

“Research article”

One-Pot Multicomponent Synthesis of Chromeno-Pyrido-Pyrimidinones Using Zirconium-Based Heterogeneous Catalyst

Fateme Khojaste¹, Nahid Shajari^{1,*}, Parvin Eskandari¹, Mohammad Reza Farahpour², and Hooriye Yahyaei¹

¹Department of Chemistry, Za.C., Islamic Azad University, Zanjan, Iran

² Department of Clinical Sciences, Faculty of Veterinary Medicine, Ur.C., Islamic Azad University, Urmia, Iran

*Corresponding author: Na.Shajari@iau.ac.ir

(Received: 01 March 2025, Accepted: 07 June 2025)

Abstract

In this study, a green and efficient method for the synthesis of 7-aryl 6H,7H-chromeno [4,3-d] pyrido [1,2-a] pyrimidin-6-one derivatives using a heterogeneous zirconium-based catalyst, $\text{ZrO}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, has been presented. In this method, a one-pot three-component reaction between hydroxycoumarin, aromatic aldehydes, and 2-aminopyridine was carried out in ethanol under reflux conditions. These reactions, with short reaction times and high yields, led to the formation of the desired products. The structures of the synthesized compounds were confirmed by infrared (IR) spectroscopy and nuclear magnetic resonance (NMR) analysis. In addition to reducing the number of reaction steps, this method utilizes environmentally friendly catalysts, aligning with the goals of green chemistry and sustainable development, and offers a suitable alternative to existing methods.

Conflict of interest: None declared.

Keywords: Multicomponent Reactions, Heterogeneous Catalyst, Pyrido-Pyrimidines, Green Synthesis



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی کاربرد شیمی در محیط زیست

سال شانزدهم، شماره‌ی ۶۱
بهار ۱۴۰۴، صفحات ۳۸-۳۱

سنتز چندجزئی تک ظرفی مشتقات کرومنو-پیریدو-پیریمیدینون با استفاده از کاتالیست

هتروژنی مبتنی بر زیرکونیوم

فاطمه خجسته^۱، ناهید شجری^{۱*}، پروین اسکندری^۱، محمدرضا فرهپور^۲ و حوریه یحیایی^۱

^۱ گروه شیمی، واحد زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، زنجان، ایران

^۲ گروه دامپزشکی، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران

* نویسنده مسئول مکاتبات: Na.Shajari@iau.ac.ir

(دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۱۲/۱۱، پذیرش نهایی: ۱۴۰۴/۰۳/۱۷)

چکیده

در این مطالعه، روشی سبز و کارآمد برای سنتز مشتقات ۷-آریل-H6، H7-کرومنو[d-3, 4] پیریدو[a-2, 1] پیریمیدین ۶-اون با استفاده از کاتالیست هتروژنی مبتنی بر زیرکونیوم $ZrO(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$ ارائه شده است. در این روش، واکنش سه‌جزئی تک‌ظرفی میان هیدروکسی‌کومارین، آلدئیدهای آروماتیک و ۲-آمینوپیریدین در حلال اتانول و تحت شرایط رفلکس انجام شد. این واکنش‌ها در مدت‌زمان کوتاه و با بازده بالا، منجر به تولید محصولات هدف شدند. ساختار ترکیبات سنتز شده نیز با استفاده از طیف‌سنجی مادون قرمز و رزونانس مغناطیس هسته‌ای تأیید شد. این روش علاوه بر کاهش مراحل واکنش، با استفاده از کاتالیست‌های دوستدار محیط زیست، در راستای اهداف شیمی سبز و توسعه پایدار گام برداشته و جایگزینی مناسب برای روش‌های موجود ارائه می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: واکنش‌های چند جزئی، کاتالیست هتروژنی، پیریدو-پیریمیدین، سنتز سبز

