



ساخت، مشخصه‌یابی و مطالعه خواص ضد سرطانی و ضد باکتریایی نانوکامپوزیت 1T/2H MoS₂/MnMoO₄

| ویشتاب سلیمانیان بروجنی^{۱*}، محسن قاسمی^۲، حسین عباس تبار آهنگر^۳، فرزاد صادقی^۴ |

^۱گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد

^۲گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد

^۳گروه شیمی، دانشکده مواد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد

^۴گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد

چکیده: در این مقاله به ساخت، مشخصه‌یابی و مطالعه خواص ضد باکتری و ضد سرطانی نانوکامپوزیت MoS₂/MnMoO₄ پرداخته شده است. نانوکامپوزیت با روش تک مرحله‌ای هیدروترمال سنتز شده و سپس با آنالیزهای پراش پرتو ایکس، میکروسکوپ الکترونی روبشی، طیف سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه، طیف‌سنجی فرابنفش-مرئی و مغناطیس سنجی نمونه ارتعاشی خواص ساختاری، اپتیکی و مغناطیسی آن مطالعه شده است. به منظور بررسی خواص ضد باکتری، دو باکتری گرم مثبت (*Staphylococcus aureus*) و گرم منفی (*Escherichia coli*)، و برای مطالعه خواص ضد سرطانی رده سلولی سرطان روده بزرگ انسانی (HCT-116) استفاده شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که نانوکامپوزیت بدون هیچ ناخالصی بصورت نانوصفحات سنتز شده است. همچنین نانوساختار دارای خواص ضد باکتریایی چشمگیر برای باکتری گرم مثبت بوده و روی باکتری گرم منفی فاقد تاثیر ضد باکتری است. MIC₅₀ برای باکتری *S. aureus* برابر با ۵۱/۸۱ میکروگرم بر میلی‌لیتر است. هم‌چنین مطالعه ویژگی ضد سرطانی روی رده مورد مطالعه نشان می‌دهد که نانوساختار دارای خواص ضد سرطانی قابل توجهی نیست و مقدار IC₅₀ در حدود ۲۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر است.

واژگان کلیدی: نانوکامپوزیت، MoS₂/MnMoO₄، مشخصه‌یابی، ضد باکتری، ضد سرطان

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۲/۱۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۴/۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۷/۸

زمستان ۱۴۰۳ | شماره ۴ | سال یازدهم

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، استفاده از نانوساختار در حوزه‌های مختلف علوم و مهندسی افزایش چشم‌گیری یافته است و یکی از حوزه‌های بسیار پرکاربرد نانوبیوفناوری است. نانوکامپوزیت‌ها دسته‌ای از نانوساختارها هستند که با ترکیب چند ماده با ویژگی‌های متفاوت، می‌توانند سبب هم‌افزایی و تغییر ویژگی‌های نانوساختار شده و هم‌زمان چندین خاصیت را فراهم نمایند. مطالعات در حوزه نانوساختارهای کامپوزیتی با هندسه‌های متفاوت به منظور استفاده در کاربردهای زیست‌فناوری برای تشخیص و درمان بیماری سرطان توسط تکنیک‌های مختلف مورد توجه زیادی قرار گرفته است. در این حوزه نانوساختارها با هدف‌های گوناگون سنتز و بکار گرفته می‌شوند. به عنوان مثال، نانوساختارها به عنوان دارو [۱-۵]، حامل دارو [۱، ۶] و یا محرک اپتیکی یا مغناطیسی در تصویر برداری‌های پزشکی [۷، ۸] و درمان با تکنیک‌های گرمادهی نوری [۹، ۱۰] و گرمادهی مغناطیسی [۱۱، ۱۲] مورد استفاده قرار می‌گیرند.

دی سولفید مولیبدن با ساختار دو بعدی به عنوان هم‌تای معدنی گرافن شناخته می‌شود که به علت ویژگی‌های فوق‌العاده در حوزه مختلفی مانند اپتیک و الکترونیک [۱۳]، انرژی‌های نوین [۱۴] و کاتالیست‌ها [۱۵-۱۷] مورد مطالعه و استفاده قرار گرفته است. نانوکامپوزیت‌های دارای دی سولفید مولیبدن به عنوان یک نانوساختار به منظور بررسی ویژگی‌های ضد سرطانی [۲، ۳، ۵]، ضد باکتریایی [۲، ۵، ۱۸] و حامل دارو [۶] نیز مطالعه شده است. از سوی دیگر، ترکیب $MnMoO_4$ در سال‌های اخیر به عنوان الکتروود در ساخت ابرخازن‌ها [۱۹، ۲۰] بسیار مورد توجه بوده است. ولی در حوزه زیست‌فناوری کمتر مورد بحث و بررسی بوده است. همچنین، نانوکامپوزیت $MoS_2/MnMoO_4$ (MM) در حوزه انرژی‌های نو و ذخیره انرژی مورد بررسی قرار گرفته است [۱۹]. در حالی که MoS_2 دارای خواص ضد باکتری و ضد سرطانی است ولی براساس بررسی‌های انجام شده، نانوکامپوزیت MM در حوزه نانو زیست‌فناوری تاکنون مطالعه نشده و خواص ضد باکتری و ضد سرطانی آن مورد بررسی قرار نگرفته است.

