



سنتز نانو ذرات $\text{DFNT@Gd}_2\text{ZnMnO}_6/\text{Zn}_2\text{MnO}_4$ با استفاده از رویکرد

مایکروویو

نرگس ثنائی

دانشجوی دکتری گروه مهندسی شیمی، واحد نیشابور، دانشگاه آزاد اسلامی، نیشابور، ایران

Narsis.sanaie@gmail.com

راحله ژبانی

دانشیار گروه شیمی، واحد نیشابور، دانشگاه آزاد اسلامی، نیشابور، ایران

Zhiani@iau.ac.ir

سوسن خسرویاری

دانشیار گروه مهندسی شیمی، واحد قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، قوچان، ایران

Dr.khosroyar@iau.ac.ir

چکیده

با توجه به اینکه مواد در ابعاد نانو خواص منحصر به فرد فیزیکی و شیمیایی پیدا می-کنند، در سال‌های اخیر استفاده از فناوری نانو در حوزه‌های مختلف از جمله داروسازی کاربرد فراوانی پیدا کرده است. هدف از این پژوهش سنتز نانوذرات $\text{DFNT@Gd}_2\text{ZnMnO}_6/\text{Zn}_2\text{MnO}_4$ است. سنتز نانو کاتالیست توسط آنالیزهای SEM ، EDX ، TEM ، FTIR ، XRD تأیید شد. این کاتالیزور مقرون به صرفه، پایدار و دوستدار طبیعت می‌باشد و برای سنتز ۳-آریل-۲-اگزازولیدینون‌ها توسط آنیلین‌ها، دی اکسید کربن و الفین‌ها موثر است. نانوکامپوزیت $\text{DFNT@Gd}_2\text{ZnMnO}_6/\text{Zn}_2\text{MnO}_4$ فوق پارامغناطیسی بوده و امکان حذف آسان کاتالیزور از ترکیب واکنش را با استفاده از یک میدان مغناطیسی فراهم می‌کند.

