**مجله علوم پزشکی دانشگاه آزاد اسلامی**
سال ۱۴، شماره ۲، صفحات ۵۷ تا ۶۱ (زمستان ۸۳)

Original Article

# بررسی قدرت ضدعفونی کنندگی ازون بر روی باکتری‌ها در سطوح جامد

**دکترمحمدکریم رحیمی[۱]، دکترجواد عزیزیان[۲]، محمدرضا قمی مرزدشتی[۳]،**
**پروانه عدیمی[۱]، طاهره فضلعلی کاظمی[۱]، لیدا موسوی[۱]، شیده پورخلیلی[۱]**

[۱] دانشگاه آزاداسلامی، واحد پزشکی تهران
[۲] دانشگاه آزاد اسلامی، سازمان مرکزی
[۳] دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تنکابن

## چکیده

**سابقه و هدف:** *ازون ($O_3$) یا آلوتیپ سه اتمی اکسیژن، یک گاز ناپایدار است که به طور وسیع به منظور ضدعفونی و اکسیداسیون مورد استفاده قرار گرفته است. ازون، قدرت حلالیت نسبتا خوبی در آب دارد، به طوریکه در مقایسه با اکسیژن در حدود ۲۰ برابر قابلیت حلالیت بیشتری دارد. ازون یک اکسیدکننده پروتوپلاسم است که برروی گروه‌های سولفیدریل از اسیدآمینه‌های موجود در پروتئین‌های باکتری تاثیر گذاشته و موجب اختلال در فعالیت‌های آنزیمی سلول می‌شود. گاز ازون می‌تواند کپک‌ها، باکتری‌ها و ویروس‌ها را تخریب کند. هدف از این مطالعه، بررسی قدرت ضدعفونی کنندگی گاز ازون بر روی میکروارگانیسم‌های سطوح است.*

**مواد و روشها:** *۸ گونه از باکتری‌های بیماریزا با تراکم‌های متفاوت ($۱۰^۲$، $۱۰^۵$، $۱۰^۷$ و بیش از $۱۰^۷$ سلول بر میلی لیتر) در مجاورت با گاز ازون قرار داده شدند. یک محفظه آلومینیومی با ظرفیت ۳۰۰ لیتر در درون دستگاه هود تعبیه شد و گاز ازون درآن تولید گردید. در زمان‌های متفاوت (۳۰، ۶۰،۹۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ دقیقه) هر یک از غلظت‌های ۸ گانه از باکتری‌ها در مجاورت با گاز ازون قرار گرفتند و در هر مورد، قبل و بعد از مجاورت با ازون، تعداد باکتری‌ها به روش برید کانتر مورد شمارش قرار گرفت.*

**یافته‌ها:** *از میان باکتری‌هایی که در مجاورت با ازون قرار داده شدند، باسیلوس سرئوس مقاوم‌ترین باکتری در برابر اثرات گندزدایی ازون شناخته شد. به ترتیبی که غیرفعال سازی آن در تراکم اولیه بیش از $۱۰^۷$ سلول بر میلی‌لیتر در بالاترین غلظت ازون (۳۰ ppm) حاصل گردید. استافیلوکوک‌اورئوس و میکروکوک در تراکم $۱۰^۷$ سلول بر میلی لیتر در غلظت ازون در حدود ۱۰ppm نابود شدند. اشریشیا کولی و بقیه باسیل‌های گرم منفی بیماریزا در تراکم $۱۰^۷$ سلول بر میلی‌لیتر در غلظت‌های بالاتری از ازون (در حد ۱۵ppm) تخریب گردیدند.*

**نتیجه‌گیری و توصیه‌ها:** *بر اساس یافته‌های فوق در مواردی که هدف از بکارگیری ازون، استریل نمودن سطوح باشد باید از غلظتی در حدود ۳۰ ppm استفاده شود اما اگر فقط نابودسازی باکتری‌های غیربیماریزای فاقد اسپور مورد نظر باشد به کارگیری غلظت ۱۵ppm کفایت می‌کند.*

**واژگان کلیدی:** *ازون، ضدعفونی، میکروارگانیسم سطوح.*

## مقدمه

گاز ازون ($O_3$) یک عامل اکسیدکننده قوی است که بطور وسیعی برای ضدعفونی و اکسیداسیون مورد استفاده قرار می گیرد. اثر باکتریسید ازون، سریع است. در مجاورت با گاز ازون، بسیاری از ترکیبات آلی به ترکیبات ساده‌تری اکسید می‌شوند. بعنوان مثال، ازون موجب اکسیداسیون فنل به اسید اگزالیک و اسید استیک می‌شود. ازون ترکیبات تری هالومتان را به میزان محدود اکسید می‌کند و غلظت آنها را کاهش می‌دهد. علاوه بر این، به لحاظ داشتن خاصیت ناپایدار در تماس با محلول یدور پتاسیم موجب آزاد شدن ید خواهد شد.