بنابراین، این مقاله به ساخت و بررسی خواص نانوکامپوزیت هیبریدی 1T/2H MM اختصاص دارد. ابتدا مطالعه ویژگی‌های

ساختاری، اپتیکی و مغناطیسی مطالعه شده است. سپس فعالیت‌های ضد باکتری، برای دو باکتری گرم مثبت (*S. aureus*) و گرم منفی (*E. coli*) و همچنین خواص ضد سرطانی برای رده سلولی سرطان روده بزرگ انسانی (HCT-116) مطالعه شده است.

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد اولیه

نمک آمونیوم هپتامولیدات چهار آبه ($(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$)، تیوره (CH_4N_2S) و نمک استات منگنز چهار آبه ($C_4H_6MnO_4 \cdot 4H_2O$) و آب دو بار یونیزه شده (Dionized Water) استفاده شده است. همه مواد با درجه خلوص بالا از شرکت مرک آلمان فراهم شده اند.

۲-۲- روش سنتز نانوکامپوزیت

با روش هیدروترمال و بصورت تک مرحله‌ای سنتز شد [۲۱]. به این منظور، ابتدا مقدار ۱ گرم آمونیوم هپتامولیدات و ۰/۹ گرم تیوره و ۲ گرم استات منگنز در ۲۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه به مدت ۳۰ دقیقه تحت چرخش مغناطیسی قرار گرفتند. سپس محلول حاصل به یک تفلون ضد زنگ ۳۰ میلی‌لیتری منتقل شده و در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ ساعت در اتوکلاو قرار گرفت. پس از سرد شدن و رسیدن به دمای اتاق رسوب سیاه رنگ جداسازی و سه مرتبه با آب دیونیزه شسته شد و به مدت ۴۸ ساعت در دمای اتاق خشک شد.

۲-۳- مشخصه‌یابی فیزیکی

آنالیزهای پراش پرتو ایکس (XRD-PHILIPS PW3040)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM-QUANTAFEG-450)، طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR-Tensor 27)، طیف‌سنجی فرابنفش-مرئی (T80-PG Instruments) و مغناطیس‌سنجی نمونه ارتعاشی (MDK-7400) برای بررسی خواص ساختاری، اپتیکی و مغناطیسی انجام شده است.

۲-۳- آزمون فعالیت ضدباکتری

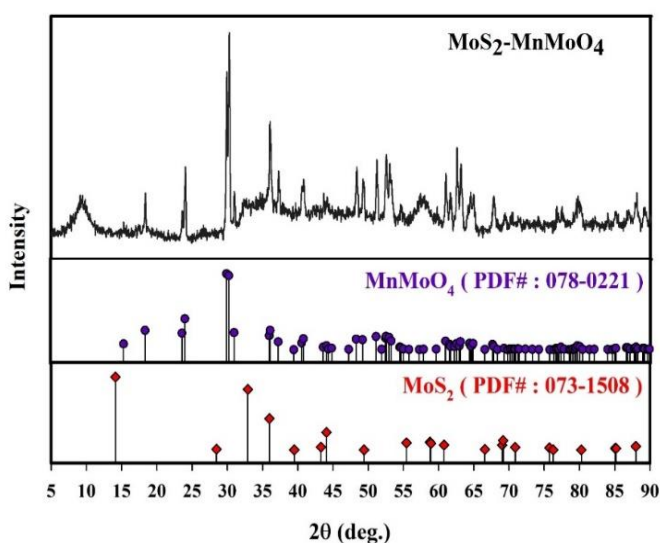
$$\text{viability} = \frac{A_{\text{mean}} - A_{\text{DMSO}}}{A_{\text{DMSO}} - A_{\text{blank}}} \quad (2)$$

که در این رابطه A_{mean} ، A_{DMSO} و A_{blank} به ترتیب جذب چاهک دارای سلول و نانوساختار، جذب DMSO به عنوان کنترل منفی و جذب چاهک دارای سلول هستند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- آنالیز XRD

