاهش اندازه نانوذرات باعث افزایش سرعت جذب و افزایش راندمان تخریب می‌شود (Diaz-Garcia et al., 2014). همچنین Fe-BTC70-90 کمترین راندمان تخریب را به دلیل نو ترکیب حفره الکترون بالاتر و جذب نور کمتر دارد. در مطالعات قبلی، راندمان تخریب رنگ متیلن بلو تحت تابش پرتوهای ماوراء بنفش بوسیله چارچوب‌های آلی-فلزی مانند MIL-53(Fe)-r Go و MIL-53(Fe) به ترتیب ۳٪ و ۳۵٪ گزارش شده است (Sanchez-Sanchez et al., 2015). مطابق شکل ۷ منحنی‌های سینتیک تخریب رنگ متیلن بلو توسط نمونه‌های سنتز شده Fe-BTC از نوع شبه مرتبه اول لانگمویر پیروی می‌کند.



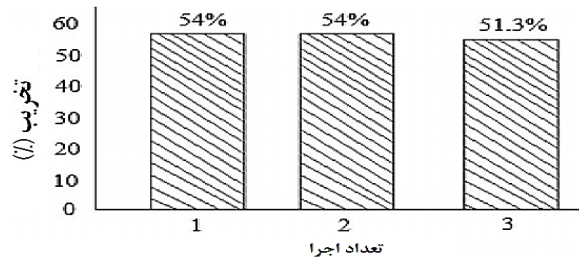
شکل ۷- سینتیک تخریب رنگ متیلن بلو توسط نمونه‌های Fe-BTC

روند مشابه در تخریب نوری رنگ MB توسط دیگر محققین نیز گزارش شده است (Yanjing et al., 2016). برای توضیح سینتیک فرآیندهای کاتالیزوری ناهمگن، سینتیک Langmuir-Hinshelwood (LH) رایج ترین مدل است. (۱) ۳۷ که در آن C غلظت متیلن بلو (ppm) در لحظه i است، Co غلظت متیلن بلو (ppm) در - ۰ (دقیقه) و k ثابت سرعت واکنش (در دقیقه) است. از شیب خط مستقیم می‌توان ثابت سرعت را محاسبه کرد. مقادیر ثابت سرعت واکنش نشان داد که سرعت تخریب با استفاده از Fe-BTC 70-120 بیشتر از سایر نمونه‌ها است. نرخ بالاتر تخریب به دلیل ذرات کوچکتر و نوترکیب الکترون-حفره کمتر است. ماده فعال نوری نقش مهمی در فرآیند نورکافتی ایفا می‌کند. مجموعه‌ای از آزمایش‌های کنترل‌شده با استفاده از جاذب‌های مختلف رادیکالی برای درک مکانیسم واکنش احتمالی برای تخریب نوری MB بر روی کاتالیزورهای Fe-BTC تهیه شده با پرتو فراسوخت انجام شد (شکل ۸).



شکل ۸- حذف رنگ با جاذب‌های Fe-BTC در محیط حاوی رادیکال‌های متفاوت

ترکیبات رادیکالی متانول و اتانول برای حذف گونه‌های فعال، به پساب رنگی افزوده شد (Yang et al., 2013). از مقایسه راندمان تخریب نمونه‌های سنتز شده Fe-BTC، مشاهده شد که افزودن متانول و اتانول کارایی تجزیه MB را کاهش می‌دهد. به عبارت دیگر، رادیکال‌های فعال هیدروکسیل عامل موثر در تجزیه فوتوکاتالیستی متیلن بلو توسط این کاتالیزورهای نوری است. شکل ۱۰ آزمایشاتی را با استفاده از جاذب‌های رادیکالی در تخریب نوری رنگ MB توسط نمونه‌های Fe-BTC را نشان می‌دهد. کاهش رنگ در راکتور حاوی ماده Fe-BTC 70-90 کمتر از نمونه‌های دیگر بود که این نشان از تأثیر کمتر عوامل بر فرآیند تخریب متیلن بلو است. همچنین، نتایج نشان داد که رادیکال‌های هیدروکسیل در این مطالعه مؤثرتر از الکترون‌ها در فرآیند تخریب فوتوکاتالیستی رنگ MB است. برای بررسی پایداری Fe-BTC تهیه شده توسط تابش اولتراسونیک، آزمایش‌های بازیافت با Fe-BTC 70-120 انجام شد، که بالاترین فعالیت فوتوکاتالیستی را نشان می‌داد. مراحل بازیافت با جداسازی کاتالیزور توسط سانتریفیوژ انجام شد. فعالیت فوتوکاتالیستی ثابت، تا سه چرخه در شکل ۹ نشان داده شده است.



