

بررسی فاکتورهای مؤثر در حذف *E. Coli* از آب با استفاده از گندزدایی با تابش اشعه خورشیدی

نرگس بهداروند^۱، الهام گودینی^{۲*}، حاتم گودینی^۳، قدرت‌اله شمس خرم‌آبادی^۴

^۱ کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، ایران

^۲ کارشناس ارشد میکروبیولوژی، دانشکده علوم زیستی، گروه میکروبیولوژی، دانشگاه الزهراء تهران، ایران

^۳ دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و مرکز تحقیقات HSE دانشگاه علوم پزشکی البرز، کرج، ایران

^۴ دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۲/۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۶/۲۷

چکیده

مقدمه: حذف آلاینده‌های میکروبی آب با هدف دستیابی به استانداردهای کیفی آب دارای اهمیت می‌باشد. بنابراین گندزدایی آب آشامیدنی برای غیرفعال‌سازی و یا حذف پاتوژن‌ها در تأسیسات تصفیه آب انجام می‌شود. امروزه گندزدایی با استفاده از اشعه خورشیدی به دلیل سازگاری با محیط زیست مورد توجه قرار گرفته است. هدف از این مطالعه بررسی اثر برخی فاکتورهای محیطی نظیر میزان کدورت، مواد آلی، نوع ظرف و غلظت اولیه باکتریایی در حذف اشرشیاکلی از محلول‌های آبی با استفاده از تابش اشعه خورشیدی می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه عملکرد حذف اشرشیاکلی با استفاده از ظروف مختلف پلاستیکی و شیشه‌ای، مقادیر کدورت (۲۰، ۱۰، ۵، ۰)، مواد آلی (۱۰، ۵، ۰) و غلظت اولیه باکتری اشرشیاکلی (۲۰۰، ۱۰۰، ۲۰۰) باکتری در میلی‌لیتر) به صورت تجربی مورد بررسی قرار گرفت. این مطالعه در ماه‌های تیر و مرداد و در ساعات ۱۱ تا ۱۵ که بیشترین شدت تابش نور خورشید وجود داشته و در روزهای کاملاً آفتابی انجام شده است.

یافته‌ها: نتایج این مطالعه نشان داد که هر دو ظرف‌های پلاستیکی و شیشه‌ای قادر به کاهش باکتری اشرشیاکلی از ۳۰۰ عدد در هر میلی‌لیتر به صفر در زمان ماند ۶۰ دقیقه می‌باشند. با افزایش کدورت، غلظت مواد آلی و غلظت اولیه باکتریایی سرعت حذف باکتری در محلول کاهش می‌یابد. به طور کلی روش گندزدایی با اشعه خورشیدی قادر به حذف ۱۰۰٪ اشرشیاکلی از محلول‌های آبی با غلظت اولیه باکتریایی ۳۰۰ عدد در هر میلی‌لیتر، کدورت ۲۰ NTU و غلظت مواد آلی ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر در طی ۶۰ دقیقه زمان تماس می‌باشد.

نتیجه‌گیری: استفاده از تکنولوژی تابش اشعه خورشیدی برای گندزدایی آب آشامیدنی در حد خانگی و برای جوامع دورافتاده مناسب است و حتی برای آب‌هایی با میزان کدورت و غلظت مواد آلی بالا نیز می‌تواند مورد استفاده قرارگیرد.

