سنتز و ارزیابی فعالیت ضدباکتریایی نانوکامپوزیتCu-MOF/LDH

مرضیه یاریگرروش*[۱]،شهرام مرادی [۲]، ملک حکمتی [۳]

۱-دانشجوی دکترای گروه شیمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال m.yarigar@iau.ir
۲-عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال shm_moradi@mail.com
۳-عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحدتهران علوم دارویی dr.m.hekmati@gmail.com

چکیده

تولید و توسعه نانومواد با اثرات ضدباکتریایی مناسب، به‌منظور مقابله با مقاومت روزافزون باکتری‌ها درمقابل عوامل ضدمیکروبی، مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. در پژوهش حاضر، چارچوب فلزی-آلی مبتنی بر مس(Cu-MOF) ، هیدروکسید دولایه‌ای (LDH) و نانوکامپوزیت Cu-MOF/LDH سنتز شدند. با هدف شناسایی نمونه‌های سنتزشده در این پژوهش، از آزمون‌های آنالیز توزیع عنصری (Elemental mapping) ،طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه(FTIR) ، میکروسکوپ الکترونی روبشی(SEM) ، طیف‌سنجی پراکندگی انرژی پرتو ایکس (EDS) و پراش پرتو ایکس(XRD) ، استفاده شد. سپس فعالیت ضدباکتریایی نمونه‌ها در برابر باکتری‌های Escherichia coli و Staphylococcus aureus با استفاده از آزمون استاندارد انتشار در آگار، تعیین حداقل غلظت مهارکنندگی رشد (MIC) و حداقل غلظت باکتری‌کشی (MBC)مورد بررسی قرار گرفت. دربررسی نتایج مشاهده گردید که هرکدام ازنمونه ها اثری متفاوت دارند و مقادیر هاله عدم رشد، MIC و MB در میان آن‌ها یکسان نبود. بر پایه یافته‌های این پژوهش، نمونه‌های تهیه‌شده قابلیت بررسی در مطالعات تکمیلی مرتبط با کاربردهای زیستی را دارند.

کلمات کلیدی : Metal–Organic Frameworks, MOF ، Layered Double Hydroxides, LDH ، Cu-MOF ، هیدروکسیدهای دولایه‌ای ، چارچوب‌های فلز-آلی، Escherichia coli، Staphylococcus aureus

۱-مقدمه

امروزه گسترش مقاومت باکتریایی در برابر آنتی‌بیوتیک‌ها به یکی از مهم‌ترین چالش‌های حوزه سلامت و درمان تبدیل شده است. کاهش اثربخشی بسیاری از داروهای رایج، پژوهشگران را به سوی طراحی و توسعه ترکیبات جدید با قابلیت مهار رشد میکروارگانیسم‌ها سوق داده است. در این میان، نانومواد به دلیل ویژگی‌های ساختاری خود، به عنوان گزینه‌های مناسبی برای توسعه عوامل ضدباکتریایی مورد توجه قرار گرفته‌اند.

چارچوب‌های فلز-آلی (Metal–Organic Frameworks, MOFs) دسته‌ای از مواد متخلخل بلوری هستند که به دلیل سطح ویژه بالا، تخلخل قابل تنظیم و امکان ایجاد ساختارهای متنوع، در سال‌های اخیر در حوزه‌های مختلف از جمله کاربردهای زیستی مورد مطالعه قرارگرفته‌اند. در میان انواع مختلف این مواد، چارچوب‌های فلز-آلی مبتنی بر مس(Cu-MOF) به دلیل ویژگی‌های ساختاری و قابلیت سنتز نسبتاً ساده، توجه پژوهشگران را به خود جلب کرده است.

