

زیست‌سنتز نانوذره‌های آهن اکسید با عصاره آبی کاکتوس اپونتیا و کاربرد آن در سنتز مشتق‌های پیریمیدین

مریم جهاندار لاشکی^۱، رحیمه حاجی نصیری^{۲*}، زینت السادات حسینی^۲ و نوابه نامی^۲

۱. دانشجوی دکتری گروه شیمی، واحد قائم شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم شهر، ایران.

۲. دانشیار گروه شیمی، واحد قائم شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم شهر، ایران.

دریافت: فروردین ۱۴۰۱ بازنگری: مهر ۱۴۰۱ پذیرش: آبان ۱۴۰۱

doi 10.30495/JACR.2022.1956128.2029

20.1001.1.27835324.2023.17.1.3.1

چکیده

در سال‌های اخیر، روش‌های سبز به ویژه استفاده از عصاره‌های گیاهی در سنتز نانوذره‌های فلزی توجه زیادی را به خود جلب کرده است. در این پژوهش، زیست‌سنتز نانوذره‌های آهن اکسید (Fe_3O_4 -NPs) مغناطیسی با استفاده از عصاره آبی کاکتوس اپونتیا انجام شد. عصاره گیاهی در فرایند سنتز نانوذره‌ها نقش کاهنده و پایدارکننده را داشت. ساختار و ریخت نانوذره‌های آهن اکسید سنتز شده با روش‌های پراش پرتو ایکس (XRD)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، طیف‌سنجی تبدیل فوریه فروسرخ (FTIR)، طیف‌سنجی بازتاب نفوذی (DRS) و مغناطیس‌سنجی نمونه ارتعاشی (VSM) تأیید شد. برپایه نتیجه‌های به‌دست‌آمده، استفاده از روش ارائه شده منجر به سنتز نانوذره‌های مغناطیسی آهن اکسید کروی‌شکل با میانگین اندازه ۹/۷ نانومتر شد. همچنین، مشتقات پیریمیدین از یک واکنش سه‌جزئی و تک‌ظرفی بین آلدهیدهای آروماتیک، استواستانیلید و اوره یا تیواوره در حضور آهن اکسید مغناطیسی سنتز شده به‌عنوان کاتالیست، در حلال اتانول و در دمای اتاق سنتز شدند. زمان کوتاه واکنش، مراحل خالص‌سازی آسان و بازده بالا از مزایای این روش هستند.

واژه‌های کلیدی: اپونتیا، زیست‌سنتز، نانوذره‌های آهن اکسید، پیریمیدین، مگنتیت.

مقدمه

نانوذره‌های اکسیدی فلزهای واسطه به دلیل ویژگی‌های الکترونیکی، مغناطیسی، کاتالیستی و دارویی از اهمیت زیادی برخوردار هستند [۱ تا ۵]. امروزه استفاده از نانوذره‌های فلزی به-عنوان کاتالیست‌های ناهمگن در واکنش‌های متفاوت آلی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. فلزهای واسطه جدول تناوبی عناصر، رایج‌ترین کاتالیست‌ها هستند. از نانوذرات فلزی به‌عنوان کاتالیست، در صنایع دارویی استفاده می‌شود. همچنین، این نانوذرات به دلیل داشتن ویژگی مغناطیسی در دستگاه‌های الکترونیکی و حسگرهای با حساسیت بالا به کارگرفته می‌شود [۶]. مگنتیت (Fe_3O_4) از پرکاربردترین اکسیدهای فلزی است و کاربردهای متنوعی دارد. مگنتیت، در دمای اتاق، ویژگی فرومغناطیس نشان می‌دهد و ساختار آن به‌صورت بلوری اسپینل معکوس و دربرگیرنده آهن دو ظرفیتی و سه ظرفیتی است [۷]. آهن اکسید زیست‌سازگاری بالایی دارد و برای انسان غیرسمی است و می‌تواند به‌عنوان دارو مورد استفاده قرارگیرد. نانوذرات سوپرپارا مغناطیسی آهن اکسید به دلیل ویژگی فیزیکی، شیمیایی، حرارتی و مکانیکی منحصر به فرد و همچنین، به دلیل داشتن ویژگی‌های سطحی مناسب، کاربردهای مهمی مانند کاربردهای زیست پزشکی مانند سلول درمانی، ترمیم بافت، دارورسانی و رزونانس مغناطیسی تصویربرداری (MRI) دارند [۸ و ۹]. تاکنون روش‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی بسیاری برای سنتز نانوذرات ارائه شده است [۱۰]. نانوذره‌های تشکیل‌شده با هر روش ویژگی خاصی نشان می‌دهد. زیست‌سنتز نانوذره‌های فلزی با گیاهان، در حال حاضر یکی از روش‌های موردتوجه پژوهشگران است که دلیل آن حذف یا کاهش مواد سمی و همچنین سازگاری این روش‌ها با محیط زیست است. سنتز نانوذره‌های فلزی با استفاده از بافت‌های غیرفعال گیاهی، عصاره‌های گیاهی و سایر بخش‌های گیاهان زنده، یک روش جایگزین مدرن برای تولید آن‌ها است [۱۱ تا ۱۵].

