

رتبه اول ششمین دوره مسابقه پایان نامه برتر سال ۱۴۰۰ در مقطع دکتری  
(برگزار شده توسط انجمن آب و فاضلاب ایران)



دانشکده فنی مهندسی

گروه مهندسی شیمی

عنوان: تشدید فرآیند فوتوکاتالیستی در تصفیه پساب با استفاده از بستر آکنده دوار

نگارش: سلیمان مصلح

استاد راهنما: دکتر محمودرضا رحیمی

استاد مشاور: دکتر مهراورنگ قائدی و دکتر شاکر حاجتی

تاریخ: مهر ۱۳۹۶

## چکیده

نتایج نشان داد که حداکثر راندمان حاصل شده با استفاده از فوتوکاتالیست HKUST-1 برای تخریب رنگ مالاشیت سبز و سافرانین-او به ترتیب برابر با ۹۸/۳٪ و ۸۹/۱٪ است. اگرچه با استفاده از HKUST-1 به عنوان فوتوکاتالیست، مقادیر بهینه متغیرهای عملیاتی در برخی موارد متفاوت است. مقادیر بهینه سرعت چرخش و زمان تابش در این حالت به ترتیب ۱۰۰۰ دور بر دقیقه و ۸۵ دقیقه است. این مقادیر بالاتر از مقادیر به دست آمده با به کارگیری HKUST-1-SBA-15 به عنوان فوتوکاتالیست است. سرعت چرخش بالاتر به معنای نیاز به موتور قوی تر و در نتیجه هزینه های عملیاتی بیشتر است. علاوه بر این زمان تابش بیشتر نیز به معنای مصرف برق بیشتر و کاهش زمان عمر منبع نور است. بنابراین به نظر می رسد که استفاده از HKUST-1-SBA-15 از نظر اقتصادی مطلوب تر است. هم چنین تخریب هم زمانی رنگ های تولوئیدین-بلو و آنورامین-او در راکتور بستر آکنده دوار با استفاده از BiPO4/Bi2S3-HKUS-1-MOF به عنوان یک فوتوکاتالیست فعال در حوزه نور مرئی انجام شد و نتایج با یک راکتور متداول مقایسه شد. براساس پروفایل مطلوبیت، مقادیر بهینه زمان تابش، pH، مقدار فوتوکاتالیست، سرعت چرخش، دبی جریان محلول، نرخ جریان هوا، غلظت اولیه رنگ تولوئیدین-بلو و غلظت اولیه رنگ آنورامین-او به ترتیب برابر با ۶۵ دقیقه، ۶، ۲۵

در این پژوهش تشدید فرآیند تخریب با طراحی و ساخت راکتور فوتوکاتالیستی بستر آکنده دوار و راکتور سونوفوتوکاتالیستی برای رفع محدودیت انتقال جرم و انتقال فوتون مورد مطالعه قرار گرفته است. هم چنین از فوتوکاتالیست های پایدار بر پایه چارچوب های آلی-فلزی با قابلیت فعالیت در حوزه نور مرئی برای تخریب آلاینده های مختلف از جمله رنگ ها و سموم استفاده شده است. تمام آنالیزهای لازم از جمله XRD, SEM, FE-SEM, EDX, FTIR, PL, BET, DRS و BJT برای شناسایی و مشخصه نگاری کاتالیست های سنتز شده انجام شده و مورد تحلیل قرار گرفته است. تخریب فوتوکاتالیستی مخلوط دوتایی رنگ های مالاشیت سبز و سافرانین-او با استفاده از فوتوکاتالیست های HKUST-1 MOF و HKUST-1-SBA-15 در راکتور فوتوکاتالیستی بستر پر شده دوار تحت تابش نور مرئی انجام شد. نتایج نشان داد که حداکثر راندمان تخریب برای رنگ های مالاشیت سبز و سافرانین-او با استفاده از فوتوکاتالیست HKUST-1-SBA-15 به ترتیب ۹۹/۸٪ و ۸۸/۷٪ است. مقادیر بهینه عملیاتی برای رسیدن به این راندمان برابر با ۱۰ میلی گرم بر لیتر غلظت رنگ مالاشیت سبز، ۱۵ میلی گرم بر لیتر غلظت رنگ سافرانین-او، سرعت چرخش ۹۰۰ دور بر دقیقه، دبی جریان ۰/۴ لیتر بر دقیقه، مقدار ۰/۲۵ گرم بر لیتر فوتوکاتالیست و ۸۰ دقیقه تابش نور است.

راندمان تخریب برای رنگ‌های دیسولفینبلو و رز بنگال به ترتیب ۹۹/۹۸٪ و ۹۸/۷۶٪ است.

