

مروری کوتاه بر کاربرد سلولز به عنوان یک کاتالیزگر کارآمد و موثر در واکنش های آلی

عبدالحمید دهقانی*، میلاد قزلسفلو، یوسف دلشاد، سهیل دهقانی سیاهیکی

گروه شیمی آلی، دانشکده شیمی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

چکیده: تهیه مواد شیمیایی تجدیدپذیر و ارزشمند از منابع زیست توده تجدیدپذیر مانند سلولز، توجه جهانی را به منظور ایجاد جوامع پایدار جلب کرده است. سلولز فراوان ترین زیست توده غیرغذایی است و از اهمیت اقتصادی زیادی برخوردار است. برخلاف کاتالیزگرهای سنتی مشتق شده از منابع نفتی، سلولز مزایای متعددی از جمله تجدیدپذیری، زیست تخریب پذیری و سازگاری با اصول شیمی سبز را ارائه می دهد. استفاده از کاتالیزگر ناهمگن می تواند به پژوهشگران اجازه دهد تا فرآیندهای بی خطر محیطی را توسعه دهند. کاتالیزگرهای مبتنی بر سلولز فعالیت قابل توجهی را در طیف گسترده ای از واکنش ها از جمله هیدروژناسیون، اکسیداسیون و پلیمریزاسیون نشان داده اند. تطبیق پذیری آنها ناشی از توانایی آنها در تثبیت انواع نانوذرات فلزی است که به عنوان جایگاه های کاتالیزگری فعال عمل می کنند. تثبیت نانوذرات فلزی روی سلولز مزایای متعددی از جمله بهبود پایداری، جلوگیری از تجمع نانوذرات و افزایش قابلیت پخش شدن آنها را به همراه دارد. سلولز پتانسیل خود را برای ایجاد انقلابی شگرف در شیمی سبز نشان می دهد. بنابراین تطبیق پذیری، پایداری و ویژگی های قابل تنظیم سلولز آن را به یک کاتالیزگر ضروری برای آینده ای سبزتر تبدیل کرده است. هدف این بررسی، ارائه یک نمای کلی از کاربرد سلولز به عنوان کاتالیزگر در واکنش های آلی توسط پژوهشگران ایرانی است.

واژگان کلیدی: سلولز، پلیمرزیستی، کاتالیزگر، واکنش های آلی

Abdulhamiddehghani@grad.kashanu.ac.ir

مساحت سطح بالای آن مکان های زیادی را برای فعالیت کاتالیزگری فراهم می کند. علاوه بر این، گروه های هیدروکسیل روی سلولز را می توان به راحتی تغییر داد تا خواص آن را تنظیم کرده و عملکرد کاتالیزگری آن را افزایش داد [۱].

کاتالیزگرهای مبتنی بر سلولز فعالیت قابل توجهی را در طیف گسترده ای از واکنش ها از جمله هیدروژناسیون، اکسیداسیون و پلیمریزاسیون نشان داده اند. تطبیق پذیری آنها ناشی از توانایی آنها در پشتیبانی از انواع نانوذرات فلزی است که به عنوان جایگاه های کاتالیزگری فعال عمل می کنند. تثبیت نانوذرات فلزی روی سلولز

۱- مقدمه

سلولز، یک پلیمر زیستی طبیعی و فراوان در طبیعت است که به دلیل خواص منحصر به فرد و سازگاری با محیط زیست، به عنوان یک ماده امیدوارکننده برای کاربردهای کاتالیزگری مطرح شده است. برخلاف کاتالیزگرهای سنتی مشتق شده از منابع نفتی، سلولز مزایای متعددی از جمله تجدیدپذیری، زیست تخریب پذیری و سازگاری با اصول شیمی سبز را ارائه می دهد. ماهیت آبدوست آن جذب و انتشار موثر واکنش دهنده را تسهیل می کند، در حالی که

پلیمریزاسیون، که نشان دهنده میانگین تعداد واحدهای گلوکز در یک زنجیره سلولزی است، از چند صد تا چند هزار متغیر است. سلولز با درجه پلیمریزاسیون بالاتر عموماً قوی تر و کریستالی تر از سلولز با درجه پلیمریزاسیون پایین تر است [۷].

۳- خواص فیزیکی سلولز

سلولز چندین ویژگی فیزیکی منحصر به فرد را نشان می دهد که به تطبیق پذیری و کاربردهای آن کمک می کند. سلولز در آب و اکثر حلال های آلی نامحلول است. این خاصیت از پیوندهای هیدروژنی قوی بین زنجیره های سلولزی ناشی می شود که از نفوذ مولکول های آب به ساختار پلیمری جلوگیری می کند [۸]. همچنین سلولز دارای تعداد زیادی گروه هیدروکسیل بر روی واحدهای گلوکز خود است که آن را آبدوست و قادر به جذب آب می کند. این ویژگی برای کاغذسازی و سایر کاربردهای مبتنی بر سلولز بسیار مهم است [۹]. پیوندهای هیدروژنی قوی بین زنجیره های سلولزی استحکام کششی فوق العاده ای ایجاد می کند و سلولز را به ماده ای ارزشمند برای کاربردهای مختلف تبدیل می کند که به استحکام و دوام نیاز دارد. همچنین، سلولز به دلیل وجود هر دو ناحیه کریستالی و آمورف در ساختار خود می تواند انعطاف پذیری از خود نشان دهد. این ویژگی به ویژه برای کاربردهایی مانند منسوجات و بسته بندی مهم است. سلولز می تواند توسط میکروارگانیسم ها از طریق فرآیند هیدرولیز تجزیه شود و آن را به یک ماده پایدار و سازگار با محیط زیست تبدیل کند [۱۰-۱۲].

سلولز یک پلیمر زیستی طبیعی است که فراوان، تجدیدپذیر و زیست تخریب پذیر است و آن را به ماده ای امیدوارکننده برای کاربردهای پایدار تبدیل می کند. برخلاف پلاستیک های نفتی که به آلودگی محیط زیست و کاهش منابع کمک می کنند، مواد مبتنی بر سلولز جایگزین سازگار با محیط زیست هستند [۱۳]. سلولز از منابع گیاهی به دست می آید که از طریق فتوسنتز دوباره تولید می شود و آن را به یک منبع تجدیدپذیر تبدیل می کند. این در تضاد با نفت است، که یک سوخت فسیلی تجدیدناپذیر است که به سرعت در حال کاهش است [۱۴]. سلولز به طور طبیعی توسط میکروارگانیسم ها از طریق فرآیند هیدرولیز تجزیه می شود و به دی اکسید کربن و آب تبدیل می شوند. این زیست تخریب پذیری

مزایای متعددی از جمله بهبود پایداری، جلوگیری از تجمع نانوذرات و افزایش قابلیت پخش شدن آنها را به همراه دارد. علاوه بر این، سلولز می تواند به عنوان یک واسطه بین نانوذرات فلزی و واکنش دهنده ها عمل کند و انتقال الکترون ها را تسهیل کرده و گزینش پذیری واکنش را بهبود بخشد [۲].

توسعه کاتالیزگرهای مبتنی بر سلولز در سال های اخیر به دلیل تقاضای فزاینده برای جایگزین های پایدار و سازگار با محیط زیست به جای کاتالیزگرهای معمولی، توجه قابل توجهی پیدا کرده است. این کاتالیزگرها دارای پتانسیل بسیار زیادی برای کاربردهای صنعتی مختلف، از جمله سنتز آلی و استفاده به عنوان زیست کاتالیزگرها هستند. توانایی آنها در ترویج واکنش های کارآمد و انتخابی در حالی که اثرات زیست محیطی را به حداقل می رساند، آنها را به ابزاری امیدوارکننده برای آینده ای سبزتر و پایدارتر تبدیل می کند [۳].

