

Studying the Polypropylenimine-G2 (PPI-G2) Dendrimer Performance in Removal of *Escherichia coli*, *Proteus mirabilis*, *Bacillus subtilis* and *Staphylococcus aureus* from Aqueous Solution

Hasan Izanloo¹, Shahram Nazari², Mohammad Ahmadi Jebelli³, Soodabeh Alizadeh Matboo⁴, Hamid Reza Tashauoei⁵, Behnam Vakili⁶, Mohammad Rajabi⁷, Hosein Aghababaei⁸, Gharib Majidi^{9*}

1- Department of Environmental Health Engineering, Research Center for Environmental Pollutants, Qom University of Medical Sciences, Qom, Iran.

2- Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

3- Research Center for Environmental Health, School of Public Health, Kurdistan University of Medical Sciences, Sanandaj, Iran.

4- Ardabil University of Medical Sciences, Ardabil, Iran.

5- Department of Environmental Health Engineering, Tehran Medical Sciences Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

6- Water & Wastewater Engineering Company, Tehran, Iran.

7- Tehran Medical Sciences Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

8- Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

9- Qom University of Medical Sciences, Qom, Iran.

Received: 23 Feb 2015, Accepted: 6 May 2015

Abstract

Background: Dendrimers are a subset of branched structures that have certain structural order. The aim of this study was to investigate the performance of Polypropylenimine-G2 (PPI-G2) dendrimers in removal of *Escherichia coli*, *Proteus mirabilis*, *Bacillus subtilis* and *Staphylococcus aureus* from aqueous solution.

Materials and Methods: In this experimental study, initially dilution of 10³ CFU/ml was prepared from each strain of bacteria. Then, different concentrations of dendrimers (0.5, 5, 50 and 500 µg/ml) was added to water. In order to determine the efficiency of dendrimers in removal of bacteria, samples were taken at different times (0, 10, 20, 30, 40, 50 and 60 min) and were cultured on nutrient agar medium. Samples were incubated for 24 hours at 37 ° C and then the number of colonies was counted.

Results: By the increasment of dendrimer concentration and contact time, the number of bacteria in aqueous solution decreased. In times of 40, 50 and 60 minutes, and the concentrations of 50 and 500 µg/ml, all kinds of bacteria in aqueous solution were removed. 0.5 µg/ml of dendrimer concentration had not effect in reducing the number of *Escherichia coli* and *Proteus mirabilis*. The effect of dendrimer on gram-negative bacteria was weaker than gram-positive bacteria.

Conclusion: Results of this study indicated that PPI-G2 dendrimer is able to remove *Escherichia coli*, *Proteus mirabilis*, *Staphylococcus aureus* and *Bacillus subtilis* in aqueous solution. However, using dendrimers can be considered as a new approach for drinking water disinfection but it requires further wide range studies.

Keywords: Gram-negative and gram-positive bacteria, Polypropylenimine-G2 dendrimers, Aqueous solution, Gram-negative and gram-positive bacteria

*Corresponding Author:

Address: Qom University of Medical Sciences, Qom, Iran.

Email: gharibmajidi@gmail.com

بررسی کارایی دندریمر پلی پروپیلن ایمین نسل دوم در حذف باکتری‌های اشرشیاکلی، پروتئوس میرابیلیس، باسیلوس سوبتیلیس و استافیلوکوکوس اورئوس از محلول آبی

حسن ایزانلو^۱، شهرام نظری^۲، محمد احمدی جلی^۳، سودابه عزیزاده متبوع^۴، حمیدرضا تشیعی^۵، بهنام وکیلی^۶، محمد رجبی^۷، حسین آقابابایی^۸، غریب مجیدی^{۹*}

۱- استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات آلاینده‌های محیطی، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم، ایران

۲- دانشجوی دکتری بهداشت محیط، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

۳- دانشجوی دکتری مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی کردستان، سنندج، ایران

۴- کارشناس بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی اردبیل، اردبیل، ایران

۵- استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

۶- کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، شرکت مهندسی آب و فاضلاب، تهران، ایران

۷- کارشناس مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

۸- کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

۹- کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم، ایران

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۲/۴ تاریخ پذیرش: ۹۴/۲/۱۶

چکیده

زمینه و هدف: دندریمرها زیر مجموعه‌ای از ساختارهای شاخه‌دار هستند که نظم ساختاری مشخصی دارند. هدف از انجام این تحقیق بررسی کارایی دندریمر پلی پروپیلن ایمین-G2 در حذف باکتری‌های اشرشیاکلی، پروتئوس میرابیلیس، باسیلوس سوبتیلیس و استافیلوکوکوس اورئوس از محلول آبی می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه آزمایشگاهی، ابتدا از هر سویه باکتری رقت 10^3 واحد تشکیل دهنده کلونی در میلی لیتر تهیه شد. سپس غلظت‌های مختلفی (۵، ۵۰، ۵۰۰ و ۵۰۰ میکروگرم بر میلی لیتر) از دندریمر به نمونه آب اضافه شد. به منظور تعیین کارایی دندریمر در حذف باکتری‌ها، نمونه‌برداری در زمان‌های مختلف (۰، ۱۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ دقیقه) انجام گردید و بر روی محیط نوترینت آگار کشت داده شد. نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و پس از آن تعداد کلونی‌ها شمارش شدند.