**Corresponding author**: Mohammad Karim Rahimi
**e-mail**: mkrahimi@iautmu.ac.ir

[ Downloaded from tmuj.iautmu.ac.ir on 2026-10-31 ]

در دستگاه مولد ازون، جریان الکتریکی متناوب موجب جذب الکترون‌ها به یک الکترود و سپس جذب آنها به الکترود دیگر می‌شود. پس از اینکه الکترون‌ها به سرعت کافی رسیدند می‌توانند بعضی از ملکول‌های اکسیژن ($O_2$) را به اتم‌های آزاد (رادیکال اکسیژن) بشکنند. این اتم‌ها ممکن است با ملکول‌های اکسیژن ($O_2$)، ترکیب شده و ملکول‌های ازون ($O_3$) را بوجود آورند.

ازون، یک اکسیدکننده پروتوپلاسم است. Komanapalli و همکاران (۱) معتقدند گروههای سولفیدریل در غشاء باکتری، اولین هدفی هستند که مورد تهاجم واقع می‌شوند. بنابرنظر Bablon (۲)، ازون بر روی گروه‌های سولفیدریل از اسیدآمینه‌های موجود در پروتئین‌های باکتری نیز تأثیر گذاشته و موجب اختلال در فعالیت‌های آنزیمی سلول می‌شود. ازون، یک گاز ناپایدار است که در شرایط اتمسفر طبیعی، نقطه جوش در حدود منهای ۱۱۲ درجه سانتیگراد دارد. وزن ملکولی ازون ۴۸ می‌باشد. ازون، قدرت حلالیت نسبتا خوبی در آب دارد. این قدرت حلالیت به سهولت در غلظت‌هایی به میزان ۰/۰۱ تا ۰/۰۵ واحد در میلیون واحد (ppm ۰/۰۵ - ۰/۰۱) و بالاترحاصل می‌شود. ازون در هوا بویژه در هوای سرد و خشک، پایدارتر است. برای جبران نمودن نقیصه فوق باید از سیستم‌های گران قیمت و به چرخش درآورنده و در تماس قراردهنده استفاده شود. علی‌رغم محدودیت‌ها و مشکلات فوق، توجه روز افزونی به کاربرد ازون برای غیرفعال سازی عوامل بیماریزای سطوح (از طریق تولید گاز ازون در هوا)، و نابودی باکتری‌های استافیلوکوک سالیواریوس(۳)، استافیلوکوک اپیدرمیدیس (۴)، استافیلوکوک اورئوس و اشریشیا کولی (۵) توسط ازون معطوف شده است. رفتار ازون در آب و هوا با یکدیگر متفاوت است. خاصیت اکسیدکنندگی بالای ازون در آب، با واسطه رادیکال‌های مختلفی است که اصلی‌ترین آنها رادیکال آزاد هیدروکسیل است که از خود ازون نیز فعالترمی‌باشد (۶). قابلیت بالای اکسیدکنندگی ازون، نشات گرفته از این رادیکال‌هاست (۷) که موجب ایجاد حالت زیست کشی قوی ازون می‌گردد. هر چند Facile و همکاران (۸) در مقابل معتقدند که در زمان حضور هر دو ترکیب ازون مولکولی و رادیکال‌های هیدروکسیل، ازون مولکولی بعنوان عامل غالب اکسیدکننده می‌باشد. رادیکال‌های آزاد هیدروکسیل، عمر کوتاهی دارند بنابراین نیمه عمر ازون در آب به دلیل تشکیل این ترکیب و واکنش ازون با سایر اجزای آب به مراتب کمتر از هواست. بنابر نظر Rice و همکاران (۹)، نیمه عمر ازون در هوا (با فشار معمولی اتمسفر) ۱۲ ساعت است و در آب خالص در ۲۰ درجه سانتی‌گراد، در حدود ۱۶۵ دقیقه است. در زمان حضور آلودگی‌های ترکیبات آلی در آب، نیمه عمر ازون کاهش می‌یابد(۱۰).

