

Original article

Disinfection of Water Contaminated with Fecal Coliform Using Ozone: An Evaluation of the Effect of Ozone Dose and Contact Time

Mohammad Ali Zazouli^{1*}**Maryam Yousefi²****Ramezan Ali Dianati¹****Mitra Roohafzaee²****Ashour Mohammad Marganpour³**

- 1- Associate Professor, Department of Environmental Health Engineering, Health Sciences Research Center, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
- 2- MSc Student of Environmental Health Engineering, Student Research Committee, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Science, Sari, Iran
- 3- Rural Water & Wastewater Company, Gorgan, Golestan, Iran

***Corresponding author:** Mohammad Ali Zazouli, Associate Professor, Department of Environmental Health Engineering, Health Sciences Research Center, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

Email: Zazoli49@yahoo.com

Received: 15 June 2015

Accepted: 11 September 2015

ABSTRACT

Introduction and purpose: Chlorine, due to its residual effect, has an important role in water disinfection. However, its by-products, which could be harmful to consumers' health, has led the researchers to investigate the use of other methods or materials for disinfection.

The aim of this study was to evaluate the performance of ozone in disinfection of *Escherichia coli* (an index of fecal pollution) contaminated water.

Methods: *E. coli* was used for contaminated water preparation. Culture and counting methods were performed based on the book entitled "The Standard Methods of Water and Wastewater" and were recorded with colony forming unit (CFU)/ml. Normality of the data was analyzed using Kolmogorov-smirnov test, and t-test and ANOVA were performed to analyze the data.

Results: The results showed that destruction of *E. coli* increased by increasing ozone concentration and decreasing bacteria's density. Removal efficiency of the 1 mg/L dose, as compared to the 5 mg/L dose of ozone, in densities of 10^4 and 10^5 CFU/ml was significant (P -value <0.05). The statistical results demonstrated that removal efficiency of bacteria with a number of 10^5 CFU/ml, at the contact time of 1 min versus 5, 10 and 20 min was significant ($P<0.05$). The removal efficiency of *E. coli* at the contact time of 10 min and above, reached 100%.

Conclusion: Ozone, due to its oxidizing effect on microorganisms, has good disinfectant properties. The results of this study suggest that ozone can be significantly effective in disinfecting water contaminated with *E. coli*.

Keywords: *Escherichia coli*, Ozonation, Water disinfection, Water treatment

► **Citation:** Zazouli MA, Yousefi M, Dianati RA, Roohafzaee M, Marganpour AM. Disinfection of Water Contaminated with Fecal Coliform Using Ozone: An Evaluation of the Effect of Ozone Doze and Contact Time. Journal of Health Research in Community. Summer 2015;1(2): 55-62.

مقاله پژوهشی

گندزدایی آب های آلوده به کلیفرم مدفوعی با استفاده از ازن: بررسی تأثیر غلظت ازن و زمان تماس

چکیده

محمدعلی ززولی^{۱*}مریم یوسفی^۲رمضانعلی دیبانی^۱میترا روح افزایی^۲عاشورمحمد مرگان پور^۳

مقدمه و هدف: کلر به دلیل داشتن اثر ابقایی، مهم ترین ماده جهت گندزدایی آب می باشد؛ اما تشکیل محصولات جانبی که بر سلامت مصرف کنندگان اثر سوء دارد، محققان را بر آن داشت تا از روش یا ماده دیگری استفاده نمایند. لذا هدف از این مطالعه، بررسی کارایی ازن در گندزدایی آب های آلوده به اشریشیا کلی به عنوان شاخص آلودگی کلیفرم مدفوعی آب می باشد.

روش کار: برای تهیه آب آلوده از اشریشیا کلی استفاده شده است. روش کشت و شمارش، طبق کتاب «روش های استاندارد آب و فاضلاب» انجام و بر حسب CFU/ml گزارش شده است. داده ها جهت نرمال بودن، با استفاده از آزمون کلموگروف - اسمیرنوف بررسی شدند. آزمون ANOVA برای تحلیل داده ها استفاده شد.