مقدمه

واکنش‌های چند جزئی^۱ (MCRs) به عنوان واکنش‌های تک ظرفی شناخته می‌شوند که در آن‌ها محصول نهایی از ترکیب همزمان سه یا بیش‌تر به دست می‌آید (۱-۳). این واکنش‌ها با حفظ بخش‌هایی از تمام اجزا در محصول نهایی، امکان تولید ترکیبات پیچیده را در یک ظرف فراهم می‌کنند. در طراحی واکنش‌های چند جزئی، تغییر شرایطی مانند نوع حلال، دما، نوع کاتالیست و غلظت واکنش‌گرها می‌تواند به بهبود بازده و کاهش زمان واکنش منجر شود (۶-۴). سنتز ایده‌آل به دنبال کاهش مراحل تولید و همچنین استفاده از روش‌های دوستدار محیط زیست است تا از نظر زمانی، هزینه و ایمنی، توجیه‌پذیر باشد (۷). حقیقت در زمینه سنتز ترکیبات هتروسیکلی میانی، به‌ویژه در تولید داروها با استفاده از MCR ها، از اولویت‌های مهم در شیمی آلی مدرن محسوب می‌شود و کشف عوامل دارویی جدید با مراحل سنتزی کم‌تر، یکی از چالش‌های اصلی شیمی‌دانان آلی است (۸). وجود واحدهای هتروسیکلیک در یک مولکول می‌تواند خواص بیولوژیکی را تقویت کرده و ویژگی‌های فوتوفیزیکی جالبی را به نمایش بگذارد (۱۰ و ۹).

هتروسیکل‌هایی که شامل حلقه کومارین جوش خورده به هتروسیکل‌های سه، چهار، پنج و شش‌عضوی مانند پیرازول، پیرول، بنزوفوران، تیوفن و غیره هستند، دارای خواص قوی ضدسرطان، ضدباکتری، ضدقارچی، ضد روماتیسم و ضد التهاب می‌باشند (۱۴-۱۱). به همین دلیل، سنتز چنین آنالوگ‌های مؤثری همواره مورد توجه شیمی‌دانان آلی قرار گرفته است. یک گروه مهم از این هتروسیکل‌ها،

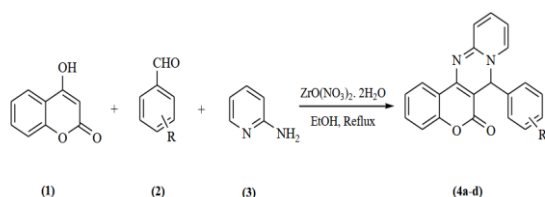
کرومنو [4,3-d] پیریدو [1,2-a] پیریمیدین-۶-اون‌ها هستند که دارای فعالیت‌های بیولوژیکی قابل توجهی بوده و برخی از آن‌ها به عنوان داروهای مؤثر به کار می‌روند (۱۶ و ۱۵). به همین دلیل، شیمی‌دانان آلی همواره تشویق می‌شوند تا چنین آنالوگ‌های مؤثری را برای کاربردهای دارویی سنتز کنند.

از سوی دیگر، به دلیل اهمیت کاتالیست‌ها در فرآیندهای صنعتی و محیط زیست، به کارگیری کاتالیست‌های مؤثر و کارآمد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این راستا، استفاده از کاتالیست‌های دوستدار محیط زیست با شرایط واکنش ملایم می‌تواند به بهبود کارایی و کاهش هزینه‌های تولید کمک کند. با توجه به محدودیت‌های موجود در کاربرد کاتالیست‌ها، معرفی کاتالیست‌های جدید و مقرون‌به‌صرفه برای MCR ها ضروری به نظر می‌رسد. مشاهده شده است که هم کاتالیست‌های هموزن و هم هتروژن قادر به افزایش بازده در MCR ها هستند، هرچند کاتالیست‌های هتروژن اهمیت بیش‌تری دارند، زیرا جداسازی و بازیابی آن‌ها از مخلوط واکنش آسان‌تر است (۱۹-۱۷). استفاده از کاتالیست‌های دوستدار محیط زیست و حلال‌های ایمن و سبز در سال‌های اخیر به منظور دستیابی به سنتز سبز ترکیبات آلی و توسعه پایدار، روند رو به رشدی داشته است.