یافته‌ها: با افزایش غلظت دندریمر و زمان تماس، تعداد باکتری‌ها در محلول آبی کاهش یافت. در زمان‌های ۴۰، ۵۰ و ۶۰ دقیقه و غلظت‌های ۵۰ و ۵۰۰ میکروگرم بر میلی لیتر، تمامی انواع باکتری‌های موجود در محلول آبی حذف شدند. غلظت ۰/۵ میکروگرم بر میلی لیتر از دندریمر تأثیری در کاهش تعداد باکتری‌های اشرشیاکلی و پروتئوس میرابیلیس نداشت. تأثیر دندریمر بر باکتری‌های گرم منفی ضعیف‌تر از باکتری‌های گرم مثبت بود.

نتیجه‌گیری: نتایج مطالعه حاضر نشان داد که دندریمر پلی پروپیلن ایمین-G2 قادر به حذف اشرشیاکلی، پروتئوس میرابیلیس، استافیلوکوکوس اورئوس و باسیلوس سوبتیلیس در محلول آبی است. با این حال استفاده از دندریمر برای گندزدایی آب آشامیدنی نیازمند مطالعات بیشتر و وسیع‌تر می‌باشد.

واژگان کلیدی: باکتری‌های گرم منفی و گرم مثبت، دندریمر پلی پروپیلن ایمین-G2، محلول آبی

*نویسنده مسئول: قم، دانشگاه علوم پزشکی قم، دانشکده بهداشت

Email: gharibmajidi@gmail.com

مقدمه

باکتری‌ها پروکاریوت‌های تک سلولی هستند و به دلیل ایجاد بیماری، طعم و بو، خوردگی و انسداد لوله‌ها در آب از اهمیت زیادی برخوردارند (۱). قرن‌ها است که گندزدایی آب آشامیدنی انجام می‌شود. هدف از فرآیند گندزدایی، کشتن پاتوژن‌ها در آب است. پاتوژن‌ها میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا هستند (۲). کاربرد گسترده صافی‌های شنی تند در عملیات صاف‌سازی نهایی اغلب آب بسیار زلالی را ارائه می‌دهد، ولی این آب هیچ‌گاه عاری از باکتری‌ها و میکروارگانیسم‌های دیگر نیست. این عوامل را معمولاً به وسیله برخی ترکیبات گندزدا به صورت کامل یا در بعضی موارد تا حد رسیدن به مقادیر جزئی از بین می‌برند. به طور کلی، فرآیند گندزدایی را می‌توان با کمک اضافه کردن برخی مواد شیمیایی، ازن، اشعه ماورای بنفش و یا از طریق جوشاندن انجام داد (۳). فرضیه‌های اصلی در انتخاب فرآیند گندزدایی شامل عملی بودن استفاده از روش‌های گندزدایی، رابطه $(c \times t)$ گندزدا، تشکیل محصولات جانبی گندزدایی و میزان آنها، کیفیت آب فرآیندی، مشکلات ناشی از گندزداها و هزینه هر یک از گندزداها می‌باشد (۲).

در اکثر تصفیه‌خانه‌ها، معمولاً از کلر یا مشتقات آن برای گندزدایی آب استفاده می‌شود. کلرزنی روشی جاافتاده، قابل اطمینان و پیشرفته است، ولی تشکیل تری‌هالومتان‌ها و سلامتی مردم مهم‌ترین نگرانی مهندسان و مردم در مورد این ماده است (۳). شواهدی دال بر ارتباط بین کلریناسیون آب آشامیدنی و افزایش خطر سرطان‌های کولون و مثانه وجود دارد. این ارتباط در مصرف‌کنندگان که بیش از ۱۵ سال با آب کلرزنی شده در تماس بوده‌اند، قوی‌تر است (۴).

نانوذرات، آنتی‌اکسیدان‌های قوی نیستند و در آب نسبتاً خنثی می‌باشند و محصولات جانبی گندزدایی را تولید نمی‌نمایند (۵). برخی از نانوذرات که دارای خاصیت ضد باکتریایی در برابر میکروارگانیسم‌های موجود در آب آشامیدنی می‌باشند، شامل نانو ذرات نقره، دی اکسید

تیتانیوم، نانو لوله‌های کربنی، آهن صفر ظرفیتی و دندریمر هستند (۶).

