


تهیه مشتق‌های بتآمینوکتون‌ها با کاتالیست قابل‌بازیافت مس تثبیت‌شده بر $Fe_3O_4@Sapogenin$

مجید حیدریور^۱، حسین انارکی اردکانی^{۲*}، ندا حسن‌زاده^۳ و آیه رعیت‌زاده^۴

۱. دانشجوی دکترا شیمی آلی، گروه شیمی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
۲. استادیار شیمی آلی، گروه شیمی، واحد ماهشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، ماهشهر، ایران.
۳. استادیار شیمی آلی، گروه شیمی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
۴. استادیار شیمی آلی، گروه شیمی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

دریافت: آبان ۹۹ بازنگری: آذر ۹۹ پذیرش: آذر ۹۹

 20.1001.1.17359937.1400.15.3.7.6

چکیده

در این مطالعه نانوجندسازه مغناطیسی جدید $Fe_3O_4@Sapogenin/Cu(II)$ بر پایه کیلایا ساپوژنین تهیه شد و ساختار کاتالیست تهیه‌شده با طیف‌سنجی فروسرخ تبدیل فوریه (FTIR)، مغناطیس‌سنجی نمونه ارتعاشی (VSM)، طیف‌شناسی تفکیک انرژی (EDS)، پراش پرتو ایکس (XRD)، میکروسکوپ الکترونی عبوری با وضوح بالا (HR-TEM)، میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM)، جذب و واجذب نیتروژن (BET)، روش پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP) و تجزیه وزن‌سنجی گرمایی (TGA) بررسی شد. از کاتالیست تهیه‌شده در تهیه سه جزیی تک ظرفی بتآمینوکتون‌ها با مشتق‌های کتون و مشتق‌های بنزآلدهید و همچنین، مشتق‌های آنیلین در شرایط سازگار با محیط‌زیست استفاده شد. واکنش با مقادیر متفاوت کاتالیست در حلال‌های متفاوت تحت شرایط متفاوت ارزیابی شد. از مزیت‌های قابل ذکر واکنش مورد اشاره می‌توان به بازده بالای فرآورده‌ها و کوتاه‌بودن زمان واکنش و همچنین، استفاده از حلال‌های دوستدار محیط‌زیست اشاره کرد. همچنین، نانوکاتالیست $Fe_3O_4@Sapogenin/Cu(II)$ افزون بر بازیابی آسان برای چندین مرتبه بدون کاهش فعالیت مورد استفاده دوباره قرار گرفت. همچنین، با این کاتالیست چندین فرآورده جدید برای نخستین بار به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: شیمی سبز، واکنش سه جزیی، کیلایا ساپوژنین، بتآمینوکتون‌ها، مس کلرید

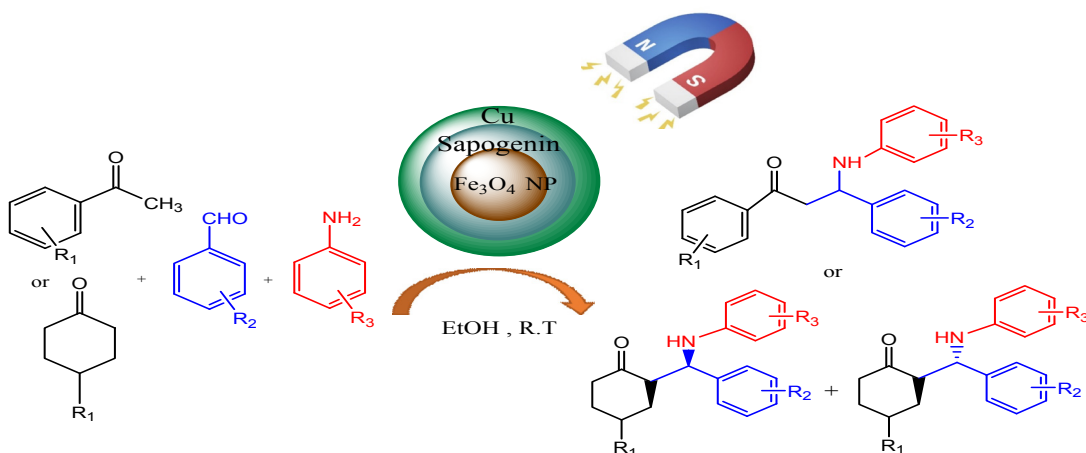
مقدمه

کاتالیست‌های ناهمگن که از مواد آلی و معدنی ساخته شده‌اند، برای عملکرد بالا، کارکرد ساده، جداسازی آسان و قابلیت استفاده دوباره مورد توجه بسیاری از شیمیدانان آلی قرار گرفته‌اند. ولی بررسی‌ها نشان داده است که در واکنش‌های شیمیایی برای تهیه مواد با این کاتالیست‌ها جزء زیادی از آن‌ها در درون مواد حمل‌کننده و یا محافظت‌کننده قرار دارند و بنابراین، مواد واکنشگر برای انجام فعالیت‌شان دسترسی کاملی به آن‌ها ندارند، ولی با تغییر اندازه کاتالیست‌ها به نانو، سطح فعال آن‌ها بسیار افزایش یافته و به خوبی می‌توانند در حالت محلول به‌طور کامل پخش شده و شرایط همگنی را به‌وجود آورند.

امروزه نانوذره‌های مغناطیسی (MNPs) با عناصر مغناطیسی مانند آهن، نیکل، کبالت به خاطر خواص ویژه‌شان مانند تهیه راحت این مواد، عامل‌دار کردن آن‌ها با گروه‌های ویژه‌ای مانند $-OH$ ، $-COOH$ ، $-NH_2$ ، مساحت سطح بالا، تماس بیشینه واکنشگرها با سطوح آن‌ها و جداسازی آسان با میدان مغناطیسی خارجی، کاربردهای متنوعی در تهیه ترکیب‌های متفاوت شیمیایی، علوم دارویی، مواد غذایی و انرژی پیدا کرده‌اند [۱ تا ۴]. از بین این ترکیب‌ها نانو اکسید Fe_3O_4 به‌عنوان کاتالیست کاربرد بسیار زیادی در واکنش‌های شیمیایی دارد ولی به دلیل تمایل زیاد به کلوخه شدن و اکسید شدن، مشکل‌هایی را در واکنش‌ها ایجاد می‌کند. بنابراین، برای برطرف کردن این مشکل‌ها با موادی مانند سطح‌فعال‌ها، بسپارها، سیلیکا و کربن پوشش‌دهی می‌شوند [۵ تا ۷]. ساپوچنین‌های استروئیدی (۲۷)

کربنی) و تری‌ترپنوییدی (۳۰ کربنی) گلیکوزیدهایی با وزن مولکولی بالا هستند که گروه‌های قندی متصل به آگلیکون تری‌ترپنوییدی یا استروئیدی دارند که در گیاهان تک لپه‌ای و دو لپه‌ای یافت می‌شوند [۸]. ساپوچنین‌ها به‌خاطر داشتن گروه‌های فراوان OH در بافت بسیاری خود می‌توانند به‌عنوان پوششی موثر برای پوشش نانوذره‌های آهن استفاده شوند [۹] و به‌عنوان کاتالیست در واکنش‌های چند جزئی (MCRs) به‌کار روند که در این واکنش‌ها بیش از دو ماده اولیه با یکدیگر واکنش داده و تشکیل یک فرآورده واحد و پیچیده با هدف بهره بالای واکنش، جلوگیری از به هدر رفتن فرآورده و زمان کوتاه واکنش را می‌دهند [۱۰ و ۱۱].

در این پژوهش، ابتدا نانوزیست کاتالیست $Fe_3O_4@Sapogenin/Cu(II)$ تهیه و به‌طور کامل با طیف‌سنجی فروسرخ تبدیل فوریه (FTIR)، مغناطیس‌سنجی نمونه ارتعاشی (VSM)، طیف‌شناسی تفکیک انرژی (EDS)، پراش پرتو ایکس (XRD)، میکروسکوپ الکترونی عبوری با وضوح بالا (HR-TEM)، میکروسکوپ الکترونی پوشی (SEM)، جذب و واجذب نیتروژن (BET)، روش پلاسما جفت‌شده القایی (ICP) و تجزیه وزن‌سنجی گرمایی (TGA) بررسی و شناسایی شد. سپس، این نمونه به‌عنوان کاتالیست در واکنش سه جزئی بین کتون‌ها، آلدهیدها و آمین‌های متفاوت برای تهیه مشتق‌های ۱-۳ و ۳-دی‌فنیل-۳-فنیل آمینو-پروپین-۱-ون در حلال اتانول و دمای $25^\circ C$ مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۱).



