



دانشگاه علوم پزشکی
و خدمات بهداشتی درمانی کرمان

دانشکده بهداشت

پایان نامه مقطع کارشناسی ارشد رشته مهندسی بهداشت محیط

عنوان

بررسی کارایی فرایند تلفیقی اکسیداسیون پیشرفته توسط پرسولفات و امواج فراصوت در حضور نانوکاتالیست هتروژن مغناطیسی $\text{CuCoFe}_2\text{O}_4@MC/AC$ در تجزیه مترونیدازول از محیط های آبی

توسط

سعید رجبی

استاد راهنما

آقای دکتر مجید هاشمی

استاد مشاور

آقای دکتر علیرضا نصیری

شماره پایان نامه: ۱۰/۸/۱/۳۴

سال تحصیلی: شهریور ۱۴۰۰

فهرست مطالب

ی	فهرست جداول	۱
ک	فهرست تصاویر و نمودارها	۱
ل	فهرست کوتاه نوشته‌ها (Abbreviations)	۱
ا	چکیده	۱
ا	فصل اول: مقدمه و اهداف	۱
۲	۱-۱- مقدمه	۲
۲	۲-۱- بیان مسئله و ضرورت اجرا	۲
۷	۳-۱- اهداف و فرضیات	۷
۷	هدف اصلی پژوهش	۷
۷	اهداف جزئی پژوهش	۷
۸	اهداف کاربردی پژوهش	۸
۸	فرضیات یا سوالات پژوهش	۸
۹	۴-۱- تعریف واژگان	۹
۱۱	فصل دوم: بررسی متون	۱۱
۱۲	۱-۲- آلودگی محیط زیست و منابع آبی توسط آنتی‌بیوتیک‌ها	۱۲
۱۲	۲-۲- میزان مصرف آنتی‌بیوتیک‌ها	۱۲
۱۳	۳-۲- مטרئیدازول	۱۳
۱۴	۴-۲- روش‌های تصفیه آب و فاضلاب	۱۴
۱۵	۵-۲- اکسیداسیون پیشرفته	۱۵
۱۵	۱-۵-۲- واکنشگر فنتون	۱۵
۱۶	۲-۵-۲- پراکسیداسیون	۱۶
۱۶	۳-۵-۲- فوتولیز در حضور پراکسید هیدروژن	۱۶
۱۷	۴-۵-۲- فوتولیز در حضور ازن	۱۷
۱۷	۵-۵-۲- فوتوفنتون ($H_2O_2/Fe^{2+}/UV$)	۱۷

۱۸	۶-۵-۲ فوتوکاتالیز ناهمگن (TiO ₂ /UV).....
۱۸	۷-۵-۲ اکسیداسیون پیشرفته در حضور امواج فراصوت.....
۱۸	۸-۵-۲ اکسیداسیون پیشرفته الکتروشیمیایی.....
۱۹	۶-۲ انواع کاتالیست‌ها.....
۱۹	۱-۶-۲ کاتالیست‌های هموزن (همگن).....
۲۰	۲-۶-۲ کاتالیست‌های هتروژن (ناهمگن).....
۲۰	۳-۶-۲ کاتالیست‌های همگن هتروژنه.....
۲۰	۴-۶-۲ بیوکاتالیست‌ها.....
۲۱	۷-۲ روش‌های سنتز نانوذرات.....
۲۱	۱-۷-۲ روش هم‌رسوبی (Co-Precipitation).....
۲۱	۲-۷-۲ روش حرارتی (Thermal).....
۲۲	۳-۷-۲ روش سل-ژل (Sol-Gel).....
۲۲	۴-۷-۲ روش میکرو امولسیون (Micro Emulsion).....
۲۲	۵-۷-۲ سایر روش‌ها.....
۲۳	۸-۲ اکسیدان‌ها.....
۲۳	۹-۲ فعال‌سازها.....
۲۳	۱۰-۲ بررسی متون.....
۲۳	۱-۱۰-۲ مطالعات داخلی.....
۲۷	۲-۱۰-۲ مطالعات خارجی.....
۳۰	فصل سوم: مواد و روش‌های تحقیق.....
۳۱	۱-۳ زمان و مکان انجام پژوهش.....
۳۱	۲-۳ نوع مطالعه و خلاصه مشخصات پژوهشی.....
۳۱	۳-۳ حجم نمونه.....
۳۱	۴-۳ مواد شیمیایی.....
۳۲	۵-۳ ابزارها.....

۳۲	۳-۵-۱- آنالیز پراش اشعه X (XRD)
۳۲	۳-۵-۲- میکروسکوپ الکترونی گسیل میدانی (FESEM)
۳۲	۳-۵-۳- طیف سنجی پراش انرژی پرتو ایکس (EDS)، Mapping and Linescan
۳۲	۳-۵-۴- طیف سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR)
۳۳	۳-۵-۵- مغناطیس سنج نمونه ارتعاشی (VSM)
۳۳	۳-۵-۶- آنالیز وزن سنجی حرارتی (TGA)
۳۳	۳-۶- سنتز نانوکاتالیست مغناطیسی $\text{CuCoFe}_2\text{O}_4@MC/AC$
۳۴	۳-۷- بهینه‌سازی متغیرها
۳۴	۳-۸- تعیین pH_{zpc}
۳۵	۳-۹- اندازه‌گیری TOC
۳۵	۳-۱۰- نمونه واقعی فاضلاب
۳۵	۳-۱۱- رادیکال اسکاونجر
۳۵	۳-۱۲- مقایسه کارایی اکسیدان‌های متفاوت در حذف مترونی‌دازول
۳۵	۳-۱۳- احیای حرارتی و شیمیایی کاتالیست
۳۷	فصل چهارم: یافته‌ها
۳۸	۴-۱- مقدمه
۳۸	۴-۲- نتایج آنالیز FTIR
۳۸	۴-۳- نتایج آنالیز FESEM
۳۹	۴-۴- نتایج آنالیز EDS-Mapping & Line scan
۴۱	۴-۵- نتایج آنالیز XRD
۴۲	۴-۶- نتایج آنالیز VSM
۴۲	۴-۷- نتایج آنالیز TGA
۴۳	۴-۸- بهینه‌سازی پارامترها
۴۳	۴-۸-۱- بهینه‌سازی مقدار نانوکاتالیست مغناطیسی $\text{CuCoFe}_2\text{O}_4@MC/AC$
۴۴	۴-۸-۲- بهینه‌سازی مقدار پرسولفات