در پژوهشی دیگر، تشدید فرآیند تخریب آفت‌کش آبامکتین با ترکیب روش‌های حفره‌زایی امواج فراصوت و تکنیک فوتوکاتالیزوی در حضور کاتالیست  $\text{Cu}_2(\text{OH})\text{PO}_4\text{-HKUST-1}$  MOF مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که حداکثر راندمان تخریب به میزان ۹۹/۹۳٪ در مقادیر بهینه متغیرهای عملیاتی معادل ۲۰ دقیقه زمان تابش، ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر غلظت آفت‌کش آبامکتین، مقدار ۰/۴ گرم بر لیتر کاتالیست  $\text{Cu}_2(\text{OH})\text{PO}_4\text{-HKUST-1}$ ، ۰/۲ میلی‌لیتر بر دقیقه نرخ جریان اکسیژن، ۹۰ میلی‌لیتر بر دقیقه دبی جریان محلول و مقدار pH مساوی ۴ حاصل می‌شود. نتایج به دست آمده برای تخریب آلاینده‌های مختلف با استفاده از روش‌های نوین به کار گرفته شده در این پژوهش نشان می‌دهد که تجهیزات طراحی شده به همراه فوتوکاتالیست‌های سنتز شده در این کار، می‌تواند به عنوان گامی اساسی در استفاده از روش تخریب در مقیاس بزرگ تلقی شود.

**کلمات کلیدی:** راکتور فوتوکاتالیستی بستر آکنده دوار، تخریب، هم‌افزایی، فوتوکاتالیست، تابش نور مرئی

میلی‌گرم بر لیتر، ۱۳۰۰ دور بر دقیقه، ۰/۴ لیتر بر دقیقه، ۳۵ لیتر بر دقیقه، ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر و ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر تعیین شد. در شرایط بهینه درصد تخریب فوتوکاتالیستی رنگ‌های تولوئیدن-بلو و آئورامین-او به ترتیب ۹۹/۳۷٪ و ۹۷/۴۴٪ با مقدار مطلوبیت ۱/۰ حاصل شد. کارایی راکتور فوتوکاتالیستی بستر آکنده دوار برای تشدید فرآیند تخریب با ارزیابی راندمان آن در مقایسه با یک راکتور متداول فوتوکاتالیستی در شرایط عملیاتی یکسان بررسی شد. براساس نتایج به دست آمده، حداکثر راندمان به دست آمده با استفاده از راکتور متداول برای رنگ‌های تولوئیدن-بلو و آئورامین-او به ترتیب ۸۷/۲۲ و ۸۳/۷۸ است. این درصدهای تخریب در شرایط بهینه متغیرهای عملیاتی مطابق با زمان تابش ۲۰۰ دقیقه، pH برابر ۶، مقدار فوتوکاتالیست ۰/۳ گرم بر لیتر، دبی جریان ۰/۳ لیتر بر دقیقه، نرخ هوادهی ۴۰ لیتر بر دقیقه و غلظت ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر برای هر یک از رنگ‌ها به دست آمده است.

در مقایسه با راکتور بستر آکنده دوار در شرایط یکسان، راکتور متداول مقدار فوتوکاتالیست بیشتری مصرف کرده و نیازمند زمان تابش بالاتری است. این امر بدین معنی است که استفاده از راکتور بستر آکنده دوار هم اقتصادی‌تر بوده و هم مؤثرتر است. علاوه بر این راکتور بستر آکنده دوار می‌تواند در نرخ‌های بالاتری از جریان کار کند. هم‌چنین تخریب فوتوکاتالیستی هم‌زمان یک مخلوط سه جزئی رنگ شامل متیلن-بلو، آئورامین-او و اریتروزین با استفاده از کامپوزیت  $\text{HKUST-1-Ag}_3\text{PO}_4/\text{AgBr}/\text{Ag}$  عنوان یک فوتوکاتالیست جدید در راکتور بستر آکنده دوار انجام گرفت و نتایج نشان داد که حداکثر راندمان فوتوکاتالیستی برای سه رنگ متیلن-بلو، آئورامین-او و اریتروزین به ترتیب برابر با ۹۲/۰۱٪، ۸۹/۹۶٪ و ۸۹/۵۷٪ است. تخریب فوتوکاتالیستی هم‌زمانی متیلن‌بلو و سافرانین-او نیز با استفاده از راکتور بستر آکنده دوار در حضور نانوذرات  $\text{CuO}/\text{Cu}_2\text{O}/\text{Cu}$  تحت تابش نور مرئی انجام که درصد تخریب رنگ‌های متیلن‌بلو و سافرانین-او به ترتیب ۹۱/۹۱٪ و ۹۸/۱٪ به دست آمد.

تخریب سونوفوتوکاتالیستی هم‌زمان رنگ‌های تریپان-بلو و وزووین در حضور فوتوکاتالیست  $\text{Ag}_3\text{PO}_4/\text{Bi}_2\text{S}_3\text{-HKUST-1}$  MOF فعال در حوزه نور مرئی نیز انجام شد. مقادیر بهینه متغیرهای عملیاتی ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر از هر رنگ، دبی جریان ۷۱ میلی‌لیتر بر دقیقه، زمان تابش ۲۵ دقیقه، pH مساوی ۶ و مقدار ۰/۲۵ گرم بر لیتر کاتالیست تعیین شد. تحت این شرایط راندمان تخریب سونوفوتوکاتالیستی رنگ‌های تریپان‌بلو و وزووین به ترتیب ۹۸/۴۴٪ و ۹۹/۳۶٪ برآورد شد. هم‌چنین تخریب هم‌زمان مخلوط دوتایی شامل رنگ‌های دیسولفین-بلو و رز بنگال با استفاده از  $\text{HKUST-1-MOF-BiVO}_4$  به عنوان یک سونوفوتوکاتالیست جدید انجام شد. نتایج نشان داد که حداکثر