این مطالعه به سنتز مشتقات ۷-آریل-H6، H7-کرومنو[d-3, 4] پیریدو[a-2, 1] پیریمیدین-۶-اون تحت شرایط سبز می‌پردازد. استفاده از کاتالیست $ZrO(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$ و حلال سبز اتانول در این واکنش باعث شده است این روش در مقایسه با سایر روش‌های ارائه شده برای سنتز این ترکیبات با استفاده

¹ Multi Component Reactions

مخلوط ۸:۲ حلال‌های اتیل استات: اتر نفت خالص شد (واکنش ۱).

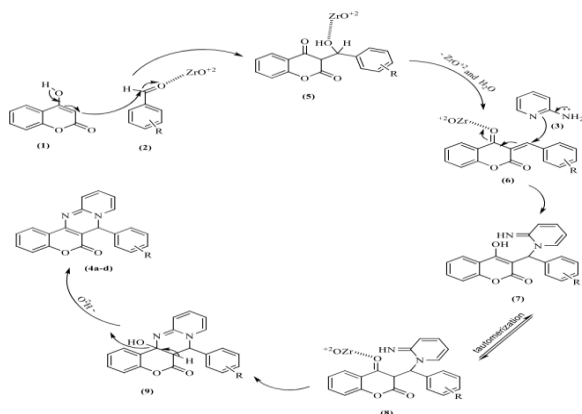


واکنش (۱): سنتز مشتقات ۷-آریل-H6، H7-کرومنو[d-3, 4]

پیریدو[a-2, 1] پیریمیدین ۶-اون

نتایج و بحث

مشتقات ۷-آریل-H6، H7-کرومنو[d-3, 4] پیریدو[a-2, 1] پیریمیدین ۶-اون از واکنش تراکمی ۴-هیدروکسی کومارین (۱)، آلدئیدهای آروماتیک (۲) و ۲-آمینوپیریدین (۳) در حضور مقدار اندکی از $ZrO(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$ به عنوان کاتالیست، تحت شرایط رفلکس در حلال اتانول و در مدت زمان کوتاه با بازده بالا سنتز شدند (شکل ۱ و جدول ۱). مکانیسم پیشنهادی برای این واکنش در شکل ۲ ارائه شده است. ساختار محصولات به دست آمده نیز با استفاده از روش‌های طیف‌سنجی IR، 1H NMR و ^{13}C NMR تأیید شد.



شکل (۱): مکانیسم سنتز مشتقات ۷-آریل-H6، H7-کرومنو

پیریدو[a-2, 1] پیریمیدین ۶-اون

از کاتالیست‌ها و حلال‌های مختلف، کارآمدتر باشد؛ زیرا هم میزان کاتالیست مورد نیاز برای انجام این واکنش بسیار اندک است و هم واکنش در مدت زمان کوتاهی در حلال اتانول تکمیل می‌شود و محصولات با بازده بالا به دست می‌آیند (۲۰). قابل ذکر است که این روش می‌تواند برای سنتز بسیاری از ترکیبات هتروسیکلیک دارای فعالیت‌های بیولوژیکی نیز مورد استفاده قرار گیرد (۲۱-۲۳).

بخش تجربی

مواد و دستگاه‌ها

کلیه مواد و حلال‌ها از شرکت‌های مرک آلمان و فولیکا سوئیس تهیه شدند. برای اندازه‌گیری نقاط ذوب ترکیبات سنتز شده، از دستگاه تعیین نقطه ذوب الکتروترمال مدل ۹۱۰۰ استفاده شد. طیف‌های IR با استفاده از طیف‌سنج مادون قرمز Perkin Elmer Spectrum 100 و طیف‌های 1H NMR (62.9 MHz) و ^{13}C NMR (250/13 MHz) با طیف‌سنج Bruker DRX-250 Avance ثبت شدند.