۴۵	۳-۸-۴- بهینه‌سازی غلظت مترونی‌دازول
۴۵	۴-۸-۴- بهینه‌سازی pH
۴۷	۹-۴- مطالعه سینتیک تجزیه مترونی‌دازول
۴۸	۱۰-۴- اثر رادیکال اسکونجر بر روی تجزیه مترونی‌دازول
۴۹	۱۱-۴- تغییرات شدت پیک مترونی‌دازول در زمان‌های متفاوت واکنش
۵۰	۱۲-۴- مقایسه راندمان حذف مترونی‌دازول توسط اکسیدان‌های متفاوت
۵۰	۱۳-۴- بررسی راندمان حذف مترونی‌دازول در بخش‌های متفاوت از فرایند
۵۱	۱۴-۴- مطالعه معدنی‌سازی
۵۱	۱۵-۴- بررسی کارایی فرایند بر روی فاضلاب واقعی
۵۲	۱۶-۴- احیای کاتالیست
۵۳	۱۷-۴- پایداری شیمیایی نانوکاتالیست مغناطیسی $\text{CuCoFe}_2\text{O}_4@MC/AC$
۵۵	فصل پنجم: بحث و نتیجه‌گیری
۵۶	۱-۵- مقدمه
۵۶	۲-۵- تفسیر نتایج آنالیز FTIR
۵۶	۳-۵- تفسیر نتایج آنالیز FESEM
۵۷	۴-۵- تفسیر نتایج آنالیز EDS-Mapping & Line scan
۵۷	۵-۵- تفسیر نتایج آنالیز XRD
۵۸	۶-۵- تفسیر نتایج آنالیز VSM
۵۸	۷-۵- تفسیر نتایج آنالیز TGA
۵۸	۸-۵- تفسیر نتایج بهینه‌سازی پارامترها
۵۸	۱-۸-۵- بهینه‌سازی مقدار نانوکاتالیست مغناطیسی $\text{CuCoFe}_2\text{O}_4@MC/AC$
۵۹	۲-۸-۵- بهینه‌سازی غلظت پرسولفات
۶۰	۳-۸-۵- بهینه‌سازی غلظت مترونی‌دازول
۶۱	۴-۸-۵- بهینه‌سازی pH
۶۲	۹-۵- تفسیر نتایج مطالعه سینتیک تجزیه مترونی‌دازول

۶۲	۱۰-۵- تفسیر اثر رادیکال اسکاونجر بر روی تجزیه مترونیازول
۶۲	۱۱-۵- تفسیر تغییرات شدت پیک مترونیازول در زمان‌های متفاوت واکنش
۶۳	۱۲-۵- تفسیر مقایسه راندمان حذف مترونیازول توسط اکسیدان‌های متفاوت
۶۳	۱۳-۵- تفسیر بررسی راندمان حذف مترونیازول در بخش‌های متفاوت از فرایند
۶۴	۱۴-۵- تفسیر نتایج مطالعه معدنی‌سازی
۶۴	۱۵-۵- تفسیر نتایج حاصل از راندمان فرایند بر روی فاضلاب واقعی
۶۴	۱۶-۵- تفسیر نتایج احیای کاتالیست
۶۵	۱۷-۵- تفسیر نتایج پایداری شیمیایی نانوکاتالیست مغناطیسی $\text{CuCoFe}_2\text{O}_4@\text{MC}/\text{AC}$
۶۶	۱۸-۵- مکانیسم تجزیه مترونیازول
۶۷	۱۹-۵- مقایسه عملکرد فرایند با سایر فرایندها
۶۸	۲۰-۵- نتیجه‌گیری کلی
۶۹	فهرست منابع
۷۹	پیوست‌ها
۸۱	فرم MSDS
۸۳	عنوان مقالات استخراج شده

فهرست جداول

جدول ۴-۱: پارامترهای سینتیک شبه رتبه اول برای تجزیه مترونیدازول ۴۶

جدول ۴-۲: مشخصات نمونه فاضلاب واقعی گرفته شده از تصفیه خانه دانشگاه علوم پزشکی کرمان ۵۰

جدول ۵-۲: مقایسه عملکرد فرایند با سایر فرایندها ۶۵

فهرست تصاویر و نمودارها

- شکل ۳-۱: شماتیک سنتر نانوکاتالیست مغناطیسی $\text{CuCoFe}_2\text{O}_4@MC/AC$ ۳۳
- شکل ۴-۱: طیف FTIR ۳۸
- شکل ۴-۲: تصاویر FESEM و هیستوگرام توزیع اندازه ذرات ۳۹
- شکل ۴-۳: نتایج آنالیز EDS ۴۰
- شکل ۴-۴: نتایج آنالیز Mapping ۴۰
- شکل ۴-۵: نتایج آنالیز Line scan ۴۱
- شکل ۴-۶: الگوی XRD ۴۲
- شکل ۴-۷: نتایج آنالیز VSM ۴۲
- شکل ۴-۸: الگوی TGA ۴۳
- نمودار ۴-۱: مقایسه کارایی حذف مترونیدازول در مقادیر متفاوت از نانوکاتالیست ۴۴
- نمودار ۴-۲: مقایسه کارایی حذف مترونیدازول در غلظت‌های متفاوت از اکسیدان ۴۵
- نمودار ۴-۳: مقایسه کارایی حذف مترونیدازول در غلظت‌های متفاوتی از آن ۴۵
- نمودار ۴-۴: مقایسه کارایی حذف مترونیدازول در pHهای متفاوت ۴۶
- نمودار ۴-۵: تعیین pH_{zpc} نانوکاتالیست مغناطیسی $\text{CuCoFe}_2\text{O}_4@MC/AC$ ۴۶
- نمودار ۴-۶: منحنی سینتیک لانگمویر-هینشل وود ۴۸
- نمودار ۴-۷: اثر اتانول (EtOH) و ترت-بوتانول (TBA) به عنوان رادیکال اسکاونجر ۴۹
- نمودار ۴-۸: تغییرات شدت پیک مترونیدازول ۴۹
- نمودار ۴-۹: مقایسه راندمان حذف مترونیدازول توسط اکسیدان‌ها ۵۰
- نمودار ۴-۱۰: بررسی راندمان حذف مترونیدازول در حالت‌های مختلف ۵۱
- نمودار ۴-۱۱: احیای شیمیایی و حرارتی کاتالیست ۵۳
- شکل ۴-۹: آنالیز XRD، FESEM و VSM بعد از ۵ چرخه احیا و استفاده مجدد ۵۴
- شکل ۵-۱: مکانیسم تجزیه مترونیدازول ۶۶

چکیده

مقدمه و اهداف: وجود آنتی‌بیوتیک مترونیدازول در منابع آبی منجر به تجمع آن در بدن انسان و حیوانات می‌شود که اثرات منفی بر روی سیستم عصبی مرکزی دارند. در نتیجه هدف انجام این مطالعه، سنتز نانوکاتالیست مغناطیسی $\text{CuCoFe}_2\text{O}_4@\text{MC}/\text{AC}$ به عنوان یک کاتالیزور در فرایند اکسیداسیون پیشرفته برای حذف این آنتی‌بیوتیک از منابع آبی بود.

