

“Research article”

DOI:10.30495/JFH.2021.1916571.1298

Antibacterial effect of iron oxide nanoparticles (Fe₃O₄) in water treatment

Shabani, N.¹, Javadi, A.^{2*}, Jafarizadeh Malmiri, H.³, Mirzaei, H.⁴, Sadeghi, J.⁵

1. Graduated of Food hygiene, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

2. Associate Professor, Faculty of Veterinary Medicine, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

3. Associate Professor, Faculty of Chemical Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran

4. Associate Professor, Faculty of Veterinary Medicine, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

5. Associate Professor, Faculty of Medicine, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran

*Corresponding Author: Javadi@iaut.ac.ir

(Received: 2020/12/1 Accepted: 2020/1/11)

Abstract

In water applications, improper drainage systems increase the pollution of water resources. This study aimed to find an eco-friendly water disinfectant in the coagulation stage of drinking water treatment plants. In this study, iron oxide nanoparticles were synthesized by the co-precipitation method. The antibacterial activity of iron oxide nanoparticles was assessed on six important water-polluting bacteria (*Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus cereus*, and *Staphylococcus aureus*). The results showed that the highest effect of synthesized iron oxide nanoparticles with MIC < 0.07 µg/ml is against *B. cereus* and *E. faecalis*. In addition, iron oxide nanoparticles had antibacterial activity against *Staphylococcus aureus* with MIC = 0.3 µg/ml and in *K. pneumoniae* with MIC = 1.25 and *P. aeruginosa* and *E. coli* with MIC = 0.6 µg/ml. MBC results showed that iron oxide nanoparticles were to eliminate 99.9% of *E. coli* and *S. aureus* bacteria at a concentration of 1.25 µg/ml and *K. pneumoniae* at a concentration of 2.5 µg/ml. The obtained results show the antibacterial potential of nanoparticles for use in water treatment. It seems that the use of Fe₃O₄ nanoparticles as adsorbents in the water treatment process can be an efficient and economical alternative to disinfect water in the early stages of water treatment.

Conflict of interest: None declared.

Keyword: antibacterial, iron oxide nanoparticles, water treatment

DOI: 10.30495/JFH.2021.1916571.1298

«مقاله پژوهشی»

اثر ضد باکتریایی نانو ذرات اکسید آهن (Fe_3O_4) در تصفیه آب

نعیمه شعبانی^۱، افشین جوادی^{۲*}، هدا جعفری زاده مالمیری^۳، حمید میرزایی^۴، جاوید صادقی^۵

۱. دانش آموخته دکترای بهداشت مواد غذایی، گروه بهداشت مواد غذایی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

۲. دانشیار گروه بهداشت مواد غذایی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

۳. دانشیار گروه مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران

۴. دانشیار گروه بهداشت مواد غذایی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

۵. استادیار گروه میکروبیولوژی، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران

* نویسنده مسئول مکاتبات: Javadi@iaut.ac.ir

(دریافت مقاله: ۹۹/۹/۱۱ پذیرش نهایی: ۹۹/۱۰/۲۲)

چکیده

در برنامه‌های کاربردی آب سیستم‌های نامناسب زهکشی سبب افزایش آلودگی منابع آب می‌شود این مطالعه باهدف یافتن ضد عفونی‌کننده سازگار با محیط‌زیست در مرحله منعقد سازی در تصفیه‌خانه‌های آب آشامیدنی انجام شده است. در این مطالعه نانو ذرات اکسید آهن به روش هم رسوبی سنتز گردید و فعالیت ضد باکتریایی نانو ذرات اکسید آهن سنتز شده بر روی شش گونه از باکتری‌های مهم باکتریایی (شامل *اشرشیا کولای* و *انتروکوکوس فیکالیس* و *کلبسیلا پنومونیه* و *سودوموناس آئروچینوزا*، *باسیلوس سرئوس* و *استافیلوکوکوس اورئوس*) مورد ارزیابی قرار گرفت. این مطالعه نشان داد که بیشترین اثر نانو ذرات اکسید آهن سنتز شده با $MIC < 0.07$ میکروگرم بر میلی‌لیتر در برابر *باسیلوس سرئوس* و *انتروکوکوس فیکالیس* است. بعلاوه، نانو ذرات اکسید آهن دارای فعالیت ضد باکتریایی علیه *استافیلوکوکوس اورئوس* با $MIC = 0.3$ میکروگرم در میلی‌لیتر و در *کلبسیلا پنومونیه* $MIC = 1/25$ و *سودوموناس آئروچینوزا* و *اشرشیاکلی* $MIC = 0.6$ میکروگرم در میلی‌لیتر بود. نتایج MBC نشان داد که نانو ذرات اکسید آهن توانست ۹۹/۹ درصد از باکتری‌های *اشرشیاکلی* و *استافیلوکوکوس اورئوس* در غلظت ۱/۲۵ میکروگرم در میلی‌لیتر و *کلبسیلا پنومونیه* در غلظت ۲/۵ میکروگرم در میلی‌لیتر از باکتری‌های را از بین ببرد. نتایج به‌دست‌آمده پتانسیل ضد باکتریایی از نانو ذرات را برای استفاده در تصفیه آب نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد که استفاده از نانو ذرات Fe_3O_4 به‌عنوان جاذب در فرآیند تصفیه آب می‌تواند یک جایگزین کارآمد و اقتصادی برای ضد عفونی کردن آب در مراحل اولیه تصفیه آب باشد.