یافته ها: نتایج نشان داده است که با افزایش غلظت ازن و کاهش دانسیته باکتری میزان نابودی اشریشیا کلی افزایش می یابد. راندمان حذف، با غلظت یک میلی گرم در لیتر ازن در مقایسه با غلظت ۵ میلی گرم در لیتر ازن در دو دانسیته ۱۰^۴CFU/ml و ۱۰^۵CFU/ml معنی دار است ($P < 0/05$). آزمون آماری نشان داده است که راندمان حذف با تعداد باکتری ۱۰^۵CFU/ml در زمان تماس یک دقیقه، با سه زمان دیگر یعنی ۵، ۱۰ و ۲۰ دقیقه معنی دار است ($P > 0/05$). راندمان نابودی اشریشیا کلی در زمان تماس ۱۰ دقیقه به بعد ۱۰۰ درصد است. **نتیجه گیری:** ازن به علت اثر اکسیدکنندگی بر روی میکروارگانیسم ها، دارای خواص گندزدایی خوبی است. بر اساس نتایج این مطالعه، ازن می تواند به طور معناداری در گندزدایی آب های بسیار آلوده به اشریشیا کلی مؤثر باشد.

کلمات کلیدی: اشریشیا کلی، گندزدایی آب، ازن زنی، تصفیه آب

۱. دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی و دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، کمیته تحقیقات دانشجویی دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۳. مدیرگروه تحقیقات و پژوهش، شرکت آب و فاضلاب روستایی استان گلستان، گرگان، ایران

* نویسنده مسئول: محمدعلی ززولی، دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی و دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

Email: Zazoli49@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۳/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۶/۲۰

◀ **استناد:** ززولی، محمد علی؛ یوسفی، مریم؛ دیبانی، رمضانعلی؛ روح افزایی، میترا. گندزدایی آب های آلوده به کلیفرم مدفوعی با استفاده از ازن: بررسی تأثیر غلظت ازن و زمان تماس. مجله تحقیقات سلامت در جامعه، تابستان ۱۳۹۴؛ ۱(۲): ۶۲-۵۵.

مقدمه

و اسهال حاد می باشد [۱، ۲]. عفونت های ناشی از اشریشیا کلی، به مصرف غذا و آب آلوده مرتبط اند [۱]. از آن جا که بررسی حضور هر میکروارگانیسم بیماری زا در آب عملی نیست، میکروارگانیسم هایی به عنوان شاخص انتخاب شده اند که در صورت عدم حضور در آب، دلیلی بر عدم آلودگی است. برای این

باکتری اشریشیا کلی، ارگانیسمی هوازی اختیاری، میله ای شکل و گرم منفی است که ساکن روده حیوانات خون گرم می باشد. این باکتری، علت عفونت های دستگاه گوارش در انسان ها مانند کولیت هموراژیک، عفونت خارج روده ای و عفونت حاد دستگاه ادراری

منظور، کلی فرم مدفوعی و اشیریشیا کلی انتخاب شده اند که حضورشان نشان می دهد که آب ممکن است با مواد زاید انسانی و یا حیوانی آلوده شده باشد و به عنوان یک شکست در بهداشت و یا فرآیند تصفیه، به خصوص گندزدایی آب مطرح است. گندزداهای مختلفی در تصفیه آب و فاضلاب وجود دارند؛ ازن یک اکسیدکننده قوی است که می تواند جهت غیر فعال کردن میکروارگانیسم ها، از جمله: پروتوزوا که در برابر مواد ضد عفونی کننده متداول بسیار مقاومند، مورد استفاده قرار گیرد. تشکیل محصولات جانبی هالوژنه، نظیر تری هالومتان ها به واسطه فرآیند کلرزنی سبب شد که محققان، ازن زنی را جهت اکسیداسیون ترکیبات آلی و نابودی پاتوژن ها و غیر فعال سازی میکروارگانیسم ها از جمله اشیریشیا کلی به کار گیرند [۶-۲].

ازن در pH های اسیدی بهتر عمل می کند و در pH های قلیایی، به ویژه pH بیش از ۱۰/۳، به سرعت از بین می رود و نسبت به کلر با غلظت های کمتری در گندزدایی کاربرد دارد؛ همچنین CT value بسیار کمتری برای رسیدن به نتایج مشابه دارد و از نظر اکسید کنندگی برتر از کلر است (پتانسیل اکسیداسیون و احیاء ازن و کلر به ترتیب ۲/۰۷ و ۱/۳۶ ولت است). هزینه تولید و بهره برداری ازن بیش از کلر است. برای تهیه هر کیلوگرم ازن، حدود ۳۰ کیلووات انرژی لازم است. ازن باقی مانده در آب ایجاد نمی نماید. نیمه عمر آن در آب، با توجه به میزان آلاینده ها، از ۸ تا ۱۴ دقیقه متغیر است؛ لذا بعد از ازن زنی، نیاز به افزودن کلر می باشد. ازن با دو شیوه اکسیداسیون مستقیم و واکنش رادیکال های هیدروکسیل (OH°) تولیدی بر مواد آلی و میکروارگانیسم ها، اثر می گذارد [۷].