کاکتوس اپونتیا به نام‌های انجیر تیغی، انجیر هندی و گلابی خاردار نیز شناخته می‌شود. البته به کاکتوس اپونتیا، کاکتوس راکتی نیز گفته می‌شود. این نام‌گذاری‌ها برپایه ظاهر راکت مانند این کاکتوس است. این گیاه از کاکتوسیان با ساقه خزنده و بندبند و گوشتی و مسطح با ساقه‌های کوتاه سیخک‌دار و بندرت با تیغ‌های دراز حدود سه سانتی‌متر است. ارتفاع آن‌ها گاهی به ۱ تا ۲/۵ متر نیز می‌رسد. گل‌های این نوع کاکتوس تابستان پدیدار می‌شوند و رنگ زرد روشن دارند. این کاکتوس میوه‌هایی به رنگ زرد یا قرمز دارد که خوراکی است. به دلیل سازگاری این گیاه، رویش آن در مناطق متفاوت جغرافیایی ممکن، ولی خانه اصلی آن کویر و بیابان است. میوه این گیاه، در درمان دیابت نوع دوم و کنترل فشارخون و سلامت قلب مؤثر است و پژوهش‌ها در مورد آن ادامه دارد [۱۶]. ترکیب‌های ناجورحلقه دارای اتم نیتروژن، ترکیب‌های بسیار مهمی هستند. به‌طورویژه، مشتقات پیریمیدین در بسیاری از فرآورده‌های طبیعی و دارویی یافت می‌شوند. تریوپیریم، سولفادیازین و کپسیتابین از داروهای دارای حلقه پیریمیدین هستند. همچنین، پیریمیدین در ساختار بسیاری از داروهای طبیعی وجود دارد. به دلیل اهمیت این ترکیب‌ها روش‌های زیادی برای سنتز آنها ارائه شده است [۱۷ تا ۲۳]. در پژوهش حاضر، زیست‌سنتز نانوذره‌های آهن اکسید با خاصیت مغناطیسی با استفاده از عصاره آبی کاکتوس اپونتیا ارائه شده است. همچنین، نانو ذره‌های تهیه‌شده به‌عنوان کاتالیست کارآمد برای سنتز مشتقات پیریمیدین استفاده شده‌اند.

بخش تجربی

حلال، مواد و دستگاه‌ها

حلال‌ها و واکنشگرها و مواد شیمیایی، از شرکت مواد شیمیایی مرک آلمان تهیه شدند و خالص‌سازی بیشتر بر آن‌ها صورت نگرفت. نقطه ذوب فرآورده‌ها با دستگاه الکتروترمال

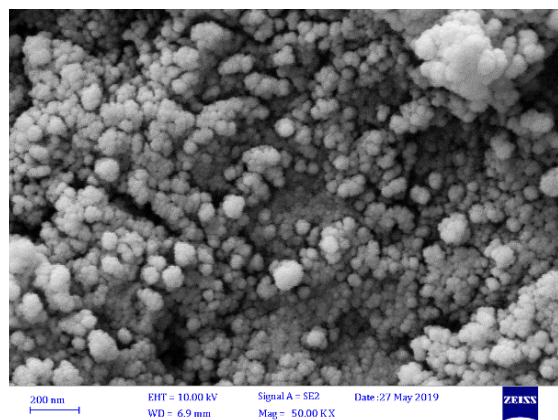
روش کار عمومی سنتز پیریمیدین با کاتالیست نانوذره‌های آهن اکسید مغناطیسی

مخلوط استوانتانیلید ۱ (۱ میلی‌مول)، آلدئید ۲ (۱ میلی‌مول)، اوره یا تیواوره ۳ (۱ میلی‌مول) و ۱۰ مول درصد آهن اکسید مغناطیسی در دمای اتاق و حلال اتانول هم‌زده شد و مقدار پیشرفت واکنش با سوانگاری لایه نازک (TLC) بررسی شد. پس از پایان واکنش، مخلوط واکنش در دمای محیط سرد و رسوب به دست آمده صاف و با آب و اتانول شسته شد و فراورده خالص پیریمیدین به دست آمد و با روش‌های طیف‌سنجی شناسایی شدند.