کلمات کلیدی: گندزدایی خورشیدی، باکتری‌های *E. coli*، محلول‌های آبی، تصفیه آب

مقدمه

یکی از مشکلات مربوط به آلودگی آب‌ها وجود میکروارگانیسم‌های پاتوژن در آب بوده و گندزدایی منابع آب یکی از اجتناب ناپذیرترین روش‌ها برای تصفیه آب به منظور حذف پاتوژن‌ها می‌باشد. هدف اصلی گندزدایی آب شرب، پیشگیری از انتقال بیماری‌های عفونی و خطرناک مرتبط با آب و رعایت بهداشت می‌باشد.^۱ بنابراین بررسی روش‌های موجود گندزدایی آب و کنکاش در خصوص معایب روش‌های در حال اجرا از اهمیت بالایی برخوردار است. سه نوع عمده گندزدایی عبارتند از: تصفیه حرارتی، تصفیه به وسیله پرتوتابی فرابنفش، تصفیه به وسیله مواد شیمیایی.^۲ تصفیه حرارتی از جمله بی‌خطرترین روش‌های تصفیه آب در سطح خانگی است که در نابودی پاتوژن‌های منتقله از آب مؤثر است اما مصرف بالای انرژی، نقطه ضعف اصلی این روش محسوب می‌شود.^۳ در فرآیند تصفیه به وسیله پرتوتابی فرابنفش هیچ گونه ماده شیمیایی وارد آب نمی‌شود، لذا کیفیت آب تغییر نمی‌کند. همچنین طعم و بو تولید نمی‌شود. از معایب این روش می‌توان به نیاز به تجهیزات گران قیمت و مصرف انرژی الکتریکی زیاد اشاره کرد.^۴ در روش تصفیه شیمیایی، مواد شیمیایی که برای تصفیه آب‌های شرب استفاده می‌شود شامل برم، ید، ازن، پرمنگنات پتاسیم، دی‌اکسیدکلر، کلر و ترکیبات کلر و اکسیژن می‌باشند. کلر به عنوان گندزدای اصلی در تصفیه آب آشامیدنی استفاده می‌شود. کلر در آب بسیار محلول بوده، لذا کاربرد آن آسان است، به آسانی اندازه‌گیری و کنترل می‌شود و در مقایسه با سایر گندزداها نسبتاً ارزان است. تولید محصولات جانبی حاصل از گندزدایی، ایجاد بو و طعم از معایب این روش محسوب می‌شود.^۵ یکی از ساده‌ترین، کاربردی‌ترین و اقتصادی‌ترین تکنیک‌ها جهت تصفیه آب در سطح خانگی، در شرایط اضطراری و در مناطق محروم و یا فاقد شبکه آبرسانی، گندزدایی آب با نور خورشید است که یک رویکرد علمی و

کم‌هزینه می‌باشد که بهبود کیفیت آب در کشورهای درحال توسعه با آب و هوای آفتابی مداوم را فراهم می‌کند.^{۶-۹} کشور ایران در کمربندی از کره زمین (بین ۱۵ و ۳۵ درجه شمالی) قرار دارد که دریافت کننده حداکثر انرژی خورشیدی است، بنابراین پتانسیل اجرای این روش را دارد.^{۱۰} لذا در مناطق کمتر توسعه یافته و یا در شرایط اضطراری و در مواقعی که دسترسی به دیگر روش‌ها امکان پذیر نیست این روش می‌تواند یک روش مؤثر برای گندزدایی آب باشد. گندزدایی خورشیدی بر اساس این واقعیت است که UV-A و اشعه قرمز و مادون قرمز از نورخورشید سبب غیرفعال سازی پاتوژن‌ها با استفاده از ۳ مکانیسم مشخص می‌شود. جذب UV سبب آسیب به DNA ارگانیسم می‌شود. همچنین واکنش‌های فتوشیمیایی، گونه‌های بسیار فعالی تولید می‌کنند که سبب آسیب و یا اکسیداسیون اجزای سلولی می‌شوند و نیز اثرات مربوط به درجه حرارت به علت جذب نور قرمز و مادون قرمز به وسیله آب اتفاق می‌افتد.^{۱۱،۱۲} در دهه اخیر مطالعات گسترده‌ای در زمینه استفاده از انرژی خورشیدی برای گندزدایی آب در کشورهای مختلف با شرایط متفاوت اقلیمی انجام شده است و راندمان‌های متفاوتی را برای حذف پاتوژن‌ها به دست آورده اند.^{۱۳،۱۴-۲۰} که علت اصلی تفاوت در نتایج، عمدتاً به دلیل شرایط آب و هوایی متفاوت در مناطق تحت مطالعه بوده است. دیویس و همکارانش غیرفعال‌سازی باکتری‌ها، ویروس‌ها و تک‌یاخته‌های موجود در آب آشامیدنی با اشعه خورشیدی را در یک عرض جغرافیایی معتدل (۳۴ درجه جنوبی) بدست آوردند.^۱ فلندریگ و همکارانش روش گندزدایی خورشیدی حرارتی را به عنوان روش کم هزینه برای تصفیه آب مطرح نمودند و آن را برای تولید آب آشامیدنی سالم در نقطه مصرف یک روش مقرون به صرفه و قابل اعتماد ارزیابی نمودند.^{۱۴} احمد و همکارانش نشان دادند که با استفاده از اشعه خورشیدی می‌توان آب آشامیدنی مناطق روستایی کراچی را طبق استانداردهای بین المللی کیفیت آب