در طراحی گندزدایی شیمیایی، مقادیر CT (غلظت گندزدا برحسب میلی گرم در لیتر در زمان تماس برحسب دقیقه) برای تصفیه آب در حدی در نظر گرفته می شود که کاهش ۹۹ تا ۹۹/۹ درصد میکروارگانیسم ها حاصل شود. اغلب جهت دستیابی یک CT برای ازن، حدود ۱/۶-۲ mg min/L (غلظت ۰/۴ میلی گرم در لیتر ازن برای ۵ دقیقه)، برای گندزدایی متداول کافی در نظر گرفته می شود؛ در حالی که برای کلر، غلظت ۱ تا ۵ میلی گرم در لیتر

برای ۳۰ دقیقه در نظر گرفته می شود [۸].

مطالعات متعددی در زمینه کاربرد ازن در تصفیه و گندزدایی آب انجام شده است. گری دریافت که ازن جهت کنترل کیست و اووسیت های پاتوژن تک یاخته ای و تمام عوامل بیماری زای انتقال یافته از راه آب بسیار مؤثر است؛ اما جهت اطمینان از مقدار باقیمانده ماده گندزدا در شبکه توزیع باید فرآیند کلرزنی با سطحی پایین تر صورت گیرد [۶]. گونتن گزارش کرده است که ازن برای نابودی میکروارگانیسم هایی مانند تک یاخته ها - که غیر فعال سازی آن با سایر مواد ضد عفونی کننده دشوار است - می تواند غیر فعال سازی مناسبی با دوز و زمان تماس مناسب ایجاد کند [۴]. شاه منصوری و کارگر در «بررسی کارایی ازناسیون در کاهش کل کربن آلی و باکتری های کلیفرم» دریافتند که اختلاف معنی داری بین تعداد کل کلیفرم های مدفوعی ورودی و بعد از ازن زنی اولیه وجود دارد و تأثیر آن را در کاهش کلیفرم مدفوعی تأیید کرده اند؛ هر چند که باید از فرآیند کلرزنی در کنار آن استفاده گردد. آنها در عملیات تصفیه آب، ازن با غلظت ۰/۴ میلی گرم در لیتر به مدت ۵ دقیقه استفاده نمودند [۹]. اما هنوز سؤالاتی در زمینه کارایی ازن، نظیر: غلظت ازن، زمان تماس، تأثیر دانسیته میکروبی و.... در حذف پاتوژن ها، از جمله اشیریشیا کلی در آب و فاضلاب وجود دارد؛ لذا هدف از این مطالعه، بررسی کارایی ازن در گندزدایی آب های آلوده به اشیریشیا کلی به عنوان شاخص آلودگی کلیفرم مدفوعی آب می باشد.

روش کار

تهیه و کشت باکتری برای تهیه آب آلوده به میکروارگانیسم از اشیریشیا کلی: (PTCC ۱۳۹۹) ATCC ۲۵۹۲۲ تهیه شده از مرکز منطقه ای کلکسیون قارچ ها و باکتری های صنعتی ایران (PTCC)، به شکل آمپول لیوفیلیزه استفاده شده است. میکروارگانیسم، مطابق دستور العمل مرکز تکثیر و کشت داده شده است. شرح کامل روش

تکثیر و کشت آن در مطالعه پیشین آمده است [۱۰]. روش کشت و شمارش، مطابق روش استاندارد کتاب «روش های استاندارد آب و فاضلاب» انجام شد [۱۱]. برای رسیدن به غلظت های مورد نیاز، از استاندارد مک فارلند استفاده و میزان جذب استاندارد مک فارلند در دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۲۰ نانومتر خوانده شد [۱۲]. تعداد تقریبی باکتری برای نسبت استاندارد مک فارلند ۰/۵، ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب ۱/۵، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ضربدر ۱۰^۸ در میلی لیتر می باشد [۱۰].