شکل ۱ الگوی پراش پرتو ایکس $1\text{T}/2\text{H}$ MM را نشان می‌دهد. طیف در توافق با PDF کارت‌های شماره ۰۷۳-۱۵۰۸ و ۰۲۲۱-۰۷۸ مربوط به ساختارهای هگزاگونال MoS_2 و مونوکلینیک منگنز مولیبدن اکسید (MnMoO_4) هستند. بنابراین این الگو تاییدکننده سنتز صحیح و بدون ناخالصی ماده است. قله مربوط به ساختار MoS_2 در ۱۴ درجه به ۹ درجه منتقل شده که به علت افزایش ضخامت لایه MoS_2 است و مربوط به صفحه ۰۰۲ است که مطالعات قبلی نیز مشاهده می‌شود و تشکیل ساختار $1\text{T}/2\text{H}$ بصورت همزمان را تایید می‌کند [۵]. قله مربوط به صفحه ۱۰۰ نیز در زوایه ۳۳ درجه برای MoS_2 است. قله‌های نزدیک به یکدیگر در محدوده ۳۰ درجه تاییدکننده تشکیل ساختار مونوکلینیک MnMoO_4 است.



شکل ۱: طیف پراش پرتو ایکس نانوکامپوزیت

مطالعه فعالیت ضد باکتری نانوکامپوزیت سنتز شده برای دو باکتری گرم مثبت (*S. aureus*) و گرم منفی (*E. coli*) مطالعه شد [۲۲]. پنج غلظت ۸۰۰، ۴۰۰، ۲۰۰، ۱۰۰ و ۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر از نانوکامپوزیت با دو تکرار در چاهک‌های یک ظرف ۹۶-خانه منتقل شدند که یکی از آنها به عنوان خالی (Blank) مورد استفاده قرار گرفت. پس از کشت باکتری و رسیدن تعداد آنها به 10^8 عدد در محیط کشت به هر غلظت ۱۰ میکرولیتر از محیط کشت حاوی باکتری اضافه و برای ۲۴ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد انکوبه شد. سپس مقدار جذب توسط ELISA در طول موج ۶۳۰ نانومتر خوانده شده و زنده‌مانی از رابطه زیر بدست آمد:

$$\text{viability} = \frac{A_{\text{well}} - (A_{\text{blank}} + A_{\text{NC}})}{(A_{\text{PC}} - A_{\text{NC}})} \quad (1)$$

در این رابطه A_{well} ، A_{blank} ، A_{NC} و A_{PC} به ترتیب جذب چاهک حاوی باکتری، جذب چاهک خالی از باکتری و کنترل‌های منفی و مثبت هستند.

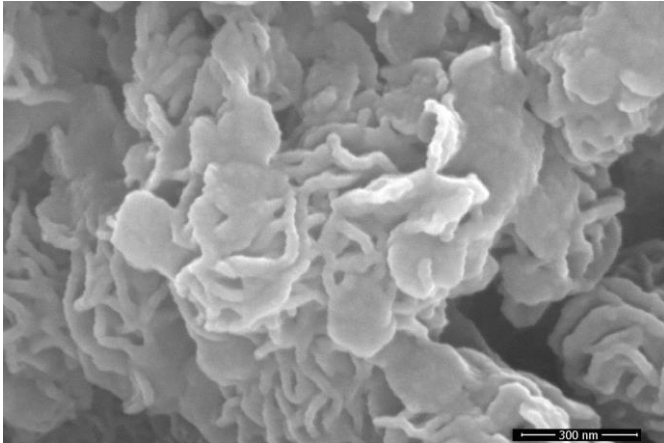
۲-۴- رده سلولی و کشت سلولی

رده سلولی HCT-116 (مربوط به سرطان روده انسان) از انستیتو پاستور فراهم شد و توسط DMEM و ۱۰٪ FBS کشت داده شد و سپس در جو ۵٪ دی‌اکسیدکربن و در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. همچنین پاساژ سلولی توسط ۲۵٪ تریپسین و EDTA انجام شد.