امروزه، بیشترین کاربرد ازون درکنترل بو (درمقاصد صنعتی و در تصفیه فاضلاب)، تصفیه صنعتی آب و فاضلاب و ضدعفونی کردن آب آشامیدنی است.

## مواد و روشها

محفظه ای از جنس ورق آلومینیوم به حجم ۳۰۰ لیتر در داخل یک هود نصب گردید و دستگاه مولد ازون به درون آن انتقال یافت. قدرت تولید ازون که براساس مولد کرونا از هوای معمولی تولید می‌شد، به میزان ۳ گرم در ساعت توسط شرکت سازنده اظهار گردید. میزان ازون تولیدی بعد از ۳۰ دقیقه (در این محفظه) به حدود 5ppm و بعد از گذشت ۱ ساعت به حدود 10ppm می‌رسید. بدین ترتیب بعد از گذشت ۵ ساعت، حدود 50ppm ازون تولید می‌شد. بدیهی است که مدت زمان تماس میکروارگانیسم ها با ازون از زمان روشن شدن دستگاه محاسبه شده است. ۸ نوع باکتری عفونت‌زا که از عفونتهای بیمارستانی جدا شده بودند در تراکم‌های مختلف اولیه (در ۲ تکرار)، در طی ۱۰ مرحله آزمایش در غلظت‌های مختلف ازون مورد ازوناسیون واقع شدند. درجه حرارت در طول مدت آزمایش در فضای ایجاد شده ۲ ± ۲۵ درجه سانتیگراد بود. تنظیم زمان ازوناسیون در هر مرحله از آزمایش با استفاده از یک زمان سنج خودکار، کنترل می‌گردید. در جریان هر مرحله از آزمایش، هر یک از ۸ گونه باکتری (نگهداری شده در دمای ۴ درجه سانتیگراد)، بطور جداگانه در 5ml سرم فیزیولوژی استریل سوسپانسیون گردید تا حدود $10^8$ سلول در میلی لیتر را ایجاد کند. سه سطح تراکم اولیه $10^7$، $10^5$ و $10^2$ سلول در میلی لیتر باکتری بترتیب بعنوان تراکم‌های زیاد تا ضعیف از هر ۸ گونه باکتری جهت در معرض گذاری با ازون تهیه گردید. این تراکم‌های مختلف، به روش بریدکانتر[1] با استفاده از ۰/۱ میلی لیتر از سوسپانسیون باکتری در سرم فیزیولوژی، شمارش گردید. ۰/۱ میلی لیتر از تراکم اولیه $10^8$ سلول در میلی لیتر از هر گونه باکتری به پتری دیش استریل

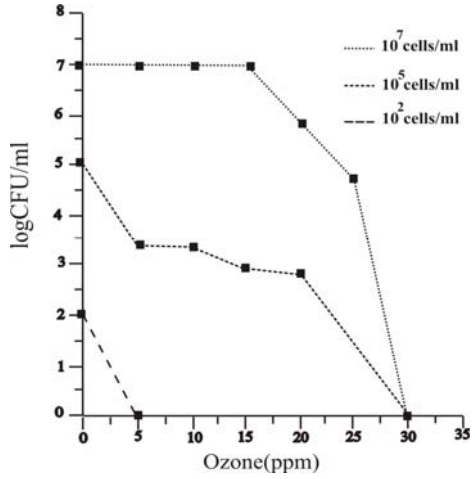
[1] - در این روش مقادیر اندکی از سوسپانسیون حاوی باکتری (بعنوان مثال ۰/۱ میلی لیتر) در درون پلیت ریخته شده و سپس با آگار نیمه مذاب مخلوط می گردد. بعد از ۲۴ ساعت از گرمخانه گذاری تعداد کلونی ها شمارش می شود. بدیهی است هر کلونی نمایش دهنده یک باکتری در سوسپانسیون اولیه خواهد بود.