روش انجام فرآیند ازن زنی

برای ازن زنی، حجم مشخصی از آب آلوده را وارد استوانه مدرج نموده و گاز ازن در غلظتی مشخص با استفاده از یک شیلنگ - که در انتها مجهز به سنگ هوا بود- به آب افزوده شد. سنگ هوا موجب تولید حباب های کوچکتر و افزایش انحلال ازن در آب خواهد شد. تمام وسایل اعم از ظروف، مگنت، سنگ هوا و شیلنگ های داخل محلول، قبل از استفاده استریل شدند. برای تعیین اثر دوز ازن بر گندزدایی، ازن زنی با سه دوز ۱، ۳ و ۵ میلی گرم در لیتر انجام شد. همچنین برای تعیین اثر زمان تماس بر راندمان گندزدایی، عمل ازن زنی با مدت زمان تماس ۱، ۵، ۱۰ و ۲۰ دقیقه انجام شد.

تعیین ظرفیت دستگاه ازن ژنراتور

دستگاه ازن ژنراتور مورد استفاده در این تحقیق، مدل ODP (ساخت شرکت پاساگارد) با ظرفیت تولید ازن ۵ گرم در ساعت ازن می باشد. برای سنجش ازن، روش های مختلفی از قبیل: روش یدومتری، روش ایندیگو، روش الکترو غشایی ازن و روش جذب UV موجود می باشد که با توجه به شرایط مختلف و حالت های ازن (محلول یا گازی) متفاوت است.

برای تعیین ظرفیت ازن زنی دستگاه ازن ژنراتور و همچنین مقدار ازن وارد شده به سیستم تصفیه، گاز ازن تولید شده توسط

ازن ژنراتور با استفاده از روش ۲۳۵۰E (یدید پتاسیم) کتاب استاندارد متد اندازه گیری گردید [۱۰]؛ سپس با دبی های مختلف جریان گاز اکسیژن ورودی نسبت به سنجش ازن خروجی و رسم گراف ظرفیت دستگاه در دبی های مختلف جریان اقدام شد. در این روش، برای تعیین ظرفیت دستگاه ازن ژنراتور، جریان هوا بر اساس بهترین شرایط تولید ازن تنظیم گردید؛ سپس گاز خروجی دستگاه از دو گازشوی سری محتوی ۲۵۰ میلی لیتر محلول یدید پتاسیم ۲ درصد به مدت ۱۰ دقیقه عبور داده شد. پس از سپری شدن زمان فوق، مقدار ۲۰۰ میلی لیتر از محلول یدید پتاسیم در داخل ارلن ریخته و به آن ۱۰ میلی لیتر اسید سولفوریک ۲ نرمال اضافه می شود. سپس محلول با استفاده از تیوسولفات سدیم ۰/۰۰۵ نرمال تا بیرنگ شدن رنگ ید تیترا گردید. با اضافه کردن ۱ تا ۲ قطره چسب نشاسته رنگ محلول آبی می گردد و در این زمان تا بیرنگ شدن محلول تیتراسیون ادامه می یابد. در انتها، مقدار حجم تیترانت مصرفی یادداشت و میزان ازن تولیدی از رابطه زیر تعیین میگردد [۱۰]:

$$O_3 \frac{mg}{min} = \frac{(A + B) \times N \times 24}{T [min]}$$

A: میلی لیتر تیوسولفات مصرفی در گازشوی اول

B: میلی لیتر تیوسولفات مصرفی در گازشوی دوم

T: زمان ازن زنی بر حسب دقیقه

N: نرمالیه تیوسولفات سدیم

جریان هوای ورودی به راکتور، با روتامتر تنظیم و اندازه گیری شد. با استفاده از روش یدید پتاسیم، مقدار ازن ورودی به راکتور سنجش شد. دستگاه ازن سنج پالین تست (Palintest) را می توان به جای روش فوق به کار برد. ازن سنج قادر است ازن از صفر تا ۳ میلی گرم در لیتر را سنجش کند. روش پالین تست بر اساس روش DPD استاندارد استوار است. ازن با معرف DPD که به صورت قرص حاوی یدید پتاسیم است، واکنش داده و رنگ ارغوانی ایجاد می کند [۱۲].