واژه‌های کلیدی: ضد باکتری، نانو ذرات اکسید آهن، تصفیه آب

مقدمه

(polychlorinated biphenyls) سایر ترکیبات هالوژن دچار اشکالاتی است (Vogel *et al.*, 1987). نانو ذرات دارای خواص ضد میکروبی در مدیریت بیماری‌های مختلف هستند. در میان نانو ذرات ضد میکروبی مختلف، نانو ذرات اکسید آهن پایدار بوده و با محیط‌زیست سازگاری دارنده برای انسان نیز بی‌خطر هستند (Shazia *et al.*, 2018; Arora *et al.*, 2014). نانو ذرات اکسید آهن اثرات ضد باکتریایی قابل توجهی را به دلیل ویژگی‌های خاص خود، از جمله اندازه و نسبت سطح بالا از آن‌ها نشان می‌دهند که باعث تداخل آن‌ها با بیومولکول‌های حیاتی مهم درون سلول‌های باکتریایی می‌شود از آنجاکه آهن عامل کاهنده قوی است، باعث تجزیه گروه‌های عملکردی در پروتئین‌های غشایی و لیپوپلی ساکاریدها می‌شود. نانو ذرات از طریق غشاهای مختل شده نفوذ کرده و باعث آسیب و مرگ سلول می‌شوند (Mohamed *et al.*, 2015; Khawlah *et al.*, 2019). مکانیسم فعالیت ضد میکروبی در نانو ذرات اکسید به دلیل اندازه کوچک و نسبت سطح به حجم بیشتر آن‌ها است که به‌طور مؤثر میکروارگانیزم را پوشش می‌دهد و اکسیژن‌رسانی را کاهش می‌دهد. (Pulit *et al.*, 2013). تولید اکسیژن‌های فعال همچنین به‌عنوان یکی از مکانیسم‌های احتمالی اثر ضد باکتری نانو ذرات آهن شناخته شده است به‌طور مکانیکی، نانو ذرات اکسید آهن ممکن است سبب آسیب به غشای سلولی باکتری شود یا به‌طور مستقیم منجر تغییر اجزای چربی غشا دیواره شود یا از طریق انتشار اکسیژن‌های فعال آسیب برسانند که ممکن است موجب آسیب‌های داخل سلولی شود که منجر به ایجاد خاصیت ضد باکتری قوی می‌شود (Abdeen *et al.*,

برنامه‌های کاربردی آب طیف گسترده‌ای از جمله کشاورزی، صنعت، خدمات، گردشگری و شرب را شامل می‌شود و سیستم‌های نامناسب زهکشی و به‌تبع آن نفوذ مستقیم فضولات حیوانی و انسانی و شیرابه زیاله های شهری همچنین فعالیت‌های کشاورزی و بارش باران سبب افزایش آلودگی آب می‌گردد. شیوع بیماری‌های منتقله از آب توسط باکتری‌های اصلی روده عمدتاً به دلیل عدم تصفیه و یا تصفیه ناقص آب‌های آشامیدنی رخ می‌دهد. مصرف آب آلوده به باکتری‌ها، عامل اصلی مرگ‌ومیر روزانه بیش از ۱۴۰۰۰ نفر در سراسر جهان است که در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه تأثیرات منفی شگرفی بر جای می‌گذارد (Medema *et al.*, 2003; Shabani *et al.*, 2018) برای تضمین کیفیت آب پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی حائز اهمیت است. (Peavy Howard *et al.*, 1985). در پروسه عملیات انعقاد، ته‌نشین سازی و فیلتراسیون در تصفیه آب الزاماً بایستی بیش از ۹۰ درصد میکروب‌ها از آب حذف می‌شوند. استفاده از کلر به‌عنوان ضد عفونی‌کننده آب و جلوگیری از شیوع بیماری‌های منتقله از آب در اثر عوامل میکروبی و پاتوژن‌ها در تصفیه‌خانه‌های آب شرب طی سال‌های متمادی بسیار رایج شده است (Thukkaram *et al.*, 2014)؛ اما به دلیل واکنش با مواد آلی طبیعی و تشکیل محصولات جانبی حاصل از مواد ضد عفونی‌کننده که اکثراً ترکیبات آلی کلردار مانند تری کلر اتیلن، تتراکلرید کربن (carbon tetrachloride)، کلروفنول‌ها (chlorophenols)، بی فنیل‌های پلی کلر

موفقیت سنتز شدند. بر اساس نتایج به دست آمده از BET سطح نانو ذرات اکسید آهن سنتز شده ۹۹/۶ مترمربع در گرم محاسبه گردید و اندازه قطر منافذ نیز در حدود ۱۰/۶ نانومتر به دست آمد. با استفاده از آزمایش VSM حداکثر اشباع مغناطیسی نانو ذرات به دست آمده برابر ۲۱/۶۶ emu/g بود (Shabani et al., 2020).

- تهیه محلول نسبتاً همگن نانو ذرات اکسید آهن

۰/۰۰۵ گرم از نانو ذرات اکسید آهن توزین شده و به دی متیل سولفوکساید (DMSO) Dimethyl sulfoxide) اضافه گردید و برای به دست آوردن محلول نسبتاً همگن مطابق شکل (۳-۲) نمونه در داخل تکه های یخ قرار داده شد و در دستگاه اولتراسونیک به مدت ۱۰ دقیقه و دمای ۲۶ درجه سلسیوس دیس پرس گردید.