نتیجه‌ها و بحث

مشخصه‌یابی نانوذره‌های آهن اکسید تهیه شده

برای ریخت‌شناسی نانوذرات تهیه شده، تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) به کار گرفته شد. تصویر SEM نانوذره‌های آهن اکسید تهیه شده در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱ تصویر SEM نانوذره‌های آهن اکسید تهیه شده

همان‌طور که مشاهده می‌شود، نانوذره‌های به دست آمده از این روش کروی شکل هستند. ساختار نانوذره‌های سنتز شده با

۹۱۰۰ اندازه‌گیری شد. طیف‌های NMR نمونه‌ها با دستگاه BRUKER DEX-100, 162,300 AVANCE مدل NMR در حلال $CDCl_3$ به دست آمدند. دیگر دستگاه‌های به کار گرفته شده برای شناسایی نمونه، پراش سنج PHILIPS ساخت هلند، طیف‌سنج فروسرخ تبدیل فوریه ساخت شرکت Thermo آمریکا و دستگاه مغناطیس‌سنج نمونه ارتعاشی مربوط به شرکت MDKB مغناطیس کویر کاشان، بودند. همچنین، میکروسکوپ الکترونی روبشی ساخت TESCAN جمهوری چک برای ریخت‌شناسی نمونه به کار گرفته شد.

تهیه عصاره آبی کاکتوس اپونتیا

مقدار ۱۰ گرم از کاکتوس اپونتیا قطعه قطعه و در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به مدت سه روز قرار داده شد. عصاره آبی با کاغذ صافی جدا و برای مصارف بعدی در دمای صفر تا $4^{\circ}C$ نگهداری شد.

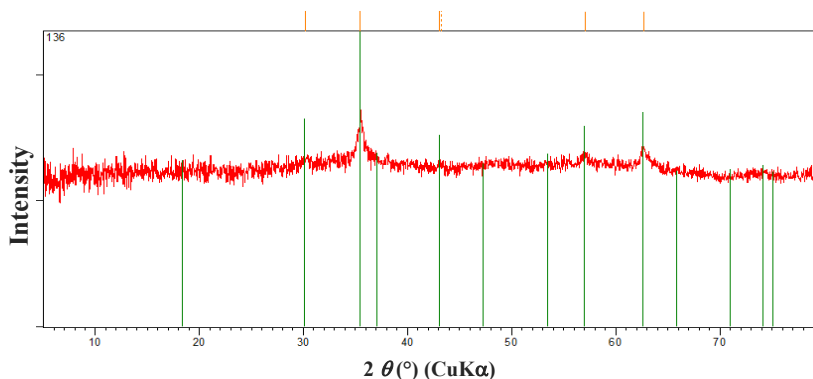
تهیه نانوذره‌های آهن اکسید با عصاره آبی اپونتیا

به ۲۰ میلی‌لیتر از عصاره آبی کاکتوس اپونتیا، ۳ گرم از نمک کلرید آهن کلرید افزوده شد و به مدت ۱ ساعت در دمای $50^{\circ}C$ تا $60^{\circ}C$ گرمادهی شد. نانوذره‌های آهن اکسید به دست آمده با کمک آهنربا جمع‌آوری و ۲ بار با آب مقطر شسته و در دمای $70^{\circ}C$ در آون خشک شد.

رسوب سیاه ایجاد شده به مدت ۲ ساعت در دمای $500^{\circ}C$ برای حذف ترکیب‌های آلی در کوره قرار داده شد. نانوذره‌های پایدار آهن اکسید تهیه شده با پراش پرتو ایکس (XRD)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، طیف‌سنجی فروسرخ تبدیل فوریه (FTIR) و آزمون مغناطیس‌سنجی (VSM^1)، طیف‌سنجی بازتاب نفوذی (DRS^2) و تابع کوبلکا-مانک^۳ شناسایی شدند [۲۴].

آهن اکسید سنتز شده در الگو قابل مشاهده است. میانگین اندازه دانه‌های بلوری نانوذره‌های تهیه شده با معادله شرر محاسبه شد. با توجه به پهنای میانه بلندترین قله ($2\theta = 35/46^\circ$)، میانگین اندازه دانه‌های بلوری برابر ۹٫۷ نانومتر به دست آمد.

توجه به الگوی پراش پرتو ایکس مربوط شناسایی شد. این الگو در شکل ۲ نشان داده شده است. ساختار بلوری مکعبی نانوذره-ها با داده‌های گزارش شده همخوانی خوبی دارد (JCPDS (No.: 19-629). قله‌های شاخص در 2θ های $35/46^\circ$ ، $44/0^\circ$ ، $54/2^\circ$ و $63/0^\circ$ مربوط به ساختار مکعبی نانوذره‌های



شکل ۲ الگوی XRD نانوذره‌های آهن اکسید سنتز شده

نانوذره‌ها برابر ۲۰ emu/g است. طیف بازتاب نفوذی نانوذره‌های آهن اکسید در گستره ۲۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر، دو جذب بیشینه در ۲۶۲ و ۳۰۴nm را نشان می‌دهد که همخوانی خوبی با مقادیر جذب نانوذره‌های آهن اکسید در گزارش‌های پیشین دارد (شکل ۵) [۲۵]. تابع کوپلکا-مانک نانوذره‌های سنتز شده در ناحیه فرابنفش در شکل ۶ آورده شده است. تابع کوپلکا-مانک با معادله ۱ به دست می‌آید.