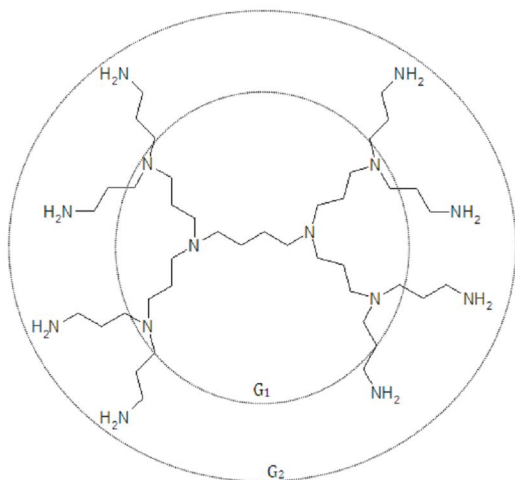
دندریمرها زیر مجموعه‌ای از ساختارهای شاخه‌دار هستند که نظم ساختاری مشخصی دارند (۷). اولین گزارش درباره سنتز دندریمرها توسط گتلی و همکاران در سال ۱۹۷۸ منتشر شد (۸). قطر دندریمر در محدوده ۱ تا ۱۰ نانومتر می‌باشد (۹). دندریمرها از یک هسته مرکزی و واحدهای منشعب شده به صورت شاخه درخت و گروه‌های سطحی تشکیل شده‌اند (۱۰). گروه‌های سطحی که به مولکول‌های دندریمر متصل می‌شوند بسیار متنوع می‌باشند. این گروه‌ها شامل آمین، کربوکسیلات، هیدروکسیل و متیل استر هستند (۱۱). هر یک از این واحدها در ساختار نهایی دندریمر و از این رو ویژگی‌ها و کاربردهای آن تاثیر گذارند. گروه‌های سطحی با محیط بیرونی فعل و انفعال انجام می‌دهند و بنابراین یکی از مهم‌ترین واحدها برای تعیین ویژگی‌های نهایی دندریمر محسوب می‌شوند (۱۰).

نانوپلیمرهای دندریتیکی می‌توانند گستره وسیعی از حل شونده‌ها در آب را کپسوله نمایند. این حل‌شونده‌ها شامل کاتیون‌ها (از قبیل مس، نقره، طلا و اورانیوم)، آنیون‌ها (از قبیل پرکلرات، نیترات و فسفات) و ترکیبات آلی (از قبیل داروها و آفت‌کش‌ها) می‌باشند. لایه‌های داخلی دندریمر به دلیل خاصیت هیدروفوبیک می‌توانند ترکیبات آلی را جذب نمایند. شاخه‌های خارجی دندریمرهایی که دارای گروه انتهایی هیدروکسیل یا آمین باشند می‌توانند فلزات سنگین را حذف نمایند. نانو ذرات دندریمر می‌توانند به باکتری‌ها و ویروس‌ها متصل شوند و آن‌ها را غیرفعال نمایند (۱۲).

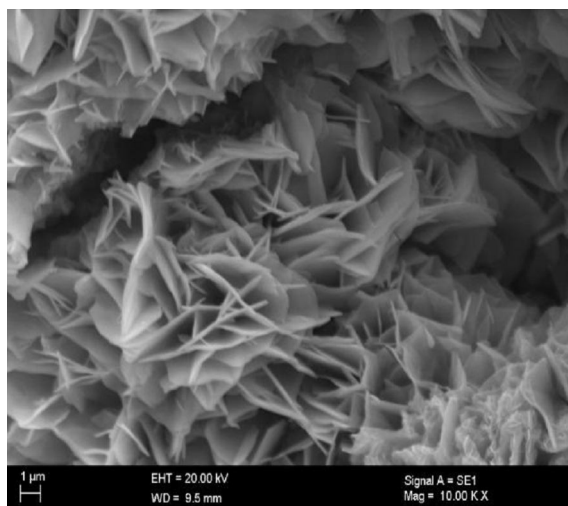
مکانیسم باکتری‌کشی یا جلوگیری از رشد باکتری از طریق دندریمر کاملاً به نوع گروه‌های سطحی دندریمر بستگی دارد (۱۰). هنگامی که دندریمر به یک محلول باکتریایی وارد می‌گردد، جانشین یون‌های دو ظرفیتی سطحی باکتری‌ها از قبیل کلسیم و منیزیم می‌شود، سپس به غشاهای فسفولیپیدی دارای بار منفی متصل شده و باعث تغییر اندک در نفوذپذیری غشا می‌گردد. غلظت بالاتر

جدول ۱. ویژگی‌های شیمیایی دندریمر پلی پروپیلن ایمین نسل دوم

| نسل دندریمر | وزن مولکولی (گرم بر مول) | مکعب سانتی متر | چگالی (گرم بر سانتی متر مکعب) | انتهایی آمین | تعداد گروه‌های آمین | تعداد کل گروه‌های آمین | فرمول مولکولی |
|-------------|--------------------------|----------------|-------------------------------|--------------|---------------------|------------------------|---------------|
| ۲ | ۷۷۰ | ۰/۹۸ | ۸ | ۱۴ | ۱۴ | ۱۴ | C40H94N14 |