۲- ساختار سلولز

سلولز، فراوان ترین ترکیب آلی روی زمین، یک هموپلیمر خطی متشکل از واحدهای D-گلوکز است که توسط پیوندهای گلیکوزیدی ($1 \rightarrow 4$) به هم متصل شده اند. این جزء ساختاری اولیه دیواره های سلولی گیاه است که استحکام بافت های گیاه را فراهم می کند. سلولز دارای طیف وسیعی از خواص منحصر به فرد است که آن را به ماده ای ارزشمند برای کاربردهای مختلف از جمله کاغذ، منسوجات و بسته بندی تبدیل کرده است [۴]. زنجیره های سلولزی به دو شکل متمایز کریستالی و آمورف وجود دارند. سلولز کریستالی بسیار منظم و محکم سازمان دهی شده است که منجر به استحکام کششی بالا و مقاومت در برابر تخریب می شود. از طرف دیگر سلولز آمورف سازمان دهی کمتری دارد و استحکام و پایداری کمتری دارد [۵]. آرایش زنجیره های سلولزی در داخل دیواره سلولی پیچیده و سلسله مراتبی است. تک تک مولکول های سلولز برای تشکیل میکروفیبریل ها تجمع می یابند که بیشتر در دسته هایی به نام میکروفیبریل ها سازمان دهی می شوند. این میکروفیبریل ها در ماتریکسی از همی سلولزها و لیگنین تعبیه شده اند و استحکام بیشتری را برای دیواره سلولی فراهم می کنند [۶]. وزن مولکولی سلولز بسته به منبع و روش های فرآوری بسیار متغیر است. درجه

تضمین می کند که محصول های مبتنی بر سلولز می توانند کمپوست یا تجزیه شوند و اثرات زیست محیطی آنها به حداقل برسد [۱۳]. سلولز را می توان از منابع مختلف گیاهی از جمله خمیر چوب، پنبه و بقایای کشاورزی تولید کرد. شیوه های جنگلداری پایدار و روش های برداشت کارآمد می تواند اثرات زیست محیطی تولید سلولز را به حداقل برساند [۱۵]. مواد مبتنی بر سلولز را می توان بازیافت و استفاده مجدد کرد که باعث کاهش بیشتر ردپای محیطی آنها می شود. سلولز بازیافتی را می توان برای تولید محصول های جدید، افزایش طول عمر مواد و کاهش تقاضا برای سلولز بکر استفاده کرد [۱۶]. ارزیابی های چرخه حیات برای مقایسه اثرات زیست محیطی مواد مبتنی بر سلولز با پلاستیک های سنتی مبتنی بر نفت انجام شده اند. این پژوهش ها به طور مداوم نشان داده اند که مواد مبتنی بر سلولز اثرات زیست محیطی کمتری با کاهش انتشار گازهای گلخانه ای، مصرف انرژی و مصرف آب دارند [۱۷]. همچنین کاتالیزگرهای سلولزی به دلیل کاربردهای بالقوه خود در اصلاح محیطی مورد توجه قرار گرفته اند. می توان از آنها برای تخریب آلاینده هایی مانند هیدروکربن ها، آفت کش ها و رنگ ها استفاده کرد که به کیفیت آب و هوای پاک کمک می کند. زیست تخریب پذیری کاتالیزگرهای مبتنی بر سلولز، سازگاری با محیط زیست آنها را بیشتر افزایش می دهد [۱۸].

۴- اصلاح و کاربردها

خواص منحصر به فرد سلولز را می توان با اصلاحات شیمیایی بیشتر تنظیم کرد که منجر به طیف گسترده ای از کاربردها می شود [۱۹]. مشتق سازی شیمیایی سلولز می تواند حلالیت، آبگریزی و واکنش پذیری آن را تغییر دهد و کاربردهای آن را در زمینه های مختلف از جمله داروسازی، آرایشی و بهداشتی و الکترونیک ممکن سازد [۲۰]. سلولز را می توان به الیاف یا نانوبلورهای با ابعاد نانو (نانوسلولز) تجزیه کرد و در نتیجه می توان خواص مانند استحکام، سفتی و زیست سازگاری را افزایش داد. نانوسلولز کاربردهای بالقوه ای در زیست پزشکی، مهندسی بافت و کامپوزیت ها دارد [۲۱]. همچنین، سلولز را می توان با مواد دیگر مانند پلاستیک یا فلزها ترکیب کرد تا کامپوزیت های زیستی با خواص بهبود یافته و کاهش اثرات زیست محیطی تشکیل دهد. کامپوزیت های زیستی می توانند جایگزین مواد سنتی در کاربردهای مختلف از جمله ساخت و ساز،

بسته بندی و قطعات خودرو شوند [۲۲]. البته خود سلولز، به عنوان یک پلیمر زیستی طبیعی، خواص قابل توجهی از جمله استحکام، دوام، زیست تخریب پذیری و زیست سازگاری را نشان می دهد. با این حال، خواص ذاتی آن، مانند نامحلول بودن در آب و واکنش پذیری محدود، تطبیق پذیری آن را در کاربردهای مختلف محدود می کند. برای رفع این محدودیت ها، سلولز می تواند دستخوش تغییرات مختلفی شود [۲۳]. مشتق سازی شیمیایی سلولز، شامل وارد کردن گروه های عاملی بر روی گروه های هیدروکسیل سلولز، تغییر خواص و سازگاری آن با مواد مختلف است. روش های رایج مشتق سازی شامل استری کردن، آمیناسیون و اتصال عرضی می باشد [۲۴]. برای مثال استرهای سلولز از واکنش سلولز با اسیدهای کربوکسیلیک یا انیدریدها تشکیل می شوند. استری شدن سلولز باعث کاهش بلورینگی و آب دوستی سلولز می شود و آن را در حلال های آلی حلال تر و آبگریزتر می کند. استرهای سلولزی در منسوج ها، فیلم ها و غشاها کاربرد دارند [۲۵]. از سوی دیگر، آمین های سلولزی از واکنش سلولز با آمونیاک یا آمین ها تهیه می شوند. آمیناسیون واکنش پذیری سلولز را افزایش می دهد و سازگاری آن را با سایر مواد افزایش می دهد. آمین های سلولزی در چسب ها، کامپوزیت ها و مواد دارویی کاربرد دارند [۲۶]. همچنین اتصال متقابل شامل ایجاد پیوندهای کووالانسی بین زنجیره های سلولزی باعث افزایش استحکام مکانیکی، پایداری حرارتی و مقاومت در برابر آب می شود. سلولز متقاطع در کاغذ، منسوج ها و فیلترها کاربرد دارد [۲۳].

نانوذرات فلزی تثبیت شده بر روی سلولز، فعالیت قابل توجهی در واکنش های هیدروژناسیون، از جمله کاهش ترکیب های کربونیل، نیتروآلکان ها و آلکن ها نشان داده اند. سطح بالای سلولز، تعداد زیادی مکان فعال برای جذب واکنش دهنده ها و مولکول های هیدروژن را فراهم می کند، در حالی که نانوذرات فلزی تثبیت شده، انتقال الکترون ها را تسهیل می کنند و فرآیند هیدروژناسیون را ارتقا می دهند [۳]. همچنین، نانوذرات فلزی تثبیت شده بر روی سلولز فعالیت قابل توجهی در واکنش های اکسیداسیون، مانند اپوکسیداسیون آلکن ها و هیدروکسیلاسیون ترکیب های معطر نشان داده اند. تثبیت نانوذرات فلزی روی سلولز، پایداری آنها را افزایش داده و از تجمع آنها جلوگیری می کند، در حالی که ماتریس سلولز یک لایه محافظ در برابر اکسیداسیون ایجاد می کند [۲۷].

درختانی مانند صنوبر، کاج و توس به دست می‌آید و برای حذف لیگنین و همی سلولزها فرآوری می‌شود و الیاف سلولزی خالص باقی می‌ماند [۳۲].