واژگان کلیدی: نانو کاتالیست، دی اکسید کربن، پارامغناطیس، XRD ، TEM ، SEM

مقدمه

رشد روزافزون صنایع تبدیلی شیمیایی از یک سو و هشدارهای جدی سازمان جهانی محیط زیست از سوی دیگر، توسعه و نوآوری در فرآیندهای کاتالیزوری را به یکی از موضوعات داغ در شیمی نوین تبدیل کرده است. فرآیندهای جدید بایستی قابل بازیافت، فاقد مواد آلوده کننده، دارای بهره وری و ارزش اقتصادی بالا و سازگار با محیط زیست باشند (سکایی، ۲۰۱۱). کاتالیزور یا آسان گر به ترکیبی گفته می شود که اگر به مخلوط واکنشی افزوده شود، سرعت رسیدن به حالت تعادل در سیستم را بدون آن که خود دستخوش تغییر شیمیایی پایدار شود، تغییر می دهد. اثر کاتالیزوری یک کاتالیزور ناشی از پایین آمدن سطح انرژی واسطه های واکنش و به بیان دیگر کاهش انرژی فعال سازی است که خود نشانه تغییر مسیر واکنش در اثر حضور کاتالیزور و تفاوت در مکانیسم واکنش است. شایان ذکر است که کاتالیزورها فقط می توانند بر واکنش هایی که از نظر ترمودینامیک امکان پذیر هستند مؤثر واقع شوند. از طرفی این ترکیبات بر روی تعادل شیمیایی یک واکنش تأثیری ندارند، زیرا سرعت هر دو واکنش رفت و برگشت را به صورت مساوی تحت تأثیر قرار می دهند و فقط رسیدن به نقطه تعادل را سرعت می بخشند (تاکا، ۲۰۱۲). کاتالیزورها کلید نقل و انتقالات شیمیایی هستند. بیشتر سنتزهای صنعتی و تقریباً تمام واکنش های زیست شناختی به کاتالیزور نیاز دارند. در زبان یونانی «کاتا» به معنای پایین افتادن و «لیزور» به معنی بیدار کردن میل ترکیبی خفته می باشد. در سال ۱۸۱۴ اولین گزارش استفاده از کاتالیزور توسط کرشلف ارائه شد. این محقق با بررسی هیدرولیز نشاسته در مجاورت اسید و تبدیل آن به گلوکز اولین مطالعات تجربی را در زمینه کاتالیزور انجام داد. پس از آن داوی در سال ۱۸۱۷ اثر کاتالیزوری فلز پلاتین را کشف کرد (لیم، ۲۰۱۲). سال ۱۸۸۸ لودویگ تبدیل هیدروکربن در فاز بخار به مخلوط هیدروژن و کربن مونواکسید در حضور نیکل را گزارش کرد (وانگ، ۲۰۱۴). برزیلیوس در سال ۱۸۳۶ برای اولین بار اصطلاح «واکنش کاتالیز شده» را به کاربرد وی اظهار کرد که واکنش ها توسط یک توان کاتالیزوری انجام می شوند. توان کاتالیزوری به این معناست که کاتالیزورها موادی هستند که بدون شرکت در واکنش، قادر به فعال ساختن واکنش دهنده ها در دمایی هستند که بدون حضور کاتالیزور انجام واکنش در آن دما به کندی انجام میگیرد. با پیشرفت در عرصه کاتالیزورها و تفکیک کاتالیزورها به همگن و ناهمگن، اولین کاربردهای صنعتی کاتالیزورها در سال ۱۹۲۳ با هیدروژن دار کردن کربن مونواکسید به وسیله کاتالیزور ناهمگن $ZnO.Cr_2O_3$ به منظور تولید صنعتی متانول توسط یک شرکت آلمانی گزارش شد (جین، ۲۰۱۰). با کشف کاتالیزورهای نظیر زیگلر ناتا در نیمه قرن بیستم (بین سال های ۱۹۸۰-۱۹۵۰) انقلابی تکنولوژیک در زمینه صنایع پلیمر اتفاق افتاد. به کمک این کاتالیزور ساختارهای ویژه ای از پلیمرها را با پیکربندی مشخص تهیه شدند (موریا، ۲۰۱۲). پیشینه تاریخی استفاده از نانو ذرات فلزی در فرایندهای کاتالیزوری به قرن نوزدهم باز می گردد، زمانی که از نانو ذرات نقره در عکاسی و از نانو ذرات پلاتین در تجزیه تجزیه هیدروژن پراکسید استفاده شد. سال ها بعد یعنی در سال ۱۹۴۱ از نانو ذرات طلا در انتقال اتم هیدروژن بین بنزن و سیکلو هگزان و انتقال اتم اکسیژن بین CO و CO_2 استفاده شد (خان محمدی، ۲۰۱۶). زیرکونات های حاکی کمیاب ($Re_2Zr_2O_7$) به عنوان یک کلاس برجسته و کاربردی از ترکیبات مبتنی بر لانتانید ظاهر شده اند که کاربردهای گسترده ای در زمینه های مختلف مانند دفع زباله های هسته ای، کاتالیزور، موتورهای دیزل، ترکیبات پوشش سد حرارتی پیدا کرده اند (پریا، ۲۰۲۰ و ادیتیا، ۲۰۲۲). چندین روش تا کنون برای ساخت $Re_2Zr_2O_7$ اجرا شده است. رسوب همزمان با استفاده از NH_4OH رقیق به عنوان رسوب دهنده توسط Saradhi و همکاران برای تهیه نانوبلور $Eu_2Zr_2O_7$ استفاده شد (چلپاندی، ۲۰۲۳). در مطالعه دیگری توسط Zhang و همکاران، کاتالیزورهای $Ln/Ni_2Zr_2O_7$ ($Ln = Sm, La, and Pr$) با استفاده از روش احتراق و سوخت گلیسین تهیه شدند (راجکومار، ۲۰۲۱). لایه های نازک زیرکونات لانتانیم ($La_2Zr_2O_7$) از طریق تکنیک سل-ژل توسط Saitzek و همکاران تهیه شد (سورندا، ۲۰۱۶) مطالعات اخیر اهمیت شکل، اندازه دانه و میزان خلوص را به عنوان عوامل مهم در تعیین خواص و اثربخشی نانوترکیبات برجسته کرده اند (چراپاندی، ۲۰۲۳). در نتیجه، تحقیقات متعددی برای اصلاح و کنترل این عوامل در طراحی نانوترکیبات انجام شده است.