UV برای سیستم گندزدایی خورشیدی کاربرد دارند.^{۲۷} عامل مؤثر دیگر در روند گندزدایی خورشیدی، اثر کدورت است. با توجه به بهره‌وری از تابش خورشیدی، کدورت یک متغیر مهم در روند غیر فعال‌سازی میکروارگانیسم‌ها است. کدورت با درجه پراکندگی نور توسط ذرات معلق و ترکیبات رنگی محلول در آب اندازه‌گیری می‌شود. این اندازه‌گیری برآوردی از کدورت موجود در آب به علت خاک رس، گل و لای، مواد آلی و غیر آلی ریز، پلانکتون‌ها و میکروارگانیسم‌های میکروسکوپی را مشخص می‌کند.^{۲۸-۳۰}

هدف از این پژوهش بررسی روش گندزدایی خورشیدی به عنوان یک سیاست مناسب و با صرفه اقتصادی نسبت به سایر روش‌های متداول جهت تأمین آب در سطح خانوار، اجتماعات کوچک، شرایط اضطراری و در مناطق محروم می‌باشد. در این پژوهش اثر غلظت اولیه باکتری، کدورت، مواد آلی و نوع ظرف و زمان تماس بر روند گندزدایی خورشیدی و حذف پاتوژن‌هایی نظیر باکتری *E. coli* مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

این مطالعه به صورت تجربی در ماه‌های تابستان در شهر خرم‌آباد و در شرایط آزمایشگاهی روی محلول‌های سنتتیک انجام گردید. براساس آمار گرفته شده از سازمان هواشناسی بیشترین شدت تابش نور خورشید در این دو ماه از سال بوده است. از بطری‌های پلاستیکی (PET) و شیشه‌ای بی‌رنگ و تیره در دسترس به عنوان ظروف آزمایش استفاده شد. برای این‌که نمونه آب مورد آزمایش طبیعی باشد، از نمونه آب شرب شهری استفاده گردید، به گونه‌ای که پس از نمونه‌برداری و کلرسنجی، کلرزدایی با افزودن تیوسولفات سدیم ۳٪ (طبق استاندارد متد) انجام شد. یک روز قبل از انجام آزمایش‌ها به منظور نابودی ارگانیسم‌های بومی در نمونه آب موجود، محلول آزمایش اتوکلاو شد.^{۳۱} آزمایش‌ها در