از سوی دیگر، هیدروکسیدهای دولایه‌ای (Layered Double Hydroxides, LDHs) نیز به عنوان نانومواد با ساختار لایه‌ای، پایداری مناسب و قابلیت اصلاح سطح، در بسیاری از تحقیقات مورد استفاده قرار گرفته‌اند. ترکیب این دو

دسته از نانومواد می‌تواند زمینه‌ای برای بررسی ویژگی‌های حاصل از حضور همزمان آن‌ها در یک سامانه هیبریدی را فراهم آورد[1].

بر این اساس، در این تحقیق ابتدا Cu-MOF و LDH به طور جداگانه سنتز شدند و سپس نانوکامپوزیت Cu-MOF/LDHتهیه گردید. نمونه‌های سنتزشده با استفاده از روش‌های پراش پرتو ایکس(XRD) ، طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه(FTIR) ، میکروسکوپ الکترونی روبشی(SEM) ، طیف‌سنجی پراکندگی انرژی پرتو ایکس (EDS) و آنالیز توزیع عنصری (Elemental Mapping) شناسایی شدند [2]و فعالیت ضدباکتریایی آن‌ها در برابر باکتری‌های Escherichia coliو Staphylococcus aureus با استفاده از آزمون انتشار در آگار، تعیین حداقل غلظت مهارکنندگی رشد (MIC) و حداقل غلظت باکتری‌کشی (MBC) مورد بررسی قرار گرفت[3].

با توجه به قابلیت سنتز مستقل Cu-MOF و LDH و امکان تهیه نانوکامپوزیت حاصل از ترکیب این دو ماده، در پژوهش حاضر فعالیت ضدباکتریایی هر سه نمونه در شرایط یکسان مورد ارزیابی قرار گرفت تا نتایج حاصل از آزمون‌های انجام‌شده برای هر یک از نمونه‌های سنتزشده گزارش شود.[4]

۲-۱ .مواد

در این پژوهش، کلیه مواد شیمیایی مورد استفاده از شرکت‌های معتبر تهیه و مورد استفاده قرار گرفتند. آب دی‌یونیزه در تمامی مراحل سنتز و شستشوی نمونه‌ها به کار گرفته شد. برای سنتز چارچوب فلزی-آلی مس(Cu-MOF) ، از پیش‌ماده $Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$ و لیگاند آلی H_3BTC (1,3,5-Benzenetricarboxylic acid) استفاده شد. همچنین، سنتز هیدروکسید دولایه‌ای MgFe/LDH بااستفاده از نمک‌های فلزی $FeCl_3.6H_2O$, $MgCl_2.6H_2O$ و با روش هیدروترمال صورت گرفت. نانوکامپوزیت Cu-MOF@MgFe/LDH نیز از ترکیب مواد سنتزشده مطابق روش ارائه‌شده در این پژوهش تهیه و برای انجام آزمون‌های شناسایی و بررسی فعالیت ضدباکتریایی مورد استفاده قرار گرفت.

۲-۲ .سنتز چارچوب فلزی-آلی مس(Cu-MOF)

سنتز چارچوب فلزی-آلی مس (Cu-MOF) بر اساس روش اولتراسونیک انجام شد. در این روش، مقدار مشخصی از پیش‌ماده $Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$ و لیگاند آلی H_3BTC (1,3,5-Benzenetricarboxylic acid) به همراه حلال اتانول استفاده شد مخلوط حاصل تحت همزدن مداوم قرار گرفت. سپس محلول تهیه‌شده تحت شرایط تحمل ۱۲ ساعت دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد و شستشو با آب و اتانول رسوب آبی رنگ ماف مس ظاهر ش و به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۶۵ درجه خشک شد. نمونه خشک‌شده برای انجام آزمون‌های شناسایی و بررسی فعالیت های ضدباکتریایی مورد استفاده قرار گرفت[5] .