در دوران معاصر، اکتشاف نانوذرات و استفاده بالقوه آنها به عنوان عوامل ضد میکروبی به دلیل ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی استثنایی آنها که می‌تواند مانع رشد باکتری‌ها شود، افزایش یافته است. در زمینه های زیست شناسی، داروسازی و پزشکی از اکسیدهای فلزی یا نانوذرات فلزی مختلف مانند طلا، نیکل و مس استفاده شده است. فعالیت ضد باکتریایی نانوذرات در برابر سویه‌های مختلف باکتری، مبنای اساسی برای کاربردهای بیولوژیکی آنها است. تحقیقات قبلی نشان می‌دهد که نانوذرات می‌توانند اثر ضد باکتریایی داشته باشند و به طور بالقوه خواص فیزیکی آنها مانند شکل، مورفولوژی، اندازه و گروه عملکردی را تغییر دهند. نانوذرات معدنی مزایایی مانند پایداری و ایمنی بیشتر در مقایسه با نانوذرات آلی دارند که می‌تواند کاربردهای بالقوه آنها را افزایش دهد (اوروجی، ۲۰۲۰). نانوذرات اکسید فلز قابلیت اتصال به ماکرومولکول‌های بیولوژیکی را دارند که به نوبه خود منجر به اختلال در عملکرد باکتری‌ها و در نهایت تخریب آنها می‌شود. این منجر به فعالیت ضد باکتریایی در برابر باکتری های گرم منفی و گرم مثبت می‌شود (یوسفی، ۲۰۱۹).

در زمان های اخیر، آلودگی هوا ناشی از حضور گازهای گلخانه ای به عنوان یک نگرانی شدید اکولوژیکی در صنایع مختلف مانند پتروشیمی، چرم و ذوب آهن مطرح شده است. در نتیجه، طیف وسیعی از فناوری ها برای مدیریت این آلاینده های مضر در هوا به کار گرفته شده است (کرمانیوریانی، ۲۰۱۶). نکته قابل توجه، نانوذرات به دلیل مزایای متمایز آن از جمله مصرف کم انرژی، سهولت ساخت، تکرارپذیری، کارایی بالا در حذف و حداقل نیازهای شیمیایی مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین، جامعه علمی تلاش قابل توجهی را برای ایجاد مواد کاتالیزوری جدید، بسیار کارآمد و مقرون به صرفه که ویژگی‌های استثنایی از خود نشان می‌دهند، انجام داده است.

روش تحقیق

کلیه مواد شیمیایی با خلوص بالا از شرکت‌های Fluka و Merck تهیه شد.

سنتر نانوذرات DFNT

۱/۸ میلی لیتر تتراپتیل تیتانات در محلولی از ۲۷ میلی لیتر سیکلوهگزان و ۷ میلی لیتر ۱-پنتانول اضافه شد. سپس محلولی از ۲/۳ گرم ستیل پیریدینیم بروماید (CPB) و ۱/۱ گرم اوره در ۲۵ میلی لیتر آب اضافه و به مدت ۴۵ دقیقه هم زده، سپس به مدت ۲/۶ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتیگراد قرار داده، در انتها DFNT در دمای ۶۷۰ درجه سانتیگراد به مدت ۳/۵ ساعت کلسینه شد.

سنتر DFNT@Gd₂ZnMnO₆/Zn₂MnO₄ با استفاده از رویکرد میکروویو

DFNT (۱۰ میلی گرم) به محلولی حاوی Gd(NO₃)₃ (۵ میلی مول)، Zn(NO₃)₂ (۵ میلی مول)، و Mn(NO₃)₂.6H₂O (۵ میلی مول) اضافه شد. در دمای ۴۵ درجه سانتیگراد به مدت ۲۰ ساعت انکوبه شد. متعاقباً، DFNT@Gd₂ZnMnO₆/Zn₂MnO₄ نانوبلورها با سانتریفیوژ به مدت ۲۵ دقیقه استخراج و با استفاده از محلول استون در H₂O، ۶۰ درصد خالص سازی انجام شد.