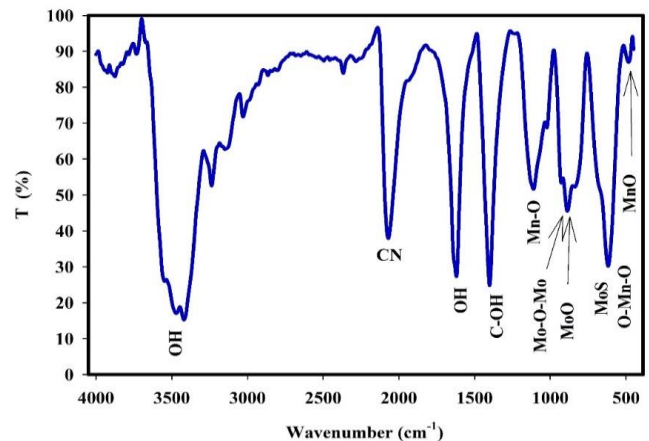
۲-۵- آنالیز MTT

بررسی ویژگی ضد سرطانی نانوساختار توسط آنالیز MTT انجام شد. برای انجام این تست سلول‌ها با چگالی ۸۰۰۰ سلول در هر چاهک در یک ظرف ۹۶-خانه نشست داده شد و پس از ۲۴ ساعت نانوکامپوزیت در شش غلظت ۲۰۰، ۱۰۰، ۵۰، ۲۵، ۱۲/۵ و ۶/۲۵ میکروگرم بر میلی‌لیتر به چاهک‌ها اضافه شدند. سپس ۲۰ میکرولیتر محلول MTT حاوی ۵ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر PBS بعد از ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت به چاهک‌ها اضافه شد و در محیط تاریک به مدت سه ساعت انکوبه شد. سپس با خارج کردن محیط کشت از چاهک‌ها مقدار ۱۵۰ میکرولیتر DMSO به منظور حل کردن بلورهای فورمازون تشکیل شده، اضافه شد. تمامی آزمایشات با سه تکرار انجام شده و زنده‌مانی از رابطه زیر بدست آمد:

ساختار تخمین زده می‌شود. آنالیز EDX نیز حضور عناصر موجود در نانو ساختار و نیز عدم حضور هرگونه ناخالصی را تایید می‌کند.



شکل ۳: تصویر SEM نانو کامپوزیت



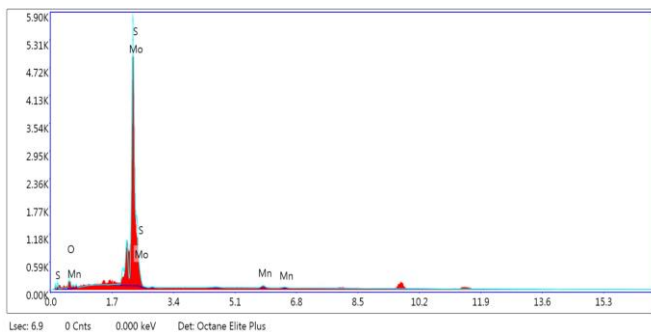
شکل ۲: طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه نانو کامپوزیت

۲-۳- آنالیز FTIR

به منظور بررسی پیوندهای درون ساختار نانو کامپوزیت به آنالیز FTIR انجام شد. شکل ۲ طیف بدست آمده را نشان می‌دهد و قله‌های مشاهده شده سنتز نانو کامپوزیت را تایید می‌کند. به علت حضور آب در روش سنتز قله‌های محدوده عدد موج ۳۵۰۰، ۱۶۰۰ و ۷۰۰ بر سانتی‌متر مشاهده می‌شود و استفاده از استات منگنز قله پیوند C-OH را نیز تایید می‌کند [۲۳، ۲۴]. همچنین ماده دارای قله‌هایی متفاوت از پیوند بین O و Mo در ساختار $MnMoO_4$ است که در حدود ۹۰۰ و ۵۰۰ بر سانتی‌متر قابل مشاهده است. قله‌های محدوده ۱۲۰۰ و ۴۸۰ بر سانتی‌متر نیز تایید کننده پیوند بین O و Mn هستند [۱۹].

۳-۳- مطالعه SEM

شکل‌های ۳ و ۴ به ترتیب تصویر SEM و EDX نانو کامپوزیت $1T/2H\text{ MM}$ را نشان می‌دهد. تشکیل ساختار نانوصفحه به روشی دیده می‌شود ولی ساختار بدست آمده بصورت نانوگل‌های MoS_2 نیست و علت آن حضور ساختار مونوکلینیک و رشد میله‌ای $MnMoO_4$ است. این تغییر ساختار می‌تواند به علت تشکیل شدن نانومیله‌های $MnMoO_4$ و سپس رشد صفحات MoS_2 در امتداد آن‌ها توضیح داده شود. باتوجه به مقیاس روی شکل مقادیری در حدود ۲۸ نانومتر و ۱۸۵ نانومتر به ترتیب برای ضخامت و پهنای