- تهیه سویه های استاندارد باکتریایی

شش گونه از باکتری های اندیکاتور از سویه های استاندارد American Type Culture Collection (ATCC) شامل گونه های سودوموناس آئروجینوزا سویه استاندارد ATCC27853، کلبسیلا پنومونیه سویه استاندارد ATCC700603، اشرشیاکلی سویه استاندارد ATCC25922، استافیلوکوکوس آئرئوس سویه استاندارد ATCC25923، ائتروکوکوس فیکالیس سویه استاندارد ATCC8213 و باسیلوس سرئوس سویه استاندارد ATCC11778 مطابق با مطالعات دیگر در انتقال بیماری های منتقله از آب نقش دارند برای این تحقیق تهیه شد (Craun., 1986; Gauthier et al., 2001). تمام سویه هایی باکتریایی مورد آزمایش بر روی محیط کشت

2013; Franci et al., 2015; Kon and Rai., 2013; Li, et al., 2015).

استفاده از نانو ذرات اکسید آهن به عنوان یک منعقد کننده و جاذب مؤثر از ابتدای پروسه تصفیه آب میکروارگانسیم ها را تحت تأثیر قرار داده و موجب بهبود تصفیه آب می گردد (Shabani et al 2020). در این مطالعه تاثیر غلظت نانو ذرات اکسید آهن سنتز شده از نظر کشندگی و یا غیر فعال نمودن فرایند تصفیه آب بر روی باکتری های مهم بیماری زا مورد بررسی قرار گرفته است. فعالیت ضد باکتریایی نانو ذرات اکسید آهن سنتز شده بر روی شش گونه از باکتری های مهم آلوده کننده ی آب (اشرشیا کلی و ائتروکوکوس فیکالیس، کلبسیلا پنومونیه) و عفونت زای مهم بیمارستانی (سودوموناس آئروجینوزا) و عفونت زای غذایی (باسیلوس سرئوس، استافیلوکوکوس اورئوس) به صورت کیفی و کمی مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش ها

- سنتز نانو ذرات اکسید آهن (Fe3O4)

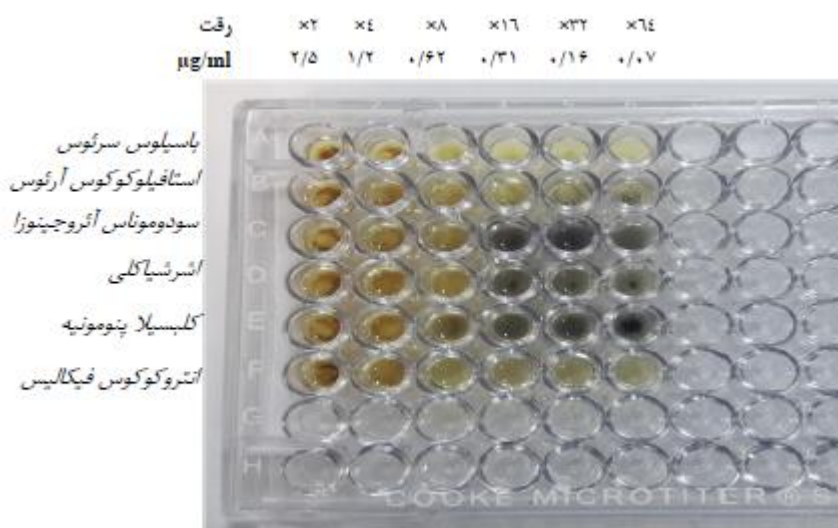
نانو ذرات به روش هم رسوبی تهیه گردید (Bellova et al., 2010). سپس مشخصات نانو ذرات به دست آمده از نظر VSM، BET، XRD و FESEM به ترتیب برای اندازه گیری خصوصیات مغناطیسی، سطح و فاز بلور و مورفولوژی ارزیابی شد. نتایج حاصل از XRD و FESEM و رابطه دبای شرر (Debye-Scherer) نانو ذرات اکسید آهن با پایداری و خلوص بالا با استفاده از روش هم رسوبی در اندازه های متوسط ۱۶-۱۹ نانومتر باهدف حذف و کاهش باکتری ها در مرحله منعقد سازی در تصفیه خانه های آب آشامیدنی، با

براث منتقل شدند. از هر یک از سوسپانسیون‌های میکروبی به مقدار ۵۰ میکرولیتر به هر یک از چاهک‌ها اضافه گردید. میکرو پلیت‌های پوشیده شده به مدت یک‌شب در ۳۷ درجه سلسیوس انکوبه شدند. برای نشان دادن رشد باکتری‌ها، ۵۰ میکرو لیتر معرف MTT (دی متیل تiazول ۲- اتیل -۲ و ۵ دی فنیل تترازولیوم بروماید بنفش) در آب حل شده و به چاهک‌ها اضافه و در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶۰-۳۰ دقیقه انکوبه شد. (Ikhile *et al.*, 2017). از کنترل مثبت و منفی نیز استفاده گردید.

مولر هیتون آگار کشت داده شد. پلیت‌ها در ۳۷ درجه سلسیوس در طول شب انکوبه شدند.

- تعیین حداقل غلظت مهار (MIC)

برای تعیین MIC میکروتیتر پلیت استریل ۹۶ تایی درپوش دار تهیه گردید. ۵۰ میکرو لیتر آب دیونیزه استریل به ۳۶ چاهک (شش ردیف و شش ستون) اضافه شد. ۵۰ میکرو لیتر از محلول‌های آزمایش که شامل نانو ذرات اکسید آهن دیس پرس شده در DMSO است به میکرو پلیت‌ها اضافه گردید که در شکل (۱) نشان داده شده است. سریال‌ها تا اواسط صفحه پلیت ۶۴-۲ بار رقیق شدند. کلنی‌های تازه از پلیت‌ها معادل نیم مک فارلند ($10^8 \times 1/5$) به محیط کشت مولر هیتون



شکل (۱)- آزمایش میکرو براث دایلوشن: چاه‌های شفاف مهار و بنفش رشد باکتری را نشان می‌دهد.