روش کار

ابتدا مخلوطی از ۴-هیدروکسی کومارین (۱ میلی‌مول) و آلدئیدهای آروماتیک (۱ میلی‌مول) در حضور کاتالیست $ZrO(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$ (۵ میلی‌گرم) در حلال اتانول به مدت ۳۰ دقیقه تحت رفلکس قرار گرفت. پس از تشکیل حدواسط، ۲-آمینوپیریدین (۱ میلی‌مول) به مخلوط اضافه گردید و مجدد رفلکس شد. با تکمیل واکنش پس از ۳۰ دقیقه، که با کروماتوگرافی لایه نازک مورد بررسی قرار گرفت، حلال تحت شرایط خلأ تبخیر و خارج شد. سپس نمونه باقیمانده با استفاده از کروماتوگرافی ستونی و

6.93 (4H, m, Ar-H), 7.20-7.46 (4H, m, ArH), 7.79-7.89 (4H, m, ArH).

^{13}C NMR (62.9 MHz, DMSO- d_6 , ppm): δ 168.13, 165.07, 155.14, 152.93, 143.63, 139.65, 137.91, 133.92, 131.30, 128.72, 127.02, 124.54, 123.30, 120.40, 115.87, 113.17, 112.53, 103.98, 36.21 (N-CH), 20.93 (CH₃).

(4c): 7-(4-Chlorophenyl)-6H,7H-chromeno[4,3-d]pyrido[1,2-a]pyrimidin-6-one FT-IR (KBr, cm^{-1}): 3359, 3143, 1670, 1601, 1533, 1327, 1180, 759, 676.

^1H NMR (250.13 MHz, DMSO- d_6 , ppm): δ 6.23 (1H, s, N-CH), 6.62-6.72 (2H, m, Ar-H), 7.10- 7.81 (10H, m, Ar-H).

^{13}C NMR (62.9 MHz, DMSO- d_6 , ppm): δ 172.35, 168.31, 165.02, 157.31, 152.95, 141.87, 141.13, 131.51, 129.87, 128.99, 128.08, 124.58, 123.43, 120.25, 115.94, 112.34, 111.54, 103.58, 36.24 (N-CH).

(4d): 7-(4-Methoxyphenyl)-6H,7H-chromeno[4,3-d]pyrido[1,2-a]pyrimidin-6-one FT-IR (KBr, cm^{-1}): 3346, 3151, 1677, 1599, 1540, 1384, 1328, 1184, 723, 678.

^1H NMR (250.13 MHz, DMSO- d_6 , ppm): δ 3.60 (3H, s, OCH₃), 6.18 (1H, s, N-CH), 6.61-7.86 (12H, m, Ar-H).

^{13}C NMR (62.9 MHz, DMSO- d_6 , ppm): δ 168.19, 165.14, 157.25, 152.91, 143.40, 140.19, 134.46, 131.33, 129.71, 128.05, 124.55, 123.33, 120.40, 115.88, 113.57, 112.36, 110.60, 104.11, 55.32 (OCH₃), 36.22 (N-CH₃).

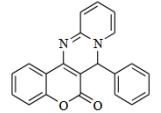
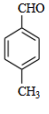
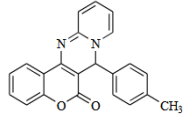
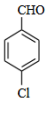
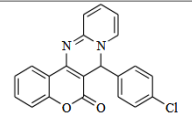
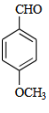
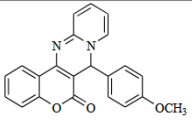
طیف‌های ^{13}C NMR و ^1H NMR، IR محصولات در

شکل‌های ۳، ۴ و ۵ نشان داده شده است.