شکل ۱. ساختار شیمیایی دندریمر پلی پروپیلن ایمین نسل دوم



شکل ۲. تصویر دندریمر پلی پروپیلن ایمین نسل دوم با میکروسکوپ الکترونی SEM

دندریمر منجر به دنا توره شدن پروتئین‌های غشایی شده و شروع به سوراخ نمودن فسفولیپید می‌کند. در این مرحله، نفوذپذیری بالای غشا باعث نشت یون‌های پتاسیم می‌شود. اگر غلظت دندریمر افزایش یابد می‌تواند ساختار غشایی را بی‌ثبات تر کند. در نهایت، غلظت‌های بالاتری از دندریمر موجب فروپاشی کامل غشای باکتریایی و مرگ باکتری می‌شود (۱۳).

دو دسته از متداول‌ترین دندریمرها، دندریمرهای پلی‌آمیدو آمین و پلی پروپیلن ایمین هستند که به صورت تجاری موجود می‌باشند (۱۴، ۱۵). دندریمرهای پلی پروپیلن ایمین از هسته مرکزی دی آمینو بوتان، بخش‌های درونی پروپیلن آمین سه گانه و گروه‌های آمین انتهایی تشکیل شده‌اند (۱۶). تاکنون مطالعاتی در زمینه تأثیر ضدباکتریایی دندریمرها انجام شده است، اما مطالعه حاضر برای اولین بار تأثیر دندریمرها را بر باکتری‌ها در محلول آبی به روش شمارش کلونی بررسی می‌نماید. این مطالعه با هدف تعیین کارایی دندریمر پلی پروپیلن ایمین-G2 (PPI-G2) در حذف باکتری‌های اشرشیاکلی، پروتئوس میرابیلیس، باسیلوس سوبتیلیس و استافیلوکوکوس اورئوس از محلول آبی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه به صورت تجربی و در مقیاس آزمایشگاهی انجام شد. گونه‌های باکتری استفاده شده در این مطالعه شامل باکتری‌های گرم منفی اشرشیاکلی، پروتئوس میرابیلیس و باکتری‌های گرم مثبت استافیلوکوکوس اورئوس و باسیلوس سوبتیلیس بودند که به روش صافی غشایی از آب آشامیدنی روستاهای استان قم جداسازی شدند. صافی غشایی دارای ضخامت ۱۵۰ میکرومتر و سوراخ‌هایی به قطر ۰/۴۵ میکرون بود. ماده ضدباکتریایی مورد استفاده، دندریمر نسل دوم دارای ویژگی‌هایی مطابق با جدول ۱، نمودار ۱ و شکل‌های ۱ و ۲ می‌باشد. دندریمر PPI-G2 از پژوهشکده رنگ تهران خریداری شد.

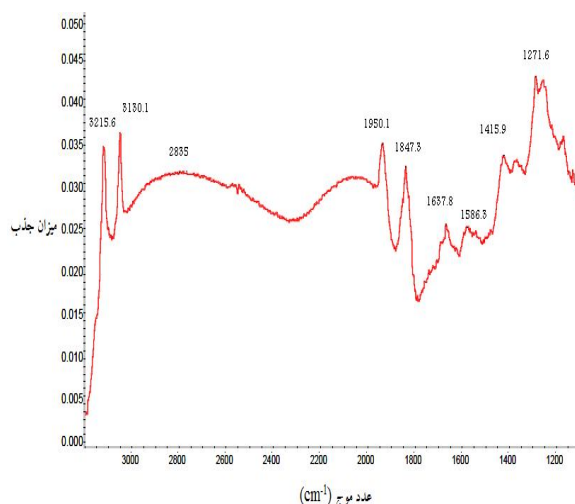
یافته‌ها

کارایی دندریمر PPI-G2 در حذف باکتری‌های اشرشیاکلی، پروتئوس میرابیلیس، باسیلوس سوبتیلیس و استافیلوکوکوس اورئوس در نمودارهای ۲ تا ۵ نشان داده شده است. دندریمر PPI-G2 در برابر هر دو گروه باکتری‌های گرم منفی و گرم مثبت موثر بود.

نتایج نشان می‌دهد که خاصیت ضد باکتریایی دندریمر در محیط آبی با افزایش غلظت دندریمر و زمان تماس رابطه مستقیم دارد. در زمان صفر، دندریمر PPI-G2، تاثیری بر باکتری‌های اشرشیاکلی، پروتئوس میرابیلیس، باسیلوس سوبتیلیس و استافیلوکوکوس اورئوس نداشت. در زمان ۱۰ دقیقه، دندریمر باعث کاهش تعداد باکتری‌ها گردید و تا زمان ۳۰ دقیقه ادامه یافت. از زمان ۴۰ دقیقه تا زمان ۶۰ دقیقه، دندریمر PPI-G2 باعث حذف تمامی انواع باکتری‌ها گردید.