[ Downloaded from tmuj.iautmu.ac.ir on 2026-10-31 ]

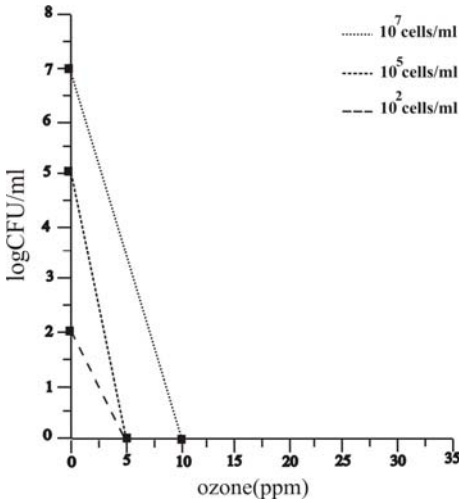
جهت در معرض گذاری با ازون منتقل گردید. تراکم‌های اولیه $10^5$ و $10^2$ سلول در میلی لیتر نیز با رقیق سازی سوسپانسیون اولیه باکتری ($10^8$) در حجم‌های مشخصی از سرم فیزیولوژی ایجادگردید بطوریکه در نهایت، تنها ۰/۱ میلی لیتر از تراکم‌های مذکور از هرگونه باکتری در مجاورت با گاز ازون مورد آزمایش قرار گرفت. پتری دیش‌های حاوی باکتری پس از مجاورت با گاز ازون با ریختن ۲۰ میلی لیتر ژلوز ساده تریپتی کیس سوی آگار نیمه‌مذاب، به روش پورپلیت کشت داده شد. سپس عملیات گرمخانه‌گذاری برای هر پتری دیش در دمای ۳۷ درجه سانتیگراد صورت می‌گرفت و پتری‌دیش‌ها بعد از ۱۲ تا ۱۶ ساعت مورد بازبینی واقع می‌شدند. جهت اطمینان از زنده بودن باکتری‌ها، از هرگونه باکتری مورد آزمایش، یک پتری‌دیش آغشته به باکتری اولیه بدون مجاورت با گاز ازون بطور هم زمان به روش پورپلیت، کشت داده می‌شد. بدیهی است که پس از گرمخانه گذاری، تعداد کلونی‌های غیرقابل شمارشی را پدید می‌آورد. همچنین جهت اطمینان از استریل بودن پتری دیش‌ها و سرم فیزیولوژی در هرمرحله از آزمایش یک پتری دیش محتوی ۰/۱ میلی لیتر سرم فیزیولوژی نیز پورپلیت می‌گردید که بعد از طی زمان انکوباسیون، هیچگونه رشد باکتری را از خود نشان نمی‌داد. میزان ازوناسیون تا جایی پیش می‌رفت که نابودی کامل هرگونه حاصل گردد. تعداد واحدهای تشکیل دهنده کلونی باکتری در پتری دیش‌های مورد ازوناسیون در صورت داشتن رشد باکتریایی، شمارش می‌گردید و برحسب CFU/ml محاسبه می‌گردید.

## یافته‌ها

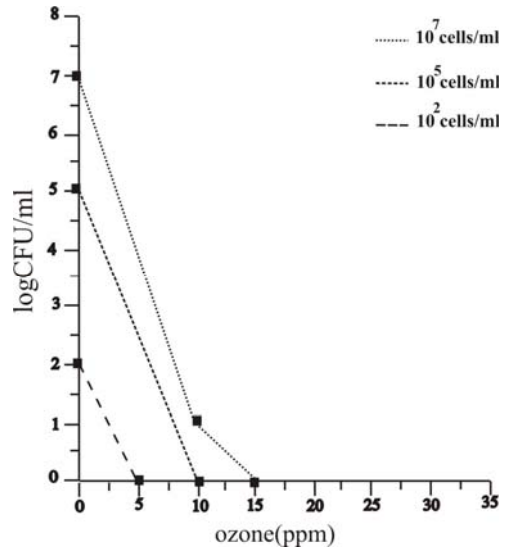
در معرض‌گذاری۰/۱ml از تراکم های مختلف در مجاورت با گاز ازون، نتایج متفاوتی را نشان داد. شکل‌های ۱ تا ۳ منحنی مرگ هریک از گونه‌های باکتریایی را در تراکم‌های مختلف و غلظت‌های مختلف ازون نشان می‌دهد. تراکم اولیه $10^2$ سلول در میلی لیتر در همه گونه‌های باکتری (به استثنا باسیلوس سرئوس) در غلظت ppm ۵ و زمان تماس ۳۰ دقیقه ازون نابود شد (شکل ۳،۲). تراکم اولیه $10^5$ سلول در میلی لیتر باکتری، تنها در باکتری اسپوردار باسیلوس سرئوس (شکل ۱) نیاز به بالاترین غلظت ازون (۳۰ppm) و زمان تماس ۳ ساعت جهت نابودی داشت. این تراکم در بعضی گونه‌ها در غلظت ۵ppm و در بعضی دیگر در ۱۰ppm نابود شد (شکل۳،۲).