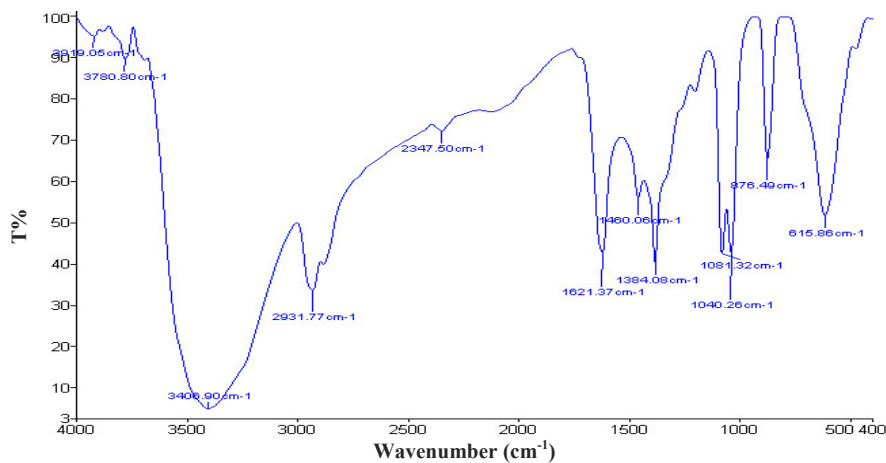
$$F(R) = (1 - R)^2 / R \quad (1)$$

که در آن، R بازتابش نمونه با ضخامت کم است. برای مواد نیم‌رسانا نمودار $(F(R).hv)^{1/2}$ در مقابل hv یک ناحیه خطی به نام تایو نشان می‌دهد که می‌توان انرژی پهنای نوار را با استفاده از برون‌یابی این ناحیه خطی پیش‌بینی کرد. در نانوذره‌های مگنتیت سنتز شده با گیاه اپونتیا، مقدار انرژی پهنای نوار با تابع کوپلکا-مانک، $3/3$ eV اندازه‌گیری شد. انرژی پهنای

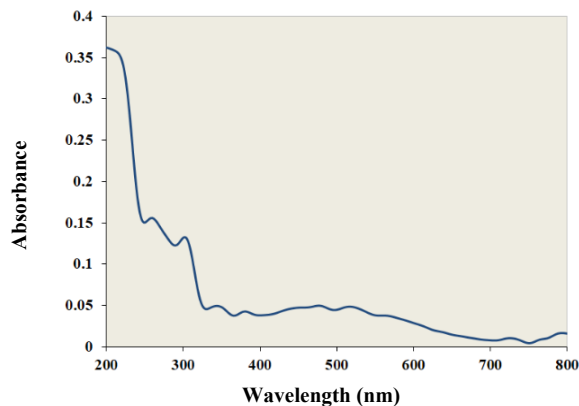
در طیف فروسرخ تبدیل فوریه، نانوذره‌های آهن اکسید (شکل ۳)، یک جذب کششی قوی در 3406 cm^{-1} مشاهده می‌شود که مربوط به پیوندهای هیدروژنی ترکیبات فنلی و الکلی گیاه است. جذب در 2931 cm^{-1} مربوط به ارتعاشات کششی پیوندهای C-H است. جذب مشاهده شده در 1621 cm^{-1} ممکن است مربوط به جذب آمیدی پروتئین‌ها باشد. نوارهای موجود در 1081 و 1384 cm^{-1} نشان‌دهنده ارتعاشات خمشی پیوندهای C-H است. نوارهای مشاهده شده در 410 و 475 cm^{-1} نیز وجود پیوندهای Fe-O را تأیید می‌کند. نوار مشاهده شده در 616 cm^{-1} می‌تواند مربوط به آهن اکسید شده بر سطح باشد.