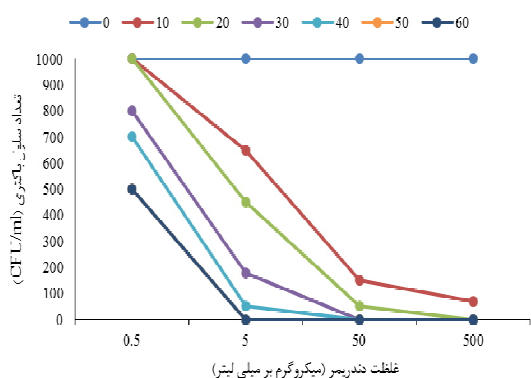
غلظت ۰/۵ میکروگرم بر میلی‌لیتر از دندریمر PPI-G2 تاثیری در کاهش تعداد باکتری‌های اشرشیاکلی و پروتئوس میرابیلیس نداشت، این در حالی است که باعث کاهش باکتری‌های باسیلوس سوبتیلیس و استافیلوکوکوس اورئوس در زمان‌های ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ دقیقه گردید. غلظت ۵ میکروگرم بر میلی‌لیتر از دندریمر PPI-G2 موجب کاهش باکتری‌های اشرشیاکلی، پروتئوس میرابیلیس، باسیلوس سوبتیلیس و استافیلوکوکوس اورئوس شد. در غلظت‌های ۵۰ و ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر، تمامی انواع باکتری‌های موجود در محلول آبی حذف شدند.

همان‌طور که در نمودارهای ۲ تا ۵ مشاهده می‌کنید غلظت ۰/۵ میکروگرم بر میلی‌لیتر از دندریمر PPI-G2 باعث کاهش تعداد باکتری‌های گرم مثبت گردید، اما تاثیری بر باکتری‌های گرم منفی نداشت. همچنین تاثیر دندریمر PPI-G2 در غلظت‌های ۵، ۵۰ و ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر بر باکتری‌های گرم مثبت بیشتر از باکتری‌های گرم منفی بود.

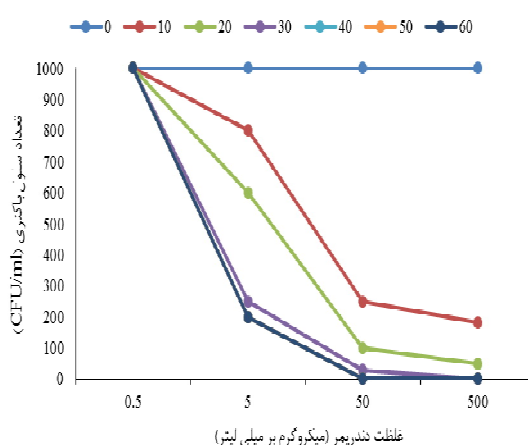


نمودار ۱. طیف مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR) دندریمر پلی پروپیلین ایمن نسل دوم

تمامی باکتری‌ها قبل از استفاده، در شرایط هوازی و در محیط نوترینت برات برای مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد گرماگذاری شدند. آب مورد استفاده به وسیله اتوکلاو (دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه) استریل شد. از هر سویه باکتری رقت 10^3 واحد تشکیل دهنده کلونی بر میلی‌لیتر تهیه شد. غلظت محلول مادر دندریمر PPI-G2 ۵۰۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر بود. غلظت‌های مورد نظر از دندریمر (۰/۵، ۵، ۵۰ و ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر) به وسیله آب مقطر و به روش رقیق سازی سریالی تهیه شدند. سپس ۵۰ میکرولیتر از دندریمر PPI-G2 در غلظت‌های ۰/۵، ۵، ۵۰ و ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر در شرایط کاملاً استریل به نمونه آب اضافه شدند. به منظور تعیین کارایی دندریمر در حذف باکتری‌ها، نمونه‌برداری در زمان‌های صفر، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ دقیقه انجام گردید و بر روی محیط نوترینت آگار کشت داده شد. نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد گرماگذاری شدند و پس از آن تعداد کلونی‌ها شمارش شدند. تمامی آزمایشات بر اساس دستورالعمل‌های موجود در کتاب آزمایش‌های استاندارد آب و فاضلاب، انجام گردید (۱۷). کلیه محیط‌های کشت مصرفی، ساخت شرکت مرک آلمان بود. برای رسم نمودارها از نرم افزار اکسل نسخه ۲۰۱۰ استفاده شد.