روش‌ها: در مطالعه حاضر، تجزیه مترونیدازول با استفاده از نانوکاتالیست مغناطیسی کوپربالت‌فریت@متیل‌سلوز/کربن‌اکتیو ($\text{CuCoFe}_2\text{O}_4@\text{MC}/\text{AC}$) سنتز شده با روش مایکروویو، به عنوان یک فعال‌ساز موثر برای پرسولفات در حضور امواج فراصوت بررسی شد. مشخصه‌یابی ساختاری نانوکاتالیست مغناطیسی $\text{CuCoFe}_2\text{O}_4@\text{MC}/\text{AC}$ با استفاده از تکنیک‌های XRD، EDS، Mapping، FTIR، FESEM، VSM و TGA انجام شد و سپس پارامترهای موثر بر فرایند شامل مقدار کاتالیست (۰/۲ تا ۱ گرم بر لیتر)، غلظت پرسولفات (۲ تا ۱۲/۵ میلی‌مولار)، غلظت مترونیدازول (۵ تا ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر) و pH (۳ تا ۱۱) بهینه‌سازی شدند. در نهایت سینتیک فرایند تجزیه مترونیدازول، رادیکال اسکاونجر (Scavenger)، عملکرد فرایند بر روی نمونه واقعی، بازیابی کاتالیست با روش‌های شیمیایی و حرارتی و میزان راندمان حذف کل کربن آلی (TOC) مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج حاصل از بررسی ساختاری نانوکاتالیست مغناطیسی $\text{CuCoFe}_2\text{O}_4@\text{MC}/\text{AC}$ نشان داد که نانوکاتالیست در مقیاس نانو و با ساختار شبکه‌کروی و قدرت مغناطیسی بالا سنتز شده است. حداکثر میزان تجزیه مترونیدازول بعد از ۱۵ دقیقه واکنش در شرایط بهینه شامل ۰/۴ گرم بر لیتر کاتالیست، ۶ میلی‌مولار پرسولفات، ۵ میلی‌گرم بر لیتر مترونیدازول و pH ۳ برای نمونه سنتتیک و نمونه فاضلاب واقعی به ترتیب ۹۳/۷۸٪ و ۴۵٪ بدست آمد و TOC نیز در شرایط بهینه ۸۷/۵٪ بود. براساس معادلات سینتیکی، تجزیه مترونیدازول از سینتیک‌های لانگمویر-هینشل وود (Langmuir-Hinshelwood) و شبه رتبه اول پیروی کرد. ثابت سرعت واکنش سطحی و ثابت تعادل جذب مدل

لانگویر-هینشل وود به ترتیب $0/81$ ($\text{mg L}^{-1} \text{ min}^{-1}$) و $2/184$ (L mg^{-1}) بود. نتایج آزمایشات اسکاونجر رادیکال‌های آزاد برای توضیح مکانیسم تجزیه مترونیدازول انجام شد و نشان داد که رادیکال‌های $\text{SO}_4^{\cdot-}$ ، جزء رادیکال‌های غالب در فرایند تجزیه مترونیدازول بودند. در نهایت احیای نانوکاتالیست مغناطیسی مورد بررسی قرار گرفت و نشان داد که بعد از پنج چرخه استفاده و احیا با روش‌های شیمیایی و حرارتی، این نانوکاتالیست مغناطیسی از پایداری قابل قبولی برخوردار است.

بحث و نتیجه‌گیری: با توجه به کارایی بالای این نانوکاتالیست مغناطیسی و پایداری شیمیایی بالای آن می‌توان از این نانوکاتالیست مغناطیسی برای تصفیه خانه‌های آلوده به ترکیبات دارویی استفاده نمود.

کلمات کلیدی: فرایند اکسیداسیون پیشرفته، مترونیدازول، نانوکاتالیست مغناطیسی، پرسولفات،