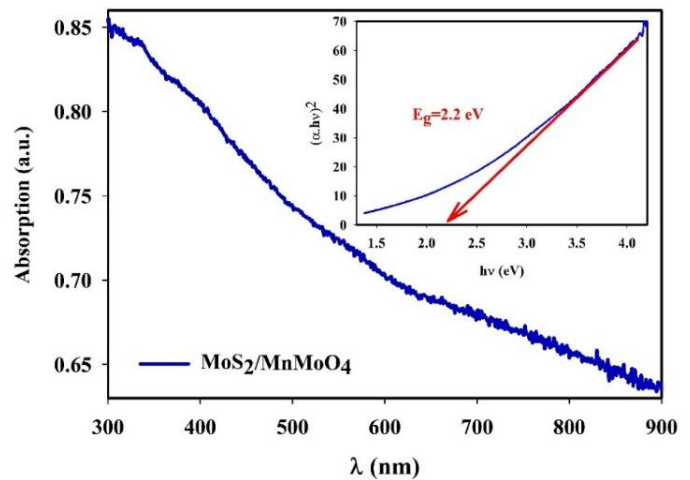


شکل ۴: آنالیز EDX نانو کامپوزیت

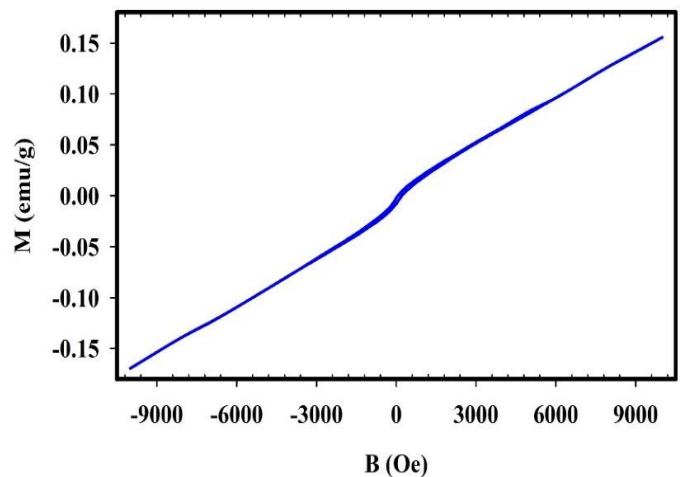
۳-۴- مطالعه UV-Vis

بررسی و مطالعه خواص اپتیکی نانو کامپوزیت سنتز شده، طیف-سنجی UV-Vis انجام شد. شکل ۵ جذب نانو ساختار بین طول موج‌های ۳۰۰ تا ۹۰۰ نانومتر را نشان می‌دهد. دو برآمدگی ضعیف در محدوده طول موج‌های ۳۰۰ و ۴۰۰ نانومتر مرتبط با ساختار $MnMoO_4$ هستند و همچنین کاهش جذب در طول موج‌های بلندتر با روند طیف جذب $1T\text{ MoS}_2$ و $MnMoO_4$ منطبق است [۲۰، ۲۵، ۲۶]. با استفاده از روش تاوک [۲۷، ۲۸]، گاف انرژی اندازه‌گیری و مقدار آن در حدود $2/20$ الکترون‌ولت محاسبه شد. بر پایه مطالعات پیشین، گاف انرژی ساختار $MnMoO_4$ در حدود $1/20$ الکترون‌ولت است که در ترکیب با MoS_2 ، به $2/20$ افزایش

یافته است. افزایش مقدار گاف انرژی به علت تغییرات در سطح انرژی ساختارهای هیبریدی است.



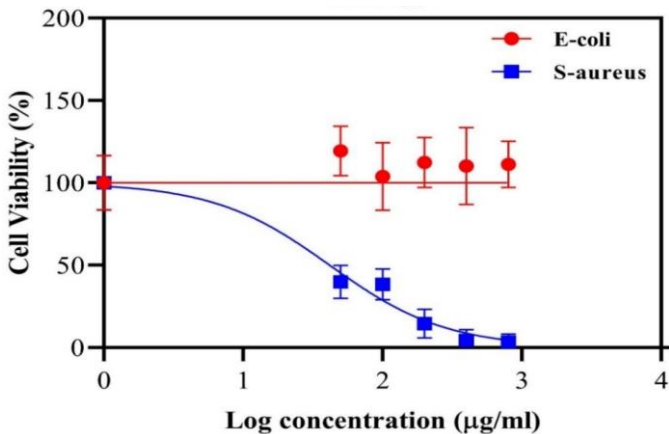
شکل ۵: طیف UV-Vis نانوکامپوزیت



شکل ۶: آنالیز مغناطیس‌سنجی نانوکامپوزیت

۳-۵- مطالعه VSM

آنالیز VSM به منظور تعیین رفتار مغناطیسی نانوکامپوزیت $\text{MoS}_2/\text{MnMoO}_4$ انجام شد و نتیجه در شکل ۶ مشاهده گزارش شده است. برپایه مطالعات قبلی انجام شده رفتار MoS_2 دیامغناطیس است [۵]. شکل ۶ پسماند مغناطیسی یک ابرپارامغناطیس را نشان می‌دهد که این تغییر رفتار ناشی از حضور منگنز است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که حضور MnMoO_4 بر خاصیت دیامغناطیس MoS_2 غالب شده است و نانوکامپوزیت به یک پارامغناطیس با اشباع مغناطیسی بسیار کم تبدیل می‌شود.