نمودار ۵. تأثیر دندریمر پلی پروپیلن ایمین نسل دوم بر تغییرات جمعیت باکتری های استافیلوکوکوس اورئوس در آب

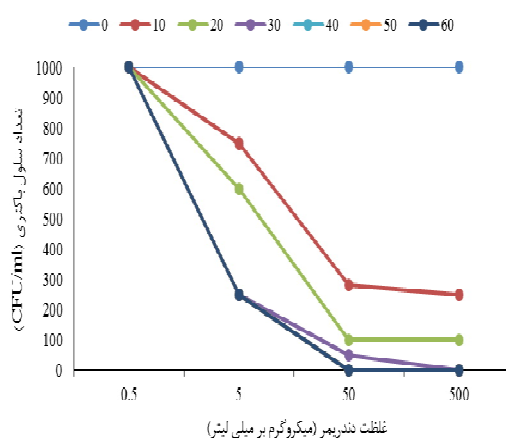


نمودار ۲. تأثیر دندریمر پلی پروپیلن ایمین نسل دوم بر تغییرات جمعیت باکتری های اشرشیاکلی در آب

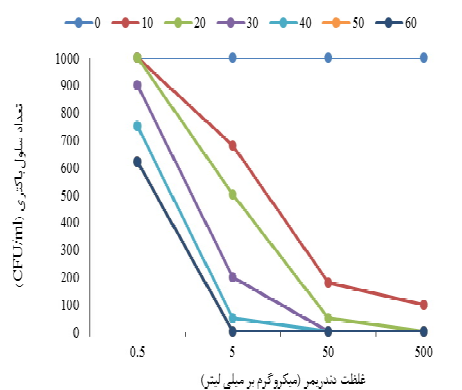
بحث

در مطالعه حاضر، تأثیر ضدباکتریایی دندریمر پلی پروپیلن ایمین نسل دوم بر باکتری های اشرشیاکلی، پروتئوس میرابیلیس، باسیلوس سوبتیلیس و استافیلوکوکوس اورئوس در محلول آبی مورد بررسی قرار گرفت. همان طور که در نمودارهای ۲، ۳، ۴ و ۵ مشاهده می کنید در زمان های ۴۰، ۵۰ و ۶۰ دقیقه و غلظت های ۵۰ و ۵۰۰ میکروگرم بر میلی لیتر، تمامی انواع باکتری های موجود در محلول آبی حذف شدند.

در مطالعه حاضر مشخص شد که باکتری های باسیلوس سوبتیلیس و استافیلوکوکوس اورئوس نسبت به اشرشیاکلی و پروتئوس میرابیلیس در مقابل دندریمر حساس تر بوده و در غلظت های کمتری از بین می روند. فلکزاک و همکاران در مطالعه ای نشان دادند دندریمر PPI-G4 بیشترین تأثیر ضدباکتریایی را بر علیه باکتری های گرم مثبت دارد (۱۸). در مطالعه ای که توسط آبکناری و همکاران انجام شد، خاصیت ضد میکروبی دندریمر PPI-G2 بر باکتری های استافیلوکوکوس اورئوس و اشرشیاکلی بررسی شد. تأثیر دندریمر PPI-G2 بر باکتری های استافیلوکوکوس اورئوس بیشتر از اشرشیاکلی بود (۱۶). جایزی واسکان و همکاران خاصیت ضدباکتریایی دندریمرهای پپتیدی با وزن مولکولی پایین (۱۴ نوع دندریمر) را بر علیه باکتری های استافیلوکوکوس اورئوس و اشرشیاکلی مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعه نشان داد در اکثر دندریمرهای پپتیدی



نمودار ۳. تأثیر دندریمر پلی پروپیلن ایمین نسل دوم بر تغییرات جمعیت باکتری های پروتئوس میرابیلیس در آب



نمودار ۴. تأثیر دندریمر پلی پروپیلن ایمین نسل دوم بر تغییرات جمعیت باکتری های باسیلوس سوبتیلیس در آب

با مطالعه کارکس و همکاران، ملکوتیان و همکاران، کدزیورا و همکاران و هم‌چنین دو و همکاران مطابقت داشت.

در مطالعه حاضر با افزایش زمان تماس، کارایی دندریمر در حذف باکتری‌ها افزایش یافت. در مطالعه‌ای که توسط معصوم بیگی و همکاران انجام شد مشخص گردید که با افزایش مدت تماس، کارایی نانوذرات اکسید روی در حذف باکتری‌های اشرشیاکلی و استرپتوکوکوس فکالیس افزایش می‌یابد (۲۶). اثر نانوذرات نقره بر حذف باکتری‌های کلیفرم از آب آلوده توسط میران زاده و همکاران بررسی شد. نتایج مطالعه نشان داد که افزایش زمان تماس با نانوذرات نقره، باعث حذف بیشتر کلیفرم‌ها می‌گردد (۲۷). در مطالعه دیگری که توسط زارعی و همکاران انجام شد مشخص گردید که با افزایش زمان تماس، راندمان غیر فعال‌سازی اشرشیاکلی از طریق نانو ذره آهن صفر ظرفیتی افزایش می‌یابد (۲۸). نتایج این مطالعه با مطالعات معصوم بیگی و همکاران، میران زاده و همکاران و زارعی و همکاران مطابقت دارد.