التراسونیک

فهرست منابع

1. Javid N, Nasiri A, Malakootian M. Removal of nonylphenol from aqueous solutions using carbonized date pits modified with ZnO nanoparticles. *Desalin Water Treat.* 2019;141:140-8.
2. Mahdizadeh H, Nasiri A, Gharaghani MA, Yazdanpanah G. Hybrid UV/COP advanced oxidation process using ZnO as a catalyst immobilized on a stone surface for degradation of acid red 18 dye. *MethodsX.* 2020;7.
3. Organization WH. Progress on drinking water, sanitation and hygiene: 2017 update and SDG baselines. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/258617/9789241512893-eng.pdf>. 2017.
4. Cuerda-Correa EM, Alexandre-Franco MF, Fernández-González C. Advanced oxidation processes for the removal of antibiotics from water. An overview. *Water.* 2020;12(1):102.
5. Malakootian M, Hashemi M, Toolabi A, Nasiri A. Investigation of nickel removal using poly(amidoamine) generation 4 dendrimer (PAMAM G4) from aqueous solutions. *J Eng Res (Kuwait).* 2018;6(2):13-23.
6. Malakootian M, Kannan K, Gharaghani MA, Dehdarirad A, Nasiri A, Shahamat YD, et al. Removal of metronidazole from wastewater by Fe/charcoal micro electrolysis fluidized bed reactor. *J Environ Chem Eng.* 2019;7(6).
7. Malakootian M, Mahdizadeh H, Khavari M, Nasiri A, Gharaghani MA, Khatami M, et al. Efficiency of novel Fe/charcoal/ultrasonic micro-electrolysis strategy in the removal of Acid Red 18 from aqueous solutions. *J Environ Chem Eng.* 2020;8(2).
8. Malakootian M, Nasiri A, Alibeigi AN, Mahdizadeh H, Gharaghani MA. Synthesis and stabilization of ZnO nanoparticles on a glass plate to study the removal efficiency of acid red 18 by hybrid advanced oxidation process (Ultraviolet/ZnO/ultrasonic). *Desalin Water Treat.* 2019;170:325-36.
9. Malakootian M, Nasiri A, Heidari MR. Removal of phenol from steel plant wastewater in three dimensional electrochemical (TDE) process using CoFe₂O₄@AC/H₂O₂. *Zeitschrift fur Physikalische Chemie.* 2020;234(10):1661-79.
10. Malakootian M, Nasiri A, Khatami M, Mahdizadeh H, Karimi P, Ahmadian M, et al. Experimental data on the removal of phenol by electro-H₂O₂ in presence of UV with response surface methodology. *MethodsX.* 2019;6:1188-93.
11. Malakootian M, Nasiri A, Mahdizadeh H. Metronidazole adsorption on CoFe₂O₄ /activated carbon@chitosan as a new magnetic biocomposite: Modelling, analysis, and optimization by response surface methodology. *Desalin Water Treat.* 2019;164:215-27.
12. Malakootian M, Smith A, Jr., Gharaghani MA, Mahdizadeh H, Nasiri A, Yazdanpanah G. Decoloration of textile Acid Red 18 dye by hybrid UV/COP advanced oxidation process using ZnO as a catalyst immobilized on a stone surface. *Desalin Water Treat.* 2020;182:385-94.
13. Nasiri A, Malakootian M, Heidari MR, Asadzadeh SN. CoFe₂O₄@Methylcellulose as a New Magnetic Nano Biocomposite for Sonocatalytic Degradation of Reactive Blue 19. *Journal of Polymers and the Environment.* 2021;29(8):2660-75.
14. Camargo-Perea AL, Rubio-Clemente A, Peñuela GA. Use of Ultrasound as an Advanced Oxidation Process for the Degradation of Emerging Pollutants in Water. *Water.* 2020;12(4):1068.
15. Nasiri A, Tamaddon F, Mosslemin MH, Faraji M. A microwave assisted method to synthesize nanoCoFe₂O₄@methyl cellulose as a novel metal-organic framework for antibiotic degradation. *MethodsX.* 2019;6:1557-63.
16. Tamaddon F, Mosslemin MH, Asadipour A, Gharaghani MA, Nasiri A. Microwave-assisted preparation of ZnFe₂O₄@methyl cellulose as a new nano-biomagnetic photocatalyst for photodegradation of metronidazole. *International Journal of Biological Macromolecules.* 2020;154:1036-49.

17. Chen G, Yu Y, Liang L, Duan X, Li R, Lu X, et al. Remediation of antibiotic wastewater by coupled photocatalytic and persulfate oxidation system: A critical review. *J Hazard Mater.* 2020;In Press:124461.
18. Dingsdag SA, Hunter N. Metronidazole: an update on metabolism, structure–cytotoxicity and resistance mechanisms. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy.* 2018;73(2):265-79.
19. Orooji Y, Irani-nezhad MH, Hassandoost R, Khataee A, Pouran SR, Joo SW. Cerium doped magnetite nanoparticles for highly sensitive detection of metronidazole via chemiluminescence assay. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy.* 2020;234:118272.
20. Sørensen CG, Karlsson WK, Amin FM, Lindelof M. Metronidazole-induced encephalopathy: a systematic review. *Journal of neurology.* 2020;267(1):1-13.
21. Chavoshani A, Amin MM, Asgari G, Seidmohammadi A, Hashemi M. Microwave/hydrogen peroxide processes. *Advanced Oxidation Processes for Waste Water Treatment: Elsevier;* 2018. p. 215-55.
22. Fadaei S, Moghadam FN, Hashemi M, Pourzamani H. BTEX removal from aqueous solution by modified multi-walled carbon nanotubes with ozone. *Anuario do Instituto de Geociencias.* 2017;40(1):235-42.
23. Hashemi M, Amin MM, Sadeghi S, Menglizadeh N, Mohammadi F, Patastar S, et al. Coupling adsorption by NiO nanopowder with UV/H₂O₂ process for Cr (VI) removal. *Journal of Advances in Environmental Health Research.* 2017;5(4):210-9.
24. Malakootian M, Hashemi M, Toolabi A, Nasiri A. Investigation of nickel removal using poly (amidoamine) generation 4 dendrimer (PAMAM G4) from aqueous solutions. *J Eng Res (Kuwait).* 2018;6(2).
25. Mehdinejad MH, Mengelizadeh N, Bay A, Pourzamani H, Hajizadeh Y, Niknam N, et al. Adsorption of methylene blue from aqueous solutions by cellulose and nanofiber cellulose and its electrochemical regeneration. *Desalin Water Treat.* 2018;110:250-63.
26. Mohammadi F, Yavari Z, Rahimi S, Hashemi M. Artificial neural network modeling of Cr (VI) biosorption from aqueous solutions. *Journal of Water Chemistry and Technology.* 2019;41(4):219-27.
27. Pourzamani H, Hashemi M, Bina B, Rashidi A, Amin MM, Parastar S. Toluene removal from aqueous solutions using single-wall carbon nanotube and magnetic nanoparticle–hybrid adsorbent. *Journal of Environmental Engineering.* 2018;144(2):04017104.
28. Pourzamani H, Parastar S, Hashemi M. The elimination of xylene from aqueous solutions using single wall carbon nanotube and magnetic nanoparticle hybrid adsorbent. *Process Saf Environ Prot.* 2017;109:688-96.
29. Noroozi R, Gholami M, Farzadkia M, Jafari AJ. Catalytic potential of CuFe₂O₄/GO for activation of peroxymonosulfate in metronidazole degradation: study of mechanisms. *Journal of Environmental Health Science and Engineering.* 2020;18(1):1-14.
30. Singh SB, Tandon PK. Catalysis: a brief review on nano-catalyst. *J Energy Chem Eng.* 2014;2(3):106-15.
31. Chen M-N, Mo L-P, Cui Z-S, Zhang Z-H. Magnetic nanocatalysts: synthesis and application in multicomponent reactions. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry.* 2019;15(A1-A6):27-37.
32. Sadeghi S, Raki G, Amini A, Mengelizadeh N, Amin MM, Hashemi M. Study of the effectiveness of the third generation polyamideamine and polypropylene imine dendrimers in removal of reactive blue 19 dye from aqueous solutions. *Environmental Health Engineering and Management Journal.* 2018;5(4):197-203.