نانوذره‌های به دست آمده از این روش ویژگی مغناطیسی قابل توجهی دارند و به راحتی جذب آهن‌ریا می‌شوند (شکل ۴). طیف VSM این ذره‌ها نیز وجود ویژگی مغناطیسی این نانوذره‌ها را تأیید می‌کند [۲۴]. مغناطیس‌پذیری سیر شده

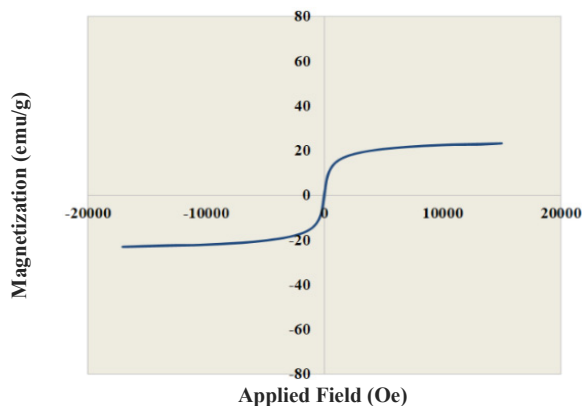
نوار برای آهن اکسید، برابر با ۲ eV بود. افزایش در مقدار این انرژی نشان‌دهنده وجود نانوذره‌های مغناطیسی آهن اکسید است [۲۴].



شکل ۳ طیف FTIR نانوذره‌های آهن اکسید سنتز شده



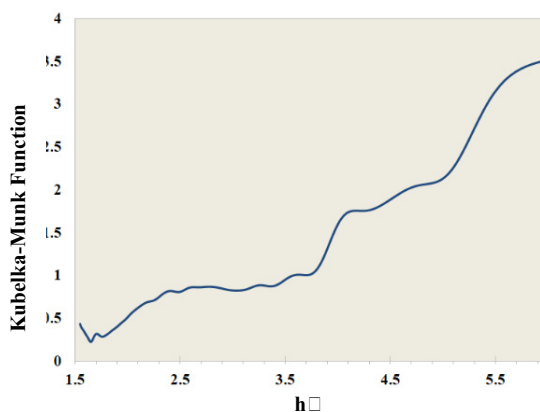
شکل ۵ طیف DRS نانوذره‌های سنتز شده



شکل ۴ نمودار VSM نانوذره‌های آهن اکسید سنتز شده

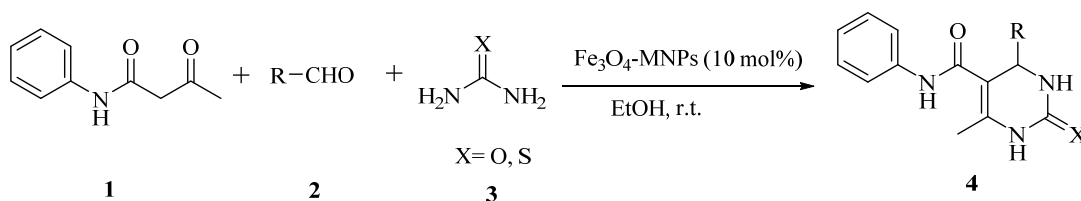
برای بهینه‌سازی شرایط واکنش، واکنش استواستانیلید، ۴-متوکسی‌بنزآلدهید و تیواوره به‌عنوان واکنش نمونه انتخاب و بررسی شد. ابتدا بهینه‌سازی مقدار کاتالیست آهن اکسید مغناطیسی و حلال در دمای اتاق برای واکنش نمونه بررسی شد و بهترین نتیجه با مقدار کاتالیست ۱۰ مول درصد (۱/۰ میلی‌مول) به‌دست آمد. افزایش مقدار کاتالیست تا ۲۰ مول درصد، بازده واکنش را کاهش می‌دهد. همچنین، بهینه‌سازی حلال نیز برای واکنش نمونه انجام شد و بهترین نتیجه در حلال اتانول مشاهده شد (جدول ۱). سپس، این واکنش در حضور کاتالیست آهن اکسید مغناطیسی به مقدار ۱۰ mol% و حلال اتانول در دماهای متفاوت بررسی شد. برپایه جدول ۲، بهترین نتیجه‌ها در دمای اتاق به‌دست آمد.

چهار مشتق از ترکیبات تتراهیدروپیریمیدین-۵-کربوکسامید با این روش سنتز شد (شکل ۸).



شکل ۶ تابع کوبلکا-مانک نانوذره‌های آهن اکسید سنتز شده

سنتز مشتقات تتراهیدروپیریمیدین-۵-کربوکسامید نانوذرات مغناطیسی آهن اکسید به‌دست آمده به‌عنوان کاتالیست برای سنتز مشتقات تتراهیدروپیریمیدین-۵-کربوکسامید (۴) از راه واکنش سه‌جزئی استواستانیلید (۱)، مشتقات بنزآلدهید (۲) و تیواوره یا اوره (۳) به کار برده شد (شکل ۷).