غلظت ورودی یعنی ۱، ۳ و ۵ میلی گرم در لیتر انجام شد. نتیجه ازن زنی در شکل ۲ آمده است. همان طوری که در این شکل دیده می شود، با افزایش غلظت ازن، میزان نابودی اشیریشاکلی افزایش می یابد. همچنین هرچه دانسیته اشیریشاکلی افزایش یابد، راندمان کمتر خواهد شد؛ زیرا با ثابت بودن غلظت ازن، هرچه تعداد باکتری بیشتر باشد، راندمان کمتر می شود.

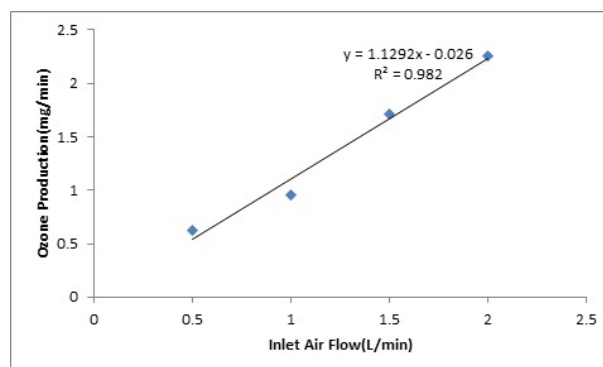
نتایج آزمون آماری نشان داده است که راندمان حذف در دو غلظت پیاپی معنی دار نیست ($P > 0.05$)؛ اما راندمان حذف با غلظت ۱ میلی گرم در لیتر ازن با غلظت ۵ میلی گرم در لیتر ازن در دو حالت دانسیته 10^4 CFU/ml و 10^5 CFU/ml معنی دار است ($P < 0.05$)؛ در حالتی که تعداد باکتری 10^4 CFU/ml است، بین غلظت ۳ و ۵ میلی گرم در لیتر ازن معنی دار نیست ($P > 0.05$).

تأثیر زمان تماس بر راندمان گندزدایی ازن

نتایج این مرحله آزمایش در شکل ۳ آمده است. همان طوری که در این شکل دیده می شود، در زمان تماس ۱۰ دقیقه به بعد ۱۰۰ درصد اشیریشاکلی از بین می روند. همچنین راندمان حذف در مدت ۵ دقیقه ۹۸/۷۵ درصد و ۹۹/۵ درصد به ترتیب با تعداد باکتری 10^4 CFU/ml و 10^5 CFU/ml بوده است. آنالیز آماری نشان داده که راندمان حذف در زمان تماس یک دقیقه با سه زمان دیگر یعنی ۵، ۱۰ و ۲۰ دقیقه با تعداد باکتری CFU/ml 10^5 معنی دار است ($P < 0.05$). به این علت که راندمان حذف در سه مرتبه تکرار با تعداد باکتری 10^4 CFU/ml حدود ۱۰۰ درصد بوده است، لذا در دانسیته میکروبی راندمان حذف در زمان های مختلف معنی دار نشد ($P > 0.05$).

بحث و نتیجه گیری

ازن به علت اثر اکسیدکنندگی بر روی میکروارگانیسم ها دارای خواص گندزدایی است. ازن ترکیبات آلی در غشاء سلولی



شکل ۱: ظرفیت تولید ازن نسبت به هوای ورودی به ازن ژنراتور

یافته ها

تعیین ظرفیت دستگاه ازن ژنراتور

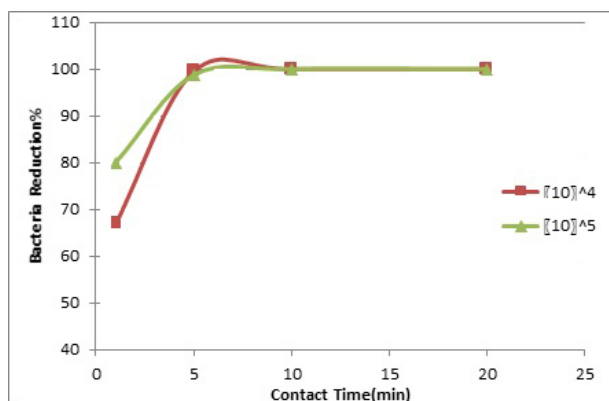
ظرفیت تولید ازن توسط دستگاه ازن ژنراتور در شکل ۱ آمده است. همان طوری که در این شکل دیده می شود، بین جریان هوای ورودی بر حسب لیتر در دقیقه و ازن تولیدی بر حسب میلی گرم در دقیقه در لیتر همبستگی خوبی وجود دارد ($R^2 = 0.982$) روش دیگری که برای سنجش ازن تولیدی و یا ازن باقی مانده در محلول استفاده شد، ازن سنج پالین تست بود، که میزان ازن سنجش شده با این دستگاه و روش یدید پتاسیم دقیقاً یکسان بود.