33. Malakootian M, Nasiri A, Mahdizadeh H. Metronidazole adsorption on CoFe₂O₄/activated carbon@ chitosan as a new magnetic biocomposite: modelling, analysis, and optimization by response surface methodology. *library of kerman university of medical sciences*. 2019;164(2019):215-27.
34. Hynninen V, Mohammadi P, Wagermaier W, Hietala S, Linder MB, Ikkala O. Methyl cellulose/cellulose nanocrystal nanocomposite fibers with high ductility. *European Polymer Journal*. 2019;112:334-45.
35. Li Z, Wu W, Jiang W, Zhang L, Li Y, Tan Y, et al. Preparation and regeneration of a thermo-sensitive adsorbent material: methyl cellulose/calcium alginate beads (MC/CABs). *Polymer Bulletin*. 2020;77(4):1707-28.
36. Nasiri A, Tamaddon F, Mosslemin MH, Gharaghani MA, Asadipour A. New magnetic nanobiocomposite CoFe₂O₄@ methylcellulose: facile synthesis, characterization, and photocatalytic degradation of metronidazole. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. 2019;30(9):8595-610.
37. Ma Q, Nengzi L-c, Zhang X, Zhao Z, Cheng X. Enhanced activation of persulfate by AC@ CoFe₂O₄ nanocomposites for effective removal of lomefloxacin. *Separation and Purification Technology*. 2020;233:115978.
38. Liu L, Yang C, Tan W, Wang Y. Degradation of Acid Red 73 by Activated Persulfate in a Heat/Fe₃O₄@ AC System with Ultrasound Intensification. *ACS Omega*. 2020;5(23):13739-50.
39. Pervez M, He W, Zarra T, Naddeo V, Zhao Y. New Sustainable Approach for the Production of Fe₃O₄/Graphene Oxide-Activated Persulfate System for Dye Removal in Real Wastewater. *Water*. 2020;12(3):733.
40. Ahmadi M, Rahmani H, Takdastan A, Jaafarzadeh N, Mostoufi A. A novel catalytic process for degradation of bisphenol A from aqueous solutions: a synergistic effect of nano-Fe₃O₄@ Alg-Fe on O₃/H₂O₂. *Process Saf Environ Prot*. 2016;104(Part A):413-21.
41. Zhang B-T, Wang Q, Zhang Y, Teng Y, Fan M. Degradation of ibuprofen in the carbon dots/Fe₃O₄@ carbon sphere pomegranate-like composites activated persulfate system. *Separation and Purification Technology*. 2020;242:116820.
42. Amir M, Kurtan U, Baykal A. Rapid color degradation of organic dyes by Fe₃O₄@ His@ Ag recyclable magnetic nanocatalyst. *Journal of industrial and engineering Chemistry*. 2015;27:347-53.
43. Aram M, Farhadian M, Nazar ARS, Tangestaninejad S, Eskandari P, Jeon B-H. Metronidazole and Cephalexin degradation by using of Urea/TiO₂/ZnFe₂O₄/Clinoptilolite catalyst under visible-light irradiation and ozone injection. *Journal of Molecular Liquids*. 2020;304:112764.
44. Fakhravar S, Farhadian M, Tangestaninejad S. Excellent performance of a novel dual Z-scheme Cu₂S/Ag₂S/BiVO₄ heterostructure in metronidazole degradation in batch and continuous systems: Immobilization of catalytic particles on α-Al₂O₃ fiber. *Applied surface science*. 2020;505:144599.
45. Sobhi HR, Yegane Badi M, Esrafil A, Ghambarian M. Evaluation of the efficiency of a photocatalytic process using the magnetic nanocatalyst (Fe₃O₄@ SiO₂@ TiO₂) in the removal of ceftriaxone from aqueous solutions. *Journal of Environmental Health Engineering*. 2020;7(3):229-43.
46. Ammar SH, Elaibi AI, Mohammed IS. Core/shell Fe₃O₄@ Al₂O₃-PMo magnetic nanocatalyst for photocatalytic degradation of organic pollutants in an internal loop airlift reactor. *Journal of Water Process Engineering*. 2020;37:101240.
47. Cam NTD, Pham H-D, Pham T-D, Phuong TTT, Van Hoang C, Tung MHT, et al. Novel photocatalytic performance of magnetically recoverable MnFe₂O₄/BiVO₄ for polluted antibiotics degradation. *Ceramics International*. 2020;In Press.
48. Nasiri A, Tamaddon F, Mosslemin MH, Faraji M. A microwave assisted method to synthesize nanoCoFe₂O₄@methyl cellulose as a novel metal-organic framework for antibiotic degradation. *MethodsX*. 2019;6(2019):1557-63.