شکل ۷: فعالیت ضد باکتری نانوکامپوزیت در غلظت‌های مختلف

۳-۶- خواص ضد باکتریایی

خواص ضد باکتری نانوکامپوزیت در شکل ۷ نشان می‌دهد که دارای خواص ضد باکتری برای باکتری گرم مثبت است و بر روی باکتری گرم منفی دارای کشندگی نیست. کشندگی برای باکتری *E. coli* در همه غلظت‌ها تقریباً صفر بوده ولی برای باکتری *S. aureus* دارای کشندگی در همه غلظت‌ها است. مقدار MIC_{50} برای *S. aureus* با توجه به آنالیزهای آماری برابر با $51/81$ میکروگرم بر میلی‌لیتر است. از این نتیجه نشان می‌دهد که فعالیت ضد باکتری نانوکامپوزیت بصورت اختصاصی است. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که MoS_2 دارای خواص ضد باکتری قوی است [۲، ۵] ولی با اضافه شدن MnMoO_4 خواص ضد باکتری را برای گرم منفی‌ها به شدت کاهش می‌یابد. اثر بخشی روی یک گونه باکتری و عدم فعالیت ضد باکتری برای گونه دیگر می‌تواند با توجه به نوع ساختار غشا باکتری و بار سطحی آن‌ها توجیه شود زیرا تست پتانسیل زتا برای نانوکامپوزیت برابر با $24/84$ میلی‌ولت است و این مقدار برای باکتری‌های گرم منفی و گرم مثبت مطالعه شده به ترتیب برابر با $44/20$ و $35/60$ میلی‌ولت است [۲۹]. بنابراین می‌توان دریافت که دافعه کولنی نقش اساسی در مطالعه خواص ضدباکتری ایفا کرده است. افزایش مقادیر بدست آمده به بالای ۱۰۰ درصد نشان می‌دهد که باکتری گرم مثبت در حضور نانوکامپوزیت رشد داشته است.

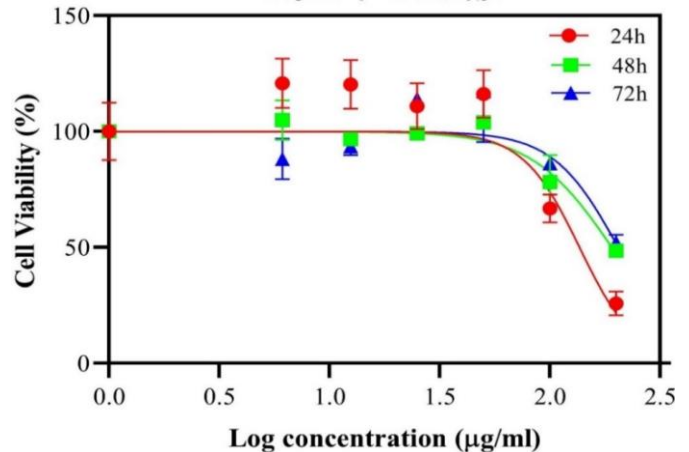
تشکیل نانوصفحه‌های نانوکامپوزیت را نشان می‌دهد. همچنین مطالعه خواص ضد باکتری و ضد سرطانی نیز مطالعه شد. نتایج نشان می‌دهد که نانوکامپوزیت دارای خواص ضد باکتری برای باکتری گرم مثبت است ولی بر روی باکتری گرم منفی فعالیت ضد باکتریایی دیده نمی‌شود. همچنین ساختار دارای خاصیت ضد سرطانی نبوده که دلیل آن نرخ بازترکیب بالای الکترون-حفره و کاهش ROS است.

۵- تشکر و قدردانی

بدین وسیله نویسندگان از مرکز تحقیقات نانوفناوری دانشگاه شهرکرد برای حمایت تشکر می‌نمایند.

مراجع

1. Ghazimoradi, M., et al., *pH-responsive, magnetic-luminescent core/shell carriers for co-delivery of anticancer drugs (MTX & DOX) for breast cancer treatment*. Journal of Alloys and Compounds, 2023. **936**: p. 168257.
2. Kasinathan, K., et al., *Synthesis of biogenic chitosan-functionalized 2D layered MoS₂ hybrid nanocomposite and its performance in pharmaceutical applications: In-vitro antibacterial and anticancer activity*. International Journal of Biological Macromolecules, 2020. **149**: p. 1019-1033.
3. Nouri, A., et al., *Simultaneous linear release of folic acid and doxorubicin from ethyl cellulose/chitosan/g-C₃N₄/MoS₂ core-shell nanofibers and its anticancer properties*. Journal of Biomedical Materials Research Part A, 2021. **109**(6): p. 903-914.
4. Wang, J., et al., *MoS₂-based nanocomposites for cancer diagnosis and therapy*. Bioactive Materials, 2021. **6**(11): p. 4209-4242.
5. Sadeghi, F., et al., *High-efficient anticancer, antibacterial, and adsorption activities of 1T/2H MoS₂ nanoflowers decorated by Fe₃O₄ and Ag nanoparticles*. Materials Chemistry and Physics, 2024. **318**: p. 129252.