سال‌سازی نمود.^{۱۶} هیندیه و همکارانش بیان کردند که گندزدایی آب با تابش خورشید راه نوید بخشی برای بهبود کیفیت آب در کشورهای در حال توسعه با هزینه کم و منابع انرژی پاک و قابل اعتماد می‌باشد.^۷ دان لوپ و همکارانش ارزیابی نابودی اشرشیاکلی در طی گندزدایی خورشیدی و فوتوکاتالیستی را به عنوان یک روش کم هزینه و گندزدایی مناسب برای استفاده در کشورهای در حال توسعه مورد بررسی قرار دادند.^{۱۹} مارکوئیس و همکارانش نشان دادند که روش SODIS در جنوب شرقی برزیل و یا جایی که شرایط آب و هوایی مشابه آن وجود دارد، برای گندزدایی مناسب است.^{۲۰} تمرکز اصلی مطالعات آزمایشگاهی اولیه مبتنی بر اثر این روش روی باکتری‌های پاتوژن‌های منتقله از راه آب و شاخص‌های پاتوژن، شکل گرفته است و گونه‌های اشرشیاکلی به عنوان ارگانیسم شاخص مدفوعی در نظر گرفته شده است.^{۲۱،۲۳} اشرشیاکلی یک کلیفرم مقاوم به حرارت است و در مقایسه با سایر باکتری‌ها در مقابل اثرات کشنده نور خورشید مقاومت بیشتری دارد بنابراین در مطالعات آزمایشگاهی به عنوان شاخص آلودگی میکروبی آب مورد مطالعه قرار می‌گیرد.^{۲۴،۲۵}

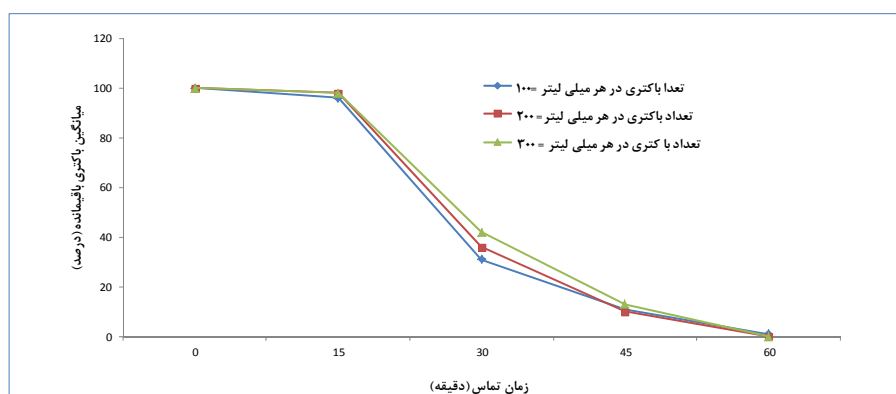
فاکتورهای مختلفی بر روند غیر فعال‌سازی میکروبی توسط گندزدایی خورشیدی آب مؤثرند. نوع میکروب در فرآیند گندزدایی مؤثر است. میکروب‌ها از نظر حساسیت در مقابل غیر فعال‌سازی بوسیله گرما و اشعه UV با هم تفاوت دارند. گرما روی باکتری‌های رویشی، ویروس‌ها و پروتوزوئرها بیش از اسپور باکتری‌ها و تخم کرم‌ها مؤثر است. اشعه UV هم بر روی باکتری‌های رویشی و پروتوزوئرها بیش از ویروس‌ها و اسپور باکتری‌ها مؤثر است.^{۲۴،۲۶} ظرف آب مورد استفاده در این سیستم هم فاکتور مهمی است. نوع، ترکیب، حجم و عمق ظرف روی دمای آب، نفوذ اشعه UV به آب و قابلیت تمیز شدن و حمل تأثیر دارد. ظروف پلی اتیلن ترفتالات (PET) یا دیگر بطری‌های نفوذ پذیر از نظر اشعه

آزمایش، میانگین شدت تابش خورشید و درجه حرارت هوا به ترتیب (w/m^2) $5/19 \pm 964/67$ و $1/77 \pm 34/51$ °C بوده است. در هر مرحله یک بطری به عنوان بطری کنترل بدون افزودن باکتری اشرشیاکلی به منظور تأیید بطری‌های استریل و شرایط نمونه برداری استریل در شرایط آزمایش در نظر گرفته شد. به منظور تعیین میزان کاهش غلظت باکتریایی در روند گندزدایی خورشیدی، در فواصل زمانی مشخص نمونه برداری جهت آزمایش تخمیر چند لوله‌ای (MPN) انجام شد.^{۳۲} در نهایت تجزیه و تحلیل آماری در مدل طولی و با روش آنالیز واریانس طرح اندازه گیری مکرر انجام شد.