شکل ۷ طرحواره سنتز مشتقات تتراهیدروپیریمیدین-۵-کربوکسامید

جدول ۲ بهینه‌سازی دما برای سنتز مشتقات

تتراهیدروپیریمیدین-۵-کربوکسامید

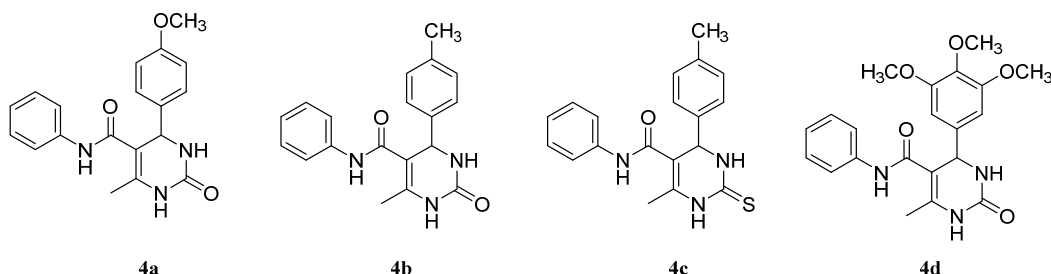
بازده* (%)	زمان (دقیقه)	دما (°C)	حلال	کاتالیست (مول%)	ردیف
۱۵	۱۸۰	دمای محیط	اتانول	---	۱
۷۵	۱۲۰	دمای محیط	اتانول	۱۰	۲
۷۵	۱۲۰	دمای محیط	اتانول	۱۵	۳
۷۸	۱۰۰	بازروانی	اتانول	۱۰	۴
۷۸	۱۰۰	بازروانی	اتانول	۱۵	۵

* بازده محصول خالص شده

جدول ۱ بهینه‌سازی حلال برای سنتز مشتقات

تتراهیدروپیریمیدین-۵-کربوکسامید

بازده (%)	حلال	کاتالیست (مول%)	ردیف
۴۵	بدون حلال	۱۰	۱
۷۵	اتانول	۱۰	۲
ناچیز	آب	۱۰	۳
۶۵	آب/اتانول (۱:۱)	۱۰	۴



شکل ۸ طرحواره مشتقات تتراهیدروپیریمیدین-۵-کربوکسامید سنتز شده

7.17(4H, dd, $J = 13.5, 5.4$ Hz), 7.27(2H, t, $J = 7.5, 1.8$ Hz), 7.54(1H, s), 7.57(2H, t, $J = 3.3, 1.2$ Hz), 8.70(1H, d, $J = 1.5$ Hz), 9.54(1H, s).

۶-متیل-N-فنیل-۲-تیو-۴-(p-تولیل)-۵-کربوکسامید (4a)

تتراهیدروپیریمیدین-۵-کربوکسامید (4c)

White solid; m.p. = 179-182 °C; $^1\text{H NMR}$ (300 MHz, DMSO), δ_{ppm} : 2.07(3H, s), 2.27(3H, s), 5.38(1H, d, $J = 2.4$ Hz), 7.03(1H, t, $J = 14.7, 7.2$ Hz), 7.16(4H, s), 7.27(2H, t, $J = 15.9, 7.5$ Hz), 7.56(2H, d, $J = 7.5$ Hz), 9.42(1H, s), 9.73(1H, s), 9.98(1H, s).

۶-متیل-۲-کسو-N-فنیل-۴-(۳،۴،۵-تری متوکسی فنیل)-۵-کربوکسامید (4d)

تتراهیدروپیریمیدین-۵-کربوکسامید (4d)

White solid; m.p. = 255-257 °C; $^1\text{H NMR}$ (300

داده‌های فیزیکی و طیف‌سنجی ترکیب‌های سنتز شده

۴-(۴-متوکسی فنیل)-۶-متیل-۲-کسو-N-فنیل-

۴،۳،۲،۱-تتراهیدروپیریمیدین-۵-کربوکسامید (4a)

White solid; m.p. = 231-234 °C; $^1\text{H NMR}$ (300 MHz, DMSO), δ_{ppm} : 2.06(3H, s), 3.71(3H, s), 5.38(1H, d, $J = 1.8$ Hz), 6.88(2H, d, $J = 8.7$ Hz), 7.00(1H, t, $J = 14.7, 7.2$ Hz), 7.24(4H, dd, $J = 15.6, 7.8$ Hz), 7.56(3H, d, $J = 14.7, 7.2$ Hz), 8.72(1H, d, $J = 0.9$ Hz), 9.54(1H, s).