الیاف پنبه از سلولز تقریباً خالص تشکیل شده است، که آنها را به منبع ارزشمندی برای منسوجات و سایر کاربردهایی که نیاز به سلولز با خلوص بالا دارند تبدیل می‌کند. پنبه یک الیاف نرم، قوی و جاذب است که به طور گسترده در لباس، ملحفه و محصولات های مراقبت شخصی استفاده می‌شود [۳۳].

کتان و کنف الیافی هستند که به ترتیب از ساقه گیاهان کتان و کنف به دست می‌آیند. آنها حاوی سطوح بالایی از سلولز هستند و به دلیل دوام و استحکام خود شناخته می‌شوند و آنها را برای منسوجات، طناب و سایر کاربردها مناسب می‌کند [۳۴].

جوت، کناف و رامی الیافی از گونه‌های گیاهی دیگر هستند. آنها از نظر محتوای سلولز و خواص مشابه کتان و کنف هستند و در کاربردهای مشابه استفاده می‌شوند [۳۵].

۵-۲- منابع میکروبی

منابع میکروبی تهیه سلولز شامل سلولز باکتریایی، سلولز جلبکی و تونیکات سلولز است.

سلولز باکتریایی که به نام نانوفیبریل‌های سلولزی یا نانوسلولز باکتریایی نیز شناخته می‌شود، توسط باکتری‌هایی مانند گلوکوناستوباکتر زایلینوس تولید می‌شود. این ماده با مقاومت بالا، شفاف و انعطاف‌پذیر با کاربردهای بالقوه در زیست پزشکی، مهندسی بافت و کامپوزیت‌ها است [۳۶].

جلبک‌ها مانند جلبک سبز منبع امیدبخش سلولز برای تولید سوخت زیستی و سایر کاربردها هستند. سلولز جلبکی نسبت به سلولز گیاهی تبلور کمتر و درجه پلیمریزاسیون بالاتری دارد که آن را به هیدرولیز آنزیمی حساس‌تر می‌کند و به طور بالقوه برای تولید سوخت زیستی مناسب‌تر است [۳۷].

تونیکات‌ها، نوعی از بی‌مهرگان دریایی هستند که سلولز را به عنوان یک جزء ساختاری تونیک‌های خود تولید می‌کنند. سلولز تونیکیت بسیار کریستالی است و دارای خواص مکانیکی عالی است که آن را به یک ماده زیستی بالقوه برای مهندسی بافت و سایر کاربردها

علاوه بر این، نانوذرات فلزی تثبیت شده بر روی سلولز در واکنش‌های پلیمریزاسیون مانند پلیمریزاسیون آلکن‌ها، استایرن و اپوکسیدها استفاده شده‌اند. تکیه‌گاه سلولزی محیطی ناهمگن را برای پلیمریزاسیون فراهم می‌کند، از درهم‌تنیدگی زنجیره جلوگیری می‌کند و باعث تشکیل پلیمرهای کاملاً مشخص می‌شود [۲۸].

در سال‌های اخیر، از بین روش‌های اشاره شده، تهیه نانوفیبریل‌اسیون و کامپوزیت‌های زیستی تهیه شده از سلولز توجه ویژه‌ای را به خود جلب کرده‌اند. نانوفیبریل‌اسیون سلولز شامل تجزیه الیاف سلولز به الیاف یا نانوبلورهای با اندازه نانو است. نانوسلولز در مقایسه با سلولز اولیه خواص مکانیکی افزایش یافته‌ای مانند استحکام، سفتی و چقرمگی از خود نشان می‌دهد و کاربردهای بالقوه‌ای در زیست پزشکی، مهندسی بافت، کامپوزیت‌ها و دستگاه‌های ذخیره انرژی دارد [۲۹]. کامپوزیت‌های زیستی موادی هستند که از الیاف سلولز یا نانوبلورهای پراکنده در ماتریس مواد دیگری مانند پلیمرها یا فلزات تشکیل شده‌اند. کامپوزیت‌های زیستی خواص سلولز و مواد ماتریکس را ترکیب می‌کنند و عملکرد و پایداری بهتری را در مقایسه با مواد سنتی ارائه می‌دهند. این کامپوزیت‌ها در ساخت و ساز، بسته‌بندی، قطعات خودرو و الکترونیک کاربرد دارند [۳۰].

۵- منابع سلولز

سلولز، فراوان‌ترین ترکیب آلی روی زمین، در طیف گسترده‌ای از منابع گیاهی و میکروبی یافت می‌شود. این منابع از نظر محتوای سلولز، خلوص و خواص متفاوت هستند که بر مناسب بودن آنها برای کاربردهای مختلف تأثیر می‌گذارد. دو منبع اصلی سلولز را می‌توان به منابع گیاهی و میکروبی تقسیم بندی کرد که در ادامه توضیحات مختصری در این مورد آورده شده است [۳۱].

۵-۱- منابع گیاهی

از جمله منابع گیاهی سلولز می‌توان به خمیر چوب، پنبه، کتان و کنف و جوت، کناف و رامی اشاره کرد.

خمیر چوب منبع اولیه سلولز برای کاربردهای صنعتی است که بیش از ۹۰ درصد از تولید سلولز جهانی را تشکیل می‌دهد. سلولز از چوب

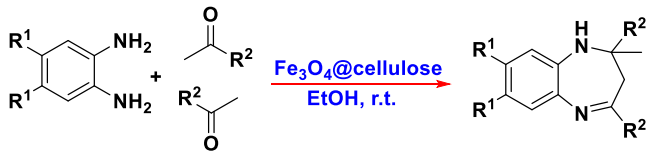
تبدیل می کند [۳۸].

۶- مروری بر کاربردهای کاتالیزگری سلولز در سال های اخیر

در سال ۲۰۱۱ صفری و همکارانش، کاتالیزگر کارآمد، غیر سمی و زیست تخریب پذیر سلولز سولفوریک اسید را تهیه کردند و فعالیت کاتالیزگری این کاتالیزگر را در سنتز ۱،۴-دی هیدروپیریدین های جایگزین نشده C5 از طریق واکنش سه جزئی اتیل استواسات، مشتق های چالکون و استات آمونیوم در محیط آبی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد به طور کلی در حضور سلولز سولفوریک اسید طیف وسیعی از چالکون ها می توانند با اتیل استواسات و استات آمونیوم به آرامی واکنش دهند و محصول هایی با بازده خوب تا عالی به دست آورند. همچنین قابل توجه است که خاصیت الکترونی حلقه آروماتیک چالکون ها بر روی سرعت فرآیند تراکم تأثیر می گذارد. به طور کلی، زمان واکنش کوتاه تری برای گروه های الکترون کشنده روی حلقه های آروماتیک مورد نیاز بود. در حالی که گروه های الکترون دهنده می توانند محصول مربوطه را با بازده تقریباً به همان اندازه رضایت بخش با زمان کمی طولانی تر تهیه کنند (شکل ۱) [۳۹].

در سال ۲۰۱۴ ملکی و همکارانش، یک نانوکامپوزیت مبتنی بر سلولز با نانوذرات Fe_3O_4 را تهیه و فعالیت کاتالیزگری آن را در

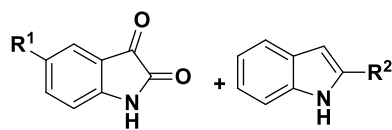
واکنش تراکمی بین ارتوفنیلن دی آمین و کتون ها برای تهیه ی بنزودیازپین ها با بازده خوب تا عالی تحت شرایط واکنش ملایم گزارش کردند (شکل ۲) [۴۰].



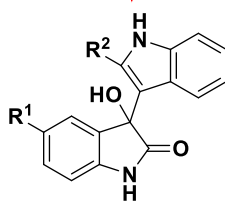
شکل ۲. سنتز ۵،۱-بنزودیازپین ها در حضور نانوکامپوزیت $Fe_3O_4@cellulose$ [۴۰].