۲-۳ .سنتز هیدروکسید دولایه‌ای(LDH)

نانوذرات هیدروکسید دولایه‌ای (LDH) به روش هیدروترمال سنتز شدند. در این روش، مقادیر مشخصی از نمک‌های فلزی $FeCl_3.6H2O$, $MgCl_2.6H2O$ در آب دی‌یونیزه حل شـــده و محلول حاصـــل تحت همزدن مداوم به مدت ۳۰دقیقه با همزن مغناطیسی قرار گرفت. سپس محلول سود ۳ مولار به‌صورت تدریجی به مخلوط واکنش افزوده شد تا pHمحیط به مقدار مورد نظر برسد. در ادامه، رسوب حاصل به اتوکلاو انتقال داده شد و برای ۱۶-۱۸ ساعت دردمای ۱۲۰ درجه در کوره قرار گرفت و بعد از این مدت برای خشک شدن به آون منتقل شد و در دمای ۶۵ درجه سانتی گراد به مدت ۴ شبانه روز در این دما باقی ماند. [6]

۲-۴ .سنتز نانوکامپوزیتCu-MOF/LDH

به‌منظور تهیه نانوکامپوزیتCu-MOF/LDH ، نمونه‌های سنتزشده Cu-MOF و LDH در محیط آب و الکل ۲:۱ به روش سولوترمال تهیه شدند. سپس مخلوط حاصل به مدت ۱۰ دقیقه اولتراسونیک قرار گرفت تا برهم‌کنش بین اجزای تشکیل‌دهنده برقرار شود. پس از پایان فرآیند سنتز، محصول حاصل جمع‌آوری، و در اتوکلاو به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۱۰ درجه سانتی گراد جهت تکمیل فرایند قرار داده شد. سپس با الکل شستشو داده شدو برای خشک شدن به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی گراددر اون قرار داده شد. نمونه تهیه‌شده برای انجام آزمون‌های شناسایی و ارزیابی فعالیت ضدباکتریایی مورد استفاده قرار گرفت.

۲-۵ روش‌های شناسایی

به جهت بررسی نمونه‌های سنتزشده، از آزمون‌های شناسایی مختلف شامل پراش پرتو ایکس(XRD) ، طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه(FTIR) ، میکروسکوپ الکترونی روبشی(SEM) ، طیف‌سنجی پراکندگی انرژی پرتو ایکس (EDS)و آنالیز توزیع عنصری (Elemental Mapping) استفاده شد. آزمون‌های مذکور با استفاده از دستگاه‌های استاندارد انجام شدند و نتایج حاصل برای بررسی ویژگی‌های نمونه‌های سنتزشده مورد استفاده قرار گرفت.

۲-۶ بررسی فعالیت ضدباکتریایی

فعالیت ضدباکتریایی نمونه‌های سنتزشده شاملCu-MOF ، LDHو نانوکامپوزیت Cu-MOF/LDH در برابر باکتری‌های Escherichia coli و Staphylococcus aureus مورد ارزیابی قرار گرفت.

۲-۶-۱ آزمون انتشار در آگار

بررسی فعالیت ضدباکتریایی نمونه‌ها به روش انتشار در آگار (Well Diffusion) انجام شد. بدین منظور، سوسپانسیون باکتریایی معادل نیم مک‌فارلند (1.5×108 CFU/mL) تهیه و بر روی محیط کشت مولر هینتون آگار کشت داده شد. سپس با استفاده از پانچ استریل، چاهک‌هایی با قطر مشخص بر روی محیط کشت ایجاد گردید. مقادیر مشخص از غلظت‌های ۱۲.۵، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر از هر نمونه در داخل چاهک‌ها بارگذاری شد. پلیت‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد انکوبه شدند و پس از پایان زمان انکوباسیون، قطر هاله عدم رشد بر حسب میلی‌متر اندازه‌گیری و ثبت گردید.