جدول (۱): مشخصات مشتقات ۷-آریل-۶،۷-کرومنو-پیریدو-پیریمیدین

کرومنو[۴،۳-د]پیریدو[۱،۲-ا]پیریمیدین-۶-اون در حضور

کاتالیزور $\text{ZrO}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

شماره محصول	آلکد آروماتیک	محصول	نقطه ذوب (°C)	بازده %
a			۲۰۷-۲۰۹	۹۵
b			۲۲۹-۲۳۸	۹۰
c			۲۳۷-۲۳۹	۹۳
d			۲۲۵-۲۲۷	۸۸

مشخصات طیفی محصولات

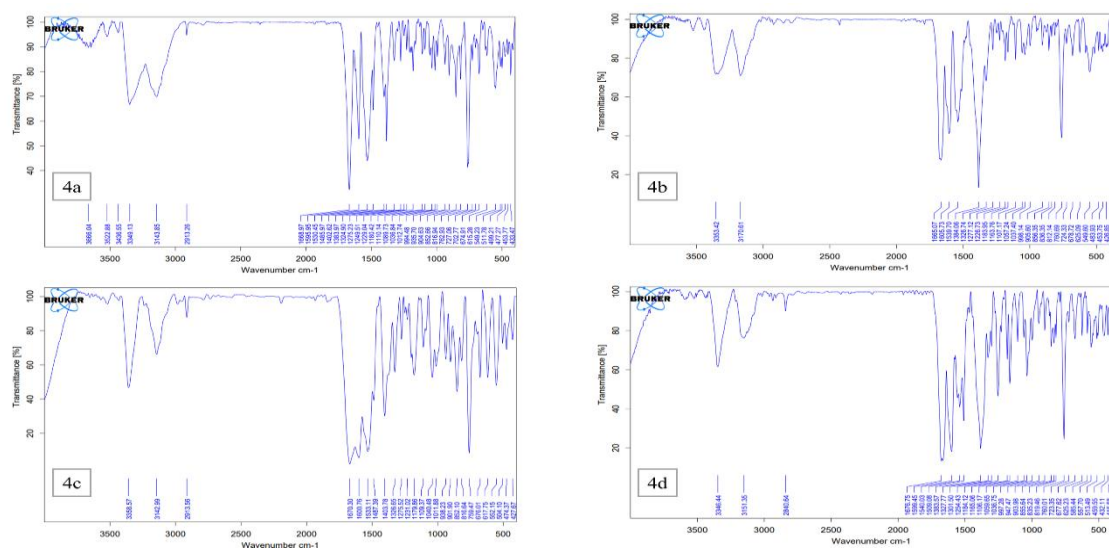
(4a): 7-Phenyl-6H,7H-chromeno[4,3-d]pyrido[1,2-a]pyrimidin-6-one IR (KBr, cm^{-1}): 3436, 3144, 1669, 1596, 1530, 1384, 1325, 1180, 727, 675.

^1H NMR (250.13 MHz, DMSO- d_6 , ppm): δ 6.24 (1H, s, N-CH), 6.70-6.90 (2H, m, ArH), 7.08-7.21 (5H, m, ArH), 7.46-7.48 (2H, m, ArH), 7.79-7.90 (4H, m, ArH).