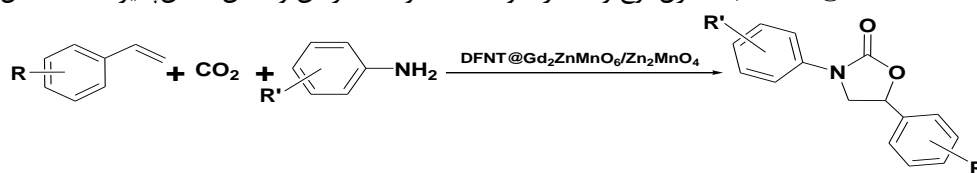
سنتر ۳-آریل-۲-اگزازولیدینون ها

مخلوطی از آمین‌ها (۱/۲ میلی مول)، آلکن‌ها (۱/۲ میلی مول)، Na₂CO₃ (۱ میلی مول) و DFNT@Gd₂ZnMnO₆/Zn₂MnO₄ (۷ میلی گرم) در معرض فشار ثابت دی اکسید کربن قرار گرفت. به مدت ۱ ساعت تا دمای ۷۰ درجه سانتی گراد (بدون حلال) واکنش انجام شد. پس از سرد شدن، آمالگام در یک ظرف ۷۰ میلی لیتری قرار داده شد، DFNT@Gd₂ZnMnO₆/Zn₂MnO₄ توسط مغناطیسی جدا و حذف حلال انجام شد. محصول با استفاده از n-هگزان / اتیل استات تبلور مجدد انجام گرفت.

بحث و نتیجه گیری:

سنتر ۳-آریل-۲-اگزازولیدینون ها در حضور DFNT@Gd₂ZnMnO₆/Zn₂MnO₄.

Gd_2ZnMnO_6 به عنوان یکی از ترکیبات این خانواده، همراه با Gd_2ZnMnO_6/Zn_2MnO_4 با استفاده از روشی ساده سنتز شد. نانوکامپوزیت Gd_2ZnMnO_6/Zn_2MnO_4 با پشتیبانی از DFNT (نمونه مورد استفاده DFNT@ Gd_2ZnMnO_6/Zn_2MnO_4) برای حذف CO_2 به کار گرفته شد. نتایج نشان داد که DFNT@ Gd_2ZnMnO_6/Zn_2MnO_4 می تواند به عنوان نانوکاتالیستی مؤثر برای سنتز ۳-آریل-۲-اگزازولیدینون ها تحت شرایط بهینه مورد استفاده قرار گیرد. این رویکرد، سازگار با محیط زیست، مقرون به صرفه، و جدید بوده و از گزینش پذیری و فعالیت بالایی برخوردار است. همچنین، تولید DFNT@ Gd_2ZnMnO_6/Zn_2MnO_4 با کنترل نوع و مقدار سوخت، دما و مدت زمان واکنش امکان پذیر است (شکل ۱).

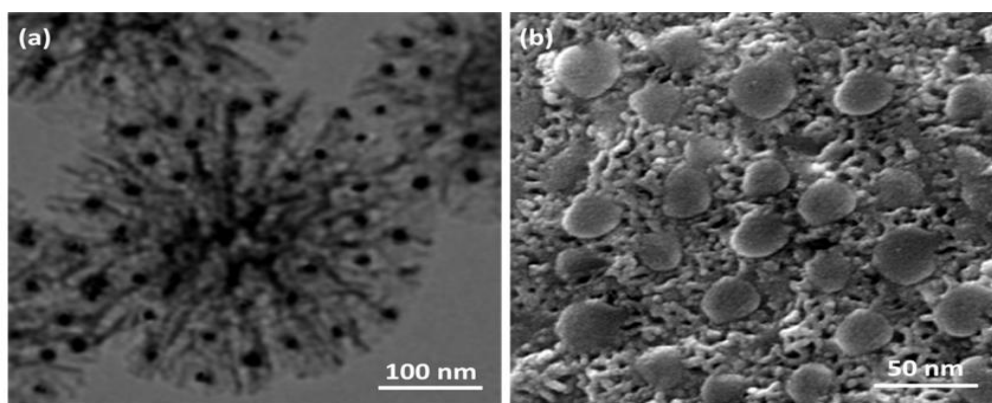


شکل ۱- سنتز ۳-آریل-۲-اگزازولیدینون ها از دی اکسید کربن، آمین ها و آلکن ها با مشارکت DFNT@ Gd_2ZnMnO_6/Zn_2MnO_4