۲-۶-۲ .تعیین حداقل غلظت مهارکنندگی رشد(MIC)

حداقل غلظت مهارکنندگی رشد (MIC) با استفاده از روش میکرودایلوشن در میکروپلیت ۹۶ خانه‌ای تعیین شد. برای این منظور، رقت‌های متوالی نمونه‌ها در محدوده غلظتی مشخص تهیه گردید. سپس به هر چاهک مقدار مشخصی از سوسپانسیون باکتریایی با غلظت تقریبی ۱۰۶ CFU/mL افزوده شد. پس از انکوباسیون در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت، کمترین غلظتی که از رشد قابل مشاهده باکتری جلوگیری نمود، به عنوان مقدار MIC در نظر گرفته شد.

۳-۶-۲ تعیین حداقل غلظت باکتری‌کشی(MBC)

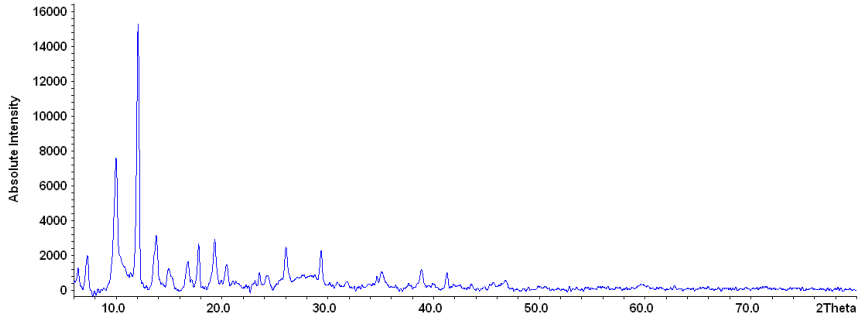
به‌منظور تعیین حداقل غلظت باکتری‌کشی(MBC) ، از چاهک‌هایی که در آزمون MIC فاقد رشد باکتری بودند، مقدار مشخصی از نمونه بر روی محیط مولر هینتون آگار کشت داده شد. پس از انکوباسیون در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت، کمترین غلظتی که هیچ‌گونه رشد باکتریایی در آن مشاهده نشد، به عنوان مقدار MBC گزارش گردید.

۳- نتایج و بحث

به‌منظور ارزیابی ویژگی‌های نمونه‌های سنتزشده، ابتدا آزمون‌های شناسایی شامل پراش پرتو ایکس(XRD) ، طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه(FTIR) ، میکروسکوپ الکترونی روبشی(SEM) ، طیف‌سنجی پراکندگی انرژی پرتو ایکس (EDS) و آنالیز توزیع عنصری (Elemental Mapping) انجام شد. سپس فعالیت ضدباکتریایی نمونه‌های Cu-MOF، LDH و نانوکامپوزیت Cu-MOF/LDH در برابر باکتری های Escherichia coli و Staphylococcus aureus با استفاده از آزمون‌های انتشار در آگار، MIC و MBC مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از این آزمون‌ها در ادامه ارائه و بحث شده است.

۳-۱ .بررسی الگوی پراش پرتو ایکس (XRD)

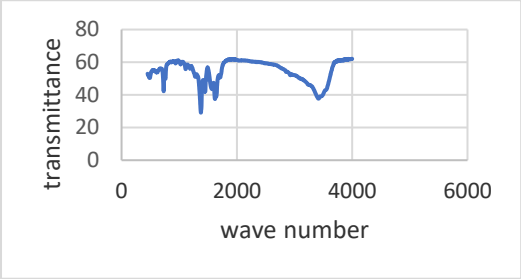
با هدف بررسی ویژگی‌های بلوری نمونه‌های سنتزشده، الگوی پراش پرتو ایکس (XRD) برای نمونه‌های Cu-MOF، LDH و نانوکامپوزیت Cu-MOF/LDH ثبت شد. الگوهای حاصل در شکل ۳-۱ ارائه شده‌اند.
نتایج آزمون XRD نشان داد که هر یک از نمونه‌های سنتزشده دارای الگوی پراش مشخصی هستند. در نمونه Cu-MOF، پیک‌های پراش در زوایامورد انتظار مشاهده شد که با الگوی گزارش‌شده برای ساختار مطابقت داشت. همچنین، نمونه LDH نیز پیک‌های مشخصه خود را نشان داد که بیانگر تشکیل ساختار لایه‌ای این ماده است.
در الگوی پراش نانوکامپوزیتCu-MOF/LDH ، پیک‌های مربوط به هر دو جزء مشاهده گردید که بیانگر حضور هر دو فاز در نمونه سنتزشده است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، سنتز نانوکامپوزیت Cu-MOF/LDH به درستی انجام شد. با این حال، بررسی دقیق‌تر تغییرات شدت، موقعیت یا پهنای پیک‌ها نیازمند مطالعات تکمیلی است؛ ازاین‌رو، در این پژوهش از ارائه تفسیر فراتر از داده‌های تجربی خودداری شده است.