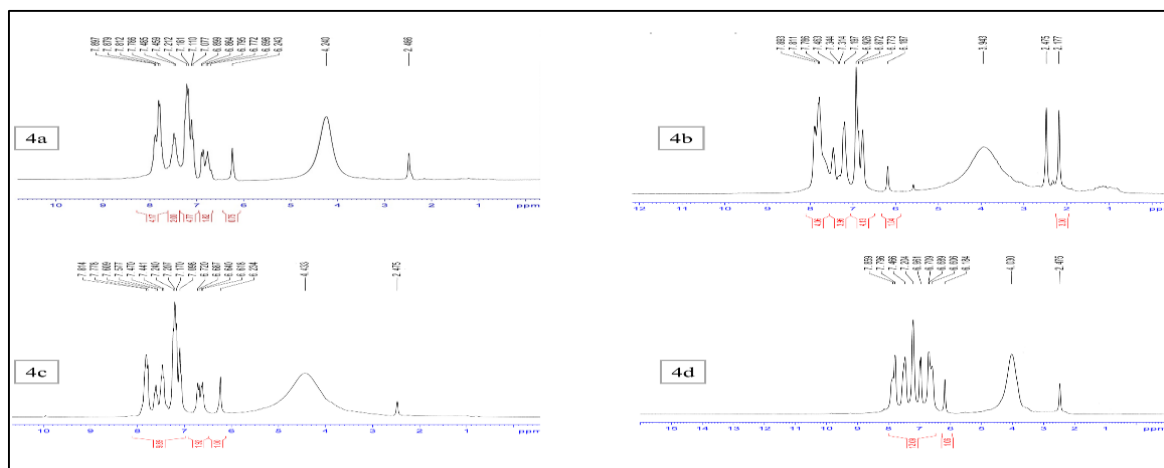
^{13}C NMR (62.9 MHz, DMSO- d_6 , ppm): δ 168.29, 165.00, 155.10, 152.95, 143.59, 141.87, 137.98, 131.52, 129.85, 129.00, 128.08, 124.58, 123.42, 120.25, 115.95, 113.13, 112.53, 103.58, 36.23 (N-CH).

(4b): 7-(p-Tolyl)-6H,7H-chromeno[4,3-d]pyrido[1,2-a]pyrimidin-6-one FT-IR (KBr, cm^{-1}): 3353, 317, 1665, 1606, 1540, 1384, 1327, 1184, 761, 679.

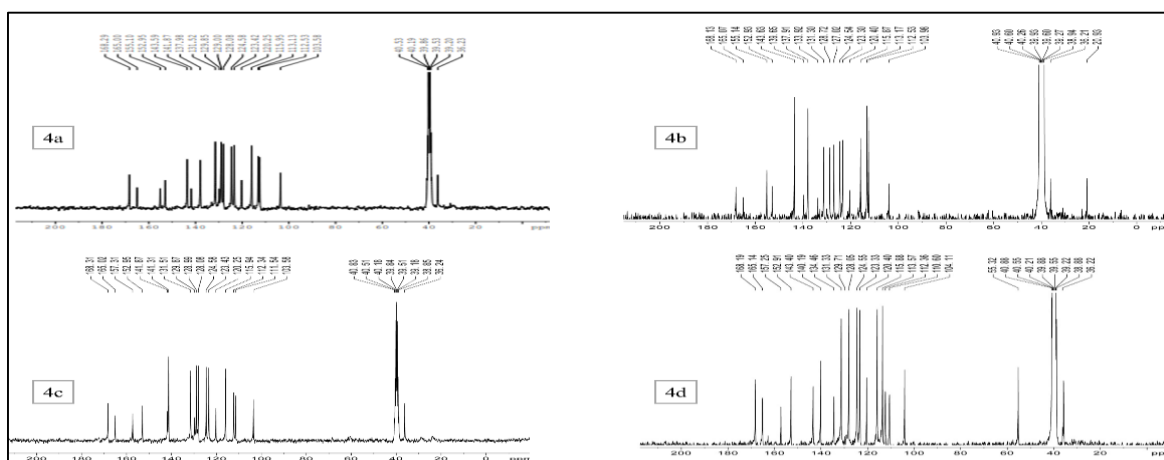
^1H NMR (250.13 MHz, DMSO- d_6 , ppm): δ 2.18 (3H, s, CH₃), 6.19 (1H, s, N-CH), 6.77-



شکل (۲): طیف IR محصولات 4(a-d)



شکل (۳): طیف ¹H NMR محصولات 4(a-d)



شکل (۴): طیف ¹³C NMR محصولات 4(a-d)

multicomponent reactions mechanisms? A critical review. *The Chemical Record*, 21(10), 2762-2781.

[6] Climent, M. J., Corma, A., & Iborra, S., 2012, Homogeneous and heterogeneous catalysts for multicomponent reactions. *RSC Advances*, 2(1), 16-58.