**شکل ۱- منحنی مرگ در یک باسیل گرم مثبت اسپوردار**




**شکل ۲- منحنی مرگ در کوکسی‌های گرم مثبت**




**شکل ۳- منحنی مرگ در باسیل‌های گرم منفی**

[ Downloaded from tmuj.iautmu.ac.ir on 2026-10-31 ]

تراکم اولیه $۱۰^{۷}$ سلول در میلی لیتر که بعنوان بالاترین تراکم باکتری، در مجاور با ازون قرار گرفت تنها درباکتری اسپوردار باسیلوس‌سرئوس در مجاورت با غلظت ۳۰ppm نابود گردید (شکل۱). تراکم اولیه $۱۰^{۷}$ سلول در میلی لیتر در کوکسی‌های گرم مثبت، استافیلوکوک اورئوس و میکروکوک در غلظت ۱۵ppm ازون (با زمان تماس ۹۰ دقیقه) نابود شدند (شکل ۲) ولی این تراکم اولیه در باسیل‌های‌گرم منفی از قبیل اشریشیا کولی، پسودوموناس آئروژینوزا، کلبسیلاپنومونیه، سالمونلاتیفی و پروتئوس در مجاورت با ۱۰ppm ازون (در زمان ۶۰ دقیقه) تخریب شد. یافته ها در جدول ۱ خلاصه شده است.

**جدول ۱- غیرفعال شدن انواع باکتریها در مجاورت با ازون**

| باکتری | زمان مجاورت | | | |
|---|---|---|---|---|
| | *قبل* | *۳۰′ بعد* | *۶۰′ بعد* | *۹۰′ بعد* |
| **استافیلوکوک** | * | استریل | استریل | استریل |
| **اورئوس** | $۱\times۱۰^{۷}$ | استریل | استریل | استریل |
| **باسیلوس** | * | $۱\times۱۰^{۸}$ | $۱\times۱۰^{۷}$ | $۱\times۱۰^{۶}$ |
| **سرئوس** | $۱\times۱۰^{۷}$ | $۱\times۱۰^{۶}$ | $۱\times۱۰^{۵}$ | $۱\times۱۰^{۴}$ |
| **پسودوموناس** | * | $۱\times۱۰^{۲}$ | استریل | استریل |
| **آئروژنیوزا** | $۱\times۱۰^{۷}$ | $۱\times۱۰^{۲}$ | استریل | استریل |
| **سالمونلا** | * | $۱\times۱۰^{۲}$ | استریل | استریل |
| **تیفی** | $۱\times۱۰^{۷}$ | $۱\times۱۰^{۲}$ | استریل | استریل |
| **کلبسیلا** | * | $۱\times۱۰^{۲}$ | استریل | استریل |
| **پنومونیه** | $۱\times۱۰^{۷}$ | $۱\times۱۰^{۲}$ | استریل | استریل |
| **اشریشیا** | * | $۱\times۱۰^{۲}$ | استریل | استریل |
| **کولی** | $۱\times۱۰^{۷}$ | $۱\times۱۰^{۱}$ | استریل | استریل |
| | * | $۱\times۱۰^{۲}$ | استریل | استریل |
| **پروتئوس** | $۱\times۱۰^{۷}$ | $۱\times۱۰^{۱}$ | استریل | استریل |

* غیر قابل شمارش

## بحث

یافته ها نشان می دهد باکتری‌های فاقد اسپور در محدوده‌های تراکم اولیه $۱۰^{۷}$-$۱۰^{۲}$سلول در میلی لیتر حداکثر در مجاورت با غلظت۱۵ppm ازون قابل نابودی و غیرفعال سازی می‌باشند. تنها باکتری اسپوردار باسیلوس سرئوس می‌باشد که در غلظت اولیه $۱۰^{۷}$-$۱۰^{۵}$ سلول در میلی لیتر نیاز به غلظت‌های بسیار بالاتری از ازون (تا حد ۳۰ppm) و زمان تماس ۱۸۰ دقیقه دارد (جدول ۱). از این رو بعلت مقاومت بالای باکتری‌های اسپوردار نسبت به مواد گندزدا، اصولا از آنها جهت آزمایش روش‌های مختلف گندزدایی استفاده می‌شود. البته، در آزمایشات گندزدایی در محیط آبی جهت تولید آب آشامیدنی، باکتری غیر اسپوردار اشریشیا کولی بعنوان شاخص باکتری‌های مورد آزمایش شناخته می‌شود.