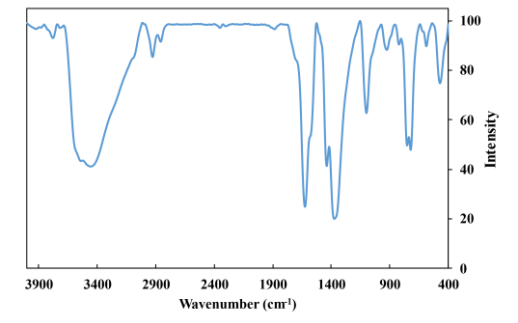
شکل ۳-۱

۲-۳ .بررسی طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه(FTIR)

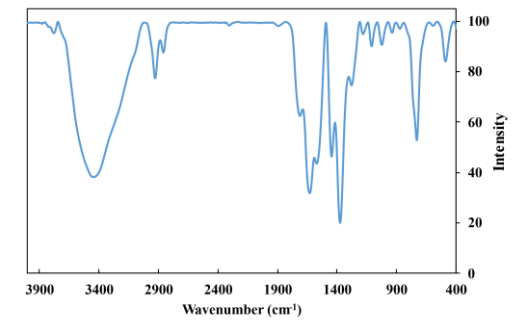
به‌منظور شناسایی گروه‌های عاملی موجود در نمونه‌های سنتزشده، طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR) برای نمونه‌های Cu-MOF ، LDH و نانوکامپوزیت Cu-MOF/LDH انجام شد. طیف‌های به‌دست‌آمده در شکل(۱) ۲-۳ ارائه شده‌اند.در طیف FTIR نمونه Cu-MOF ، باندهای جذبی در نواحی مشاهده شد که به گروه‌های عاملی موجود در ساختار این ماده نسبت داده می‌شوند. همچنین، در طیف LDH نیز باندهای مشخصه در نواحی ثبت گردید که با ویژگی‌های این ترکیب مطابقت دارد شکل(۲)۲-۳ .طیف FTIR نانوکامپوزیت Cu-MOF/LDH حضور باندهای مربوط به هر دو جزء را نشان داد. نتایج حاصل بیانگر حفظ ویژگی‌های اصلی اجزای تشکیل‌دهنده پس از فرآیند سنتز نانوکامپوزیت است شکل ۲-۳ (۳).



شکل۲-۳ (۱)



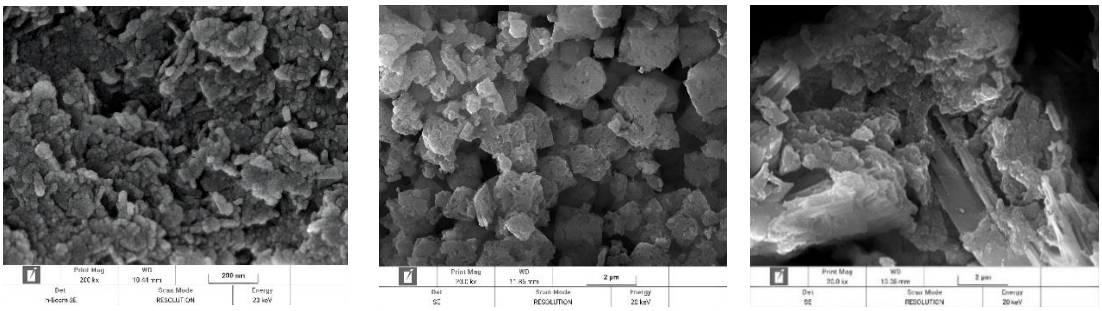
شکل ۳-۲ (۲)