شکل ۱ تهیه مشتق های بتآمینوکتون در حضور کاتالیست nano-Fe₃O₄@Sapogenin/Cu(II)

مدت ۲ دقیقه با طالا ۱۰ mA برای تجزیه عنصری پوشش داده شدند. طیف های NMR با دستگاه ترکیبی ۳۰۰-MHz Bruker Avance و دستگاه طیف سنج ۵۰۰-MHz Bruker با حلال های DMSO و CDCl₃ به دست آمد.

روش تهیه nano-Fe₃O₄@Quillaja Sapogenin

نانوذره های مغناطیسی آهن اکسید بر پایه گزارش های قبلی ساخته شدند [۱۲ و ۱۳]. سپس مقدار ۲/۵ گرم کیلایا ساپوجنین با ۱/۵ گرم نانو اکسید آهن Fe₃O₄ در ۵۰ میلی لیتر اتانول با همزن میله ای به مدت ۲۰ دقیقه در دمای محیط مخلوط شد. سپس، فراورده واکنش با آهن را جدا و در دمای اتاق خشک شد، در پایان ۳/۹۶ گرم فراورده نهایی به دست آمد.

روش تهیه nano-Fe₃O₄@Sapogenin/Cu(II)

۰/۳ گرم از پودر به دست آمده در مرحله پیش را با ۰/۳۸ گرم مس کلرید دو آبه (۱:۱ وزنی/وزنی) در ۵۰ میلی لیتر اتانول به مدت نیم ساعت در دمای محیط مخلوط شدند. پس از پایان واکنش برای به دست آمدن فراورده با بازده زیاد، حلال در دمای محیط تبخیر شد. سپس، ویژگی مغناطیسی

بخش تجربی

مواد شیمیایی و دستگاه ها

همه مواد شیمیایی از شرکت مرک خریداری و بدون خالص سازی بیشتر مورد استفاده قرار گرفتند. طیف فرسوخ استفاده از دستگاه PERKIN ELMER SPECTRUM RX1 و با استفاده از قرص KBr در گستره ۴۰۰ تا ۴۰۰۰ cm⁻¹ در شرایط محیطی ثبت. نقطه ذوب برای همه ترکیب ها با دستگاه الکتروترمال-۹۲۰۰ اندازه گیری شد. الگوی پراش پرتو ایکس (XRD) نمونه ها با دستگاه فیلیپس با استفاده از تابش Cu/Kα با طول موج ۱/۵۴Å ثبت شد. تجزیه وزن سنجی گرمایی (TGA) نمونه با دستگاه LINSEIS MODEL 1600 PT با سرعت گرم کردن ۵°C درجه سانتیگراد در دقیقه انجام شد. ویژگی مغناطیسی نمونه با مغناطیس سنج نمونه ارتعاشی SAMX مدل MIRA III در دمای اتاق بررسی شد. میکروسکوپ الکترونی پوششی مدل Mira III و میکروسکوپ الکترونی عبوری با وضوح بالا (HR-TEM) مدل TEC9G20، ساخت شرکت FEI آمریکا با ولتاژ 200kV برای ریخت شناسی نمونه استفاده شد. طیف شناسی تفکیک انرژی (EDS) نمونه ها با تجهیزات مربوط که همراه با میکروسکوپ الکترونی پوششی بود، انجام شد. نمونه ها به

قرارداده شد. پس از آن رسوب به دست آمده برای خالص سازی با مخلوط ۳ به ۲ اتانول / استون شسته شد.

فراورده مورد بررسی قرار گرفت و برای به دست آمدن فراورده خالص کاتالیست دوبار با اتانول شسته و در دمای محیط خشک شد.

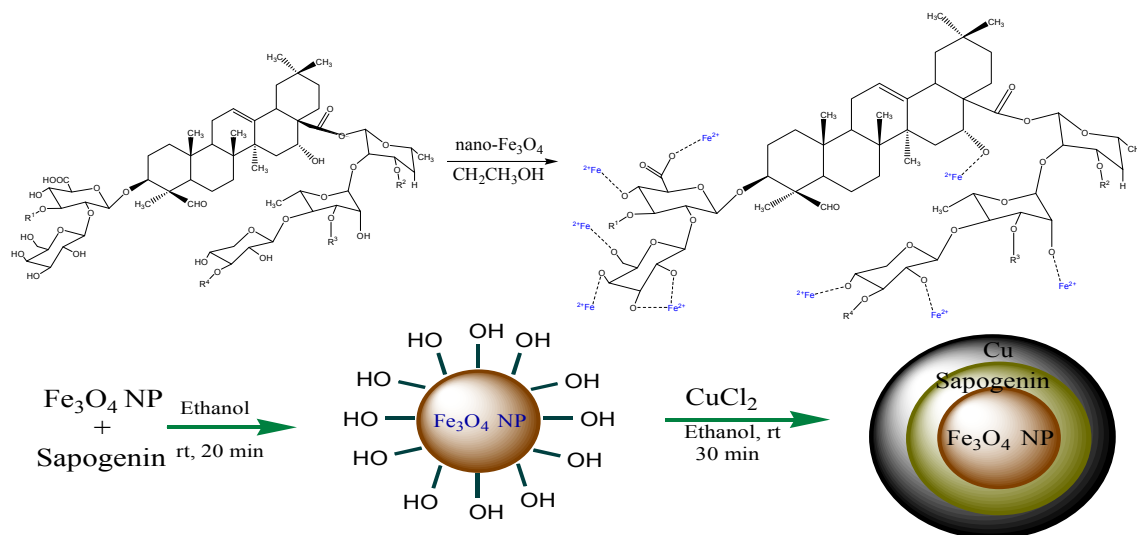
روش تهیه مشتق های بتا آمینوکتون

۱ میلی مول از کتون با ۱ میلی مول آلدهید و ۱ میلی مول آمین همراه با ۰/۰۸ گرم از کاتالیست nano-Fe₃O₄@Sapogenin/Cu(II) در ۱۰ میلی لیتر اتانول در دمای اتاق مخلوط شدند. پایان واکنش با TLC بررسی شد. سپس، کاتالیست با آهنربا از مخلوط واکنش جدا و خارج شد و مخلوط واکنش در دمای اتاق تا خشک شدن حلال

نتیجه ها و بحث

تهیه و شناسایی کاتالیست

کاتالیست nano-Fe₃O₄@Sapogenin/Cu(II) طی فرایند دو مرحله ای تهیه شد. در مرحله اول Fe₃O₄ با یون های Fe²⁺ و Fe³⁺ تهیه و سپس فراورده مرحله اول با ساپوژنین مخلوط شد. در پایان از ترکیب به دست آمده به عنوان بستری مغناطیسی برای پیوند با مس استفاده شد (شکل ۱).