خانه بر روی محیط مولر هیتون آگار به صورت خطی کشت داده شد و کمترین غلظتی که در آن خط رشدی بر روی محیط آگار دار دیده نشد

- تعیین حداقل غلظت باکتری کش (MBC)

به منظور تعیین حداقل غلظت کشندگی MBC (Minimum Bactericidal concentration) از باکتری‌های تحت تیمار در چاهک‌های پلیت ۹۶

به‌عنوان حداقل غلظت کشندگی در نظر گرفته شد (Murray et al., 1999).

یافته‌ها

- ارزیابی خاصیت ضد میکروبی نانو ذرات اکسید آهن بر روی باکتری‌های گرم منفی

مطالعه انجام شده نشان داد که بیشترین اثر نانو ذرات اکسید آهن سنتز شده در باکتری‌های گرم منفی بر روی سودوموناس آئروجینوزا و اشرشیاکلی MIC = ۰/۶۲ میکروگرم در میلی‌لیتر بود. همچنین نانو ذرات اکسید

آهن با MIC=۱/۲۵ توانست فعالیت باکتری کلبسیلا پنومونیه را مهار نماید. نتایج MBC نشان داد که نانو ذرات اکسید آهن توانست ۹۹/۹ درصد از باکتری‌های اشرشیاکلی و کلبسیلا پنومونیه در غلظت ۲/۵ میکروگرم در میلی‌لیتر از باکتری‌های را از بین ببرد. تأثیر نانو ذرات اکسید آهن بر روی سودوموناس آئروجینوزا با $MBC > 2/5$ بود. رابطه و مقایسه بین فاکتور رقت و مقادیر MIC و MBC برای باکتری‌های گرم منفی در جدول (۱) و نمودار (۱) نشان داده شده است.

جدول (۱)- حداقل غلظت مهارکننده و حداقل غلظت کشنده نانو ذرات اکسید آهن بر روی باکتری‌های گرم منفی

باکتری‌های مورد آزمون	اشرشیاکلی	سودوموناس آئروجینوزا	کلبسیلا پنومونیه
حداقل غلظت مهارکننده	۰/۶۲	۰/۶۲	۱/۲۵
حداقل غلظت کشنده	۱/۲۵	۲/۵ >	۲/۵

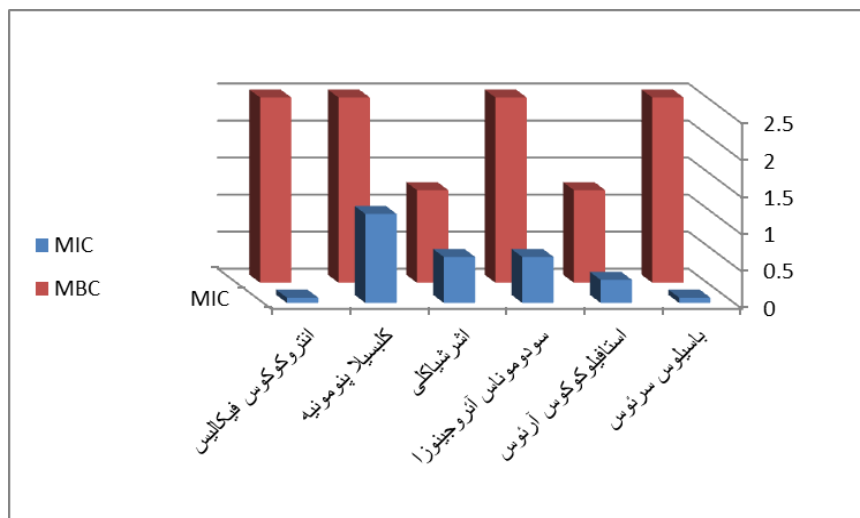
- ارزیابی خاصیت ضد میکروبی نانو ذرات اکسید آهن بر روی باکتری‌های گرم مثبت

بیشترین اثر نانو ذرات اکسید آهن سنتز شده در باکتری‌های گرم مثبت با MIC < ۰/۰۷ میکروگرم بر میلی‌لیتر در برابر باسیلوس سرئوس و انتروکوکوس فیکالیس ارزیابی گردید. بعلاوه، نانو ذرات اکسید آهن دارای فعالیت ضد باکتریایی علیه استافیلوکوکوس آرتوس با MIC = ۰/۳۱ میکروگرم در میلی‌لیتر است. نتایج MBC نشان داد که نانو ذرات اکسید آهن توانست

۹۹/۹ درصد از باکتری‌های استافیلوکوکوس آرتوس را در غلظت ۱/۲۵ میکروگرم در میلی‌لیتر از بین ببرد. میزان کشندگی نانو ذرات اکسید آهن در برابر باسیلوس سرئوس و انتروکوکوس فیکالیس $MBC > 2/5$ است. رابطه و مقایسه بین فاکتور رقت و مقادیر MIC و MBC برای باکتری‌های گرم مثبت در جدول (۲) و نمودار (۱) آورده شده است.