آزمون نرمال بودن داده ها

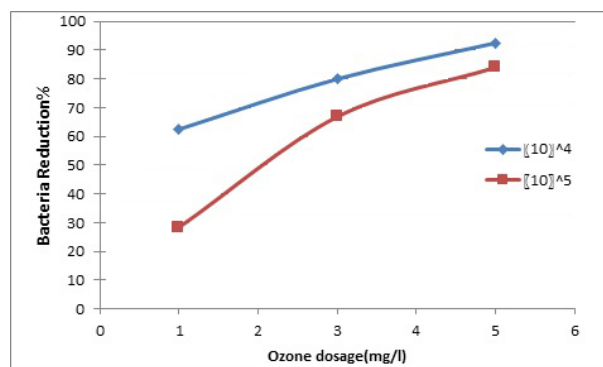
داده ها با استفاده از آزمون اسمینوف-کولموگروف (Kolmogorov-Smirnov Test) جهت نرمال بودن بررسی شدند. نتیجه آزمون بیانگر نرمال بودن داده ها می باشد ($P > 0.05$)؛ سپس از آزمون های ANOVA برای تحلیل داده ها استفاده شده است.

تأثیر غلظت ازن بر راندمان گندزدایی ازن

برای تعیین اثر ازن بر گندزدایی، به مدت یک دقیقه عمل ازن زنی محلول حاوی 10^4 CFU/ml و 10^5 CFU/ml با سه



شکل ۳: تأثیر زمان تماس بر راندمان گندزدایی ازن با دوز ۳ میلی گرم در لیتر و تعداد باکتری های 10^4 و 10^5 CFU/ml



شکل ۴: تأثیر غلظت ازن (۱، ۳ و ۵ میلی گرم در لیتر در دقیقه) بر گندزدایی آب

تماس، میزان ازن مورد نیاز به تدریج کاهش می یابد. آنها غلظت ۳ میلی گرم در لیتر ازن را به عنوان غلظت بهینه غیرفعال سازی در نظر گرفتند. ۳/۹۸ واحد لگاریتمی غیرفعال سازی در مدت ۱۰ دقیقه ایجاد شد. CT ازن برای غیرفعال سازی اشریشیا کلی، ۱۴۴۰ میلی گرم در لیتر بر دقیقه بیان شد [۱۶]. برای تعیین اثر زمان تماس بر راندمان گندزدایی، عمل ازن زنی با غلظت ۳ میلی گرم در لیتر با مدت زمان تماس ۱، ۵، ۱۰ و ۲۰ دقیقه انجام شد. تعداد باکتری در این آزمایش نیز، 10^4 CFU/ml و 10^5 CFU/ml تنظیم شد. علت انتخاب زمان تماس حداکثر ۲۰ دقیقه برای ازن زنی، به این خاطر است که ازن به تدریج در مدت ۲۰ دقیقه تجزیه می شود. مطالعه آیوتی و پندیت ثابت کرد که تجزیه ۵۵ درصد ازن در ۱۵ دقیقه اتفاق می افتد [۱۴]. بنابراین در نظر گرفتن زمان تماس بیش از ۲۰ دقیقه فاقد ازن کافی جهت گندزدایی است. تحقیق آیوتی و پندیت هم نشان داد که با افزایش زمان تماس ازن میزان مرگ میکروارگانیسم ها افزایش می یابد. مثلاً ازن با غلظت ۱ میلی گرم در لیتر و زمان تماس ۱۵ دقیقه قادر بود ۵۲ درصد کلیفرم کل را نابود کند که این راندمان در ۶۰ دقیقه تماس به ۸۸ درصد افزایش یافت. همین روند برای سایر باکتری ها نظیر استرپتوکوک ها و کلیفرم های مدفوعی هم وجود دارد [۱۴]. جان و همکاران ازن را با غلظت ۰/۵ و ۱ میلی گرم در لیتر برای نابودی اسپور Encephalitozoon