شکل ۲-۳ (۳)

۳-۳ .بررسی مورفولوژی سطح(SEM)

به‌منظور بررسی مورفولوژی و شکل ظاهری نمونه‌های سنتزشده، تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) تهیه شد. تصاویر مربوط به نمونه‌هایCu-MOF ، LDHو نانوکامپوزیت Cu-MOF/LDH در شکل۳-۳ ارائه شده‌اند.



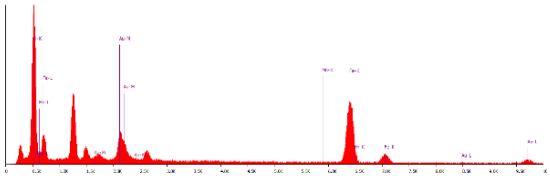
۳-۳

تصاویر SEM نشان داد که نمونه Cu-MOF دارای مورفولوژی بوده، در حالی که نمونه LDH ساختاری کریستالی سوزنی را نشان می‌دهد. در نمونه نانوکامپوزیت Cu-MOF/LDH نیز حضور هم‌زمان اجزای تشکیل‌دهنده در ساختار مشاهده گردید و توزیع آن‌ها در سطح نمونه قابل بررسی بود. با این حال، به‌دلیل محدود بودن هدف این پژوهش به سنتز، شناسایی و ارزیابی فعالیت ضدباکتریایی، از ارائه تفسیرهای فراتر از مشاهدات حاصل از تصاویر SEM خودداری شد.

۳-۴ .بررسی ترکیب عنصری (EDS) و توزیع عناصر(Elemental Mapping)

به‌منظور بررسی عناصر تشکیل‌دهنده نمونه‌ها، آزمون طیف‌سنجی پراکندگی انرژی پرتو ایکس (EDS) و آنالیز توزیع عنصری (Elemental Mapping) انجام شد. نتایج حاصل در شکل‌های ۴-۳ ارائه شده‌اند. طیف EDS حضور عناصر اصلی تشکیل‌دهنده نمونه‌های سنتزشده شامل را نشان داد. همچنین، تصاویر Elemental Mapping بیانگر توزیع عناصر شناسایی‌شده در سطح نمونه بودند. نتایج این آزمون‌ها وجود عناصر مورد انتظار در ساختار نانوکامپوزیت را تأیید نمود.

Element	Atomic %	Weight %
Iron	25.61%	54.35%
Oxygen	74.1%	45.05%
Manganese	0.28%	0.59%



شکل ۴-۳

۳-۵ .بررسی فعالیت ضدباکتریایی به روش انتشار در آگار(Well Diffusion)

فعالیت ضدباکتریایی نمونه‌هایCu-MOF ، LDHو نانوکامپوزیت Cu-MOF/LDH در برابر باکتری‌های **Staphylococcus aureus** و **Escherichia coli** به روش انتشار در آگار مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از اندازه‌گیری هاله عدم رشد در جدول ۵-۳ ارائه شده است.