بررسی مورفولوژی DFNT@ Gd_2ZnMnO_6/Zn_2MnO_4

آنالیز FESEM و TEM

شکل ۲ تصاویر TEM و FESEM مربوط به نانوکامپوزیت DFNT@ Gd_2ZnMnO_6/Zn_2MnO_4 را نشان می دهد. در تصویر TEM، می توان ساختارهای دندریمر مانند و توده هایی با ضخامت حدود ۳۰ تا ۴۰ نانومتر را مشاهده کرد که باعث افزایش سطح فعال نانوکامپوزیت می شوند و دسترسی به سطح خارجی را راحت تر می کنند. در تصویر FESEM نیز، نانوذرات Gd_2ZnMnO_6/Zn_2MnO_4 که اندازه آن ها حدود ۱۵ تا ۲۵ نانومتر است، به شکل یکنواخت و بدون تجمع بر روی سطح DFNT قرار گرفته اند.



شکل ۲- (الف) تصاویر TEM از DFNT@ Gd_2ZnMnO_6/Zn_2MnO_4 ; (ب) تصاویر FE-SEM از

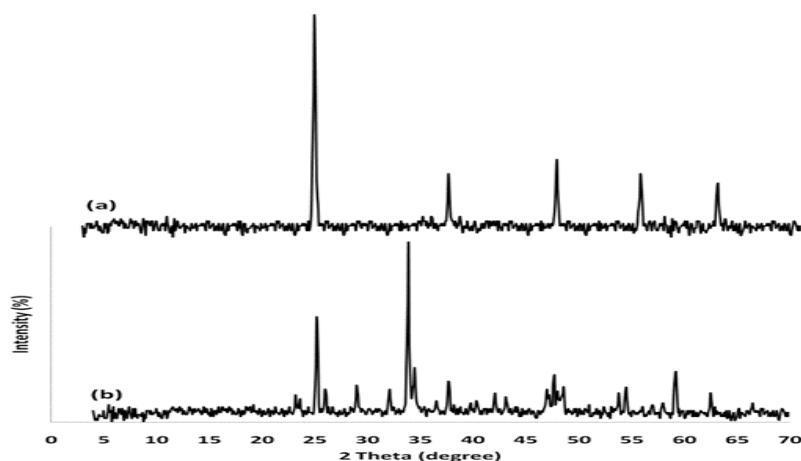
DFNT@ Gd_2ZnMnO_6/Zn_2MnO_4

آنالیز XRD

الگوهای پراش مربوط به DFNT و نانوکامپوزیت DFNT@ Gd_2ZnMnO_6/Zn_2MnO_4 به ترتیب در شکل ۳ (الف) و (ب) نشان داده شده است. نمونه DFNT نشان دهنده چندین پیک کریستالی مشخص است که مطابق با الگوی پراش دی اکسید تیتانیوم

(TiO₂) در فاز آناتاز (مطابق با کارت JCPDS شماره ۷۳-۱۷۶۴) بوده و این قله‌ها در زوایای 2θ برابر با ۲۵.۳، ۳۷.۶، ۴۷.۸، ۵۴.۲ و ۶۲.۴ درجه مشاهده می‌شوند.

علاوه بر این، حضور قله‌های مربوط به ترکیب Gd_2ZnMnO_6/Zn_2MnO_4 در طیف XRD نانوکامپوزیت (ب)، در کنار قله‌های مربوط به DFNT، بیانگر موفقیت آمیز بودن سنتز و تشکیل نانوذرات Gd_2ZnMnO_6/Zn_2MnO_4 بر سطح DFNT است. همچنین، اندازه متوسط بلورهای Gd_2ZnMnO_6/Zn_2MnO_4 براساس معادله دبی-شرر^۱ از داده‌های XRD محاسبه و مقدار آن حدود ۳۸.۴۱ نانومتر به دست آمد.