جدول (۲)- حداقل غلظت مهارکننده و حداقل غلظت کشنده نانو ذرات اکسید آهن بر روی باکتری‌های گرم مثبت

باکتری‌های مورد آزمون	باسیلوس سرئوس	استافیلوکوکوس آرتوس	انتروکوکوس فیکالیس
حداقل غلظت مهارکننده	۰/۰۷ <	۰/۳۱	۰/۰۷ <
حداقل غلظت کشنده	۲/۵ >	۱/۲۵	۲/۵ >



نمودار (۱)- مقایسه نتایج MIC و MBC در باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی

(Gomez *et al.*, 2019). محققان نشان دادند نانو ذرات اکسید آهن با اندازه ۹۷ نانومتر که به روش تجزیه حرارتی سنتز شده بود باکتری *استافیلوکوکوس آئروس* را با $MIC = 12/5$ غیرفعال نمود (Das *et al.*, 2020). در مطالعه حاضر نانو ذرات اکسید آهن نتایج بهتری را نشان داد *باسیلوس سرتوس* و *انتروکوکوس فیکالیس* در کمتر از $0/07$ میکروگرم بر میلی‌لیتر و *استافیلوکوکوس آئروس* با $MIC = 0/31$ میکروگرم در میلی‌لیتر و *اشرشیاکلی* با $MIC = 0/62$ میکروگرم در میلی‌لیتر توسط نانو ذرات اکسید آهن سنتز شده مهار شد. همچنین نانو ذرات در غلظت‌های بیش از $2/5$ میکروگرم در میلی‌لیتر خاصیت کشندگی بر روی *باسیلوس سرتوس* داشت. تحقیق انصاری و همکاران تأیید کننده فاصله میان غلظت‌های موثر برای MIC و MBC در باکتری *باسیلوس سرتوس* در مطالعه حاضر است. همچنانکه از نتایج مطالعه حاضر برمی‌آید نانوذرات اکسید آهن با غلظت کمتر نسبت به نانو

بحث و نتیجه‌گیری

تعداد زیادی نانو ذرات برای تأمین عوامل ضد میکروبی ایمن و موثر در برابر گونه‌های باکتریایی سنتز شده‌اند. نانو ذرات اکسید آهن به دلیل اندازه و مساحت بیشتر، با مولکول‌های زیستی مهم درون سلول باکتری‌ها برهم‌کنش داشته و اثرات ضد باکتریایی خوبی نشان می‌دهند (Thukkaram *et al.*, 2014). در تحقیقی که در زمینه اثر ضد میکروبی نانو ذرات اکسید آهن با اندازه ۲۴ نانومتر انجام شده است. مقدار MIC و MBC نانو ذرات اکسید آهن بر روی *باسیلوس سرتوس* به ترتیب پنج و ۸۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر گزارش شده است (Ansari *et al.*, 2017). در پژوهشی نانو ذرات اکسید آهن به شکل مکعب و با اندازه ذرات ۲۵-۳۰۰ نانومتر توانست با غلظت پنج میکروگرم در میلی‌لیتر سبب کاهش رشد *استافیلوکوکوس آئروس* به میزان $54/19$ درصد، *اشرشیاکلی* به میزان $36/12$ درصد و *انتروکوکوس فیکالیس* به میزان $20/92$ درصد شود

سلولی واکنش داده و در زنجیره‌های تنفسی اختلال ایجاد می‌کند. (Moshafi et al., 2019).

در بررسی اثر کامپوزیت هیدروژل نانو ذرات اکسید آهن (مگنتیت تری پولیمر هیبرید) بر روی باکتری *اشرشیاکلی* نتایج MIC و MBC به ترتیب ۳۱/۱۲ و ۱۲۵ گزارش شده است (Reem et al., 2019).

پژوهشگران اثرات ضد میکروبی نانو ذرات Fe_2O_3 را بر روی باکتری‌ها بررسی کردند. نتایج MIC برای باکتری‌های *سودوموناس آئروجینوزا*، *کلبسیلا پنومونیه* و *اشرشیاکلی* به ترتیب ۵۰، ۱۱۰ و ۲۰ گزارش شد (Masadeh et al., 2015). تحقیق انجام شده دیگر نشان داد که در نانو ذرات کامپوزیت شده با پلی اتیلن گلیکول (PEG@FeO) نتایج MIC و MBC بر روی *استافیلوکوکوس آرتوس* و *اشرشیاکلی* به ترتیب ۱۶ و ۳۲ میکروگرم بر میلی‌لیتر است (Zomorodian et al., 2018). محققان در تصفیه آب خاصیت ضد میکروبی نانو ذرات فروسنیلیمین (ferrocenylimine) بر روی گونه‌های باکتریایی به روش میکروبراث دایلوژن در شش رقت مورد آزمایش قرار دادند و نشان دادند که فروسنیلیمین سنتز شده در برابر *باسیلوس سرئوس* سویه استاندارد ATCC10876 و *انتروکوکوس فیکالیس* سویه استاندارد ATCC 7080 با MIC = ۰/۳۱ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر و در برابر *سودوموناس آئروجینوزا* سویه استاندارد ATCC 27853 و *اشرشیاکلی* سویه استاندارد ATCC 25922 با MIC = ۱/۲۵ خاصیت باکتریواستاتیک دارد (Ikhile et al., 2017). در تحقیقی دیگر اثرات ضد میکروبی نانو ذرات اکسید مس را بر روی باکتری *سودوموناس آئروجینوزا* با MIC = ۶۲/۵ میکروگرم بر میلی‌لیتر گزارش کردند (Bezza et al., 2020). نتایج

ذرات مذکور توانست خاصیت مهار کنندگی یا کشندگی اعمال نماید که ممکن است به اندازه و شکل نانو ذرات مربوط باشد. نانو ذرات اکسید آهن کروی با اندازه کمتر از ۲۰ نانومتر در باکتری‌ها داخل شده و باعث تغییر در متابولیسم سلولی و نهایتاً مرگ باکتری‌ها می‌شود. (Gomez et al., 2019).