شکل ۸: فعالیت ضد سرطانی نانوکامپوزیت در غلظت‌های مختلف

۳-۷- خواص ضد سرطانی

نتایج تست MTT در شکل ۸ نشان می‌دهد که ساختار سنتز شده دارای ویژگی ضد سرطانی چشم‌گیری روی رده سلولی HCT-116 نیست و برای ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت مقدار IC_{50} به ترتیب ۱۴۸/۷، ۱۸۸/۴۷ و ۲۱۵/۵۱ میکروگرم بر میلی‌لیتر است. نمودار زنده‌مانی نشان می‌دهد که تنها دو غلظت ۱۰۰ و ۲۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر دارای خواص ضد سرطانی است. این در حالی است که MoS_2 دارای خواص ضد سرطانی بر روی این رده است [۵]. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که اضافه شدن $MnMoO_4$ فعالیت ضد سرطانی MoS_2 را کاهش می‌دهد. علت این کاهش نرخ ترکیب الکترون-حفره بالا در گاف انرژی پایین‌تر نسبت به گاف انرژی بالاتر است که باعث کاهش شکل‌گیری گونه‌های رادیکال-های اکسیژن (ROS) می‌شود و بنابراین سمیت سلولی و خواص ضد سرطانی کاهش یابد. مشابه با فعالیت ضد باکتری افزایش به بالای ۱۰۰ درصد نشان می‌دهد سلول‌ها در غلظت‌های کم نانوکامپوزیت رشد داشته‌اند.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله خواص فیزیکی، ضد باکتری و ضد سرطانی نانوکامپوزیت $MoS_2/MnMoO_2$ بررسی شده است. آنالیزهای EDX، SEM، FTIR، XRD، UV-Vis و VSM به ترتیب برای مطالعه خواص ساختاری، تشکیل پیوندهای درون ساختار، ریخت‌شناسی، خواص اپتیکی و مغناطیسی انجام شده است. نتایج

- Materials Science, 2018. **53**(14): p. 10302-10312.
16. Han, B. and Y.H. Hu, *MoS₂ as a co-catalyst for photocatalytic hydrogen production from water*. Energy Science & Engineering, 2016. **4**(5): p. 285-304.
 17. Li, S.-j., et al., *Direct Z-scheme N-doped TiO₂/MoS₂ Heterojunction Photocatalyst for Photodegradation of Methylene Blue under Simulated Sunlight*. ChemistrySelect, 2021. **6**(2): p. 181-186.
 18. Kasinathan, K., et al., *Cyclodextrin functionalized multi-layered MoS₂ nanosheets and its biocidal activity against pathogenic bacteria and MCF-7 breast cancer cells: Synthesis, characterization and in-vitro biomedical evaluation*. Journal of Molecular Liquids, 2021. **323**: p. 114631.
 19. Harichandran, G., et al., *Facile morphology-controlled synthesis of nanostructured MnMoO₄ nanorods as an advance electrode material for supercapacitor application*. Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 2020. **31**(2): p. 1646-1653.
 20. Paul, A. and S.S. Dhar, *Construction of hierarchical MnMoO₄/NiFe₂O₄ nanocomposite: Highly efficient visible light driven photocatalyst in the degradation of different polluting dyes in aqueous medium*. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2020. **585**: p. 124090.
 21. Thangappan, R., R. Dhinesh Kumar, and R. Jayavel, *Synthesis, structural and electrochemical properties of Mn-MoO₄/graphene nanocomposite electrode material with improved performance for supercapacitor application*. Journal of Energy Storage, 2020. **27**: p. 101069.
 22. Eramabadi, P., et al., *Microbial cell lysate supernatant (CLS) alteration impact on platinum nanoparticles fabrication, characterization, antioxidant and antibacterial activity*. Materials Science and Engineering: C, 2020. **117**: p. 111292.
 23. Alowasheir, A., et al., *Two-dimensional cyano-bridged coordination polymer of Mn(H₂O)₂[Ni(CN)₄]: structural analysis*
 6. Zhang, X., et al., *Functionalized MoS₂-nanosheets for targeted drug delivery and chemo-photothermal therapy*. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2019. **173**: p. 101-108.
 7. Yamini, S., et al., *NaGdF₄:Yb,Er-Ag nanowire hybrid nanocomposite for multifunctional upconversion emission, optical imaging, MRI and CT imaging applications*. Microchimica Acta, 2020. **187**(6): p. 317.
 8. Naghdi, M., et al., *Magnetic nanocomposites for biomedical applications*. Advances in Colloid and Interface Science, 2022. **308**: p. 102771.
 9. Liu, J., et al., *MoS₂-based nanocomposites with high photothermal conversion efficiency for combinational photothermal/photodynamic tumor therapy*. Journal of Alloys and Compounds, 2024. **970**: p. 172489.
 10. Yougbaré, S., et al. *Gold Nanorod-Decorated Metallic MoS₂ Nanosheets for Synergistic Photothermal and Photodynamic Antibacterial Therapy*. Nanomaterials, 2021. **11**, DOI: 10.3390/nano11113064.
 11. Albarqi, H.A., et al. *Systemically Delivered Magnetic Hyperthermia for Prostate Cancer Treatment*. Pharmaceutics, 2020. **12**, DOI: 10.3390/pharmaceutics12111020.
 12. Jose, J., et al., *Magnetic nanoparticles for hyperthermia in cancer treatment: an emerging tool*. Environmental Science and Pollution Research, 2020. **27**(16): p. 19214-19225.
 13. Choudhary, R.B. and G. Mandal, *MoS₂ decorated with graphene and polyaniline nanocomposite as an electron transport layer for OLED applications*. Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 2020. **31**(2): p. 1302-1316.
 14. Liu, Z., et al., *CH₃NH₃PbI₃:MoS₂ heterostructure for stable and efficient inverted perovskite solar cell*. Solar Energy, 2020. **195**: p. 436-445.
 15. Fan, H., et al., *Synthesis of metal-phase-assisted 1T@2H-MoS₂ nanosheet-coated black TiO₂ spheres with visible light photocatalytic activities*. Journal of