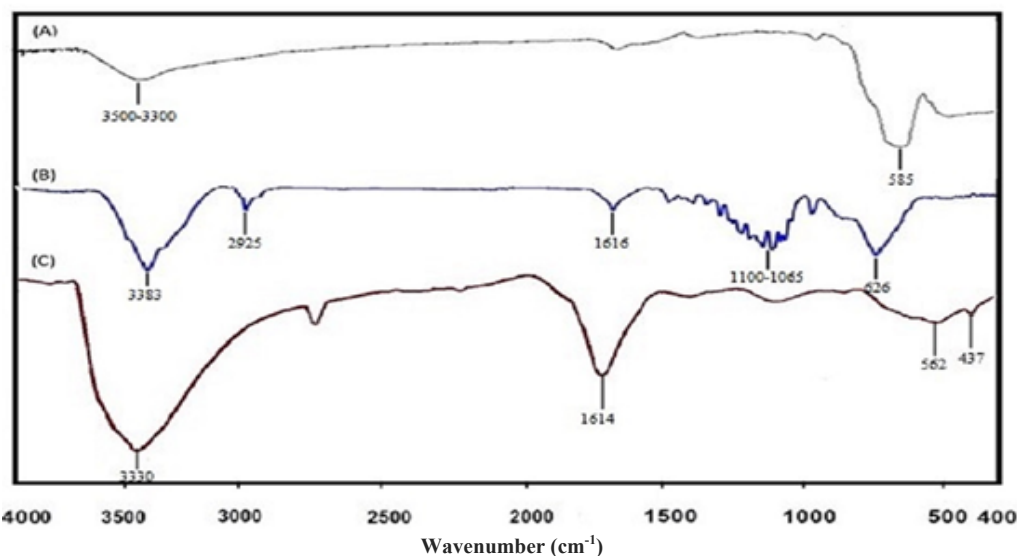
شکل ۲ سازوکار تثبیت مس کلرید بر nano-Fe₃O₄@Sapogenin

همچنین، نوار پهن مشاهده شده در ناحیه ۳۳۰۰ تا ۳۵۰۰ cm⁻¹ ناشی از ارتعاش های کششی گروه OH است. وجود ارتعاش کششی Fe-O همراه با جذب نانوذره های nano-Fe₃O₄ نشان می دهد که Fe₃O₄@sapogenin (b) نشان می دهد که مغناطیسی با ساپوژنین پوشانده شده است. نوار پهن در ناحیه

طیف های FTIR مربوط به nano-Fe₃O₄ و Fe₃O₄@sapogenin در شکل ۳ ارائه شده اند. پیک های نشان داده شده در طیف FTIR، nano-Fe₃O₄ در ناحیه ۵۸۵ cm⁻¹ نشانگر وجود ارتعاش کششی Fe-O است و

۵۶۲ نشان دهنده ارتعاش کششی Fe-O است و همچنین، نوار موجود در ناحیه 1613 cm^{-1} نشانگر ارتعاش خمشی H-O-H است. ارتعاش کششی پیوندهای OH در گستره 3330 cm^{-1} مشاهده شد. در مقایسه با nano- $\text{Fe}_3\text{O}_4@$ Sapogenin پیوند مس به ساپوجنین موجب انتقال ارتعاش کششی آهن اکسیژن Fe-O از دامنه موج 626 cm^{-1} به 562 cm^{-1} شده است.

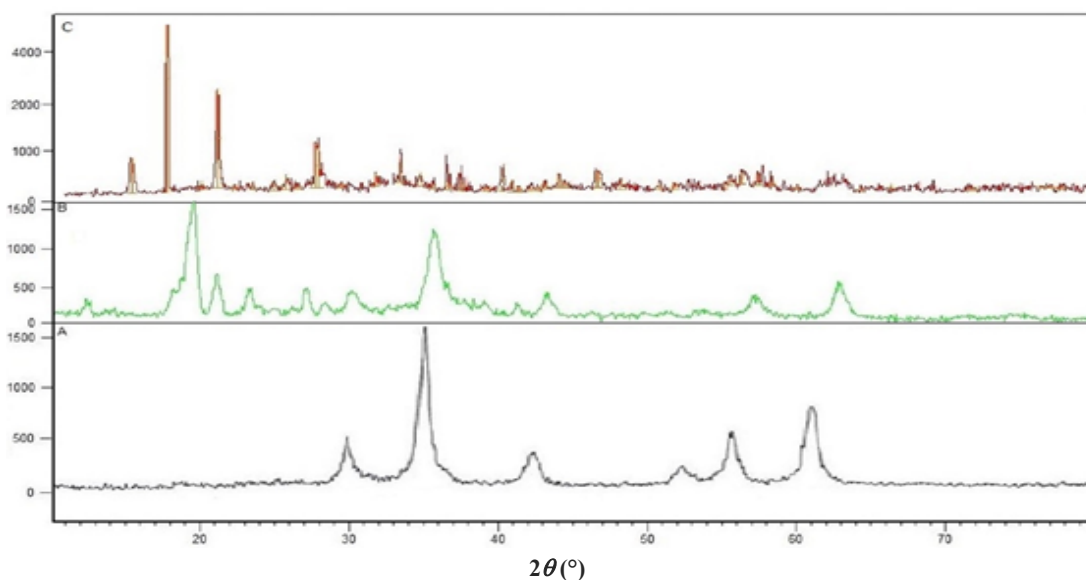
3383 cm^{-1} مربوط به ارتعاش کششی OH است. نوارهای گستره 2925 cm^{-1} بیانگر ارتعاش کششی C-H است و همچنین، پیک ناحیه 1616 cm^{-1} نشان دهنده وجود ارتعاش خمشی H-O-H است. پیک های آشکار شده در گستره 1065 cm^{-1} الی 1100 cm^{-1} نشان دهنده پیوندهای C-O است. طیف FTIR نانوذره های nano- $\text{Fe}_3\text{O}_4@$ Sapogenin/Cu(II) در نوار جذبی ناحیه زیر 500 cm^{-1} نشان دهنده پیوند مس و ساپوجنین Cu-O است. پیک مشاهده شده در ناحیه 437 cm^{-1}



شکل ۳ طیف های FTIR مربوط به (A) nano- Fe_3O_4 ، (B) nano- $\text{Fe}_3\text{O}_4@$ Sapogenin و (C) nano- $\text{Fe}_3\text{O}_4@$ Sapogenin/Cu(II)

ساختار بلوری آن در طی فرایند پوشش سلولزی آن است و پیک های جدید در ناحیه 21.3° ، 19.5° ، 23.5° و 27.1° نشان دهنده پیوند ساپوجنین با نانواهن مغناطیسی است. الگوی XRD ترکیب nano- $\text{Fe}_3\text{O}_4@$ Sapogenin/Cu(II) نشان می دهد که ساختار قبلی آن حفظ شده و پیک های جدید در نواحی 16.26° ، 28.8° ، 32.7° ، 34.8° و 48.8° پیوند مس به ساپوجنین را تایید می کند.

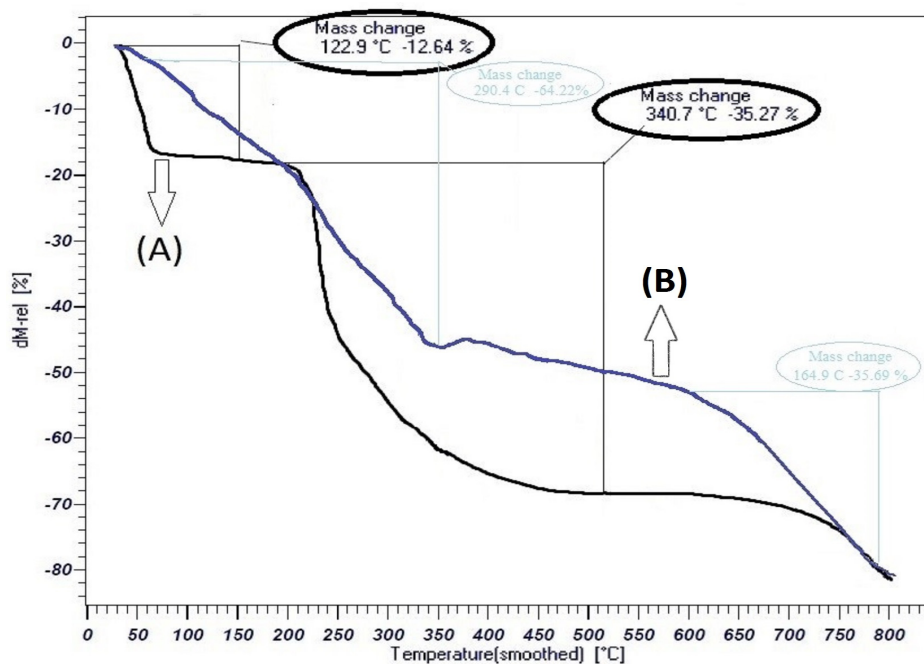
ساختار بلوری nano- Fe_3O_4 با الگوهای پراش پرتو ایکس مربوط مطالعه شد (شکل ۲). مشاهده شده مربوط به ترکیب nano- Fe_3O_4 (A) در 2θ برابر با 61.65° ، 56.36° ، 52.69° ، 42.75° ، 35.79° ، 30.38° نشان دهنده ساختار خالص و مکعبی نانواهن مغناطیسی است (شکل ۴). در ساختار nano- $\text{Fe}_3\text{O}_4@$ sapogenin (B) همان پیک ها نشان داده شده اند که مشخص کننده حفظ



شکل ۴ الگوهای XRD مربوط به (A) nano-Fe₃O₄، (B) nano-Fe₃O₄@Sapogenin و (C) nano-Fe₃O₄@Sapogenin/Cu(II)

مشاهده شده در گستره ۶۰۰ تا ۸۰۰°C مربوط به فلزهایی مانند نانواهن مغناطیسی است. نمودار TGA مربوط به nano-Fe₃O₄@sapogenin/Cu(II) (شکل ۵-B) نشان می دهد، از دست دادن جرم نمونه شامل دو مرحله است. مرحله اول، در گستره دمایی ۳۷ تا ۳۵۰°C کاهش وزن اصلی در حدود ۶۴٪ است که مربوط به دفع رطوبت و حلال و آب کاتالیست و بعضی از مواد آلی مربوط است. سایر مراحل کاهش وزن، از ۶۰۰ تا ۷۹۲°C که در حدود ۳۶٪ است، مربوط به فلزهایی مانند نانواهن مغناطیسی و مس اکسید است.