در پژوهشی نانو ذرات اکسید آهن کوانتومی به شکل کروی و با اندازه < 80 نانومتر سنتز نمودند. فعالیت ضد باکتری آن در برابر *اشرشیاکلی* سویه استاندارد PTCC 1330 با MIC = ۱ و *کلبسیلا پنومونیه* سویه استاندارد PTCC 1053 با MIC $< 0/5$ و *سودوموناس آئروجینوزا* سویه استاندارد PTCC1074 با MIC $< 0/5$ و باکتری گرم مثبت *استافیلوکوکوس آرتوس* سویه استاندارد PTCC1112 با MIC = ۱ گزارش شد (Moshafi et al., 2019). در مطالعه حاضر *اشرشیاکلی* و *سودوموناس آئروجینوزا* با MIC = ۰/۶۲ میکروگرم در میلی‌لیتر و *کلبسیلا پنومونیه* با MIC = ۰/۳۱ میکروگرم در میلی‌لیتر و *استافیلوکوکوس آرتوس* با MIC = ۰/۳۱ میکروگرم در میلی‌لیتر نانو ذرات اکسید آهن مهار شد. قابل توجه است که نانو ذرات سنتز شده توسط مشافی و همکاران با وجود اندازه بزرگ‌تر تقریباً نتایج مشابه با مطالعه حاضر به همراه داشت. دلیل آن می‌تواند ساختار کوانتومی، نانو ذرات باشد که با ایجاد تماس بهتر با باکتری بر روی فعالیت-های ATP سنتز اثر گذاشته و پتانسیل غشاء و متابولیسم سلولی را کاهش می‌دهد. همچنین به ریبوزوم باکتریایی باند شده و عملکرد طبیعی پروتئین‌های باکتریایی دیواره سلول را مختل می‌نماید. مضاف بر آن با فسفر یا گوگرد در مولکول‌های DNA در دیواره

نتایج بهتری را نسبت به سایر نانو ذرات ذکر شده در برداشت که علت آن را می‌توان در جاذب بودن نانوذرات اکسید آهن و به تبع آن عملکرد بهتر خاصیت ضد میکروبی آن عنوان کرد.

اما در تحقیقی که برای بررسی اثر غیرفعال نمودن و کشندگی نانو ذرات نقره بر روی باکتری *استافیلوکوکوس آرتوس* انجام شد. نانو ذرات نقره در غلظت ۰/۶۲ میکروگرم در میلی‌لیتر توانست باکتری *استافیلوکوکوس آرتوس* را هم غیرفعال نماید و هم در همان غلظت ۹۹/۹ درصد باکتری‌ها را از بین ببرد. نانو ذرات نقره به‌طور مداوم یون‌های نقره را در محیط آبی آزاد می‌کنند و به دلیل داشتن سطح وسیع‌تر اثر ضد باکتری قوی‌تر و بهتری دارند (Parvekar et al, 2020). در تحقیق حاضر نانو ذرات اکسید آهن سنتز شده توانست در غلظت ۰/۳۱ میکروگرم در میلی‌لیتر باکتری *استافیلوکوکوس آرتوس* را مهار و در غلظت ۱/۲۵ میکروگرم در میلی‌لیتر از بین ببرد. با این وجود نانو ذرات اکسید آهن به دلیل سنتز آسان و کم‌هزینه و استفاده چندین باره و فرآیند جذب در مرحله منعقد سازی نسبت به نانوذرات نقره مناسب‌تر هستند (Shabani et al. 2020).

نتایج به‌دست‌آمده در این مطالعه پتانسیل ضد باکتریایی از نانو ذرات را برای استفاده در تصفیه آب نشان می‌دهد؛ بنابراین، به نظر می‌رسد که استفاده از نانو ذرات اکسید آهن به‌عنوان جاذب در فرآیند تصفیه آب به دلیل داشتن مواد اولیه آسان و ارزان، فرآیند سنتز و بازیابی و همچنین توانایی استفاده مجدد از آن‌ها برای چندین بار و همچنین نیاز به زمان ماند کمتر می‌تواند یک جایگزین کارآمد و اقتصادی برای ضد عفونی کردن