میکروارگانیسم ها را اکسید می کند که منجر به پارگی و شکاف غشاء خواهد شد و بر قابلیت زنده ماندن سلول تأثیر می گذارد؛ بنابراین گندزدایی حاصل می شود [۱۴]. آیوتی و پندیت در مطالعه ای اثر گندزدایی ازن با غلظت های ۰/۵، ۱، ۲، ۳ و ۴ میلی گرم در لیتر با زمان تماس ۱۵ و ۶۰ دقیقه برای گندزدایی آب حاوی باکتری های HPC، کلیفرم های کل، کلیفرم های مدفوعی و استرپتوکوک های مدفوعی را انجام دادند. آنها دریافتند افزایش دوز ازن از ۰/۵ به ۴ میلی گرم در لیتر و با زمان تماس ۱۵ دقیقه، قادر است کلیفرم کل را به ترتیب از ۷۳ درصد تا ۱۰۰ درصد حذف کند. برای باکتری های HPC کارایی گندزدایی از ۴۶ درصد تا ۹۳ درصد به ترتیب برای افزایش دوزها از ۰/۵ به ۴ میلی گرم در لیتر بود. نتایج این مطالعه در جدول ۱ آمده است [۱۴]. مطالعه دیگری نشان می دهد که استفاده ازن با دوز زیاد موجب افزایش تولید برومات خواهد شد [۱۵]. لی و نی مطالعه ای در خصوص گندزدایی آب و نابودی میکروارگانیسم های *Escherichia coli* (E.coli) K-12, *Staphylococcus aureus* A106, *Bacillus subtilis* (BST) با استفاده از ازن انجام دادند. دوز ازن ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۳ و ۵ میلی گرم در لیتر با زمان تماس یک تا ۶۰ دقیقه در نظر گرفته شد. آنها نشان دادند که کارایی غیرفعال سازی میکروارگانیسم ها با افزایش دوز ازن از ۰/۵ تا ۵ میلی گرم در لیتر در مدت ده دقیقه افزایش می یابد. با افزایش زمان

جدول ۱: درصد حذف میکروارگانیسم‌ها توسط ازن‌زنی در غلظت‌های از ۰/۵ تا ۴ میلی گرم در لیتر [۱۴]

دوز ازن (میلی گرم بر لیتر)	باکتری‌های HPC		کل کلیفرم‌ها		کلیفرم‌های مدفوعی		استرپتوکوکوس مدفوعی	
	۱۵ دقیقه	۶۰ دقیقه	۱۵ دقیقه	۶۰ دقیقه	۱۵ دقیقه	۶۰ دقیقه	۱۵ دقیقه	۶۰ دقیقه
۰/۵	۴۶±۵	۸۲±۲۰	۷۳±۱۵	۹۰±۲۰	۶۸±۱۵	۹۲±۱۰	۵۳±۸	۸۳±۵
۱	۵۲±۱۰	۸۸±۱۵	۶۸±۱۰	۹۲±۱۰	۷۵±۵	۹۵±۸	۶۹±۵	۹۴±۱۰
۲	۶۰±۱۵	۹۳±۱۰	۶۰±۱۴	۹۴±۸	۷۸±۱۴	۱۰۰±۲۰	۷۴±۸	۹۷±۱۲
۳	۸۲±۱۰	-	۹۶±۲۰	-	۱۰۰±۲۰	-	۹۷±۵	-
۴	۹۳±۲۰	-	۱۰۰±۲۵	-	۱۰±۲۰	-	۱۰۰±۲۰	-

قدردانی

بدین وسیله از گروه تحقیقات و بهره‌برداری شرکت آب و فاضلاب روستایی استان گلستان به جهت تأمین هزینه این تحقیق با شماره طرح ملی ۹۱/۱۹۲۰ سپاسگزاری می‌گردد. از معاونت محترم تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی مازندران، کارکنان آزمایشگاه میکروبیولوژی دانشکده بهداشت ساری که شرایط انجمن تحقیق را فراهم آورده‌اند و همچنین خانم سیده محبوبه حسینی کارشناس ارشد آمار به جهت آنالیز آماری داده‌ها و سرکار خانم معصومه اسلامی‌فر کارشناس آزمایشگاه میکروبیولوژی، جهت مشاوره کشت و شناسایی میکروبی قدردانی می‌شود.

intestinalis در مدت ۱ تا ۵ دقیقه بکار گرفتند که نتایج آنها نشان داد که با دوز ۰/۵ میلی گرم در لیتر ازن، ۲ و ۳ واحد لگاریتمی کاهش به ترتیب در زمان ۲/۵ و ۵ دقیقه اتفاق افتاد. برای دوز ۱ میلی گرم در لیتر ازن، ۲ و ۳ واحد لگاریتمی کاهش به ترتیب در زمان ۲/۵ و ۴ دقیقه اتفاق افتاد [۱۷].