شکل ۹- درصد تخریب نورکافتی رنگ با Fe-BTC در سه اجرا

نتیجه گیری

این تحقیق برای اولین بار به منظور تهیه چارچوب فلزی-آلی Fe-BTC به روش فراصوت و مطالعه فعالیت نورکافتی آن برای تخریب متیلن بلو انجام شده است. تأثیر دما و زمان‌های مختلف واکنش تابش مافوق صوت بر عملکرد فوتوکاتالیستی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. تجزیه و تحلیل XRD، FTIR و SEM نشان داد که نمونه‌های Fe-BTC تهیه شده با روش اولتراسونیک از نظر ساختاری مشابه روش‌های قبلی است و اندازه ذرات کوچک‌تر و یکنواختی دارند. نمونه‌های سنتز شده Fe-BTC عملکرد نورکافتی خوبی دارند. نمونه Fe-BTC 70-120 دارای بیشترین فعالیت فوتوکاتالیستی در تخریب رنگ است. عملکرد فوتوکاتالیستی بیشتر به دو عامل مهم مربوط می‌شود که عبارت است از مهار فرآیند نوترکیبی حامل‌های بار و همچنین افزایش سطح کاتالیزور نوری. نمونه Fe-BTC 70-120 دارای ذرات کوچک‌تر و نوترکیبی الکترون-حفره کمتری است و از این رو به ترتیب به افزایش سطح Fe-BTC 70-120 و کاهش بازترکیب الکترون-حفره کمک کرده است. سینتیک تخریب در این مطالعه از معادله شبه مرتبه اول لانگمویر-هینسلوود پیروی می‌کند. نتایج مکانیسم واکنش‌پذیری رادیکال هیدروکسیل (OH) را در تخریب عکس متیلن بلو نشان داد. آزمایشات بعمل آمده همچنین پایداری بالای نمونه Fe-BTC 70-120 را برای سه مرحله نشان داد.

منابع

- Abedin Khan, N., Sung Hwa, J. Coord. (2008) Chem. Rev 285, 11
- Assi, N., Tehrani, M.S., Aberoomand Azar, P., Husain, S.W. (2017) J. Iran. Chem. Soc., 14, 221
- Du, J.J., Yuan, Y.P., Sun, J.X., Peng, F.M., Jiang, X., Qiu, L.G., Xie, A.J., Shen, Y.H., Zhu, J.F. (2011) J. Hazard. Mater. 190, 945
- Diaz-Garcia, M., Sanchez-Sanchez, M. (2014) Microporous Mesoporous Mater. 190, 248
- Gregg, S.J., Sing, I. Adsorption, K.S.W. Surface Area and Porosity (Academic, London, 1982)
- Hao, S.Y., Ma, X.G., Cui, Ultrason. G.H. (2017) Sonochem. 37, 414
- Hemalatha, P., Alagara, M., Navaneetha, K., Pandiyaraj, S., Perumal, L. (2015) Int. J. Chem. Phys. Sci 4, 1 Pradeev
- Haque, F.Z., Nandanwar, R., Singh, P. (2017) Optik 128, 191
- Kozlova, A., Ekaterina, V.N., Panchenko, Z., Hasan, N., Abedin Khan, MN., Timofeeva, S. (2016) Catal. Today, 266, 136
- Laurier, K.G. M., Vermoortele, F., Ameloot, R., De Vos, D.E. (2013) J. Hofkens, J. Am. Chem. Soc. 135, 14488
- Majano, G., Ingold, O., Yulikov, M., Jeschke, G., Perez-Ramirez, J. (2013) Cryst. Eng. Comm. 15, 9885
- Moradi, S.E., Haji Shabani, M., Emami, S., Dadfarnia, S. (2016) J. Iran. Chem. Soc. 13, 1617
- Mousavi, M., Habibi-Yangjeh, A., Pouran, S.R. (2018) J. Mater. Sci. Mater. Electron, 29, 1719
- Naghizadeh-Alamdari, S., Habibi-Yangjeh, A. (2015) J. Iran. Chem. Soc. 12, 1961
- Noman, M.T., Wiener, J., Saskova, J., Ashraf, M.A., Vikova, M., Jamshid, H., Kejzlar, P. (2018) Ultrason. Sonochem. 40, 41
- Oveisi, A.R., Khorramabadi-zad, A., Daliran, S. (2016) RSC Adv. 6, 1136
- Park, J.H., Lee, W.R., Kim, Y., Lee, H. J., Ryu, D. W., Phang, W.J., Hong, C.S. Cryst. (2014) Growth Des. 14, 699
- Pirhashemi, M., Habibi-Yangjeh, A., Pouran, S.R. (2018) J. Ind. Eng. Chem, 62, 1
- Rojas Garcia, E., Lopez Medina, E.R., May Lozano, M., Hernan-dez Perez, L., Valero, M.J., Maubert Franco, A.M. (2014) Materials. 7, 8037
- Raj, K., Sadaiyandi, K., Kennedy, A., Thamizselvi, R. (2016) Mater. Chem. Phys. 183, 24
- Safarifard, V., Morsali, A., Coord. (2015) Chem. Rev. 1
- Sanchez-Sanchez, M., de Asua, L., Ruano, D., Diaz, K., Direct syn-thesis. (2015) Cryst. Growth Des. 15, 4498
- Tomar, K., Rajak, R., Sanda, S., Konar, S. Crys. Growth Des. (2015) 15, 2732
- Xiyi, L., Pi, Y., Xia, Q., Li, Zh., & Xiao, J. (2016) J. Appl Catal. B, 192, 72
- Yanjing, Y., Bai, Y., Zhao, F., Yao, E., Yi, J., Ch Xuan, S. Chen, (2016) RSC Adv. 6, 67308
- Yang, Y., Bai, Y., Zhao, F., Yao, E., Yi, J. Ch Xuan, S. Chen, (2013) RSC Adv. 1
- Yi, X.Y., Ma, C.Y., Yuan, F., Wang, N. Qin, F.W., Hu, B.C., Zhang, Q.Y. (2017) Thin Solid Films. 636, 339