بررسی گروه دیگر از محققان اثرات ضد میکروبی نانو ذرات اکسید روی را بر روی باکتری‌های *باسیلوس سرئوس* استاندارد ATCC 10876 $MIC = 0/93$ ، *استافیلوکوکوس آرتوس* سویه استاندارد ATCC 25923 $MIC = 1250$ ، *انتروکوکوس فیکالیس* سویه استاندارد ATCC 29212 $MIC = 1/25$ ، *اشرشیاکلی* سویه استاندارد ATCC 25922 $MIC = 1250$ ، *کلبسیلا پنومونیه* سویه استاندارد ATCC 13883 $MIC = 1250$ و *سودوموناس آئروجینوزا* سویه استاندارد ATCC 27853 $MIC = 0/88$ گزارش شد (Ifeanyichukwu et al., 2020). در پژوهشی نتیجه اثر ضد میکروبی نانو ذرات نیترات گالیم را بر روی باکتری *سودوموناس آئروجینوزا* را با $MIC = 4$ گزارش کردند (Choi et al, 2019). در تحقیقی دیگر که برای بررسی اثر ضد باکتریایی نانو ذرات طلا انجام گرفت نتایج MIC و MBC بر روی *کلبسیلا پنومونیه* به ترتیب ۳/۹۲ و ۴ میکروگرم بر میلی‌لیتر و بر روی *اشرشیاکلی* به ترتیب ۴ و ۱۶ میکروگرم بر میلی‌لیتر گزارش گردید (Lopez et al., 2020). در مطالعه حاضر اثر بازدارندگی نانو ذرات اکسید آهن سنتز شده بر روی باکتری‌های گرم منفی (*سودوموناس آئروجینوزا*، *اشرشیاکلی* و *کلبسیلا پنومونیه* به ترتیب با حداقل غلظت بازدارندگی ۰/۶۲، ۰/۶۲، ۱/۲۵ میکروگرم در میلی‌لیتر) و بر روی باکتری‌های گرم مثبت (*باسیلوس سرئوس*، *انتروکوکوس فیکالیس* و *استافیلوکوکوس آرتوس* به ترتیب با حداقل غلظت بازدارندگی $< 0/07$ ، $< 0/07$ و ۰/۳۱ میکروگرم بر میلی‌لیتر) دارد. همچنین خاصیت کشندگی نانو ذرات اکسید آهن بر روی باکتری‌های *اشرشیاکلی*، *کلبسیلا پنومونیه* به ترتیب ۱/۲۵ و ۲/۵ میکروگرم بر میلی‌لیتر

سپاسگزاری

بدینوسیله از عوامل آزمایشگاه دانشکده علوم پزشکی دانشگاه تبریز که امکان انجام این مطالعه را فراهم آوردند تشکر و قدردانی می‌شود.

آب در مراحل اولیه تصفیه آب باشد. از طرفی مجهز بودن نانو ذرات به سیستم جمع‌آوری بار میکروبی و کدورت می‌تواند هدفی بنیادی در سنتز این ماده در کوچک‌ترین اندازه و بیشترین تأثیر در خاصیت ضد میکروبی باشد.

تعارض منافع

نویسندگان تعارض منافی برای اعلام ندارند.

منابع

- Abdeen, S., Isaac, R.R., Geo, S., Sornalekshmi, S., Arsula R. and Praseetha, P.K. (2013). Evaluation of antimicrobial activity of biosynthesized iron and silver nanoparticles using the fungi *Fusarium oxysporum* and *Actinomyces* sp. on human pathogens, *Nano Biomedicine & Engineering*, 5 (1): 39-45.
- Alsamhary, K., Al-Enazi, N., Alshehri, V. and Ameen, A. (2019). Gold nanoparticles synthesised by flavonoid tricetin as a potential antibacterial nanomedicine to treat respiratory infections causing opportunistic bacterial pathogens. *Microbial Pathogenesis*. S0882-4010(19): 31129-5.
- Ansari, sh. A., Oves, M. Satar R. Khan K. Ahmad, S.I and *et al.* (2017). Antibacterial activity of iron oxide nanoparticles synthesized by co -precipitation technology against *Bacillus cereus* and *Klebsiella pneumoniae*. *Chemical Technology*, 4(19): 110-115.
- Arora, A.K., Sharma, M., Kumari, R., Jaswal, V.S and Kumar, P. (2014). Synthesis, characterization and magnetic studies of α -Iron oxide nanoparticles. *Nanotechnology*, 474909, 7.
- Bellova, A., Bystrenova, E., Koneracka, M., Kopcansky, P., Valle, F. and Tomasovicova, N. (2010). Effect of Fe_3O_4 magnetic nanoparticles on lysozyme amyloid aggregation. *Nanotechnology* 21.065103.
- Bezza, F. A., Tichapondwa, Sh. M. and Chirwa, EM. N. (2020). Fabrication of monodispersed copper oxide nanoparticles with potential application as antimicrobial agents. *Scientific Reports - Nature*, 10: 16680.
- Choi, S., Britigan, B. and Narayanasamy, P. (2019). Iron/Heme Metabolism-Targeted Gallium (III) Nanoparticles Are Active against Extracellular and Intracellular *Pseudomonas aeruginosa* and *Acinetobacter Baumannii*. *Antimicrob Agents Chemother*. 63(4): e02643-18.
- Craun, G.F. (1986). *Statistics of Water borne Disease in the United States*. CRC Press, Inc, Boca Raton, Florida.
- Das, S., Diyali, S., Vinothini, G., Perumalsamy, B., Balakrishnan, G. and Ramasamy, T. (2020). Synthesis, morphological analysis, antibacterial activity of iron oxide nanoparticles and the cytotoxic effect on lung cancer cell line. *Heliyon Journal*, 6(9): e04953.
- Franci, G., Falanga, A., Galdiero, S., Palomba, L., Rai, M. and Morelli, G. (2015). Silver nanoparticles as potential antibacterial agents. *Molecules Journal*, 20(5): 8856-8874.
- Gauthier, F and Archibald, F. (2001). The ecology of "Faecal indicator" Bacteria commonly found in pulp and paper mill water systems. *Water research*. Vol. 35(9):2207-2218.
- Gomez, N.T., Nava, O., Argueta-Figueroa, L., García-Contreras, R., Baeza-Barrera, A and Vilchis-Nestor, A.R. (2019). Shape Tuning of Magnetite Nanoparticles Obtained by Hydrothermal Synthesis: Effect of Temperature. *Nanomaterials*. 10.1155. (15).