این مطالعه نشان داده است که راندمان حذف باکتری در زمان تماس بیش از ۵ دقیقه ازن‌زنی ۱۰۰ درصد می‌باشد. راندمان ازن در حذف اشیریشیاکلی در مدت ۵ دقیقه و دوز یک میلی گرم در لیتر ۹۸/۷۵ و ۹۹/۵ درصد به ترتیب با تعداد باکتری 10^5 و CFU/ml بوده است. با افزایش تعداد کلنی، کارایی گندزایی کاهش می‌یابد. هرچه دانسیته باکتری افزایش یابد میزان تماس با ازن کاهش می‌یابد.

References

- Batt CA. Encyclopedia of Food Microbiology. 2nd ed. Waltham: Academic Press; 2014. P.695-701.
- Percival SL. Escherichia coli. In: Percival SL, Yates ML, Williams D, Chalmers R, Gray N, editors. Microbiology of Waterborne Diseases. 2nd ed. Waltham: Academic Press; 2014. P.89-117.
- Eden R. Enterobacteriaceae, coliforms and E. Coli, Classical and Modern Methods for Detection and Enumeration. In: Batt CA. Encyclopedia of Food Microbiology. 2nd ed. Waltham: Academic Press; 2014. P.667-673.
- von Gunten U. Ozonation of drinking water: Part II. Disinfection and by-product formation in presence of bromide, iodide or chlorine. Water Res 2003; 37(7):1469-1487.
- Yang X, Peng J, Chen B, Guo W, Liang Y, Liu W, et al. Effects of ozone and ozone/peroxide pretreatment on disinfection byproduct formation during subsequent

- chlorination and chloramination. J Hazard Mater 2012; 239-240:348-354.
6. Gray N. Ozone Disinfection. In: Percival SL, Yates ML, Williams D, Chalmers R, Gray N, editors. Microbiology of Waterborne Diseases. 2nd ed. Waltham: Academic Press; 2014. P.599-615.
7. United States, Environmental Protection Agency, Office of Water. Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual. Washington: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water; 1999.
8. Vaezi F, Bazrafshan E. Ultraviolet Radiation and Its Application in Water and Wastewater Treatment and Purification. Tehran: Andishmand Publications; 2008 (Persian).
9. Shahmansouri MR, Kargar M. Efficiency of ozonation in decreasing total organic carbon and total coliform bacteria in Isfahan water treatment plant. Water & Water Waste J 2005; 54:43-46.
10. Zazouli MA, Ahanjan M, Kor Y, Eslamifar M, Hosseini M, Yousefi M. Water disinfection using Photocatalytic process with titanium dioxide Nanoparticles. J Mazandaran Univ Med Sci 2015; 24(122):227-238.
11. Rice EW, Baird RB, Eaton AD, Clesceri LS. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22nd ed. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation; 2012.
12. Garcia LS. Preparation of Routine Media and Reagents Used in Antimicrobial Susceptibility Testing. In: Garcia LS. Clinical Microbiology Procedures Handbook. 3th ed. Washington DC: ASM Press; 2010. P.181-201.
13. Palintest Ltd, Ozone meter precision ozone meter for use with dpd test, Available at: [http:// palintest.com.au/media/uploads/363.pdf](http://palintest.com.au/media/uploads/363.pdf).
14. Jyoti KK, Pandit AB. Ozone and cavitation for water disinfection. Biochem Eng J 2004; 18(1):9-19.
15. Smeets PW, van der Helm AW, Dullemont YJ, Rietveld LC, van Dijk JC, Medema GJ. Inactivation of Escherichia coli by ozone under bench-scale plug flow and full-scale hydraulic conditions. Water Res 2006; 40(17):3239-3248.
16. Li H, Zhu X, Ni J. Comparison of electrochemical method with ozonation, chlorination and monochloramination in drinking water disinfection. Electrochimica Acta 2011; 56(27):9789-9796.
17. John DE, Haas CN, Nwachuku N, Gerba CP. Chlorine and ozone disinfection of Encephalitozoon intestinalis spores. Water Res 2005; 39(11):2369-2375.