49. Nasiri A, Tamaddon F, Mosslemin MH, Gharaghani MA, Asadipour A. New magnetic nanobiocomposite CoFe₂O₄@methylcellulose: Facile synthesis, characterization, and photocatalytic degradation of metronidazole. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. 2019;30(9):8595-610.
50. Nasiri A, Tamaddon F, Mosslemin, M H, Amiri Gharaghani M, Asadipour A. Magnetic nanobiocomposite CuFe₂O₄@methylcellulose (MC) prepared as a new nano-photocatalyst for degradation of ciprofloxacin from aqueous solution. *Environmental Health Engineering and Management Journal*. 2019;6(1):41-51.
51. Tamaddon F, Nasiri A, Yazdanpanah G. Photocatalytic degradation of ciprofloxacin using CuFe₂O₄@methyl cellulose based magnetic nanobiocomposite. *MethodsX*. 2020;7:74-81.
52. Malakootian M, Nasiri A, Asadipour A, Faraji M, Kargar E. A facile and green method for synthesis of ZnFe₂O₄@CMC as a new magnetic nanophotocatalyst for ciprofloxacin removal from aqueous media. *MethodsX*. 2019;6:1575-80.
53. Malakootian M, Nasiri A, Asadipour A, Kargar E. Facile and green synthesis of ZnFe₂O₄@CMC as a new magnetic nanophotocatalyst for ciprofloxacin degradation from aqueous media. *Process Saf Environ Prot*. 2019;129:138-51.
54. Kumar M, Dosanjh HS, Singh J, Monir K, Singh H. Review on magnetic nanoferrites and their composites as alternatives in waste water treatment: synthesis, modifications and applications. *Environmental Science: Water Research & Technology*. 2020;6(3):491-514.
55. Anh HQ, Le TPQ, Da Le N, Lu XX, Duong TT, Garnier J, et al. Antibiotics in surface water of East and Southeast Asian countries: A focused review on contamination status, pollution sources, potential risks, and future perspectives. *Science of The Total Environment*. 2020:142865.
56. Mirzaei R, Mesdaghinia A, Hoseini SS, Yunesian M. Antibiotics in urban wastewater and rivers of Tehran, Iran: Consumption, mass load, occurrence, and ecological risk. *Chemosphere*. 2019;221:55-66.
57. Beard Jr EL. The american society of health system pharmacists. *JONA'S healthcare law, ethics and regulation*. 2001;3(3):78-9.
58. Organization WH. World Health Organization model list of essential medicines: 21st list 2019. World Health Organization; 2019.
59. McDonald LC, Gerding DN, Johnson S, Bakken JS, Carroll KC, Coffin SE, et al. Clinical practice guidelines for Clostridium difficile infection in adults and children: 2017 update by the Infectious Diseases Society of America (IDSA) and Society for Healthcare Epidemiology of America (SHEA). *Clinical Infectious Diseases*. 2018;66(7):e1-e48.
60. Selvaraj M, Hai A, Banat F, Haija MA. Application and prospects of carbon nanostructured materials in water treatment: A review. *Journal of Water Process Engineering*. 2020;33:100996.
61. Kurian M. Advanced oxidation processes and nanomaterials-a review. *Cleaner Engineering and Technology*. 2021:100090.
62. Sathishkumar P, Mangalaraja RV, Anandan S. Review on the recent improvements in sonochemical and combined sonochemical oxidation processes—A powerful tool for destruction of environmental contaminants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016;55:426-54.
63. Sirés I, Brillas E, Oturan MA, Rodrigo MA, Panizza M. Electrochemical advanced oxidation processes: today and tomorrow. A review. *Environmental Science and Pollution Research*. 2014;21(14):8336-67.
64. <https://www.legaladvantage.net/blog/overview-different-types-catalysts/> [
65. Ullrich JW, Mewshaw RE. *March's Advanced Organic Chemistry: Reactions, Mechanisms, and Structure*. By Michael B. Smith and Jerry March. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ. 2007. xx+2354 pp. 16×24 cm. ISBN 978-0-471-72091-1. \$99.95. ACS Publications; 2007.

66. Miklos DB, Remy C, Jekel M, Linden KG, Drewes JE, Hübner U. Evaluation of advanced oxidation processes for water and wastewater treatment—A critical review. *Water research*. 2018;139:118-31.
67. Malakootian M, Ahmadian M, Khatami M. Activation of ultrasound enhanced persulfate oxidation by biogenic nanosilvers for degradation of 4-nitroaniline. *Desalin Water Treat*. 2020;174:240-7.
68. Rahmani AR, Salari M, Shabanloo A, Shabanloo N, Bajalan S, Vaziri Y. Sono-catalytic activation of persulfate by nZVI-reduced graphene oxide for degradation of nonylphenol in aqueous solution: Process optimization, synergistic effect and degradation pathway. *J Environ Chem Eng*. 2020;8(5):104202.
69. Fakhravar S, Farhadian M, Tangestaninejad S. Metronidazole degradation by Z-scheme Ag₂S/BiVO₄@ α -Al₂O₃ heterojunction in continuous photo-reactor: response surface methodology optimization, reaction mechanism and the effect of water matrix. *J Environ Chem Eng*. 2020;8(5):104136.
70. Malakotian M, Asadzadeh SN, Khatami M, Ahmadian M, Heidari MR, Karimi P, et al. Protocol encompassing ultrasound/Fe₃O₄ nanoparticles/persulfate for the removal of tetracycline antibiotics from aqueous environments. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 2019;21(8):1665-74.
71. Sajjadi S, Khataee A, Bagheri N, Kobya M, Şenocak A, Demirbas E, et al. Degradation of diazinon pesticide using catalyzed persulfate with Fe₃O₄@ MOF-2 nanocomposite under ultrasound irradiation. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 2019;77:280-90.
72. Diao Z-H, Dong F-X, Yan L, Chen Z-L, Qian W, Kong L-J, et al. Synergistic oxidation of Bisphenol A in a heterogeneous ultrasound-enhanced sludge biochar catalyst/persulfate process: Reactivity and mechanism. *J Hazard Mater*. 2020;384:121385.
73. Roy K, Agarkoti C, Malani RS, Thokchom B, Moholkar VS. Mechanistic study of sulfadiazine degradation by ultrasound-assisted Fenton-persulfate system using yolk-shell Fe₃O₄@ hollow@mSiO₂ nanoparticles. *Chemical Engineering Science*. 2020;217:115522.
74. Chakma S, Praneeth S, Moholkar VS. Mechanistic investigations in sono-hybrid (ultrasound/Fe²⁺/UVC) techniques of persulfate activation for degradation of Azorubine. *Ultrasonics sonochemistry*. 2017;38:652-63.
75. Wahid Z, Nadir N. Improvement of one factor at a time through design of experiments. *World Appl Sci J*. 2013;21:56-61.
76. Datta D, Kerkez Kuyumcu Ö, Bayazit ŞS, Abdel Salam M. Adsorptive removal of malachite green and Rhodamine B dyes on Fe₃O₄/activated carbon composite. *Journal of Dispersion Science and Technology*. 2017;38(11):1556-62.
77. Malakootian M, Nasiri A, Mahdizadeh H. Preparation of CoFe₂O₄/activated carbon@ chitosan as a new magnetic nanobiocomposite for adsorption of ciprofloxacin in aqueous solutions. *Water Science and Technology*. 2018;78(10):2158-70.
78. Yang H, Graham NJ, Wang W, Liu M, Yu W. Evaluating and Improving the Reliability of the UV-Persulfate Method for the Determination of TOC/DOC in Surface Waters. *Water Research*. 2021:116918.
79. Khatri J, Nidheesh P, Singh TA, Kumar MS. Advanced oxidation processes based on zero-valent aluminium for treating textile wastewater. *Chem Eng J*. 2018;348:67-73.
80. Alvarez-Ramirez J, Femat R, Meraz M, Ibarra-Valdez C. Some remarks on the Langmuir–Hinshelwood kinetics. *Journal of Mathematical Chemistry*. 2016;54(2):375-92.
81. Wang J, Wang S. Activation of persulfate (PS) and peroxymonosulfate (PMS) and application for the degradation of emerging contaminants. *Chem Eng J*. 2018;334:1502-17.