غیرفعال سازی باکتری‌های سطوح توسط ازوناسیون هوا نیازمند دریافت مقادیر به مراتب بیشتر ازون نسبت به محیط آبی می‌باشد. در این تحقیق، غلظت۳۰ppm ازون توانست درحدود $۱۰^{۷}$ سلول در میلی لیتر از باکتری اسپوردار باسیلوس سرئوس را در شرایط ازوناسیون هوا نابود سازد. در مطالعه Kowalski و همکاران(۵) تراکم اولیه‌ای در حدود $۱۰^{۵}$ سلول در میلی لیتر از باکتری‌های اشریشیا کولی و استافیلوکوک اورئوس با غلظت۳۰۰ppm ازوناسیون در هوا در مدت زمان ۱۵ ثانیه نابود شده است و تراکم اولیه‌ای در حدود $۱۰^{۸}$ سلول در میلی لیتر از باکتری استافیلوکوک اورئوس نیز توسط غلظت ۱۵۰۰ppm ازوناسیون در هوا در ۱۵ ثانیه نابود شده است. این در حالی است که در مطالعه Summerfelt (۱۱) اکثریت عوامل بیماریزای موجود در محیط آبی، درغلظت‌های بین ppm ۵-۰/۵ نابود شده بودند. Rickloff (۱۲) نابودی باکتری‌های اسپوردار باسیلوس و کلستریدیوم را در محیط آبی با ۱۰ppm ازون و تماس ۱۰ دقیقه عنوان نموده است. Facile و همکاران (۸) نابودی باکتری اسپوردار باسیلوس سوبتیلیس را در محیط آبی تا حد ۲/۵ppm ازون آزمایش نموده‌اند و Larson (۱۳) نابودی این باکتری را در محیط آبی تا غلظت ۴/۸ ppm ازون گزارش نموده است.

در این آزمایش روش کار به گونه‌ای بود که بعنوان مثال غلظت ۴۰ppm ازون به اجبار بعد از ۲۴۰ دقیقه ازوناسیون مداوم دستگاه مولد ازون و غلظت ۵۰ppm ازون بعد از ۳۰۰ دقیقه حاصل شده است. در آزمایش گندزدایی باکتری‌های سطوح (توسط ازوناسیون هوا)، ایجاد غلظت‌های متنوع از قبل ایجاد شده از ازون (در هوای محیط مورد آزمایش) و سپس آزمون نمودن زمانهای تماس مختلف برای هر باکتری می‌تواند در تفسیر نتایج مربوط به مقاومت هرگونه باکتری نسبت به این ماده گندزدا بیشتر موثر واقع گردد.

بنابر نظر Kowalski و همکاران (۵)، وجود رطوبت در هوا موجب افزایش سمیت گاز ازون از طریق افزایش تشکیل رادیکال‌ها می‌گردد. همچنین در پاره‌ای از آزمایشات ازوناسیون، اثر درجه حرارت محیط (در محیط آبی) نیز بر روی قابلیت نابودی عوامل بیماریزا مطالعه شده است.

دستگاه‌های معمولی تولید کننده ازون، غلظت‌هایی از ۱٪ تا ۳٪ از گاز ازون را در هوا ایجاد می‌کنند اما در مجاورت با اکسیژن خالص، غلظت‌هایی در حدود ۶٪ از گاز ازون تولید می‌شود. غلظت بسیار بالای مورد نیاز جهت گندزدایی و

[ Downloaded from tmuj.iautmu.ac.ir on 2026-10-31 ]