نتیجه گیری

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که دندریمر -PPI قادر به حذف اشرشیاکلی، پروتئوس میرابیلیس، استافیلوکوکوس اورئوس و باسیلوس سوبتیلیس در محلول آبی است. با این حال استفاده از دندریمر برای گندزدایی آب آشامیدنی نیازمند مطالعات بیشتر و وسیع‌تر است. در نهایت استفاده از دندریمر مورد بررسی در این مطالعه در صنعت تصفیه آب و موارد مشابه سودمند بوده است که در ادامه این تحقیقات پیشنهاد می‌شود سمیت احتمالی این گونه ترکیبات نانوساختار در آب شرب ارزیابی شده و در صورت عدم ممنوعیت استفاده، بررسی‌های اقتصادی برای سنتز و استعمال آن‌ها به عمل آید.

تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت مالی شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور انجام گرفته است. بدین وسیله نویسندگان

مورد بررسی، تاثیر دندریمر بر باکتری اشرشیاکلی ضعیف‌تر از باکتری استافیلوکوکوس اورئوس بوده است (۱۹). نتایج این مطالعه با تحقیقات فوق مطابقت داشت. حساسیت بالای باکتری‌های گرم مثبت نسبت به باکتری‌های گرم منفی می‌تواند به دلیل مکانیسم فعل و انفعال بین غشای باکتری و دندریمر و هم‌چنین تفاوت در ساختار دیواره‌های سلولی باکتریایی باشد (۱۸، ۲۰). باکتری‌های گرم منفی دارای غشای خارجی می‌باشند که هم‌چون سد از عبور مولکول‌های بزرگ و آب‌گریز جلوگیری می‌کنند (۲۱).

نتایج به دست آمده از مطالعه حاضر نشان داد که با افزایش غلظت دندریمر، حذف باکتری افزایش می‌یابد. خاصیت ضد باکتریایی دندریمرهای پلی‌آمیدو آمین -G3 بر باکتری‌های استافیلوکوکوس اورئوس و اشرشیاکلی توسط کارلس و همکاران بررسی شد. با افزایش غلظت دندریمر قطر هاله عدم رشد باکتری‌های استافیلوکوکوس اورئوس و اشرشیاکلی افزایش یافت (۲۲). در مطالعه‌ای که توسط ملکوتیان و همکاران انجام شد تاثیر نانوذرات TiO_2 ، CuO و ZnO در حذف باکتری‌های گرم منفی و گرم مثبت از فاضلاب شهری بررسی گردید. نتایج این مطالعه نشان داد که با افزایش غلظت نانوذرات، درصد حذف باکتری افزایش می‌یابد (۲۳). کدزیورا و همکاران، خاصیت ضد باکتریایی نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم پوشیده شده با نقره ($TiO_2:Ag$) را بر علیه باکتری‌های استافیلوکوکوس اورئوس و اشرشیاکلی مورد بررسی قرار دادند. حداقل غلظت بازدارندگی و کشندگی برای اشرشیاکلی برابر با $3/2$ و $6/4$ میکروگرم بر میلی‌لیتر و حداقل غلظت بازدارندگی و کشندگی برای استافیلوکوکوس اورئوس برابر با $1/6$ و $25/6$ میکروگرم بر میلی‌لیتر بود (۲۴). دو و همکاران در مطالعه خود خاصیت ضد باکتریایی نانوذرات کیتوزان بر باکتری‌های اشرشیاکلی و استافیلوکوکوس اورئوس را مورد بررسی قرار دادند. حداقل غلظت بازدارندگی و کشندگی برای اشرشیاکلی به ترتیب برابر با 117 و 187 میکروگرم بر میلی‌لیتر و برای استافیلوکوکوس اورئوس برابر با 234 و 281 میکروگرم بر میلی‌لیتر به دست آمد (۲۵). نتایج این پژوهش

J, Street A, Sustich R. USA: William Andrew; 2009.

13. Chen CZ, Cooper SL. Interactions between dendrimer biocides and bacterial membranes. *Biomaterials*. 2002; 23(16):3359-68.

14. Malda H. Designing dendrimers for use in biomedical applications: Technische Universiteit Eindhoven; 2006.

15. Tsai H-C, Imae T. Fabrication of dendrimers toward biological application. *Progress in molecular biology and translational science*. 2010; 104: 101-40.

16. Abkenar SS, Malek RMA. Preparation, characterization, and antimicrobial property of cotton cellulose fabric grafted with poly (propylene imine) dendrimer. *Cellulose*. 2012;19(5):1701-14.

17. Federation WE, Association APH. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association (APHA): Washington, DC, USA. 2005.