82. Nahm SW, Shim WG, Park Y-K, Kim SC. Thermal and chemical regeneration of spent activated carbon and its adsorption property for toluene. *Chem Eng J.* 2012;210:500-9.
83. Sekiguchi Y, Sawatari C, Kondo T. A gelation mechanism depending on hydrogen bond formation in regioselectively substituted O-methylcelluloses. *Carbohydrate Polymers.* 2003;53(2):145-53.
84. Rodrigues Filho G, de Assunção RM, Vieira JG, Meireles CdS, Cerqueira DA, da Silva Barud H, et al. Characterization of methylcellulose produced from sugar cane bagasse cellulose: Crystallinity and thermal properties. *Polymer degradation and stability.* 2007;92(2):205-10.
85. de Carvalho Oliveira G, Filho GR, Vieira JG, De Assunção RMN, da Silva Meireles C, Cerqueira DA, et al. Synthesis and application of methylcellulose extracted from waste newspaper in CPV-ARI Portland cement mortars. *Journal of applied polymer science.* 2010;118(3):1380-5.
86. Oliveira RL, Vieira JG, Barud HS, Assunção R, R Filho G, Ribeiro SJ, et al. Synthesis and characterization of methylcellulose produced from bacterial cellulose under heterogeneous condition. *Journal of the Brazilian Chemical Society.* 2015;26(9):1861-70.
87. Wiercigroch E, Szafraniec E, Czamara K, Pacia MZ, Majzner K, Kochan K, et al. Raman and infrared spectroscopy of carbohydrates: A review. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy.* 2017;185:317-35.
88. Waldron R. Infrared spectra of ferrites. *Physical review.* 1955;99(6):1727.
89. El-Sayed A. Influence of zinc content on some properties of Ni–Zn ferrites. *Ceramics International.* 2002;28(4):363-7.
90. Mallapur M, Shaikh P, Kambale R, Jamadar H, Mahamuni P, Chougule B. Structural and electrical properties of nanocrystalline cobalt substituted nickel zinc ferrite. *J Alloys Compd.* 2009;479(1-2):797-802.
91. Forouzes M, Ebadi A, Aghaeinejad-Meybodi A. Degradation of metronidazole antibiotic in aqueous medium using activated carbon as a persulfate activator. *Separation and purification technology.* 2019;210:145-51.
92. Zhang T, Yang Y, Gao J, Li X, Yu H, Wang N, et al. Synergistic degradation of chloramphenicol by ultrasound-enhanced nanoscale zero-valent iron/persulfate treatment. *Separation and Purification Technology.* 2020;240:116575.
93. Peng J, Wu E, Wang N, Quan X, Sun M, Hu Q. Removal of sulfonamide antibiotics from water by adsorption and persulfate oxidation process. *Journal of Molecular Liquids.* 2019;274:632-8.
94. Kermani M, Farzadkia M, Morovati M, Taghavi M, Fallahizadeh S, Khaksefidi R, et al. Degradation of furfural in aqueous solution using activated persulfate and peroxymonosulfate by ultrasound irradiation. *Journal of environmental management.* 2020;266:110616.
95. Cui H, Tian Y, Zhang J, Ma S, Li L, Zuo W, et al. Enhanced oxidation of sulfadiazine by two-stage ultrasound assisted zero-valent iron catalyzed persulfate process: Factors and pathways. *Chem Eng J.* 2020:128152.
96. Malakootian M, Aghasi M, Fatehizadeh A, Ahmadian M. Synergetic metronidazole removal from aqueous solutions using combination of electro-persulfate process with magnetic Fe₃O₄@ AC nanocomposites: nonlinear fitting of isotherms and kinetic models. *Zeitschrift für Physikalische Chemie.* 2020;1(ahead-of-print).
97. Asgharzadeh F, Gholami M, Jafari AJ, Kermani M, Asgharnia H, Kalantary RR. Heterogeneous photocatalytic degradation of metronidazole from aqueous solutions using Fe₃O₄/TiO₂ supported on biochar. *Desalin Water Treat.* 2019;175:304-15.
98. Chanikya P, Nidheesh P, Babu DS, Gopinath A, Kumar MS. Treatment of dyeing wastewater by combined sulfate radical based electrochemical advanced oxidation and electrocoagulation processes. *Separation and Purification Technology.* 2021;254:117570.