غیرفعال‌سازی عوامل بیماریزای سطوح در هوا (نسبت به محیط آبی) توسط ازون، از مهمترین عوامل عدم بکارگیری رایج ازون در گندزدایی عوامل بیماریزای سطوح در محیط‌های بسته محسوب می‌گردد. غلظت‌های بالای مورد نیاز، موجب افزایش هزینه تولید ازون (افزایش مصرف انرژی) و همچنین افزایش قابل توجه هزینه نگهداری سیستم نسبتا گرانقیمت ازوناسیون می‌گردد. گندزدایی سطوح در مکان‌های حساسی چون اتاق‌های عمل، اتاق‌های بستری بیماران در بیمارستان‌ها و اتاق‌های فوق سترون (با هدف افزایش شاخص بهداشتی آنها) با استفاده از ازون، امکان‌پذیر می‌باشد و نسبت به سیستم‌های گندزدایی اشعه ورای بنفش UV به مراتب قوی‌تر و موثرتر است، اما تحقیقات وسیع‌تری در مورد اقتصادی‌تر شدن بکارگیری سیستم ازوناسیون مورد نیاز می‌باشد. از طرف دیگر، بدلیل مقاومت پایین‌تر ویروس‌ها نسبت به باکتری‌ها در برابر ازون، گندزدایی ویروس‌ها در سطوح (توسط ازون) می‌تواند سودمند واقع گردد (۱۴). به لحاظ اینکه گاز ازون، یک گاز ناپایدار می‌باشد لذا باید دستگاه تولید کننده ازون دقیقا در محل به کارگیری آن تعبیه شود و از ساختن دستگاه مرکزی و سیستم‌های توزیع و پخش کننده خودداری گردد. تولید گاز ازون به حرارت بستگی دارد. لذا روش‌های کاهش دادن دما، نقش اساسی در عملکرد مناسب دستگاه دارند.

## *REFERENCES*


1. Komanapalli IR, Mudd JB, Lau BH. The effects of ozone on the metabolic activities of Escherichia coli K-12. Toxicol Lett 1997; 90(1): 61-6.

2. Bablon ME. Fundamental aspects, practical application of ozone. In: Langlais B, Reckhow DA, Brink DR, eds. Ozone in water treatment: application and engineering. American Water Works Association Research Foundation. Denver Co; 1991. p. 311-16.

3. Elford WJ, Eude JV. An investigation of the merits of ozone as an aerial disinfectant. J Hyg 1942; 42: 240-65.

4. Heindel TH, Streib R, Botzenhart K. Effect of ozone on airborne microorganisms. Zentralbl Hyg Umweltmed 1993; 194(5-6): 464-80.

5. Kowalski WJ, Bahnfleth WP, Whittam TS. Bactericidal effects of high airborne ozone concentrations on escherichia coli and staphylococcus aureus. Ozone Sci Eng 1998; 20: 205-21.

6. Nickols D, Varas AJ. Ozonation. In: Bryant EA, Fulton GP, Budd GC, eds. Disinfection alternatives for safe drinking water. New York: Van Nostrand Reinhod. 1992. p. 196-258.

7. Rice RG. Application of ozone for industrial wastewater treatment. Ozone Sci Eng 1997; 18: 477-515.

8. Facile N, Barbeau B, Prevost M, Koudjonou B. Evaluating bacterial aerobic spores as a surrogate for giardia and cryptosporidium inactivation by ozone. Water Res 2000; 34(12): 3238-46.

9. Rice RG, Robson CM, Miller GW, Hill AG. Uses of zone in drinking water treatment. J Am Water Works Assoc 1981; 73: 1-44.

10. Duvivier L, Leynen M, Van Damme A, Ollevier F. Fighting zebra mussel folding with ozone. In: Proceedings of the EPRI PSE Service Water System Reliability Improvement Seminar. 1996; EPRI, Daytona Beach, FL.

11. Summerfelt ST. Ozonation and UV irradiation – an introduction and examples of current applications. Aquac Eng 2003; 28: 21-36.

12. Rickloff JR. An evaluation of the sporicidal activity of ozone. Appl Environ Microbiol 1987; 53: 683-6.

13. Larson MA, Marinas BJ. Inactivation of Bacillus subtilis spores with ozone and monochloramine. Water Res 2003; 37: 833-44.

14. Botzenhart K, Tarcson G, Ostruschka M. Inactivation of bacteria and coliphages by ozone and chlorine dioxide in a continuous flow reactor. Water Sci Tech 1993; 27: 363-70.


[ Downloaded from tmuj.iautmu.ac.ir on 2026-10-31 ]