- Ifeanyiichukwu, U.L., Fayemi, O.E. and Ateba, C.N. (2020). Green Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles from Pomegranate *Punica granatum* Extracts and Characterization of Their Antibacterial Activity. *Molecules journal*, 25(19): 4521.
- Ikhile, M.I., Barnared, T.G. and Ngila, J.C. (2017). Potential application of synthesized ferrocenylamines compounds for the elimination of bacteria in water. *Physics and Chemistry*, 100: 121-125.
- Kon, K. and Rai, M. (2013). Metallic nanoparticles: mechanism of antibacterial action and influencing factors. *Comparative Clinical Pathology*. 2(3), 160–2174.
- Li, H., Chen, Q., Zhao, J. and Urmila, K. (2015). Enhancing the antimicrobial activity of natural extraction using the synthetic ultrasmall metal nanoparticles. *Sci. Rep*, 5(5), 11033–11040.
- López, E. S., Gomes, D., Esteruelas, G., Bonilla, L., Machado, A. L. L and Galindo, R. (2020). Metal-Based Nanoparticles as Antimicrobial Agents: An Overview. *Nanomaterials Basel*, 10(2): 292.
- Masadeh, M.M., Karasneh, G. A., Al-Akhras, M.A., Albiss, B.A., Aljarah, K. M. and Al-azzam, S. (2015). Cerium oxide and iron oxide nanoparticles abolish the antibacterial activity of ciprofloxacin against gram positive and gram negative biofilm bacteria. *Cytotechnology journal*, 67(3): 427–435.
- Medema, G.J., Shaw, S., Waite, M., Snozzi, M., Morreau, A. and Grabow, W. (2003). Catchment characteristics and source water quality. In: *Assessing Microbial Safety of Drinking Water. Improving Approaches and Method*. WHO & OECD, IWA publishing, London, UK. 111-158.
- Mohamed, Y.M., Azzam, A.M., Amin, B.H. and Safwat, N.A. (2015). Mycosynthesis of iron nanoparticles by *Alternaria alternata* and its antibacterial activity. *Biotechnology and applied biochemistry*. 14 (14):1234–1241.
- Moshafi, M. H., Ranjbar, M. and Ilbeigi, G. (2019). Biotemplate of albumen for synthesized iron oxide quantum dots nanoparticles (QDNPs) and investigation of antibacterial effect against pathogenic microbial strains. *International Journal of Nanomedicine*, 14: 3273–3282.
- Murray, P., Baron, R., Pfaller, E.J., Tenoer, M., Tenover, F.C and Tenover, H. (1999) *Editors Manual of clinical Microbiology*. 7th ed. Philadelphia: American Society for Microbiology.
- Parvekar, P., Palaskar, J., Metgud, S., Maria, R and Dutta, S. (2020). The minimum inhibitory concentration (MIC) and minimum bactericidal concentration (MBC) of silver nanoparticles against *Staphylococcus aureus* Biomater. *Clinical, Cosmetic and Investigational Dentistry*, 7(1): 105–109.
- Peavy Howard, s., Row Donald, R. and George T. (1985). *Environmental Engineering*. Mc Graw-Hill, (No. 628 P4).
- Pulit, J., Banach, M., Szczygłowska, R. and Bryk, M. (2013). Silver Nanoparticles as an effective biocidal factor. *Acta Biochim. Polonica*, 60 (4): 795–798.
- Reem, K.F., Labena, A., Fakhry, S.H Safwat G., Diab, A and Atta, E.M. (2019). Antimicrobial Activity of Hybrids Terpolymers Based on Magnetite Hydrogel Nanocomposites. *Materials Journal*. 12(21): 3604.
- Shabani, N., Javadi, A., Jafarizadeh Malmiri, H, Mirzaie, H and Sadeghi J. (2020). Potential application of iron oxide nanoparticles synthesized by co-precipitation technology as a coagulant for water treatment in settling tanks Mining, Metallurgy & Exploration.
- Shazia, P., Wania, A.H., Shahb, M. A., Devib, H. S., Bhata, M.Y. and Abdullah, J. (2018). Characterization and antifungal activity of iron oxide nanoparticles. *Microbial Pathogenesis*, 115 287–292.
- Shabani L.N., Shayegh. J and Sadegh. j. (2018). Frequency of blaTEM, blaSHV, and blaCTX-M genes encoded extended-spectrum betalactamases in *Escherichia coli* isolates collected from groundwater in East Azerbaijan province in 2014. *Med J Tabriz Uni Med Sciences Health Services*, 40(2):57-63.

-
- Thukkaram, M., Sitaram, S. K., annaiyan, S. K., Subbiahdoss, G. (2014). Antibacterial Efficacy of Iron-Oxide Nanoparticles against Biofilms on Different Biomaterial Surfaces. *Biomaterials science and engineering*, Article ID 716080, 6.
 - Vogel, T.M., Criddle, C.S., McCarty, P.L. (1987). Transformations of halogenated aliphatic compounds. *Environmental science & technology*. 21(8): 722-736.
 - Zomorodian, K., Veisi, H., Mousavi, S.M., Sadeghi Atabadi, M., Yazdanpanah, S. and Bagheri, J. (2018). Modified magnetic nanoparticles by PEG-400-immobilized Agnanoparticles (Fe O@PEG-Ag) as a core/shell nanocomposite and evaluation of its antimicrobial activity. *International Journal of Nanomedicine*, 13: 3965-3973.