باکتری مورد مطالعه		قطر هاله عدم رشد بر حسب میلی متر	
		Staphylococcus aureus	Escherichia coli
MOF-HKUST	100 mg	25	19
	50 mg	25	18
	25 mg	23	17
	12.5 mg	13	13
LDH	100 mg	0	0
	50 mg	0	0
	25 mg	0	0
	12.5 mg	0	0
MOF@LDH	100 mg	17	17
	50 mg	11	12
	25 mg	0	11
	12.5 mg	0	0

جدول ۵-۳

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، نمونه Cu-MOF در غلظت‌های مورد بررسی، در هر دو سویه باکتریایی هاله عدم رشد قابل توجهی ایجاد نمود. در مقابل، نمونه LDH در غلظت‌های آزمون‌شده فعالیت ضدباکتریایی قابل ملاحظه‌ای نشان نداد. همچنین، نانوکامپوزیت Cu-MOF/LDH در برخی غلظت‌ها موجب تشکیل هاله عدم رشد در هر دو باکتری مورد مطالعه گردید، اگرچه میزان این فعالیت در غلظت‌های مختلف متفاوت بود.

به‌طور کلی، نتایج آزمون انتشار در آگار نشان داد که فعالیت ضدباکتریایی نمونه‌های مورد مطالعه به نوع نمونه و غلظت آن وابسته است. با این حال، به دلیل عدم استفاده از کنترل آنتی‌بیوتیکی در این آزمون، از انجام هرگونه مقایسه با آنتی‌بیوتیک‌های رایج یا نتیجه‌گیری در خصوص میزان برتری نمونه‌ها نسبت به درمان‌های متداول خودداری شد.

۳-۶ .تعیین حداقل غلظت مهارکنندگی رشد (MIC) و حداقل غلظت باکتری‌کشی(MBC)

نتایج آزمون‌های MIC و MBC برای نمونه‌های Cu-MOF ، LDHو نانوکامپوزیت Cu-MOF/LDH در برابر باکتری‌های استافیلوکوکوس اریوس و اشریشیا کولی در جدول ۶-۳ ارائه شده است.

	MIC(mg/ml)			MBC(mg/ml)		
باکتری	MOF-HKUST	LDH	MOF@LDH	MOF-HKUST	LDH	MOF@LDH
Staphylococcus aureus	۱,۵٦	25	3.125	3.125	-	۵۰
Escherichia coil	۱,۵٦	50	3.125	3.125	-	25

جدول ۶-۳

مطابق نتایج، مقادیر MIC و MBC در نمونه‌های مورد بررسی یکسان نبود و تفاوت‌هایی میان Cu-MOF ، LDH و نانوکامپوزیت Cu-MOF/LDH مشاهده شد. نمونه Cu-MOF در هر دو سویه باکتریایی مقادیر MIC پایین‌تری نسبت به دو نمونه دیگر نشان داد، در حالی که LDH در برخی آزمون‌ها به غلظت‌های بالاتری برای مهار یا حذف رشد باکتری نیاز داشت. نانوکامپوزیت Cu-MOF/LDH نیز مقادیر حدواسطی را در بیشتر آزمون‌ها نشان داد.

نتایج این آزمون‌ها بیانگر آن است که نمونه‌های سنتزشده از نظر فعالیت ضدباکتریایی رفتار یکسانی نداشتند. با این وجود، از آنجا که هدف این پژوهش مقایسه آماری یا بررسی مکانیسم اثر نبوده است، نتایج صرفاً بر اساس مقادیر اندازه‌گیری‌شده گزارش شده و از ارائه تفسیرهای فراتر از داده‌های آزمایشگاهی اجتناب گردید.

۷-۳ بحث

نتایج حاصل از آزمون‌های شناسایی و ارزیابی فعالیت ضدباکتریایی نشان داد که نمونه‌های سنتزشده دارای رفتارهای متفاوتی در برابر باکتری‌های مورد مطالعه بودند. آزمون‌های XRD ، FTIR، SEM، EDSو Elemental Mapping اطلاعات لازم را برای شناسایی نمونه‌های سنتزشده فراهم نمودند و در کنار نتایج آزمون‌های ضدباکتریایی، امکان بررسی عملکرد هر یک از نمونه‌ها را فراهم ساختند.