18. Felczak A, Wrońska N, Janaszewska A, Klajnert B, Bryszewska M, Appelhans D, et al. Antimicrobial activity of poly (propylene imine) dendrimers. *New Journal of Chemistry*. 2012; 36(11):2215-22.

19. Janiszewska J, Swieton J, Lipkowski AW, Urbanczyk-Lipkowska Z. Low molecular mass peptide dendrimers that express antimicrobial properties. *Bioorganic & medicinal chemistry letters*. 2003; 13(21):3711-3.

20. Selahattin A, Kadri G, Ramazan C. The effect of zinc on microbial growth. *Tr J Med Sci*. 1998; 28:595-7.

21. Mohammadi-Sichani M, Amjad L, Mohammadi-Kamalabadi M. Antibacterial activity of methanol extract and essential oil of *Achillea wilhelmsii* against pathogenic bacteria. *Zahedan Journal of Research in Medical Sciences*. 2011; 13(3):14-9.

22. Charles S, Vasanthan N, Kwon D, Sekosan G, Ghosh S. Surface modification of poly (amidoamine)(PAMAM) dendrimer as antimicrobial agents. *Tetrahedron letters*. 2012; 53(49):6670-5.

23. Malakootian M, Toolabi A. Determining and Comparing the Effect of Nanoparticle CuO, TiO₂ and ZnO in Removing Gram Positive and

مقاله از مسئولان آن شرکت و تمامی کارکنان محترم آزمایشگاه شرکت آب و فاضلاب روستایی استان قم تشکر و سپاس‌گزاری می‌نمایند.

منابع

1. Syed R, Edward M, Zhu G. Water works engineering: planning, design and operation. PHI edition, New Delhi. 2000.

2. Kawamura S. Integrated design and operation of water treatment facilities: John Wiley & Sons; 2000.

3. Smethurst G. Basic water treatment for application world-wide: Thomas Telford; 1979.

4. Bitton G. Wastewater microbiology: John Wiley & Sons; 2005.

5. Li Q, Mahendra S, Lyon DY, Brunet L, Liga MV, Li D, et al. Antimicrobial nanomaterials for water disinfection and microbial control: potential applications and implications. *Water Research*. 2008; 42(18):4591-602.

6. Hossain F, Perales-Perez OJ, Hwang S, Román F. Antimicrobial nanomaterials as water disinfectant: applications, limitations and future perspectives. *Science of the total environment*. 2014; 466:1047-59.

7. Khairnar G, Chavan-Patil A, Palve P, Bhise S, Mourya V, Kulkarni C. Dendrimers: potential tool for enhancement of antifungal activity. *Int J Pharm Tech Res*. 2010;2(1):736-9.

8. Krishnan R. Catalysis by Polymer Supported Dendrimers their Metal Complexes and Nanoparticle Conjugates. 2012.

9. Sebestik J, Niederhafner P, Jezek J. Peptide and glycopeptide dendrimers and analogous dendrimeric structures and their biomedical applications. *Amino acids*. 2011; 40(2):301-70.

10. Ladd E, editor. The Design and Synthesis of Dendrimers for Applications in the Pulp & Paper Industry. Masters Abstracts International; 2012.

11. Hermanson GT. Dendrimers and Dendrons. In: Bioconjugate Techniques. Hermanson GT. 3rd ed: Elsevier; 2013.

12. Diallo M. Water Treatment by Dendrimer-Enhanced Filtration: Principles and Applications. In: Nanotechnology Applications for Clean Water. Savage N, Diallo M, Duncan

Negative Bacteria from Wastewater. *Toloo-e-Behdasht* 2010; 9(2): 1-11.

24. Kedziora A, Streck W, Kepinski L, Bugla-Ploskonska G, Doroszkiewicz W. Synthesis and antibacterial activity of novel titanium dioxide doped with silver. *Journal of sol-gel science and technology*. 2012; 62(1):79-86.

25. Du W-L, Niu S-S, Xu Y-L, Xu Z-R, Fan C-L. Antibacterial activity of chitosan tripolyphosphate nanoparticles loaded with various metal ions. *Carbohydrate polymers*. 2009; 75(3):385-9.

26. Masoumbeigi H, Rezaee A, Khataee A, Hashemian J. Photocatalytic removal of *Escherichia coli* and *Streptococcus faecalis* from

water using immobilized ZnO nanoparticles. *Qom University of Medical Sciences Journal*. 2013; 6(4):24-35.

27. Miranzadeh MB, Rabbani D, Naseri S, Nabizadeh R, Mousavi SGA, Ghadami F. Coliform bacteria removal from contaminated water using nanosilver. *Feyz Journals of Kashan University of Medical Sciences*. 2012; 16(1):31-5.

28. Zarei R, Mosaferi M, Soroush Barhagi M, Khataee A, Asghari Jafarabadi M. E. coli Inactivation Efficiency of Zero-Valent Iron Nanoparticles Stabilized by Carboxymethyl Cellulose. *J Health* 2014; 5(3): 214-23.