۶-متیل-۲-کسو-N-فنیل-۴-(p-تولیل)-۵-کربوکسامید (4b)

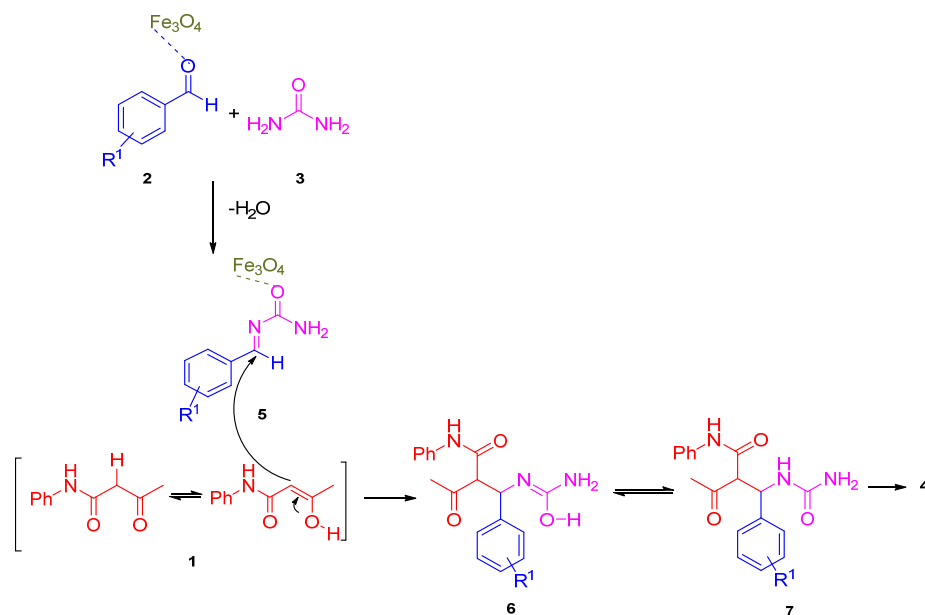
تتراهیدروپیریمیدین-۵-کربوکسامید (4b)

White solid; m.p. = 249-252 °C; $^1\text{H NMR}$ (300 MHz, DMSO), δ_{ppm} : 2.04(3H, s), 2.26(3H, s), 5.38(1H, d, $J = 2.4$ Hz), 7(1H, t, $J = 14.4, 7.2$ Hz),

راه کوردینه‌شدن زوج الکترون‌های اتم اکسیژن فعال می‌کند و به راحتی مورد حمله هسته‌دوست 3 (اوره یا تیواوره) قرار می‌گیرد و با حذف آب، حدواسط 5 ایجاد می‌شود که به عنوان یک الکترون‌دوست برای افزایش نوکلئوفیل فرم انول β -کتواستر 1 عمل می‌کند. از افزایش فرم انولی کتواستر به حدواسط 5، ترکیب 6 به وجود می‌آید. فرم کتوی ترکیب 6 در یک تراکم درون مولکولی و به دنبال آن حذف یک مولکول آب، برای سنتز مشتقات پیریمیدین 4 شرکت می‌کند.

MHz, DMSO), δ_{ppm} : 2.03(3H, s), 3.75 (3H, s), 3.78(3H, s), 3.83 (3H, s), 5.39 (1H, d, $J= 2.3$ Hz), 6.92 (1H, s), 6.96 (1H, s), 7.15(4H, dd, $J= 13.5, 5.4$ Hz), 7.26 (2H, t, $J= 7.5, 1.8$ Hz), 7.53 (1H, s), 7.57(2H, t, $J= 3.3, 1.2$ Hz), 8.71 (1H, d, $J= 1.5$ Hz), 9.53(1H, s).

سازوکار پیشنهادی برای تشکیل مشتقات پیریمیدین در حضور کاتالیست آهن اکسید در شکل 9 آورده شده است. کاتالیست آهن اکسید مغناطیسی گروه کربونیل آلدهید 2 را از



شکل 9 طرحواره سازوکار پیشنهادی سنتز مشتقات پیریمیدین

شدند. برپایه نتیجه‌های به دست آمده نانوذره‌های آهن اکسید کروی با اندازه ۹۷ نانومتر و ویژگی مغناطیسی قابل قبول به دست آمد. همچنین، از نانوذره‌های آهن اکسید سنتز شده به عنوان کاتالیست در سنتز مشتقات جدید پیریمیدین با استفاده از واکنش سه‌جزئی تک‌طرفی بین آلدهیدهای آروماتیک،

نتیجه‌گیری

در راستای ارائه یک روش جدید برای تهیه نانوذره‌های اکسید فلزی و اهمیت آن‌ها، در این پژوهش، یک روش سبز برای سنتز نانواکسیدهای پایدار آهن اکسید مغناطیسی با استفاده از عصاره آبی کاکتوس اپونتیا ارائه شده است. نانوذره‌های آهن اکسید سنتز شده با روش‌های متداول شناسایی

نویسندگان از حمایت‌های مالی و معنوی دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائم شهر کمال قدردانی و تشکر را دارند.