بررسی نتایج آزمون انتشار در آگار، MICو MBC نشان داد که فعالیت ضدباکتریایی به نوع ماده و غلظت مورد استفاده وابسته است. در میان نمونه‌های مورد بررسی، تفاوت‌هایی در میزان مهار رشد باکتری‌ها مشاهده شد که بیانگر عملکرد متفاوت Cu-MOF ، LDHو نانوکامپوزیت Cu-MOF/LDH در شرایط این پژوهش است.

با توجه به اینکه رویکرد این تحقیق وبررسی مطالعه، سنتز، شناسایی و بررسی اولیه فعالیت ضدباکتریایی نمونه‌های سنتزشده بود، از بررسی مکانیسم اثر، تحلیل‌های سینتیکی و ارائه تفسیرهای فراتر از داده‌های تجربی خودداری گردید. انجام مطالعات تکمیلی در این زمینه می‌تواند درک دقیق‌تری از رفتار این مواد در کاربردهای زیستی فراهم آورد.

۸- نتیجه گیری

در این پژوهش، نمونه‌های Cu-MOF ، LDHو نانوکامپوزیت Cu-MOF/LDH سنتز شدند و با استفاده از آزمون‌های XRD ، FTIR، SEM، EDSو Elemental Mapping مورد شناسایی قرار گرفتند. همچنین، فعالیت ضدباکتریایی نمونه‌های سنتزشده

در برابر باکتری‌های *مورد مطالعه* به روش انتشار در آگار، تعیین حداقل غلظت مهارکنندگی رشد (MIC) و حداقل غلظت باکتری‌کشی (MBC) مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج آزمون‌های ضدباکتریایی نشان داد که نمونه‌های مورد بررسی رفتار یکسانی در برابر باکتری‌های آزمون نداشتند و میزان فعالیت آن‌ها به نوع نمونه و غلظت مورد استفاده وابسته بود. در میان نمونه‌های بررسی‌شده، تفاوت‌هایی در مقادیر هاله عدم رشد، MICو MBC مشاهده گردید که نشانه ای بود از عملکرد متفاوت هر یک از مواد سنتزشده در شرایط این پژوهش است.

با توجه به نتایج حاصل، نانوکامپوزیت Cu-MOF/LDH سنتزشده می‌تواند به‌عنوان بستری برای انجام مطالعات تکمیلی در زمینه کاربردهای زیستی مورد توجه قرار گیرد. با این حال، بررسی دقیق‌تر مکانیسم عملکرد، ارزیابی زیست‌سازگاری و سایر مطالعات مرتبط، نیازمند پژوهش‌های تکمیلی خواهد بود.

منابع و ماخذ:

[1] J Wu 2020 Oct "Interception of phosphorus release from sediments using Mg/Fe-based layered double hydroxide (MF-LDH) and MF-LDH coated magnetite as geo-engineering tools".Science of The Total Environment Volume 739, 15 October 2020, 139749

[2] S Kumaraguru 2022 Synthesis of Cu-MOF/CeO2 nanocomposite and their evaluation of hydrogen production and cytotoxic activity

[3] HW Olfs · 2009 March " Comparison of different synthesis routes for Mg–Al layered double hydroxides (LDH): Characterization of the structural phases and anion exchange properties." Volume 43, Issues 3–4, March 2009, Pages 459-464

[4] X Feng 2022 ."A review on heavy metal ions adsorption from water by layered double hydroxide and its composites"
Separation and Purification Technology Volume 284, 1 February 2022, 120099

[5] AH Shah 2023. " Porous Cu-based metal organic framework (Cu-MOF) for highly selective adsorption of organic pollutants." Journal of Solid-State Chemistry Volume 322, June 2023, 123935

[6] silva 2021"Different routes for MgFe/LDH synthesis and application to remove pollutants of emerging concern Separation and Purification Technology"
Volume 264, 1 June 2021, 118353