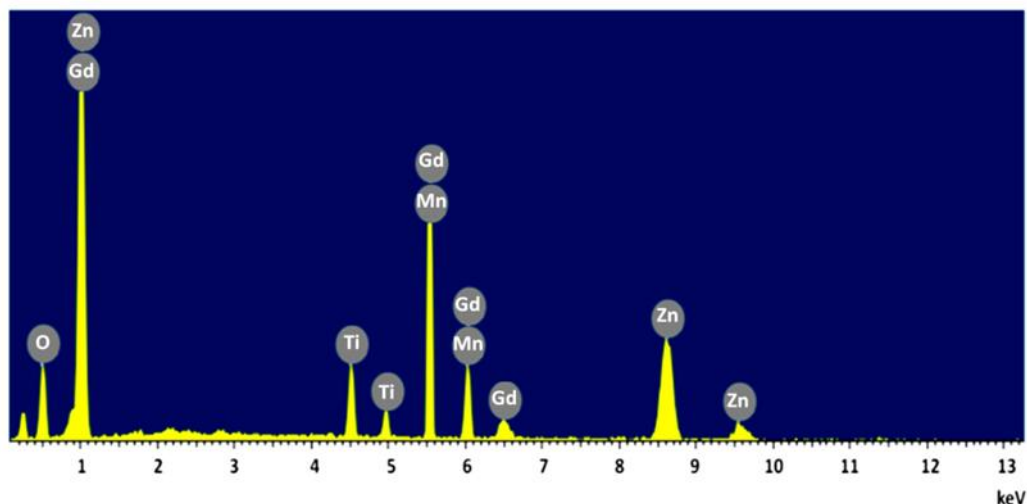


شکل ۳- بررسی XRD (الف) DFNT NPs، و (ب) DFNT@Gd₂ZnMnO₆/Zn₂MnO₄ NPs.

آنالیز EDX

خلوص نانوکامپوزیت با استفاده از آنالیز EDX مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۴). نتایج این آنالیز حضور عناصر O، Ti، منگنز (Mn) و Gd و Zn را تأیید می‌کند که این امر نشان‌دهنده تشکیل موفقیت آمیز ساختار DFNT@Gd₂ZnMnO₆/Zn₂MnO₄ است.

^۱ Debye- Scherrer

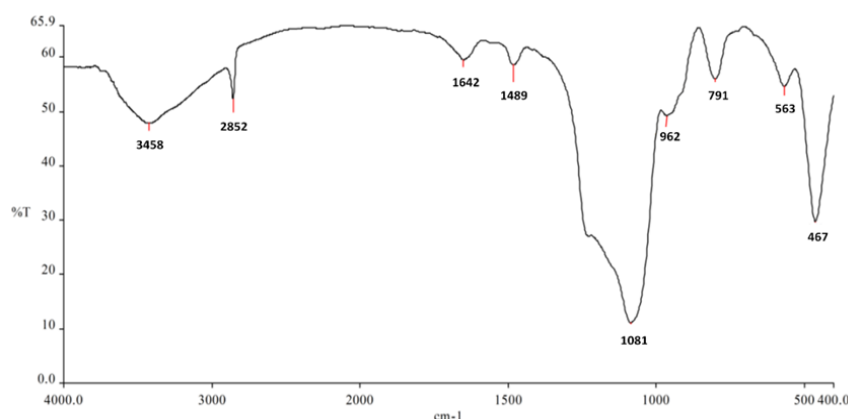


شکل ۴- تجزیه و تحلیل EDX از DFNT@Gd₂ZnMnO₆/Zn₂MnO₄

آنالیز FT-IR

شکل ۵ طیف FT-IR مربوط به DFNT@Gd₂ZnMnO₆/Zn₂MnO₄ را نمایش می‌دهد. نوار مشاهده شده در عدد موج cm^{-1} با ۳۴۵۸^۱ ارتعاش کششی گروه هیدروکسیل (-OH) مربوط به مولکول آب مطابقت دارد. همچنین، نوار در cm^{-1} ۱۶۴۲ به ارتعاش خمشی مولکول‌های آب نسبت داده می‌شود. دو قله اصلی در cm^{-1} ۴۶۷ و ۵۶۳ به ارتعاشات کششی پیوند فلز-اکسیژن در

ساختار $\text{DFNT@Gd}_2\text{ZnMnO}_6/\text{Zn}_2\text{MnO}_4$ اختصاص دارد. علاوه بر این، نوارهای مشاهده شده در محدوده 1081 cm^{-1} تا 1489 cm^{-1} سطح خارجی نانوکامپوزیت می باشد.