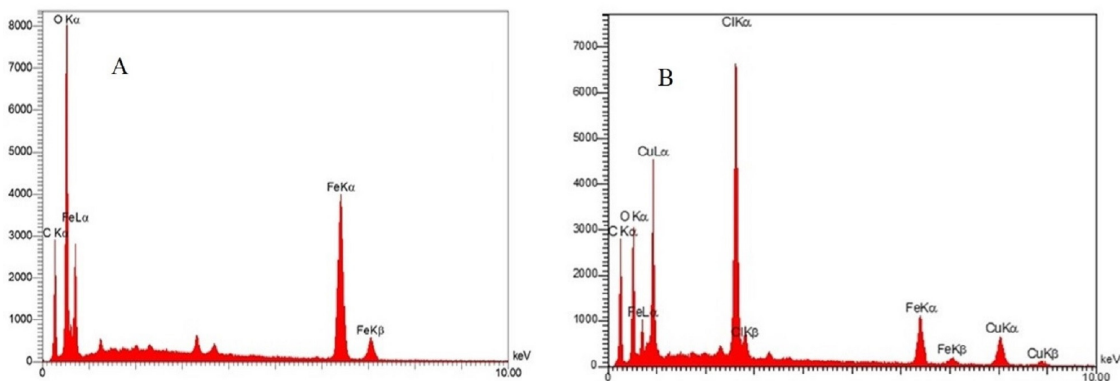
تجزیه وزن سنجی گرمایی (TGA) در گستره دمایی صفر تا ۸۰۰°C انجام شد. شکل ۵-A نمودار وزن سنجی گرمایی مربوط به ماده nano-Fe₃O₄@sapogenin را نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود، این نمودار از دست دادن جرم نمونه را در ۳ مرحله نشان می دهد. کاهش وزن کم (حدود ۱۳٪) از ۲۰ تا ۱۳۵°C مربوط به حذف رطوبت و حلال کاتالیست است. کاهش وزن اصلی (در حدود ۳۵٪) در گستره ۱۷۰-۵۱۰°C مربوط به تجزیه بخش هایی از ساپوژنین مانند سلولز و سایر ترکیب های آن است و در نهایت کاهش وزن نهایی



شکل ۵ نمودارهای تجزیه وزن سنجی گرمایی (TGA) و (A) nano-Fe₃O₄@Sapogenin و (B) nano-Fe₃O₄@Sapogenin/Cu(II)

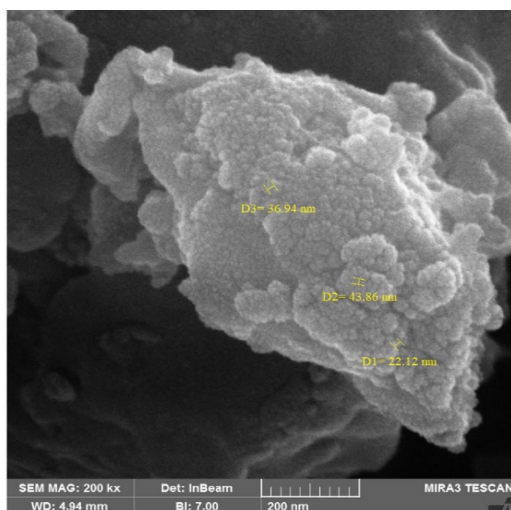
مورد انتظار (Fe, O, Cu, C) در کاتالیست nano-EDS انجام شد (شکل ۴). طیف EDS مربوط به نمونه مربوط (شکل ۶-B) تایید شد. بنابراین، نتیجه‌ها نشان می‌دهد که کاتالیست به خوبی ساخته شده است.

برای تعیین عناصر نمونه‌ها، تجزیه و تحلیل عنصری با روش EDS انجام شد (شکل ۴). طیف EDS مربوط به نمونه nano-Fe₃O₄@sapogenin (شکل ۶-A)، بیانگر وجود عناصر C، Fe و O در نمونه است. همچنین، وجود عناصر

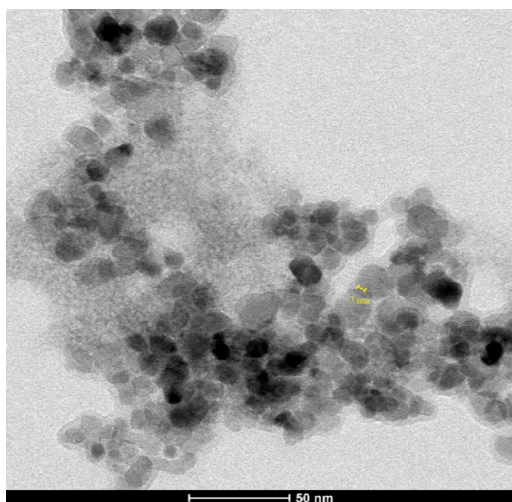


شکل ۶ طیف‌های EDX نمونه (A) nano-Fe₃O₄@Sapogenin و کاتالیست (B) nano-Fe₃O₄@Sapogenin/Cu(II)

لایه از ساپوژنین اطراف پوسته نانواهن مغناطیسی شکل گرفته است.

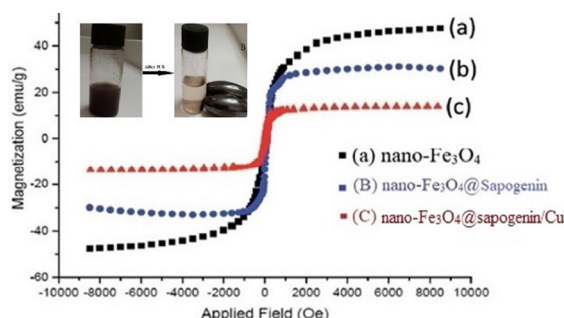


شکل ۸ تصویر میکروسکوپ الکترونی پوششی (SEM) کاتالیست nano-Fe₃O₄@Sapogenin/Cu(II)



شکل ۹ تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری با قدرت تفکیک بالا کاتالیست (HR-TEM) nano-Fe₃O₄@Sapogenin/Cu(II)

ویژگی مغناطیسی ترکیب‌های nano-Fe₃O₄ و nano-Fe₃O₄@sapogenin در دمای اتاق با یک مغناطیس‌سنج ارتعاشی (VSM) مشخص شد که نمودارهای آن‌ها در شکل ۷ نشان داده شده است. همه نمونه‌ها رفتار پارامغناطیس را نشان می‌دهند. ویژگی مغناطیسی nano-Fe₃O₄@sapogenin/Cu کمتر از nano-Fe₃O₄ است که به دلیل وجود پوسته ساپوژنین و مس به‌عنوان لایه دوتایی در اطراف هسته nano-Fe₃O₄ است.