استواستانیلید و اوره یا تیواوره در حلال اتانول و در دمای اتاق استفاده شد و مشتقات پیریمیدین با بازده بالا به دست آمدند.

سپاسگزاری

مراجع

- [1] Sun, S.H.; Murray, C.B.; Weller, D.; Folks, L.; Moser, A.; *Science* 287, 1989–1992, 2000.
- [2] Jeyadevan, B.; Chinnasamy, C.N.; Shinoda, K.; Tohji, K.; Oka, H.; *J. Appl. Phys.* 93, 8450–8452, 2003.
- [3] Miller, M.M.; Prinz, G.A.; Cheng, S.F.; Bounnak, S.; *Appl. Phys. Lett.* 81, 2211–2213, 2002.
- [4] Zhang, J.L.; Wang, Y.; Ji, H.; Wei, Y.G.; Wu, N.Z.; Zuo, B.J.; Wang, Q.L.; *J. Catal.* 229, 114–118, 2005.
- [5] Ettadili, F.E.; Aghris, S.; Laghri, F.; Farahi, A.; Saqrane, S.; Bakasse, M.; Lahrich, S.; El Mhammedi, M.A.; *J. Mol. Struct.* 1248, 131538, 2022.
- [6] Baghi, J.; Bhattacharya S.K.; *Transition Met. Chem.* 32, 47–55, 2007.
- [7] Abhilash, Revati, K.; Pandey, B.D.; *Bull. Mater. Sci.* 34, 191–198, 2011.
- [8] Dehghan, Z.; Ranjbar, M.; Govahi, M.; Khakdan, F.; *J. Drug Deliv. Sci. Technol.* 67, 102941, 2022.
- [9] Nezafat, Z.; Nasrollahzadeh, M.; *J. Mol. Struct.* 1228, 129731, 2021.
- [10] Hajinasiri, R.; Norozi, B.; Ebrahimzadeh, H. *Chem. Lett.* 45, 1238–1240, 2016.
- [11] Dadashi, H.; Hajinasiri, R.; *Int. J. Nano Dimens.* 11, 405–411, 2020.
- [12] Usman, U.L.; Singh, N.B.; Allamd, B.K.; Banerjee, S.; *Mater. Today* 60, 1140–1149, 2022.
- [13] Lukman, A.I.; Gong, B.; Marjo, C.E.; Roessner, U.; Harris, A.T.; *J. Colloid Interface Sci.* 353, 433–444, 2011.
- [14] Nnadozie, E.C.; Ajibade, P.A.; *Mater. Lett.* 263, 127145, 2020.
- [15] Salam, H.A.; Rajiv, P.; Kamaraj, M.; Jagadeeswaran, P.; Gunalan, S.; Sivaraj, R.; *Plants: Int. J. Biol. Sci.* 1, 85–90, 2012.
- [16] Majure, L.C.; Puente, R.; Griffith, M.P.; Judd, W. S.; Soltis, P.S.; Soltis, D.E.; *Am. J. Bot.* 99, 847–864, 2012.
- [17] Michael, J.P.; *Nat. Prod. Rep.* 22, 627– 646, 2005.
- [18] Shaitanova, E.N.; Balabon, O.A.; Rybakova, A.N.; Khlebnicova, T.S.; Lakhvich, F.A.; Gerusa, I.I.; *J. Fluor. Chem.* 252, 109905, 2021.
- [19] Bahramia, Gh.; Batooei, N.; Mousavi, S.R.; Miraghaee, Sh.; Hosseinzadeh, N.; Hoshyari, A.; Mousavian, S. M.; Sajadimajd, S.; Mohammadi, B.; Hatami, R.; Mahdavi, M.; *Polycycl. Aromat. Compd.* 43, 1566–1574, 2022.
- [20] Nadal, E.; Olavarria, E.; *Int. J. Clin. Pract.* 58, 511 – 516, 2004.
- [21] Kuma, K.; *J. Heterocycl. Chem.* 59, 205–238, 2022.
- [22] Ghasemzadeh, M.A.; Mirhosseini-Eshkevari, B.; *Heliyon* 8, e10022, 2022.
- [23] Hill, M.D.; Movassaghi, M.; *Chem. Eur. J.* 14, 6836 – 6844, 2008.
- [24] Rajendran, S.P.; Sengodan, K.; *Journal of Nanoscience*, 2017, 1–7, 2017.
- [25] Cariou, C.C.A.; Clarkson, G.J.; Shipman, M.; *J. Org. Chem.* 73, 9762–9764, 2008.
- [26] Armstrong, R.W.; Combs, A.P.; Tempest, P.A.; Brown, S.D.; Keating, T.A.; *Acc. Chem. Res.* 29, 123–131, 1996.