در سال ۲۰۱۴ رادمقدم و همکارانش، $cm-chitosan@Fe_3O_4$ را به عنوان یک کامپوزیت پلیمری زیستی کارآمد برای کاتالیز واکنش فریدل کرافت بین ایزاتین ها و ایندول ها معرفی کردند که منجر به سنتز انتخابی ۳-هیدروکسی-۳-ایندولیندولین-۲-ون شد. به طور خلاصه، سلولز و کیتوسان به عنوان کاتالیزگرهای ملایم برای ایندولیلایسیون ایزاتین ها در محیط خنثی محلول متانول-آب یافت شدند. با کمال تعجب، واکنش در مرحله اول متوقف می شود تا به طور انتخابی ۳-ایندولیل-۳-هیدروکسی-۲-اکسیندول تولید شود. نتایج بهتر از نظر زمان واکنش و بازده با پیوند کربوکسی متیل سلولز یا کربوکسی متیل کیتوسان به نانوذرات مگنتیت به دست آمد (شکل ۳) [۴۱].

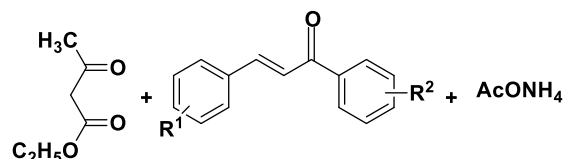
در سال ۲۰۱۵ شعبانی و همکارانش، یک رویکرد بسیار کارآمد برای سنتز ۳-آمینوایمیداز [۱-۲-a] پیریدین ها از طریق تراکم سه جزئی مشتق های آلدهید، ۲-آمینو پیریدین و ایزوسیانیید با استفاده



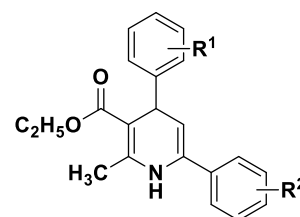
$cm-chitosan@Fe_3O_4$
60°C, H₂O: MeOH



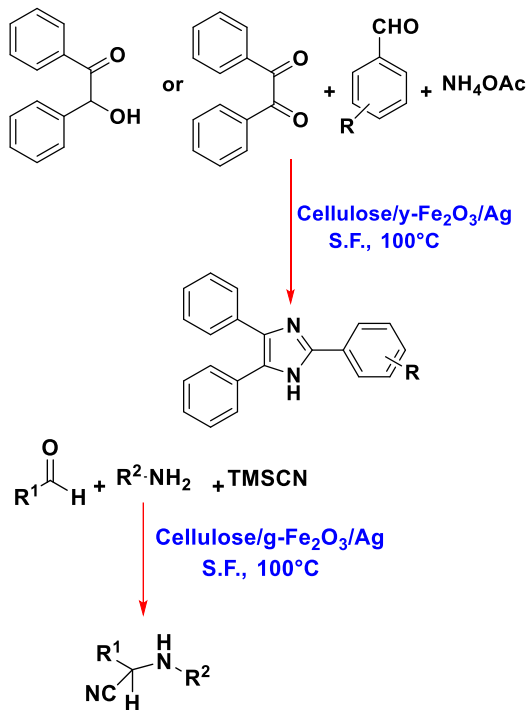
شکل ۳. واکنش فریدل کرافت بین ایزاتین ها و ایندول ها در حضور کاتالیزگر $cm-chitosan@Fe_3O_4$ [۴۱].



Cellulose sulfuric acid
Water
Reflux

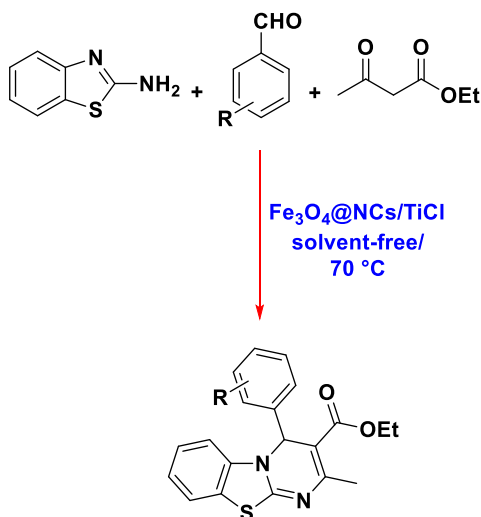


شکل ۱. سنتز ۱،۴-دی هیدروپیریدین های جایگزین نشده C5 در حضور سلولز سولفوریک اسید [۳۹].



شکل ۵. سنتز ایمیدازول های سه استخلافی و الفا-آمینونیتریل ها در حضور کاتالیزگر Cellulose/g-Fe₂O₃/Ag [۴۳].

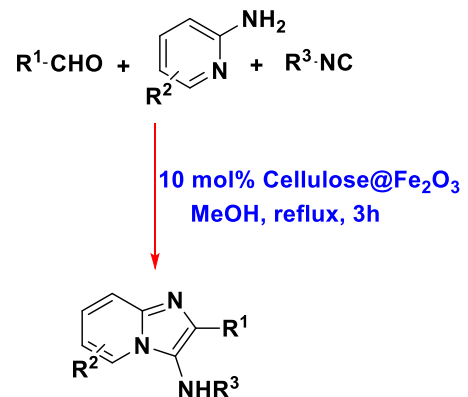
۴- پیریمیدو [b-۲,۱] بنزوتیازول از طریق واکنش سه جزئی یک گلدانی آلدئیدها، اتیل استواسات و ۲-آمینو بنزوتیازول در شرایط بدون حلال در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد مورد بررسی قرار دادند (شکل ۶) [۴۴].



شکل ۶. سنتز مشتق های ۴H- پیریمیدو [b-۲,۱] بنزوتیازول در حضور کاتالیزگر - Fe₃O₄@nano-cellulose/TiCl [۴۴].

در سال ۲۰۱۷ صباغیان و همکارانش، سیستم کاتالیزگری بسیار کارآمد و قابل بازیابی مغناطیسی پالادیم استات تثبیت شده بر روی سلولز عامل دار شده با آمیدوکسیم را گزارش کردند (شکل ۷) [۴۵].

از کاتالیزگر اکسید آهن مغناطیسی بر پایه سلولز، در حلال متانول در شرایط بازروانی گزارش کردند (شکل ۴) [۴۲].

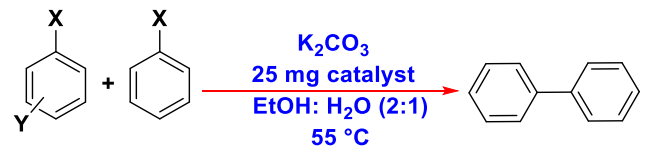


شکل ۴. سنتز ۳-آمینوایمیداز [a-۲-۱] پیریدین ها در حضور کاتالیزگر Cellulose@Fe₂O₃ [۴۲].

در سال ۲۰۱۶ ملکی و همکارانش، کاتالیزگر نانوکامپوزیت cellulose/g-Fe₂O₃/Ag را برای سنتز مشتق های الفا-آمینونیتریل ها و سنتز ایمیدازول های سه استخلافی با استفاده از پیش سازهای ساده و در دسترس شامل بنزوئین یا بنزیل، بنزالدئید و آمونیوم استات گزارش کردند. خواص مغناطیسی قابل توجه نانوکامپوزیت باعث جداسازی آسان کاتالیزگر از مخلوط واکنش بدون از دست دادن فعالیت قابل توجه کاتالیزگر می شود. علاوه بر این، خواص ضدباکتریایی نانوکامپوزیت مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور استافیلوکوکوس اورئوس به عنوان نماینده باکتری های گرم مثبت و اشیریشیا کلی به عنوان نماینده باکتری های گرم منفی مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمایش های ضد باکتریایی نانوکامپوزیت فعالیت ضد میکروبی قوی علیه استافیلوکوکوس اورئوس (باکتری های گرم مثبت) و توانایی آن در کشتن باکتری ها در مدت زمان کوتاه را نشان داد. این نشان می دهد که نانوکامپوزیت کاربرد بالقوه ای در حوزه های پزشکی و مراقبت های بهداشتی دارد (شکل ۵) [۴۳].