شکل ۷ نمودارهای VSM مربوط به نمونه‌های (a) nano-Fe₃O₄، (b) nano-Fe₃O₄@Sapogenin و (c) Fe₃O₄@Sapogenin/Cu(II)

ریخت‌شناسی ترکیب nano-Fe₃O₄@sapogenin/Cu(II) با میکروسکوپ الکترونی (SEM) مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۸ نشان می‌دهد که ابعاد دانه‌های بلوری این ترکیب بین ۲۲ تا ۴۴ نانومتر است. تصویر HR-TEM کاتالیست nano-Fe₃O₄@QS/Cu(II) (شکل ۹)، به‌روشنی نشان می‌دهد که این کاتالیست حفره‌های منظم کروی شکل دارد که دامنه اندازه آن‌ها زیر ۵۰ نانومتر است. این تصویر نشان می‌دهد که پس از ترکیب شدن ساپوژنین با نانواهن مغناطیسی یک

کمپلکس مس بر nano-Fe₃O₄@Sapogenin نظم و ساختار ماده نانوحفره تهیه شده پایدار بوده است، همچنین، اندازه و قطر حفره ها و سطح و حجم حفره های کاهش یافته که بیانگر تثبیت یون های مس بر نانوحفره یا بستر عامل دار شده است. فعالیت کاتالیستی nano-Fe₃O₄@Sapogenin/Cu(II) برای تهیه مشتق های بتاآمینوکتون از راه واکنش تک ظرفی سه جزیی مانیک بین کتون ها، آلدئیدها و آمین ها بررسی شد. در ابتدا واکنش بنزالدهید با استوفنون و آنیلین به عنوان واکنش نمونه انتخاب شد و عامل های بهینه سازی در این واکنش مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا واکنش مدل در حلال های متفاوت و شرایط بدون حلال انجام شد. همان طور که در جدول ۲ نشان داده شده است، اتانول بهترین حلال بین سایر حلال ها برای سه جزیی بتاآمینوکتون با استفاده از سه جزء بنزالدهید، آنیلین و استوفنون، از بازده بیشتری برخوردار است (جدول ۲).

جدول ۲ اثر حلال های متفاوت بر واکنش مدل*

ردیف	حلال	بازده (%)
۱	بدون حلال	۵۵
۲	آب	۵
۳	استون	۲۵
۴	استونیتربیل	۶۰
۵	تتراهیدروفوران	۶۵
۶	متانول	۷۰
۷	اتانول	۹۲

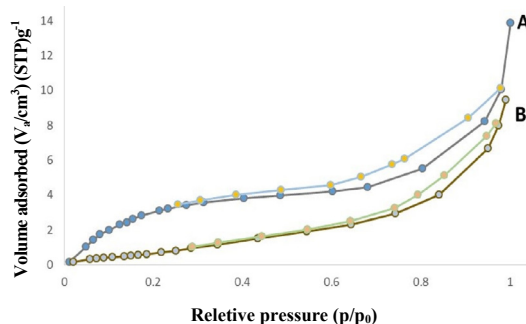
* شرایط واکنش: ۱ میلی مول بنزالدهید، ۱ میلی مول استوفنون، ۱ میلی مول

آنیلین، ۰/۰۸ گرم کاتالیست nano-Fe₃O₄@Sapogenin/Cu(II)

۱۰ میلی لیتر حلال در دمای محیط به مدت ۳ ساعت

واکنش مدل در مجاور کاتالیست در حلال اتانول در دمای اتاق و دماهای ۳۵، ۴۵، ۵۵ و ۶۵ C° و همچنین، در شرایط بازروانی بررسی شد (جدول ۳). همان طور که از نتیجه ها

شکل ۱۰ نمودار جذب و واجذب نیتروژن برای نانوحفره های nano-Fe₃O₄@Sapogenin و nano-Fe₃O₄@Sapogenin/Cu(II) را نشان می دهد.



شکل ۱۰ نمودار همدمای جذب و واجذب نیتروژن (BET) کاتالیست nano-Fe₃O₄@Sapogenin (A) و کاتالیست nano-Fe₃O₄@Sapogenin/Cu(II) (B)

حجم کل حفره ها را پس از سیرشدن کل حفره های ماده نانوحفره از گاز نیتروژن محاسبه شد که در این مورد ۰/۰۶۷۳۰۳^۱ cm³.g^{-۱} به دست آمد (جدول ۱).

جدول ۱ مقایسه ویژگی های ساختاری nano-Fe₃O₄@Sapogenin و nano-Fe₃O₄@Sapogenin/Ni(II) به دست آمده از روش BET

نمونه	مساحت سطح (m ² /g)	حجم حفره ها (cm ³ /g)	میانگین قطر حفره ها* (nm)
Nano-Fe ₃ O ₄ @Sapogenin	۸۹۳۱۷	۰/۰۶۷۳۰۳	۱۶۸
Nano-Fe ₃ O ₄ @Sapogenin/Cu(II)	۳۱۷۵۱	۰/۰۱۴۳۷۴	۱۶۳

* به دست آمده با روش BJH

بر پایه روش BJH میانگین قطر حفره ها ۱۶۸ nm است. همان طور که قابل مشاهده است پس از عامل دار کردن nano-Fe₃O₄@Sapogenin(A) همدمای جذب و واجذب nano-Fe₃O₄@Sapogenin/Cu(II) نشان می دهد با قرارگیری

نشریه پژوهش های کاربردی در شیمی (JARC)

سال پانزدهم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰

شناخته شده بودند و ساختار آن‌ها با مقایسه نقاط ذوب و داده‌های طیفی با نمونه‌های معتبر مقایسه شدند.

جدول ۴ بهینه‌سازی واکنش مدل* با مقادیر متفاوت نانوکاتالیست

ردیف	کاتالیست	زمان (ساعت)	وزن (گرم)	بازده (%)
۱	no catalyst	۱۳	-	-
۲	nano-Fe ₃ O ₄	۸	۰/۱	۴۵
۳	nano-Fe ₃ O ₄ @sapogenin	۷	۰/۰۸	۷۱
۴	nano-Fe ₃ O ₄ @sapogenin/Cu	۷	۰/۰۱	۵۳
۵	nano-Fe ₃ O ₄ @sapogenin/Cu	۷	۰/۰۲	۵۹
۶	nano-Fe ₃ O ₄ @sapogenin/Cu	۷	۰/۰۳	۶۵
۷	nano-Fe ₃ O ₄ @sapogenin/Cu	۶	۰/۰۴	۷۰
۸	nano-Fe ₃ O ₄ @sapogenin/Cu	۶	۰/۰۵	۸۲
۹	nano-Fe ₃ O ₄ @sapogenin/Cu	۵	۰/۰۶	۸۸
۱۰	nano-Fe ₃ O ₄ @sapogenin/Cu	۵	۰/۰۷	۹۰
۱۱	nano-Fe ₃ O ₄ @sapogenin/Cu	۳	۰/۰۸	۹۲
۱۲	nano-Fe ₃ O ₄ @sapogenin/Cu	۳	۰/۰۹	۹۲
۱۳	nano-Fe ₃ O ₄ @sapogenin/Cu	۳	۰/۱	۹۰

* شرایط واکنش: ۱ میلی‌مول بنزالدهید، ۱ میلی‌مول استوفنون، ۱ میلی‌مول آنیلین، ۰/۰۸ گرم کاتالیست و ۱۰ میلی‌لیتر حلال

مشخص است بهترین دما برای انجام واکنش مدل، دمای اتاق است.

اثر مقدار کاتالیست nano-Fe₃O₄@sapogenin/Cu(II) نیز بر واکنش مدل بررسی شد (جدول ۴). بهترین نتیجه در مجاور ۰/۰۸ گرم کاتالیست به دست آمد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که بهترین حالت برای انجام واکنش استفاده از ۰/۰۸ گرم از کاتالیست در حلال اتانول در دمای اتاق است.