شکل ۵- طیف FT-IR از $\text{DFNT@Gd}_2\text{ZnMnO}_6/\text{Zn}_2\text{MnO}_4$

بررسی شرایط مختلط جهت راندمان واکنش

در بررسی اثر دمای واکنش بررسی شده، نتایج نشان می دهد که، با توجه به حساسیت فعالیت کاتالیزوری به دما، افزایش دما از ۶۰ به ۷۰ درجه سانتی گراد منجر به افزایش بازده محصول نهایی شده است.

تأثیر زمان واکنش در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد و فشار ۳ اتمسفر CO_2 ، مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد، با افزایش زمان واکنش، بازده افزایش یافته و طی یک ساعت، تا ۹۸ درصد از CO_2 مصرف شده تبدیل شده است. بنابراین، می توان نتیجه گرفت که نانوکاتالیست $\text{DFNT@Gd}_2\text{ZnMnO}_6/\text{Zn}_2\text{MnO}_4$ عملکرد بسیار مناسبی در سنتز محصول نهایی از واکنش الفین، دی اکسید کربن و آنیلین دارد.

تأثیر فشار CO_2 بر بازده نهایی در حضور نانوکاتالیست نشان داد، در فشار پایین تر (۲/۵ اتمسفر)، بازده برابر با ۸۹ درصد بوده که با افزایش فشار CO_2 از ۲/۵ به ۳ اتمسفر، بازده محصول به ۹۸ درصد افزایش یافته است.

همچنین، تأثیر مقدار نانوکاتالیست $\text{DFNT@Gd}_2\text{ZnMnO}_6/\text{Zn}_2\text{MnO}_4$ در واکنش تحت شرایط مختلف نشان می دهد که افزودن ۶ میلی گرم نانوکاتالیست بازده را تا ۹۲ درصد افزایش داده و با افزایش مقدار به ۷ میلی گرم، بازده نهایی طی یک ساعت به ۹۸ درصد رسیده است. با این حال، افزایش بیشتر مقدار نانوکاتالیست، منجر به کاهش بازده محصول نهایی گردید.

نتایج

$\text{DFNT@Gd}_2\text{ZnMnO}_6/\text{Zn}_2\text{MnO}_4$ با موفقیت سنتز شد و از تکنیک های تحلیلی مختلفی مانند XRD، FTIR، TEM، SEM، EDX، برای بررسی خواص کاتالیزوری آن استفاده شد. کاتالیزور مقرون به صرفه، پایدار و دوستدار طبیعت و برای سنتز ۳-آریل-۲-اگزازولیدینون ها توسط آنیلین ها، دی اکسید کربن و الفین ها موثر است. نانوکامپوزیت $\text{DFNT@Gd}_2\text{ZnMnO}_6/\text{Zn}_2\text{MnO}_4$ فوق پارامغناطیسی و امکان حذف آسان کاتالیزور از ترکیب واکنش را با استفاده از یک

میدان مغناطیسی فراهم می کند. کاتالیزور فعالیت پایدار و گزینش پذیری را در ده تکرار مداوم بدون نیاز به فعال سازی مجدد نشان داد که به نگرانی های اکولوژیکی و اقتصادی می پردازد.