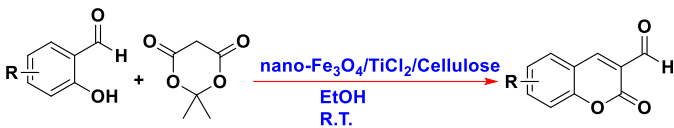
در سال ۲۰۱۶ میرجیلی و همکارانش، نانوذرات هسته-پوسته مغناطیسی، Fe₃O₄@nano-cellulose، را به سادگی از رسوب همزمان یون های Fe³⁺ و Fe²⁺ از طریق آمونیوم هیدروکسید در محلول آبی تهیه کردند. سپس Fe₃O₄@nanocellulose را با تیتانیوم تتراکلرید اصلاح کردند که منجر به تشکیل Fe₃O₄@nano-cellulose/TiCl به عنوان یک کاتالیزگر جدید قابل بازیافت می شود و فعالیت این کاتالیزگر در سنتز مشتق های H

سنتز مشتق های ۴H- پیریمیدو [b-۲,۱] بنزوتیازول از طریق واکنش سه جزئی یک ظرفی آلدئیدها، اتیل استواسات و ۲-آمینو بنزوتیازول در شرایط بدون حلال در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد مورد بررسی قرار دادند (شکل ۱۰) [۴۸].

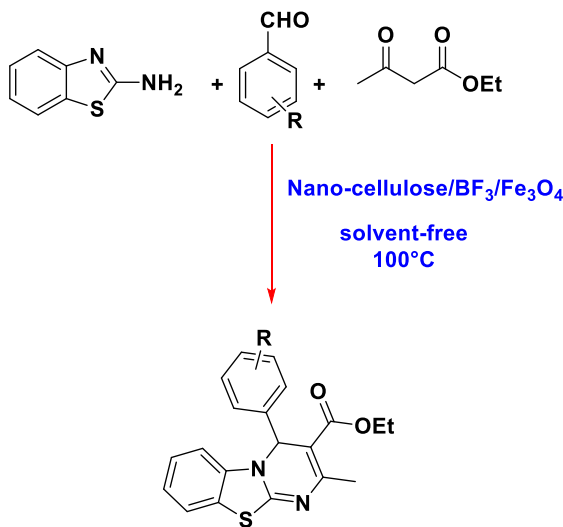


شکل ۷. سنتز مشتق های بی فنیل در حضور کاتالیزگر نانو $Fe_3O_4@AOFC/Pd(II)$ [۴۵].

در سال ۲۰۱۷ میرجلیلی و همکارانش، نانوکاتالیزگر جدید $Fe_3O_4/TiCl_2/cellulose$ را به عنوان یک نانوکاتالیزگر جدید مغناطیسی قابل بازیافت، سازگار با محیط زیست، ارزان و کارآمد سنتز کردند. به عنوان اولین گزارش، فعالیت کاتالیزگری نانو $Fe_3O_4/TiCl_2/cellulose$ در سنتز مشتق های ۳,۲-دی هیدروکینازولین-۴(۱H)- اون از طریق واکنش دو جزئی آلدئیدها و ۲-آمینوبنزآمید با بازدهی خوب تا عالی در شرایط ملایم مورد بررسی قرار دادند. ماهیت مغناطیسی کاتالیزگر امکان بازیابی آسان آن را با جداسازی ساده توسط یک آهنربای خارجی، شستشو با اتانول و خشک کردن در دمای اتاق فراهم می کند تا فرصتی برای آزمایش های بازیابی فراهم شود. نانو کاتالیزگر جدا شده در واکنش فوق الذکر برای هفت بار بدون از دست دادن قابل توجه فعالیت کاتالیزگری مجدداً مورد استفاده قرار گرفت. از دست دادن نسبی فعالیت کاتالیزگری ممکن است به دلیل انسداد مکان های فعال کاتالیزگر و/یا شستشوی جزئی تیتانیوم از کاتالیزگر باشد (شکل ۸) [۴۶].



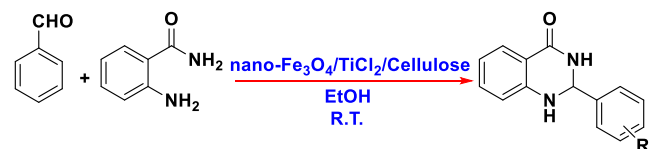
شکل ۹. برای سنتز ۳-کربوکسی کومارین ها در حضور کاتالیزگر $Cellulose/Fe_2O_3/Ag$ [۴۷].



شکل ۱۰. سنتز مشتق های ۴H- پیریمیدو [b-۲,۱] بنزوتیازول در حضور کاتالیزگر نانو $cellulose/BF_3/Fe_3O_4$ [۴۸].

در سال ۲۰۱۹ ملکی و همکارانش، یک نانوکامپوزیت مغناطیسی جدید مبتنی بر پلیمرهای زیستی سلولز را تهیه کردند. سپس فعالیت آن را به عنوان یک کاتالیزگر کارآمد ناهمگن در دو واکنش تراکم آلی یک ظرفی سه و چهار جزئی برای سنتز مشتق های ۴,۱-دی- هیدروپیریدین ها و پلی هیدروکینولین ها با بازده بالا در شرایط بدون حلال در دمای اتاق گزارش کردند (شکل ۱۱) [۴۹].

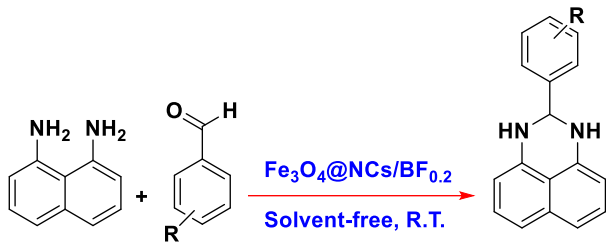
در سال ۲۰۱۹ بامنیری و همکارانش، $Fe_3O_4@nano-cellulose/Cu(II)$ را به عنوان یک نانوکاتالیزگر جدید مغناطیسی قابل بازیافت، سازگار با محیط زیست، ارزان و کارآمد تهیه کردند و فعالیت کاتالیزگر تهیه شده را در سنتز مشتق های ۴H- پیریمیدو [b-۲,۱] بنزوتیازول از طریق واکنش سه جزئی یک ظرفی آلدئیدها، اتیل استواسات و ۲-آمینو بنزوتیازول در شرایط بدون حلال در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد مورد بررسی قرار دادند (شکل ۱۲) [۵۰].



شکل ۸. سنتز مشتق های ۳,۲-دی هیدروکینازولین-۴(۱H)- اون از طریق واکنش دو جزئی آلدئیدها و ۲-آمینوبنزآمید در حضور کاتالیزگر نانو $Fe_3O_4/TiCl_2/cellulose$ [۴۶].

در سال ۲۰۱۸ ملکی و همکارانش، یک رویکرد کارآمد برای سنتز ۳-کربوکسی کومارین ها از طریق واکنش تراکم نوناگل بین اسید ملدروم و سالیسیل آلدئیدها، استخلاف دار در حضور کاتالیزگر $Cellulose/Fe_2O_3/Ag$ در حلال اتانول در دمای اتاق گزارش کردند (شکل ۹) [۴۷].

در سال ۲۰۱۸ میرجلیلی و همکارانش، نانو کاتالیزگر مغناطیسی $cellulose/BF_3/Fe_3O_4$ را سنتز کردند و فعالیت این کاتالیزگر



شکل ۱۳. سنتز مشتق های ۳،۲-دی هیدرو-۱-پیریمیدین ها در حضور کاتالیزگر $[\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{NCs}/\text{BF}_{0.2}]$.