[7] Isambert, N., Duque, M. D. M. S., Plaquevent, J. C., Genisson, Y., Rodriguez, J., & Constantieux, T., 2011, Multicomponent reactions and ionic liquids: a perfect synergy for eco-compatible heterocyclic synthesis. *Chemical Society Reviews*, 40(3), 1347-1357.

[8] Wang, Z., & Domling, A., 2022, Multicomponent reactions in medicinal chemistry. *Multicomponent Reactions towards Heterocycles: Concepts and Applications*, 91-137.

[9] Nasiriani, T., Javanbakht, S., Nazeri, M. T., Farhid, H., Khodkari, V., & Shaabani, A., 2022, Isocyanide-based multicomponent reactions in water: Advanced green tools for the synthesis of heterocyclic compounds. *Topics in Current Chemistry*, 380(6), 50.

[10] Graziano, G., Stefanachi, A., Contino, M., Prieto-Díaz, R., Ligresti, A., Kumar, P., ... & Leonetti, F., 2023, Multicomponent reaction-assisted drug discovery: A time-and cost-effective green approach speeding up identification and optimization of anticancer drugs. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(7), 6581.

[11] Pasricha, S., Mittal, K., Gahlot, P., Kaur, H., Avasthi, N., & Shweta., 2022, Multicomponent synthetic strategies and perspectives for synthesis of linked or fused coumarin heterocycles. *Journal of the Iranian Chemical Society*, 19(10), 4035-4092.

[12] Adimule, V. M., Nandi, S. S., Kerur, S. S., Khadapure, S. A., & Chinnam, S., 2022, Recent advances in the one-pot synthesis of coumarin derivatives from different starting materials using nanoparticles: a review. *Topics in Catalysis*, 1-31.

[13] Ramiro, J. L., Marcos, C. F., & Neo, A. G., 2024, Synthesis of coumarin dimers by a microwave-assisted double multicomponent reaction. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 42, 101792.

[14] Soumya, T. V., Ajmal, C. M., & Bahulayan, D., 2017, Synthesis of bioactive and fluorescent pyridine-triazole-coumarin

مشخصات طیفی محصولات با مشخصات موجود در منابع گزارش شده مقایسه و تایید شد (۲۵ و ۲۴، ۲۱).

نتیجه گیری

در این مطالعه، یک روش سبز و کارآمد برای سنتز مشتقات ۷-آریل-H6، H7-کرومنو[d-3, 4] پیریدو-a [1] 2, پیریمیدین ۶-اوان ارائه شد. استفاده از کاتالیست دوستدار محیط زیست $ZrO(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$ و حلال اتانول، علاوه بر تسهیل واکنش در مدت زمان کوتاه و با بازده بالا، فرآیندی ساده و دوستدار محیط زیست را فراهم کرد. طیف سنجی های IR، 1H NMR و ^{13}C NMR به طور کامل ساختار محصولات سنتز شده را تأیید کردند. در مجموع، این روش می تواند جایگزینی مناسب برای روش های سنتزی مشابه بوده و گامی موثر در توسعه سنتز سبز ترکیبات هتروسیکلیک محسوب شود.

منابع

- [1] Cores, Á., Clerigué, J., Orocio-Rodríguez, E., & Menéndez, J. C., 2022, Multicomponent reactions for the synthesis of active pharmaceutical ingredients. *Pharmaceuticals*, 15(8), 1009.
- [2] Payamifar, S., Abdouss, M., & Marjani, A. P., 2024, Recent advances in β -cyclodextrin-based catalyst systems for the synthesis of heterocyclic compounds via multicomponent reactions (MCRs). *Arabian Journal of Chemistry*, 105967.
- [3] Zeleke, D., & Damena, T., 2024, Advance in green synthesis of pharmacological important heterocycles using multicomponent reactions and magnetic nanocatalysts (MNCs). *Results in Chemistry*, 7, 101283.
- [4] Zhang, B., Guo, T., Li, Z., Kühn, F. E., Lei, M., Zhao, Z. K., ... & Li, C., 2022, Transition-metal-free synthesis of pyrimidines from lignin β -O-4 segments via a one-pot multi-component reaction. *Nature Communications*, 13(1), 3365.
- [5] Rodrigues, M. O., Eberlin, M. N., & Neto, B. A., 2021, How and why to investigate

catalyst and theoretical study of synthesized compounds. *Journal of Heterocyclic Chemistry*, 57.