منابع

- Aditya, M. N., Chellapandi, T., Prasad, G. K., Venkatesh, M. J. P., Rahman Khan, M. M., Madhumitha, G., & Mohana Roopan, S. (2022). Biosynthesis of rod shaped Gd_2O_3 on $g-C_3N_4$ as nanocomposite for visible light mediated photocatalytic degradation of pollutants and RSM optimization. *Diamond and Related Materials*, 121, 108790.
- Chellapandi, T., Madhumitha, G., Mohana Roopan, S., Manjupriya, R., Arunachalapandi, M., Pouthika, K., & Elamathi, M. (2023). Facile synthesis route for visible active $g-C_3N_4$ /MK30 nanocomposite and its computationally guided photocatalytic degradation of organic pollutants. *Separation and Purification Technology*, 307, 122865.
- Chellapandi, T., Mohana Roopan, S., & Madhumitha, G. (2023). Interfacial charge transfer of Carrisa edulis fruit extract capped Co_3O_4 nanoparticles on the surface of MK30: An efficient photocatalytic removal of methylthioninium chloride and tetracycline organic pollutants. *Environmental Research*, 219, 115052.
- Jin, R., et al. (2010). Enzymatically crosslinked dextran-tyramine hydrogels as injectable scaffolds for cartilage tissue engineering. *Tissue Engineering Part A*, 16(8), 2429–2440.
- Kermanioryani, M., Mutalib, M. I. A., Dong, Y., Lethesh, K. C., Ben Omar Ben Ghanem, O., Kurnia, K. A., Aminuddin, N. F., & Leveque, J. M. (2016). Physicochemical properties of new imidazolium-based ionic liquids containing aromatic group. *Journal of Chemical Engineering*, 61, 2020–2026.
- Khanmohammadi, M., et al. (2016). Production of hyaluronic-acid-based cell-enclosing microparticles and microcapsules via enzymatic reaction using a microfluidic system. *Journal of Applied Polymer Science*, 133.
- Lim, T. C., et al. (2012). The effect of injectable gelatin-hydroxyphenylpropionic acid hydrogel matrices on the proliferation, migration, differentiation and oxidative stress resistance of adult neural stem cells. *Biomaterials*, 33(12), 3446–3455.
- Moreira Teixeira, L. S., et al. (2012). Self-attaching and cell-attracting in-situ forming dextran-tyramine conjugate hydrogels for arthroscopic cartilage repair. *Biomaterials*, 33(11), 3164–3174.
- Orooji, Y., Ghanbari, M., Amiri, O., & Salavati-Niasari, M. (2020). Facile fabrication of silver iodide/graphitic carbon nitride nanocomposites by notable photo-catalytic performance through sunlight and antimicrobial activity. *Journal of Hazardous Materials*, 389, 122079.
- Priya, D. D., Elango, G., Mohana Roopan, S., Shanavas, S., Acevedo, R., Golkonda, M., & Sridharan, M. (2020). MoO_3 based nanocomposites for the photocatalytic degradation of colourants: A review. *ChemistrySelect*, 5, 8572–8576.
- Rajeshkumar, S., Nandhini, N. T., Manjunath, K., Sivaperumal, P., Krishna Prasad, G., Alotaibi, S. S., & Mohana Roopan, S. (2021). Environment friendly synthesis copper oxide nanoparticles and its antioxidant, antibacterial activities using seaweed (*Sargassum longifolium*) extract. *Journal of Molecular Structure*, 1242, 130724.
- Sakai, S., & Kawakami, K. (2011). Development of porous alginate-based scaffolds covalently cross-linked through a peroxidase-catalyzed reaction. *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*, 22(18), 2407–2416.
- Surendra, T. V., Mohana Roopan, S., Al-Dhabi, N. A., Valan Arasu, M., Sarkar, G., & Suthindhiran, K. (2016). Green synthesis and characterization of silver nanoparticles from *Moringa oleifera* flower and assessment of antimicrobial and sensing properties. *Nanoscale Research Letters*, 11, 546.
- Takei, T., et al. (2012). Fabrication of capillary-like network in a matrix of water-soluble polymer using poly(methyl methacrylate) microfibers. *Artificial Cells, Blood Substitutes, and Biotechnology*, 40(1–2), 66–69.
- Wang, L.-S., et al. (2014). Modulation of chondrocyte functions and stiffness-dependent cartilage repair using an injectable enzymatically crosslinked hydrogel with tunable mechanical properties. *Biomaterials*, 35(7), 2207–2217.
- Yousefi, S. R., Amiri, O., & Salavati-Niasari, M. (2019). Control of sonochemical parameters to prepare pure $Zn_{0.35}Fe_{2.65}O_4$ nanostructures and study their photocatalytic activity. *Ultrasonics Sonochemistry*, 58, 104619.



ICIRES
2026

بیست و سومین کنفرانس بین المللی نوآوری و تحقیق در علوم مهندسی

گرجستان – اسفند ماه ۱۴۰۴

www.icires.ir

info@icires.ir

13 March 2026 - TBILISI GEORGIA