پالادیم استفاده شد. گروه های هیدروکسیل الیاف سلولزی به سولفات تبدیل می شوند، بنابراین می توان آنها را به عنوان مکان های برای پیوند شیمیایی پالادیم با بستر در نظر گرفت. تثبیت پالادیم روی بسترهای نامحلول می تواند کاتالیزگرهای قابل بازیافتی را فراهم کند که فرآیند جداسازی کاتالیزگر را ساده کرده و سطح ناهمگن موثر کاتالیزگر را افزایش می دهد (شکل ۱۴) [۵۲].



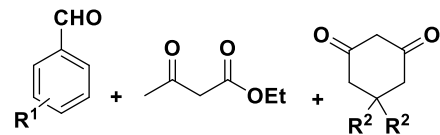
شکل ۱۴. سنتز مشتق های بی آریل در حضور کاتالیزگر $[\text{Pd}@CS \text{ NPs}]$.

در سال ۲۰۲۱ میرجیلی و همکارانش، نانوکاتالیزگر مغناطیسی $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{NCs}/\text{Cu}(\text{II})$ را با افزودن CuCl_2 به $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{NCs}$ در محیط قلیایی سنتز کردند. سپس، فعالیت این کاتالیزگر را در تهیه ی ایندنیوپیریدو [۲،۳-d] پیریمیدین ها از طریق واکنش سه-جزئی ۶-آمینو-۲-(متیل تیو)پیریمیدین-۴(۳H)-اون، ۱-اون، ۳-ایندانیون/دیمدون و آلدئیدهای آروماتیک در حلال اتانول در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد مورد بررسی قرار دادند (شکل ۱۵) [۵۳].

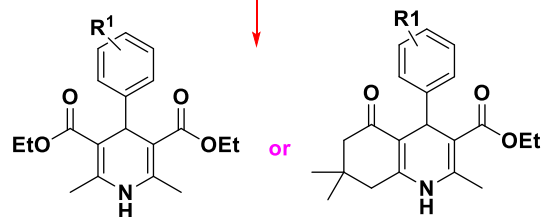
در سال ۲۰۲۱ میرجیلی و همکارانش، نانوکاتالیزگر سبز، $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiCl}_2/\text{cellulose}$ را به عنوان یک نانوکاتالیزگر سبز، زیست تخریب پذیر و قابل بازیابی برای تهیه ی مشتق های [۳۱] اکسازین در دمای اتاق استفاده کردند (شکل ۱۶) [۵۴].

در سال ۲۰۲۲ نعیمی و همکارانش، کاتالیزگر مغناطیسی و ناهمگن پلاتین را بر پایه الیاف سلولزی طراحی و سنتز کردند و از این کاتالیزگر برای سنتز مشتق های بیس کومارین از طریق واکنش آلدئیدهای آروماتیک با ۴ هیدروکسی کومارین در حلال اتانول و شرایط بازروانی استفاده کردند (شکل ۱۷) [۵۵].

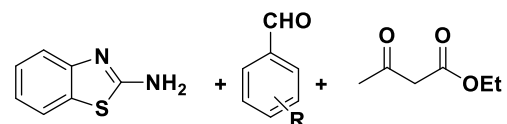
در سال ۲۰۲۲ میرجیلی و همکارانش، نانوکاتالیزگر مغناطیسی



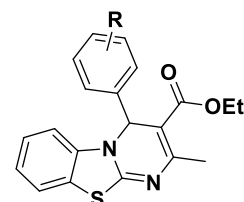
$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{Cu}@cellulose$
solvent-free, r.t.



شکل ۱۱. سنتز دی هیدروپیریمیدین ها و پلی هیدروکینولین ها در حضور کاتالیزگر $[\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Cu}@cellulose]$.



$\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{nano-cellulose}/\text{Cu}(\text{II})$
solvent-free
80°C

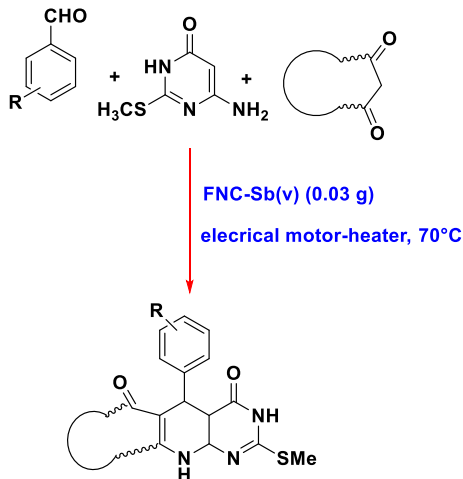


شکل ۱۲. سنتز مشتق های ۴H-پیریمیدو [b-۲،۱] بنزوتیازول در حضور $[\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{nano-cellulose}/\text{Cu}(\text{II})]$.

در سال ۲۰۱۹ میرجیلی و همکارانش، کاتالیزگر $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{NCs}/\text{BF}_{0.2}$ را برای سنتز مشتق های ۳،۲-دی هیدرو-۱-پیریمیدین ها از طریق واکنش ۸،۱-دی آمینونفتالن با آلدئیدهای مختلف در دمای اتاق تحت شرایط بدون حلال مورد بررسی قرار دادند (شکل ۱۳) [۵۱].

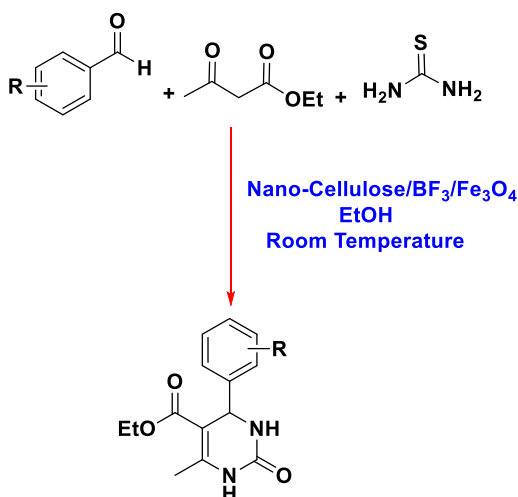
در سال ۲۰۲۱ نعیمی و همکارانش، یک سیستم کاتالیزگری جدید و کارآمد را برای واکنش جفت متقابل سوزوکی-میاورا معرفی کردند، که در این سیستم کاتالیزگری سولفات سلولز با نقش دوگانه به عنوان عامل کاهنده و تثبیت کننده در سنتز زیستی نانوکاتالیزگر

از طریق واکنش سه جزئی ۶-آمینو-۲-(متیل تیو)پیریمیدین-۴(۳H)-اون، ۱،۳-اینداندیون/دیمدون، و آلدهیدهای آروماتیک در شرایط بدون حلال در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد استفاده کردند(شکل ۱۸)[۵۶].



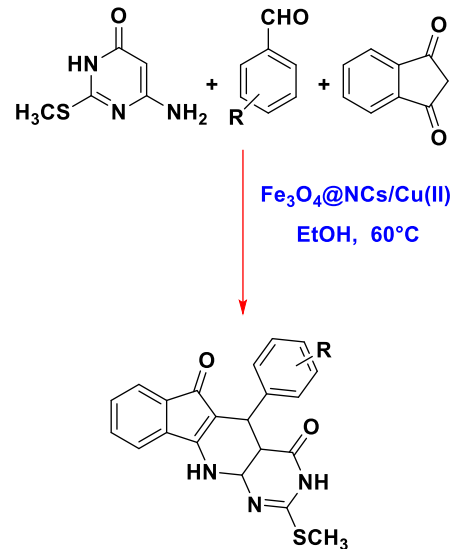
شکل ۱۸. تهیه مشتق های پیریمیدو [b-۵,۴]کینولون ها و ایندوپیریدو [d-۳,۲] پیریمیدین ها در حضور کاتالیزگر مغناطیسی [۵۶]Fe₃O₄@nano-cellulose/Sb(V).