جدول ۳ بهینه‌سازی دما برواکنش مدل*

ردیف	دما (°C)	زمان (ساعت)	بازده (%)
۱	دمای اتاق	۳	۹۲
۲	۳۵	۳	۹۲
۳	۴۵	۴	۹۲
۴	۵۵	۴	۹۲
۵	۶۵	۴	۹۰
۶	بازروانی	۳	۹۰

* شرایط واکنش: ۱ میلی‌مول بنزالدهید، ۱ میلی‌مول استوفنون، ۱ میلی‌مول آنیلین، ۰/۰۸ گرم کاتالیست nano-Fe₃O₄@sapogenin/Cu(II) و ۱۰ میلی‌لیتر حلال

پس از به دست آوردن شرایط بهینه برای بررسی گسترش دامنه کاربرد کاتالیست با انواع کتون‌ها، آلدهیدها و آمین‌ها، مشتق‌های متنوعی از بتا‌آمینوکتون تهیه شدند که نتیجه‌ها در جدول ۵ گزارش شده است. ترکیب‌های ۳n تا ۳q جدید هستند که ساختار آن‌ها با تجزیه عنصری و داده‌های طیفی بررسی شد. ترکیب‌های دیگر (۳a تا ۳m)

جدول ۵ تهیه مشتق های متفاوت بتآمینوکتون* با کاتالیست nano-Fe₃O₄@Sapogenin/Cu(II)

ردیف	کتون	R ₁	R ₂	زمان (دقیقه)	بازده (%)	Anti/syn	نقطه ذوب (°C)	مرجع
۳a	Cyclohexanone	1-naphtyl	H	۵۵	۹۹	۹۹,۱	۱۷۰-۱۷۲	[۱۴]
۳b	Cyclohexanone	2-naphtyl	H	۵۵	۹۹	۹۹,۱	۱۲۷-۱۲۸	[۱۵]
۳c	Cyclohexanone	1-naphtyl	4-CH ₃	۶۳	۹۴	۹۷,۳	۱۳۵-۱۳۷	[۱۶]
۳d	cyclohexanone	4-Br	H	۵۰	۹۳	۹۸,۲	۱۰۹-۱۱۱	[۱۷]
۳e	Cyclohexanone	4-Cl	4-CH ₃	۴۵	۹۵	۹۸,۲	۱۱۹-۱۲۱	[۱۸]
۳f	Cyclohexanone	3-NO ₂	H	۷۲	۹۱	۹۷,۳	۱۶۰-۱۶۲	[۱۸]
۳g	Cyclohexanone	4-F	H	۷۲	۹۰	۸۲,۱۸	۱۱۸-۱۲۰	-
۳h	4-methylcyclohexanone	H	H	۵۰	۹۹	۹۵,۵	۱۳۱-۱۳۳	[۱۹]
۳i	4-methylcyclohexanone	1-naphtyl	H	۶۰	۹۷	۹۹,۱	۱۶۸-۱۷۰	[۱۹]
۳j	4-methylcyclohexanone	2-naphtyl	H	۶۰	۹۸	۹۹,۱	۱۷۴-۱۷۶	[۱۹]
۳k	4-methylcyclohexanone	2-Cl	H	۶۳	۸۵	۹۹,۱	۱۴۴-۱۴۶	[۱۹]
۳l	Acetophenone	H	H	۱۸۰	۹۲	-	۱۶۶-۱۶۸	[۲۰]
۳m	Acetophenone	4-OCH ₃	4-CH ₃	۲۱۰	۹۱	-	۱۶۱-۱۶۲	[۲۱]
۳n	Acetophenone	H	4-Br	۱۸۰	۹۶	-	۱۷۷-۱۷۹	(پژوهش حاضر)
۳o	Acetophenone	4-Cl	4-Br	۱۹۰	۹۱	-	۱۷۱-۱۷۳	(پژوهش حاضر)
۳p	Acetophenone	4-CH ₃	4-Br	۲۰۰	۹۰	-	۱۷۵-۱۷۷	(پژوهش حاضر)
۳q	Acetophenone	4-CH ₃	4-NO ₂	۲۲۰	۸۷	-	۱۶۳-۱۶۵	(پژوهش حاضر)

* شرایط واکنش: ۱ میلی مول بنزآلدهید، ۱ میلی مول استوفنون، ۱ میلی مول آنیلین، ۰,۰۸ گرم کاتالیست nano-Fe₃O₄@sapogenin/Cu(II) و ۱۰ میلی لیتر حلال

داده های طیفی

3-(4-Bromo-phenylamino)-1,3-diphenyl-propan-1-one (Table 5, Entry 3n).

Mp: 177-179 °C; IR (KBr, cm⁻¹): 3412, 1676, 1605, 1515, 1312, 858, 767; ¹H NMR (500 MHz, DMSO, δ ppm) 7.98-6.60 (m, 14H), 6.43 (s, br, 1H), 5.10 (d,t, J = 11.2, 7.6 Hz, 1H), 3.58 (d,d, J = 12.5, 7.0 Hz, 1H), 3.50 (d,d, J = 12.5, 7.0 Hz, 1H); ¹³C NMR (δ ppm): 44.5, 55.15, 116.85, 116.93, 126.05, 127.58, 128.4, 128.43, 128.64, 131.89, 133.05, 137.95, 141.58, 146.88, 198.15.

3-(4-Bromo-phenylamino)-3-(4-chloro-phenyl)-1-phenyl-propan-1-one (Table 5, Entry 3o).

Mp: 171-173 °C; IR (KBr, cm⁻¹): 3376, 1681, 1598, 1510, 1301, 750; ¹H NMR (300 MHz, CDCl₃, δ ppm): δ 7.91 (s, 2H), 7.88 (d, J=1.4 Hz, 1H), 7.59 (m, 2H), 7.45 (t, J=7.83 Hz, 2H), 7.37-7.27 (m, 2H), 7.19-7.16 (m, 2H), 6.43-6.4 (m, 2H), 4.92 (t, br, J=6.47, 1H), 4.65 (s, br, 1H), 3.5 (d,d, J15.6, J=5.3 Hz, 1H), 3.46-3.37 (d,d, J=15.6, J=7.12 Hz, 1H); ¹³C NMR (δ ppm): 44.92, 54.18, 109.83, 115.46, 127.73, 128.14, 128.78, 129.05, 131.85, 133.16, 133.67, 136.45, 140.93, 145.69, 197.79.

3-(4-Bromo-phenylamino)-1-phenyl-3-p-tolyl-propan-1-one (Table 5, Entry 3p).

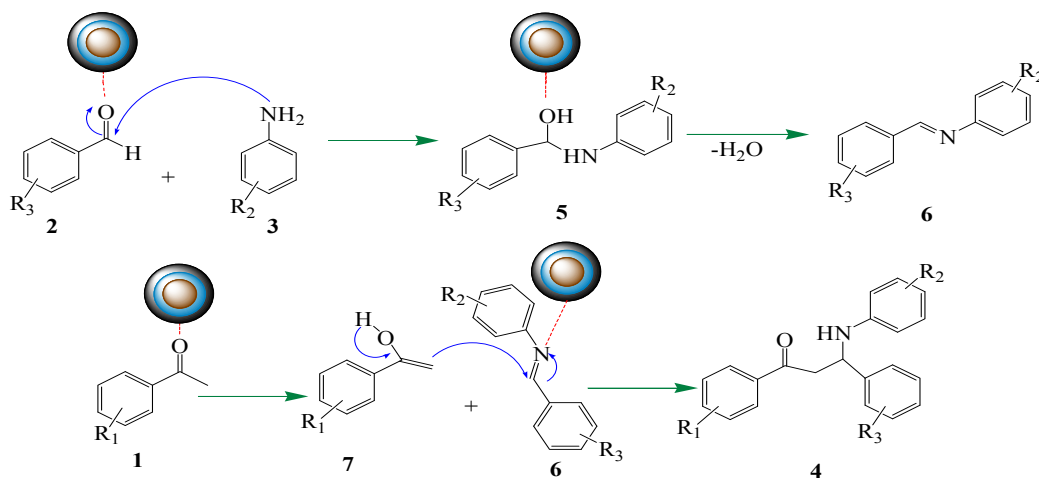
Mp: 175-177 °C; IR (KBr, cm^{-1}): 3395, 1673, 1602, 1513, 1311, 760; ^1H NMR (300 MHz, CDCl_3 , δ ppm): 7.94 (s, 2H), 7.62 (t, $J=7.27$ Hz, 1H), 7.50 (t, $J=7.3$ Hz, 2H), 7.45 (t, $J=7.3$ Hz, 2H), 7.3 (d, $J=7.9$ Hz, 2H), 7.11-7.07 (m, 2H), 6.45-6.41 (m, 3H), 4.9 (d,t, $J=11$, $J=4.7$, 1H), 3.6 (d,d, $J=17$, $J=8.8$ Hz, 1H), 3.34-3.23 (d,d, $J=17$, $J=4.54$ Hz, 1H), 2.23 (s, 3H); ^{13}C NMR (δ ppm): 21.01, 46.38, 54.43, 114.04, 120.79, 127.84, 128.15, 128.73, 128.92, 129.02, 129.64, 129.80, 129.84, 134.85, 136.12, 198.48.