99. Yang S, Wang P, Yang X, Shan L, Zhang W, Shao X, et al. Degradation efficiencies of azo dye Acid Orange 7 by the interaction of heat, UV and anions with common oxidants: persulfate, peroxymonosulfate and hydrogen peroxide. *J Hazard Mater.* 2010;179(1-3):552-8.
100. Nasiri A, Malakootian M, Heidari MR, Asadzadeh SN. CoFe₂O₄@Methylcellulose as a New Magnetic Nano Biocomposite for Sonocatalytic Degradation of Reactive Blue 19. *Journal of Polymers and the Environment.* 2021:1-16.
101. Xiong Y, Zhao J, Zheng Z, Li W. Effect of copper dopant on the mixed cobalt-iron oxides for hydrogen generation via chemical looping redox cycles. *Int J Hydrogen Energy.* 2020;45(53):28372-82.
102. Elmolla ES, Chaudhuri M. Photocatalytic degradation of amoxicillin, ampicillin and cloxacillin antibiotics in aqueous solution using UV/TiO₂ and UV/H₂O₂/TiO₂ photocatalysis. *Desalination.* 2010;252(1-3):46-52.
103. Mmeslesi OK, Masunga N, Kuvarega A, Nkambule TT, Mamba BB, Kefeni KK. Cobalt ferrite nanoparticles and nanocomposites: Photocatalytic, antimicrobial activity and toxicity in water treatment. *Materials Science in Semiconductor Processing.* 2020:105523.
104. Nasiri A, Malakootian M, Heidari MR, Asadzadeh SN. CoFe₂O₄@Methylcellulose as a New Magnetic Nano Biocomposite for Sonocatalytic Degradation of Reactive Blue 19. *Journal of Polymers and the Environment.* 2021.
105. Cabrera-Codony A, Gonzalez-Olmos R, Martín MJ. Regeneration of siloxane-exhausted activated carbon by advanced oxidation processes. *J Hazard Mater.* 2015;285:501-8.
106. Cabrera-Codony A, Montes-Morán MA, Sánchez-Polo M, Martín MJ, Gonzalez-Olmos R. Biogas upgrading: optimal activated carbon properties for siloxane removal. *Environmental science & technology.* 2014;48(12):7187-95.
107. Agoro MA, Adeniji AO, Adefisoye MA, Okoh OO. Heavy metals in wastewater and sewage sludge from selected municipal treatment plants in eastern cape province, south africa. *Water.* 2020;12(10):2746.
108. Diao Z-H, Lin Z-Y, Chen X-Z, Yan L, Dong F-X, Qian W, et al. Ultrasound-assisted heterogeneous activation of peroxymonosulphate by natural pyrite for 2, 4-dichlorophenol degradation in water: Synergistic effects, pathway and mechanism. *Chem Eng J.* 2020;389:123771.
109. Ioannidi A, Oulego P, Collado S, Petala A, Arniella V, Frontistis Z, et al. Persulfate activation by modified red mud for the oxidation of antibiotic sulfamethoxazole in water. *Journal of Environmental Management.* 2020;270:110820.
110. Hou L, Zhang H, Xue X. Ultrasound enhanced heterogeneous activation of peroxydisulfate by magnetite catalyst for the degradation of tetracycline in water. *Separation and Purification Technology.* 2012;84:147-52.
111. Rahmani AR, Almasi H, Bajalan S, Rezaei Vahidian H, Zarei A, Shabanloo A. Optimization of Ciprofloxacin Antibiotic Sonochemical Degradation with Persulfate Activated by Nano Zero-Valent Iron by Central Composite Design Method. *Journal of Health.* 2017;8(3):231-45.
112. Niu L, Zhang G, Xian G, Ren Z, Wei T, Li Q, et al. Tetracycline degradation by persulfate activated with magnetic γ -Fe₂O₃/CeO₂ catalyst: Performance, activation mechanism and degradation pathway. *Separation and Purification Technology.* 2021;259:118156.

Abstract

Introduction: Antibiotics are a group of medicinal compounds that accumulate in the environment due to their complex structure, resulting in increased antibiotic-resistant bacteria (ARB) and antibiotic-resistant genes (ARGs) and threatening public health. Metronidazole (MNZ) is a type of antibiotic from the group of nitroimidazoles that is water-soluble and resistant to biodegradation. This antibiotic has negative effects on the central nervous system (CNS) such as metronidazole-induced encephalopathy, seizures, cerebellar, and spinal cord injuries. As a result, the aim of this study was to synthesize a magnetic nanocatalyst to remove this antibiotic from water sources.

Methods: In this study, the degradation of Metronidazole (MNZ) using copper cobalt ferrite@methylcellulose/activated carbon ($\text{CuCoFe}_2\text{O}_4@\text{MC}/\text{AC}$) catalyst synthesized by microwave-assisted method, as an efficient activator for persulfate (PS) in the presence of ultrasonic (US: 60kHz) was investigated. X-ray powder diffraction (XRD), Field emission scanning electron microscope (FESEM), Energy dispersive spectroscopy (EDS)-Mapping and Line scan, Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), Vibrating-sample magnetometer (VSM) and Thermal gravimetric analysis (TGA) were conducted to characterize the structure of $\text{CuCoFe}_2\text{O}_4@\text{MC}/\text{AC}$ catalyst and then the parameters affecting the process such as the catalyst dose (0.2-1 g/L), PS dose (2-12.5 mM), MNZ concentration (5-30 mg/L), and pH (3-11) were optimized. Finally, the kinetics of MNZ degradation process, radical scavengers, process performance on real sample, catalyst regeneration by chemical and thermal methods and TOC removal rate were investigated.

Results: The results of structural analysis of $\text{CuCoFe}_2\text{O}_4@\text{MC}/\text{AC}$ magnetic nanocatalyst showed that nanocatalyst has been synthesized at the nanoscale with spherical lattice structure and high magnetic strength. The maximum MNZ degradation of 93.78% was achieved after 15 min reaction at the optimized operation conditions: 0.4 g L⁻¹ of catalyst, 6 mM of PS, 5 mg L⁻¹ of MNZ, and pH of 3. The removal efficiency of Total Organic Carbon (TOC) was 87.5% under optimal conditions. According to kinetic equations, it was found that the MNZ degradation followed both kinetics (*pseudo*-first-order and Langmuir-Hinshelwood) based on the coefficient of determination (R^2) of 0.949, 0.9716, 0.9073, 0.9721, and 0.9662 at concentrations of 5, 10, 15, 20, and 30, respectively. The surface reaction rate constant (K_c) and the adsorption equilibrium constant (K_{L-H}) of the Langmuir-Hinshelwood model were 0.81 (mg L⁻¹ min⁻¹) and 2.184 (L mg⁻¹), respectively. The free radical scavenging experiments were conducted to illustrate the proposed mechanism, which shown that the $\text{SO}_4^{\cdot-}$ was the

predominant radicals involved in MNZ degradation. Finally, the regeneration of the catalyst was investigated and showed that after five cycles of use and regeneration by chemical and thermal methods, this catalyst has acceptable chemical stability.

Conclusion: Due to the high efficiency of this magnetic nanocatalyst and its high chemical stability, this magnetic nanocatalyst can be used for treatment plant contaminated with medicinal compounds.

Key words: Advanced oxidation process, Metronidazole, Magnetic nanocatalyst, Persulfate, Ultrasonic



**KERMAN UNIVERSITY
OF MEDICAL SCIENCES**

Faculty of Health

In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree (MSc)

Title

**Efficiency Investigation of Hybrid Advanced Oxidation Process by
Persulfate and Ultrasonic Waves in The Presence of
CuCoFe₂O₄@MC/AC as A Nanomagnetic Heterogeneous Catalyst for
Metronidazole Degradation from Aqueous Media**

By

Saeed Rajabi

Supervisor

Dr. Majid Hashemi

Advisor

Dr. Alireza Nasiri

Thesis No:10/8/1/34

Date (September/2021)