در سال ۲۰۲۲ با منیری و همکارانش، cellulose/BF₃/Fe₃O₄ را به عنوان کاتالیزگر اسید لوئیس سنتز کردند. سپس یک روش سنتزی کارآمد را برای سنتز ۳،۴-دی هیدروپیریمیدین-۲(H۱)-اون ها با استفاده از واکنش سه ظرفی بین آلدهید آروماتیک، اتیل استواسات و اوره در حلال اتانول و دمای محیط در حضور کاتالیزگر مربوطه گزارش کردند(شکل ۱۹)[۵۷].

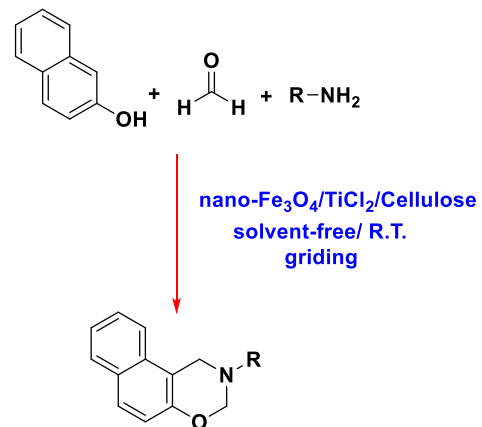


شکل ۱۹. سنتز ۳،۴-دی هیدروپیریمیدین-۲(H۱)-اون ها در حضور کاتالیزگر نانو [۵۷]cellulose/BF₃/Fe₃O₄.

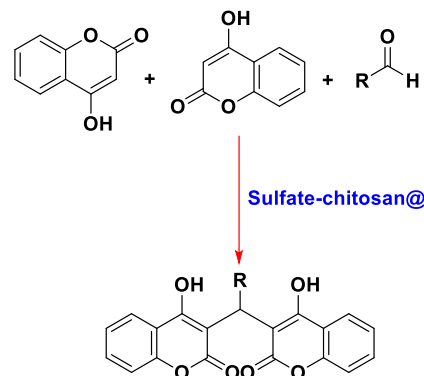
پروتکل های اشاره شده شامل مزایای مهمی مانند شرایط واکنش ملایم، بازده عالی، کار آسان، خلوص بالا محصول ها، مدت زمان



شکل ۱۵. تهیه ایندوپیریدو [d-۳,۲] پیریمیدین ها در حضور کاتالیزگر [۵۳]Fe₃O₄@NCs/Cu(II).



شکل ۱۶. سنتز مشتق های [۳و۱]اکسازین در حضور کاتالیزگر نانو [۵۴]Fe₃O₄/TiCl₂/cellulose.



شکل ۱۷. سنتز مشتق های بیس کومارین در حضور کاتالیزگر Sulfate-chitosan@Pt [۵۵].

Fe₃O₄@nano-cellulose/Sb(V) را در تهیه مشتق های پیریمیدو [b-۵,۴]کینولون ها و ایندوپیریدو [d-۳,۲] پیریمیدین ها

1. R.S. Riseh, M.G. Vazvani, M. Hassanisaadi, V.K.T hakur, *Ind Crops Prod* 208, 117904 (2024)
2. S. Li, G. He, J. Huang, *Curr Opin Colloid Interface* 63, 101655 (2023)
3. A. Prekob, V. Hajdu, G. Muránszky, B. Fiser, A. Sycheva, T. Ferenczi, L. Vanyorek, *Mater. Today Chem* 17, 100337 (2020)
4. N. Chokesawatnakit, S. Thammasang, S. Phanthanawiboon, J.T. Knijnenburg, S. Theerakulpisut, K. Kamwilaisak, *Int. J. Biol. Macromol* 256, 128321 (2024)
5. T.I. Gromovykh, M.A. Pigaleva, M.O. Gallyamov, I.P. Ivanenko, K. E. Ozerova, E.P. Kharitonova, O.I. Kiselyova, *Carbohydr. Polym* 237, 116140 (2020)
6. J. Liu, H. Sixta, Y. Ogawa, M. Hummel, M. Sztucki, Y. Nishiyama, M. Burghammer, *Carbohydr. Polym* 324, 121512 (2024)
7. J. Malešič, I. Kraševc, I. Kralj Cigić, *Polym* 13, 1990 (2021)
8. A. Yamakawa, S. Suzuki, T. Oku, K. Enomoto, M. Ikeda, J. Rodrigue, S. Kitamura, *Carbohydr. Polym* 171, 129-135 (2017)
9. P.L. Hurtado, A. Rouilly, V. Vandebossche, C. Raynaud, *Build Environ* 96, 170-177 (2016)
10. P.L. Nasatto, F. Pignon, J.L. Silveira, M. E.R. Duarte, M.D. Nosedá, M. Rinaudo, *Polym* 7, 777-803 (2015)
11. L. Pan, J. Du, Q. Yin, Y. Tao, P. Li, *Int. J. Biol. Macromol* 257, 128552 (2024)
12. R. Blažic, K. Marušić, E. Vidović, *Gels* 9, 94 (2023)

کوتاه انجام واکنش، سازگاری با محیط زیست و قابلیت استفاده مجدد است.

۷- نتیجه گیری

با توجه به مشکلات کنونی مانند گرم شدن کره زمین، قیمت بالای نفت، بحران مواد غذایی، قوانین سختگیرانه زیست محیطی و سایر سناریوهای ژئوپلیتیکی پیرامون استفاده از مواد اولیه فسیلی و منابع خوراکی، تبدیل کارآمد سلولز، به انرژی، سوخت و مواد شیمیایی مورد توجه زیادی قرار گرفته است. تهیه مواد قابل استفاده مجدد و سازگار با محیط زیست از منابع زیست توده تجدیدپذیر مانند سلولز یک انتخاب اجتناب ناپذیر برای توسعه پایدار است. آنها می توانند جایگزین پلیمرهای سنتزی شوند و وابستگی جهانی به منابع سوخت فسیلی را کاهش دهند. فراوان ترین پلیمرهای تجدیدپذیر زیستی روی زمین بدون شک پلی ساکاریدهایی مانند سلولز و کیتوسان هستند. در سال های اخیر، مشتق های سلولز و سایر پلیمرهای زیستی به عنوان پشتیبان های بالقوه کارآمد، ارزان، تجدیدپذیر و زیست تخریب پذیر برای کاتالیز مورد مطالعه قرار گرفته اند. مفهوم شیمی سبز نقش بسزایی در برآوردن وظایف علمی اساسی حفاظت از محیط زیست دارد. در شیمی آلی، توسعه مسیرهای کارآمد و سبز برای سنتز کاتالیزگرهای زیست تخریب پذیر به عنوان کاتالیزگرهای سبز حیاتی شده است. از دو دهه پیش، سلولز به عنوان یک پلیمر زیستی طبیعی مبتنی بر پلی ساکارید، توجه بسیاری از شیمیدانان آلی را به خود جلب کرده است. این کاتالیزگرها دارای پتانسیل بسیار زیادی برای کاربردهای صنعتی مختلف، از جمله سنتز آلی، زیست کاتالیزگر و اصلاح محیطی هستند. توانایی آنها در ترویج واکنش های کارآمد و انتخابی در حالی که اثرات زیست محیطی را به حداقل می رساند و آنها را به ابزاری امیدوارکننده برای آینده ای سبزتر و پایدارتر تبدیل می کند. کاتالیزگرهای مبتنی بر سلولز فعالیت قابل توجهی را در طیف گسترده ای از واکنش ها از جمله هیدروژناسیون، اکسیداسیون و پلیمریزاسیون نشان داده اند. بنابراین تطبیق پذیری، پایداری و ویژگی های قابل تنظیم سلولز آن را به یک کاتالیزگر ضروری برای آینده ای سبزتر تبدیل کرده است.