3-(4-Nitro-phenylamino)-1-phenyl-3-p-tolyl-propan-1-one (Table 5, Entry 3q).

Mp: 163-165 °C; IR (KBr, cm^{-1}): 3392, 1671, 1600, 1513, 1313, 862, 768; ^1H NMR (300 MHz, CDCl_3 , δ ppm): 7.97-7.90 (m, 3H), 7.76 (d, $J=7.12$ Hz, 1H), 7.63 (t, $J=7.25$ Hz, 1H), 7.51 (t, 2H), 7.32 (d, $J=8$ Hz, 2H), 7.12 (d, $J=7.9$, 2H), 6.58 (d, $J=9.22$ Hz, 2H), 5.11 (d,t, br, $J=11.7$, $J=1.65$ Hz, 1H), 4.35 (s, 1H), 3.71 (d,d, $J=17.65$, $J=9.2$ Hz, 1H), 3.38 (d,d, $J=18.25$, $J=6$ Hz, 1H), 2.24 (s, 3H); ^{13}C NMR (δ ppm): 21.05, 45.55, 53.94, 112.12, 126.56, 127.74, 128.15, 128.36, 128.77, 129.75, 135.24, 137.63, 137.99, 138.23, 152.18, 197.85.

می‌شود و در مرحله بعد حدواسط ۵ با از دست‌دادن آب به ایمین ۶ تبدیل می‌شود و در مرحله آخر انول ۷ (به‌دست‌آمده از توتومری ۱) با ایمین ۶ واکنش می‌دهد و فرآورده نهایی ۴ را تولید می‌کند.

سازوکار پیشنهادی برای تهیه بتآمینوکتون‌ها به‌احتمال شامل فعال‌شدن اکسیژن کتونی و آلدهیدی در حضور کاتالیست مغناطیسی در شکل ۱۱ نشان‌داده شده است. ابتدا آلدهید ۲ با آمین ۳ واکنش می‌دهد که منجر به تشکیل حدواسط ۵



شکل ۱۱ سازوکار پیشنهادی تهیه مشتق‌های بتآمینوکتون در حضور نانوکاتالیست $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{Sapogenin}/\text{Cu(II)}$

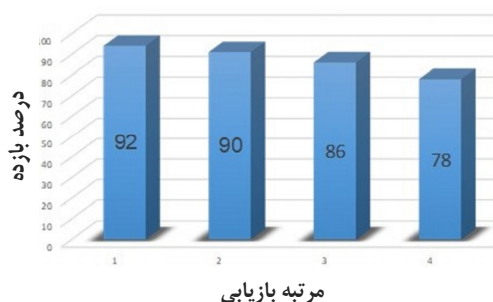
جزیی بین استوفنون، بنزالدهید و آنیلین در شرایط بهینه انجام گرفت و پس از انجام واکنش کاتالیست با آهن‌ریا به‌آسانی جدا شد. کاتالیست جداشده با اتانول ۳ الی ۴ مرتبه

بازیافت کاتالیست و به‌کارگیری دوباره از آن بازیابی کاتالیست یک عامل بسیار مهم در واکنش‌های کاتالیستی است. بنابراین، در این مرحله واکنش مانیخ سه

آزمون صافش داغ برای بررسی ناهمگن بودن کاتالیست (nano- $Fe_3O_4@Sapogenin/Cu(II)$)

در بعضی موارد اعتقاد بر این است که فلزهایی که بر سطح نانوذره‌ها تثبیت می‌شوند، در دمای بالای واکنش‌ها، از سطح نانوذره جدا و فلز آزاد شده به عنوان عضو فعال کاتالیست موجب انجام واکنش می‌شود. بنابراین، در این بخش، برای تایید ناهمگن بودن کاتالیست مورد استفاده، آزمون صاف کردن داغ در تهیه استوفون همراه با ۴-کلروبنزالدهید و ۴-بروموآنیلین تحت شرایط بهینه بررسی شد. بدین ترتیب واکنش مذکور در نصف زمان لازم برای کامل شدن (۹۵ دقیقه) متوقف و فراورده با بازده ۵۳٪ تشکیل شد. در مرحله بعد همان واکنش تکرار شد، با این تفاوت که وقتی واکنش حدود ۵۳٪ پیشرفت کرده بود، واکنش متوقف و کاتالیست جدا شد. سپس، اجازه داده شد تا در شرایط بهینه واکنش ادامه یابد. در این شرایط، فراورده با بازده ۵۴٪ به دست آمد. نتیجه‌های به دست آمده نشان داد که پیشرفت خاصی در واکنش مشاهده نمی‌شود که تاییدی بر ناهمگن بودن کاتالیست مورد استفاده در واکنش مورد نظر است. برای ارزیابی کارایی کاتالیست و روش ارایه شده، این روش با کاتالیست‌های گزارش شده پیشین در تهیه ترکیب‌های L3 مقایسه شد (جدول ۶). در مقایسه با نتیجه‌های نشان داده شده، مشخص شد که نانوکاتالیست مورد استفاده در این پژوهش ($Fe_3O_4@Sapogenin/Cu(II)$)، زمان و بازده مؤثرتری برای انجام واکنش فراهم می‌کند (جدول ۶).

شسته و سپس در دمای اتاق خشک شد. پس از آن، کاتالیست بازیابی شده برای واکنش‌های بعدی استفاده شد. همان‌طور که در شکل ۱۲ نشان داده شده است، کاتالیست ۴ بار بدون کاهش قابل توجهی در فعالیت کاتالیستی، مورد استفاده دوباره قرار گرفت. سپس، برای به دست آوردن مقدار دقیق مس موجود در کاتالیست از روش پلاسما جفت شدن القائی استفاده شد. با این روش، مقدار مس موجود در سامانه کاتالیستی برابر با 1.58 mmol g^{-1} در ازای هر گرم بستر Nano- $Fe_3O_4@Sapogenin$ پیش از استفاده از کاتالیست به دست آمد، ولی پس از بازیابی کاتالیست، این مقدار به 1.56 mmol g^{-1} رسید که نشان داد کاتالیست با تخریب بسیار جزئی باقی مانده و همچنان قابل استفاده بود.



شکل ۱۲ نمودار اثر بازیافت و به کارگیری چندباره نانوکاتالیست $nano-Fe_3O_4@Sapogenin/Cu(II)$ بر درصد بازده تهیه ترکیب‌های بتآمینوکتون

جدول ۶ بررسی و مقایسه کاتالیست‌های متفاوت با کاتالیست nano-Fe₃O₄@Sapogenin/Cu(II) در واکنش بتآمینوکتون‌ها*

ردیف	کاتالیست	مقدار	دما (°C)	زمان (ساعت)	درصد بازده	مرجع
۱	BiNO ₃	۱۰ mol%	۲۵	۴	۸۹	[۲۲]
۲	Diaryliodonium(III)	۱۰ mol%	۲۵	۲۴	۸۳	[۲۳]
۳	Saccharose	۱۵ mol%	۲۵	۹	۹۲	[۲۴]
۴	Carbon-based solid acid	۰٫۱ g	۲۵	۳:۴۵	۹۰	[۲۵]
۵	H ₃ PW ₁₂ O ₃₀	۰٫۶۹۱ g	۲۵	۱۸	۷۶	[۲۶]
۶	CFPIL-1	۰٫۳۲ g	۲۵	۵	۷۰	[۲۷]
۷	PS-SO ₃ H	۰٫۰۸ g	۳۰	۲۴	۷۵	[۲۸]
۸	Al(CH ₃ SO ₃) ₃ .4H ₂ O	۰٫۵ mmol	۲۵	۸	۸۶	[۲۹]
۹	[CellFemBen]CSA/EtOH	۱٫۶۳ mol %	۲۵	۵	۹۲	[۳۰]
۱۰	Citric acid	۲۰ mol%	۲۵	۱۰	۹۰	[۳۱]
۱۱	nano-Fe ₃ O ₄ @Sapogenin/Cu(II)	۰٫۰۸ g	۲۵	۳	۹۲	[پژوهش حاضر]

* شرایط واکنش: ۱ میلی‌مول بنزالدهید، ۱ میلی‌مول استوفنون و ۱ میلی‌مول آنیلین

نتیجه‌گیری

مغناطیسی کاتالیست و قابلیت استفاده دوباره کاتالیست بدون کاهش قابل توجهی از فعالیت آن اشاره کرد.