- and proton conductivity measurements upon dehydration and rehydration. CrystEngComm, 2018. 20(42): p. 6713-6720.*
24. Zhang, W., et al., *Strengthen the performance of sulfonated poly(ether ether ketone) as proton exchange membranes with phosphonic acid functionalized carbon nanotubes. Ionics, 2017. 23(8): p. 2103-2112.*
25. Shi, S., Z. Sun, and Y.H. Hu, *Synthesis, stabilization and applications of 2-dimensional 1T metallic MoS₂. Journal of Materials Chemistry A, 2018. 6(47): p. 23932-23977.*
26. Ali, A., et al., *Ultrathin MoS₂ nanosheets for high-performance photoelectrochemical applications via plasmonic coupling with Au nanocrystals. Nanoscale, 2019. 11(16): p. 7813-7824.*
27. Tauc, J., *Optical properties and electronic structure of amorphous Ge and Si. Materials Research Bulletin, 1968. 3(1): p. 37-46.*
28. Vattikuti, S.P. and C. Byon, *Synthesis and characterization of molybdenum disulfide nanoflowers and nanosheets: nanotribology. Journal of Nanomaterials, 2015. 2015: p. 9-9.*
29. Halder, S., et al., *Alteration of Zeta potential and membrane permeability in bacteria: a study with cationic agents. SpringerPlus, 2015. 4(1): p. 672.*



Synthesis, characterization and examination of antibacterial and anticancer activities of 1T/2H MoS₂/MnMoO₄ nanocomposite

Abstract: In this paper, synthesis, characterization and examination of antibacterial and anticancer activities of MoS₂/MnMoO₄ nanocomposite have been studied. The nanocomposite was synthesized by a simple one-pot hydrothermal method and then its structural, optical, and magnetic properties were studied by various analyses including X-ray diffraction analysis, scanning electron microscopy, Fourier transform infrared spectroscopy, ultraviolet-visible spectroscopy and vibrating sample magnetometry. To study the antibacterial activity, two Gram-positive (*Staphylococcus aureus*) and Gram-negative (*Escherichia coli*) bacteria, as well as for examination of anti-cancer activity, the human colon cancer cell line (HCT-116) have been used. The obtained results show that the nanocomposite was synthesized without any impurities and in the nanosheet morphology. Also, it illustrates a remarkable antibacterial activity for gram-positive bacteria and has no antibacterial effect on gram-negative ones. MIC₅₀ is 51.81 $\mu\text{g}/\text{mL}$ for *S. aureus* bacteria. Additionally, the study of the anti-cancer effect on the HTC-116 cell line shows that it does not have significant anti-cancer activity and IC₅₀ is around 200 $\mu\text{g}/\text{mL}$.

Keywords: nanocomposite, MoS₂/MnMoO₄, characterization, antibacterial, anticancer