[23] Shajari, N., Yahyaei, H., & Zafarani, S. S., 2023, Synthesis of ferrocenylimidazo[1,2-a]pyridine-3-amines using catalyst $ZrO(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$ and their theoretical studies. *Letters in Organic Chemistry*, DOI: 10.2174/1570178620666230509120934.

[24] Saberi-Zare, M., & Bodaghifard, M. A., 2025, Acid-decorated chitosan-magnetic aluminum ferrite as a bionanocomposite catalyst for green synthesis of biologically active [4,3-d] pyrido [1,2-a] pyrimidin-6-ones. *Scientific Reports*, 15(1), 3408.

[25] Khalaj, M., Taherkhani, M., & Kalhor, M., 2021, Preparation of some chromeno [4,3-d] pyrido [1,2-a] pyrimidine derivatives by ultrasonic irradiation using $NiFe_2O_4@SiO_2$ grafted di (3-propylsulfonic acid) nanoparticles. *New Journal of Chemistry*, 45(24), 10718-10724.

peptidomimetics through sequential click-multicomponent reactions. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 27(3), 450-455.

[15] Vanam, R., Allam, V., Nerella, S., & Gavaji, B., 2021, Green Synthesis of Chromene Congeners via Multi-Component Reaction and Their Antimicrobial Studies. *ChemistrySelect*, 6(36), 9591-9598.

[16] Sayahi, M. H., Afrouzandeh, Z., & Bahadorikhalili, S., 2022, $Cu(OAc)_2$ catalyzed synthesis of novel chromeno [4,3-b] pyrano [3,4-e] pyridine-6,8-dione derivatives via a one-pot multicomponent reaction in water under mild reaction conditions. *Polycyclic Aromatic Compounds*, 42(6), 3391-3400.

[17] Rezvanian, A., Amoozadkhalili, F., & Roosta, A., 2021. Sequential four-component protocol for the synthesis of pyrido [1,2-a] pyrimidin-6-one derivatives in water. *Chemical Papers*, 75, 2417-2424.

[18] Jelali, H., Chakchouk-Mtibaa, A., Baklouti, L., Bilel, H., Bathich, Y., Mellouli, L., & Hamdi, N., 2019, Development of new multicomponent reactions in eco-friendly media-greener reaction and expeditious synthesis of novel bioactive benzylpyranocoumarins. *Journal of Chemistry*, 2019(1), 8693614.

[19] Bosica, G., & Abdilla, R., 2022, Recent advances in multicomponent reactions catalysed under operationally heterogeneous conditions. *Catalysts*, 12(7), 725.

[20] Pasuparthi, S. D., & Maiti, B., 2022, [CMMIM][BF₄-] Ionic Liquid-Catalyzed Facile, One-Pot Synthesis of Chromeno [4,3-d] pyrido [1,2-a] pyrimidin-6-ones: Evaluation of Their Photophysical Properties and Theoretical Calculations. *ACS Omega*, 7(43), 39147-39158.

[21] Piryaee, F., Shajari, N., & Yahyaei, H., 2020, Efficient $ZrO(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$ catalyzed synthesis of 1H-indazolo [1,2-b] phthalazine-1,6,11(13H)-triones and electronic properties analyses, vibrational frequencies, NMR chemical shift analysis, MEP: A DFT study. *Heteroatom Chemistry*, 554.

[22] Saberi Biroon, S., Shajari, N., & Yahyaei, H., 2020, Green and efficient synthesis of 1H-indazolo[1,2-b] phthalazine-1,6,11(13H)-triones using $ZrO(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$ as a novel