در این پژوهش، یک روش موثر و کارآمد برای تهیه مشتق‌های بتآمینوکتون از راه یک واکنش سه جزئی بین آمین‌ها، آلدئیدها و کتون‌ها در دمای اتاق در حلال اتانول در حضور نانوزیست کاتالیست Fe₃O₄@sapogenin/Cu(II) گزارش شد. از مهم‌ترین مزایای روش حاضر می‌توان به زمان کوتاه واکنش، بازده خوب واکنش، قابلیت جداسازی

سپاسگزاری

نویسندگان این پژوهش از حمایت‌های دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز سپاسگزارند.

مراجع

- [1] Lim, C.W.; Lee, I.S.; Nano Today 5, 412-434, 2010.
- [2] Ma, C.; Shao, H.; Zhan, S.; Hou, P.; Zhang, X.; Chai, Y.; Liu, H.; Composite Interfaces 26, 537-549, 2019.
- [3] Ghanbarnezhad, S.; Nemati, A.; Baghshahi, S.; Mahmoudi, M.; Journal of Applied Research in Chemistry 12(4), 105-112, 2019.
- [4] Ghorbani, N.F.; Eskandari, H.R.; Ebrahimi, D.; Journal of Applied Research in Chemistry 12(1), 71-82, 2018.
- [5] Hashemi, S.A.; Taheri, A.; Mansouri, K.; Journal of Applied Research in Chemistry 10(4), 59-70, 2017.
- [6] Ghorbani, C.A.; Shiri, L.; Tahmasebi, B.; Ghasemi, B.; Saeidipour, E.; Journal of Applied Research in Chemistry 9(4), 31-40, 2016.
- [7] Poursaberi, T.; Hasanisadi, M.; Rezapour, M.; Tourkestani, S.K. Journal of Applied Research in Chemistry 6(1), 5-14, 2012.

- [8] Aghdam, S.K.-Y.; Moslemizadeh, A.; Madani, M.; Ghasemi, M.; Shahbazi, K.; Moraveji, M.K.; *Chemical Engineering Research and Design* 147, 570-578, 2019.
- [9] Moslemizadeh, A.; Aghdam, S.K.-Y.; Shahbazi, K.; Zendejboudi, S.; *Journal of Molecular Liquids* 247, 269-280, 2017.
- [10] Kazemi, E.; Karimijaberi, Z.; Soltanianfard, M.J.; *Journal of Applied Research in Chemistry* 9(3), 17-24, 2015.
- [11] Hutchinson, I.; Chua, M.-S.; Browne, H.L.; Trapani, V.; Bradshaw, T.D.; Westwell, A.D.; Stevens, M.F.; *Journal of medicinal chemistry* 44, 1446-1455, 2001.
- [12] Dezfoolnezhad, E.; Ghodrati, K.; Badri, R.; *New Journal of Chemistry* 40, 4575-4587, 2016.
- [13] Kakesh, N.; Sayyahi, S.; Badri, R.; *Comptes Rendus Chimie* 21, 1023-1028, 2018.
- [14] Bigdeli, M.A.; Heravi, M.M.; Nemati, F.; Mahdavinia, G.H.; *Arkivoc* 13, 243-248, 2008.
- [15] Saadatjoo, N.; Golshekan, M.; Shariati, S.; Azizi, P.; Nemati, F.; *Arabian Journal of Chemistry* 10, S735-S741, 2017.
- [16] Bigdeli, M.A.; Nemati, F.; Mahdavinia, G.H.; *Tetrahedron Letters* 48, 6801-6804, 2007.
- [17] Khoshnavazi, R.; Bahrami, L.; Havasi, F.; Naseri, E.; *RSC Advances* 7, 11510-11521, 2017.
- [18] Kooti, M.; Kooshki, F.; Nasiri, E.; Sedeh, A.N.; *Journal of the Iranian Chemical Society*. 15, 943-953, 2018.
- [19] El-Gohary, N.; *Open Access Library Journal* 1, 1-47, 2014.
- [20] Mansoori, A.; Eshghi, H.; Lari, J.; *Journal of the Chinese Chemical Society* 65, 548-553, 2018.
- [21] Dong, F.; Jun, L.; Xin-Li, Z.; Zu-Liang, L.; *Catalysis letters* 116, 76-80, 2007.
- [22] Mansoor, S.S.; Aswin, K.; Logaiya, K.; Sudhan, S.P.N.; *Journal of Saudi Chemical Society* 19, 379-386, 2015.
- [23] Zhang, Y.; Han, J.; Liu, Z.-J.; *RSC Advances* 5, 25485-25488, 2015.
- [24] Mousavi, M.R.; Hazeri, N.; Maghsoodlou, M.T.; Salah, S.; Habibi-Khorassani, S.M.; *Chinese Chemical Letters* 24, 411-414, 2013.
- [25] Emrani, A.; Davoodnia, A.; Tavakoli-Hoseini, N.; *Bulletin of the Korean Chemical Society* 32, 2385-2390, 2011.
- [26] Azizi, N.; Torkiyan, L.; Saidi, M.R.; *Organic Letters* 8, 2079-2082, 2006.
- [27] Khiratkar, A.G.; Balinge, K.R.; Bhansali, K.J.; Bhagat, P.R.; *Research on Chemical Intermediates* 44, 787-798, 2018.
- [28] Imura, S.; Nobutou, D.; Manabe, K.; Kobayashi, S.; *Chemical Communications* 14, 1644-1645, 2003.
- [29] Wang, M.; Song, Z.-G.; Jiang, H.; *Organic Preparations and Procedures International* 41, 315-321, 2009.
- [30] Khanapure, S.; Jagadale, M.; Kale, D.; Gajare, S.; Rashinkar, G.; *Australian Journal of Chemistry* 72, 513-523, 2019.
- [31] Ningdale, V.B.; Chaudhar, U.N.; Shaikh, K.A.; *IOSR J. Appl. Chem.* 7, 86-89, 201

β -aminoketones derivatives synthesis by reusable catalyst of copper coated Fe₃O₄@Sapogenin

**Majid Heidarpour¹, Hossein Anaraki-Ardakani^{2,*}, Neda Hasanzadeh³,
Ayeh Rayatzadeh⁴**

1. PhD Student in Organic Chemistry, Department of Chemistry, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
2. Assistant Prof. of Organic Chemistry, Department of Chemistry, Mahshahr Branch, Islamic Azad University, Mahshahr, Iran.
2. Assistant Prof. of Organic Chemistry, Department of Chemistry, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
2. Assistant Prof. of Organic Chemistry, Department of Chemistry, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

Abstract: In this research, a new magnetic core-shell nanocomposite Fe₃O₄@Sapogenin/Cu(II) based on quillaja sapogenin was prepared and the structure, magnetic features, and morphology of magnetic nanoparticles (MNPs) Fe₃O₄@Sapogenin/Cu(II) were studied with energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS), thermogravimetric analysis (TGA), Fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopy, X-ray diffraction (XRD), high-resolution transmission electron microscopy (HR-TEM), Brunauer-Emmett-Teller (BET) method, Vibrating sample magnetometer (VSM), scanning electron microscopy (SEM), and inductively coupled plasma (ICP). The achievements demonstrated that the proposed agents were beneficial to synthesis the derivatives of β -aminoketone via a one-pot three-component reaction of ketones, aromatic aldehydes, and aromatic amines in ethanol under environmentally friendly conditions. The advantage of this reaction is the high efficiency of the products and the short reaction time. Furthermore, Fe₃O₄@Sapogenin/Cu(II) nanocatalyst can be easily recovered magnetically and can be reused for several runs without any reduction in the activity. In addition, with the use of this catalyst, several novel products were obtained for the first time.

Keyword: Green chemistry, Three-component reaction, *Quillaja sapogenin*, β -aminoketones, Copper (II) chloride