مراجع

26. K. Jedvert, T. Heinze, J. Polym. Eng 37, 845-860 (2017)
27. A. Shrotri, H. Kobayashi, A. Fukuoka, ChemCatChem 8, 1059-1064 (2016)
28. T. Aziz, A. Ullah, H. Fan, R. Ullah, F. Haq, F.U. Khan, J. Wei, J Polym Environ 29, 2062-2071(2021)
29. K. Missoum, M.N. Belgacem, J. Bras, Mater 6, 1745-1766 (2013)
30. J. Mantovan, G.A.G. Giraldo, B.M. Marim, P.S. Garcia, A.M. Baron, S. Mali, Biomass Convers. Biorefin 1-12 (2021)
31. W. Zheng, L. Fan, Z. Meng, J. Zhou, D. Ye, W. Xu, J. Xu, Carbohydr. Polym 324, 121502 (2024)
32. D. Trache, M.H. Hussin, M.M. Haafiz, V.K. Thakur, Nanoscale 9, 1763-1786 (2017)
33. D.K.P.K. Lavanya, P.K. Kulkarni, M. Dixit, P.K. Raavi, L.N.V. Krishna, Int. J. Drug Dev. Res 2, 19-38 (2011)
34. J. Gong, J. Li, J. Xu, Z. Xiang, L. Mo, RSC adv 7, 33486-33493 (2017)
35. T. Heinze, O.A. El Seoud, A. Koschella, Cellulose derivatives: Synthesis, structure, and properties, (Springer, 2018)
36. E.R. Keijsers, G. Yılmaz, J.E. Carbohydr van Dam, Polym 93, 9-21 (2013)
37. M.A. Mohamed, W.N.W. Salleh, J. Jaafar, A.F. Ismail, M.Abd. Mutalib, S.M. Jamil, J. Appl. Polym. Sci 132, (2015)
38. H.M. Ng, L.T. Sin, T.T. Tee, S.T. Bee, D. Hui, C.Y. Low, A.R. Rahmat, Compos. B. Eng. 75, 176-200 (2015)
13. J. Mantovan, G.A.G. Giraldo, B.M. Marim, P.S. Garcia, A.M. Baron, S. Mali, Biomass Convers. Biorefin 1-12 (2021)
14. M.M. Pérez-Madrigal, M.G. Edo, C. Alemán, Green Chem 18, 5930-5956 (2016)
15. D. Zhao, Y. Zhu, W. Cheng, W. Chen, Y. Wu, H. Yu, Adv Mater 33, 2000619 (2021)
16. J. Wei, G. Zhang, J. Dong, H. Wang, Y. Guo, X. Zhuo, Y. Li, ACS Sustain. Chem. Eng 6, 11335-11344 (2018)
17. L.O. Mota, I.F. Gimenez, Rev. Virtual Quím 60, 2525-2542 (2022)
18. A. Shrotri, H. Kobayashi, A. Fukuoka, Acc. Chem. Res 51, 761-768 (2018)
19. L.E. Silva, Dos A.D.A. Santos, L. Torres, Z. McCaffrey, A. Klamczynski, G. Glenn, G.H.D. Tonoli, Carbohydr. Polym 252, 117165 (2021)
20. J. Zhang, Q.I. Yingping, S.H.E.N Yongfeng, L.I. Hua, Mater. Sci 28, 60-67 (2022)
21. Y. Li, J. Guo, M. Li, Y. Tang, V. Murugadoss, I. Seok, Y. Luo, ES food & agroforestry 4, 9-27 (2021)
22. R. Yekta, R. Abedi-Firoozjah, S. Azimi Salim, A. Khezerlou, K. Abdolmaleki, Cellul 30, 9925-9953 (2023)
23. T. Aziz, A. Farid, F. Haq, M. Kiran, A. Ullah, K. Zhang, R. Ullah, Polym 14, 3206 (2022)
24. S. Eyley, W. Thielemans, Nanoscale 6, 7764-7779 (2014)
25. S. Hokkanen, A. Bhatnagar, M. Sillanpää, Water Res 91, 156-173 (2016)

54. S. Azad, B.B.F. Mirjalili, A. Bamoniri, J. Org. Chem. Res 7, 23-31 (2021)
55. M. Jokar, H. Naeimi, G. Nabi Bidhendi, Polycycl. Aromat. Compd 42, 4994-5005 (2022)
56. S.S. Hoseinikhah, B.F. Mirjalili, N. Salehi, A. Bamoniri, Sci. Iran 29, 1301-1307 (2022)
57. M.A.M. Tabaei, A. Bamoniri, B.B.F. Mirjalili, J. Iran. Chem. Soc 19, 2679-2691 (2022)
39. J. Safari, S.H. Banitaba, S.D. Khalili, J Mol Catal A Chem 335, 46-50 (2011)
40. A. Maleki, M. Kamalzare, Catal. Commun 53, 67-71 (2014)
41. K. Rad-Moghadam, N. Dehghan, J Mol Catal A Chem 392, 97-104 (2014)
42. A. Shaabani, H. Nosrati, M. Seyyedhamzeh, Res. Chem. Intermed 41, 3719-3727 (2015)
43. A. Maleki, H. Movahed, R. Paydar, RSC adv 6, 13657-13665 (2016)
44. S. Azad, B.B.F. Mirjalili, RSC adv 6, 96928-96934 (2016)
45. S. Sabaqian, F. Nemat, H.T. Nahzomi, M.M. Heravi, Carbohydr. Polym 177, 165-177 (2017)
46. B.B.F. Mirjalili, A. Bamoniri, S. Azad, J. Iran. Chem. Soc 14, 47-55 (2017)
47. A. Maleki, P. Ravaghi, H. Movahed, Nanomicro Lett 13, 591-594 (2018)
48. B.B.F. Mirjalili, F. Aref, Res. Chem. Intermed 44, 4519-4531 (2018)
49. A. Maleki, V. Eskandarpour, J. Rahimi, N. Hamidi, Carbohydr. Polym 208, 251-260 (2019)
50. N. Safajoo, B.B.F. Mirjalili, A. Bamoniri, RSC adv 9, 1278-1283 (2019)
51. B.B.F. Mirjalili, M. Imani, J. Chin. Chem. Soc 66, 1542-1549 (2019)
52. M. Jokar, H. Naeimi, G. Nabi Bidhendi, Appl. Organomet. Chem 35, 6266 (2021)
53. N. Safajoo, B.B.F. Mirjalili, A. Bamoniri, Polycycl. Aromat. Compd 41, 1241-1248 (2021)



A brief overview on the application of cellulose as an efficient and effective catalyst in organic reactions

A. Dehghani*, M. Ghezelsoufloo, Y. Delshad, S. Dehghani Siyahaki

Department of Organic Chemistry, Faculty of Chemistry, University of Kashan, Kashan, Iran

Abstract: The production of renewable and valuable chemicals from renewable biomass sources such as cellulose has attracted global attention in order to create sustainable societies. Cellulose is the most abundant non-food biomass and is of great economic importance. Unlike traditional catalysts derived from petroleum sources, cellulose offers several advantages such as renewability, biodegradability and compatibility with the principles of green chemistry. The use of heterogeneous catalysis can allow researchers to develop environmentally safe processes. Cellulose-based catalysts have shown significant activity in a wide range of reactions including hydrogenation, oxidation and polymerization. Their versatility is due to their ability to support all kinds of metal nanoparticles that act as active catalysis sites. Stabilization of metal nanoparticles on cellulose brings several advantages, including improving stability, preventing the accumulation of nanoparticles, and increasing their dispersibility. Cellulose shows its potential to create a great revolution in green chemistry. Therefore, cellulose's versatility, sustainability, and tunable properties make it an essential catalyst for a greener future. The purpose of this review is to provide an overview of the use of cellulose as a catalyst in organic reactions by Iranian researchers.

Keywords: Cellulose, Biopolymer, Catalyst, Organic reactions