نتایج

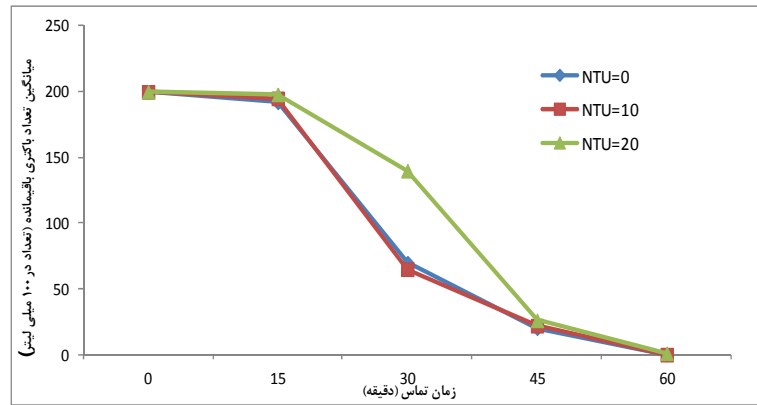
نقش غلظت اولیه باکتری و زمان تماس در روش گندزدایی خورشیدی

تأثیر غلظت اولیه باکتری بر فرآیند گندزدایی آب با تابش اشعه خورشید در شکل ۱ نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل ۱ نمایش داده شده است میزان غلظت باکتری با گذشت زمان بعد از ۱۵ دقیقه به صورت نزولی کاهش پیدا کرده است و در نهایت بعد از گذشت ۶۰ دقیقه برای تمام سطوح غلظت باکتریایی به حد صفر رسیده است.



شکل ۱: میزان کاهش درصد باکتری در غلظت‌های ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ باکتری در میلی لیتر در طول زمان در روش گندزدایی آب با نور خورشید (pH=۷، ظرف پلاستیکی شفاف، کدورت و مواد آلی صفر)

مقادیر مختلف کدورت (۰، ۱۰، ۲۰ NTU)، مواد آلی (mg/l) (۱۰، ۵۰، ۱۰۰) و غلظت باکتری اشرشیاکلی (۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ باکتری در میلی لیتر) انجام شدند. به منظور بررسی اثر کدورت، سوسپانسیون استاندارد اولیه استوک فورمازین با استفاده از هیدرازین سولفات و هگزامتیلن تترآمین تهیه شد و از این محلول استوک، محلول‌هایی با کدورت مورد نظر جهت انجام آزمایش ساخته شد. به منظور بررسی اثر مواد آلی، سوسپانسیون استاندارد اولیه استوک اسید هیومیک با استفاده از NaOH و اسید هیومیک (شرکت فلوکا سوئیس) تهیه گردید.^{۳۲} باکتری مورد استفاده برای ارزیابی فعالیت گندزدایی، باکتری گرم منفی اشرشیاکلی (ATCC25922) بوده که غلظت معادل نیم مک فارلند از آن تهیه و به عنوان سوسپانسیون غلظت باکتریایی استوک در ساخت غلظت‌های میکروبی مختلف از آن استفاده شده است. آزمایش‌ها در فصل تابستان و از ابتدای تیر ماه در شهر خرم‌آباد (عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۲۸ دقیقه و ۵۹ ثانیه و زاویه میل خورشید ۲۳/۳۵ درجه) و در روزهای کاملاً آفتابی و از ساعت ۱۱ صبح تا ۱۵ عصر انجام شده است و با توجه به زاویه میل خورشید ظروف بر روی سطح شیب دار مناسب در طی تماس با نور خورشید قرار گرفته است.^{۱۱} به منظور ارتقاء گرمایش خورشیدی یک پارچه سیاه در زیر نمونه‌ها انداخته شد. بطری‌ها به صورت افقی روی سطح بازتابنده قرار داده شدند.^{۳۳} در روزهای انجام



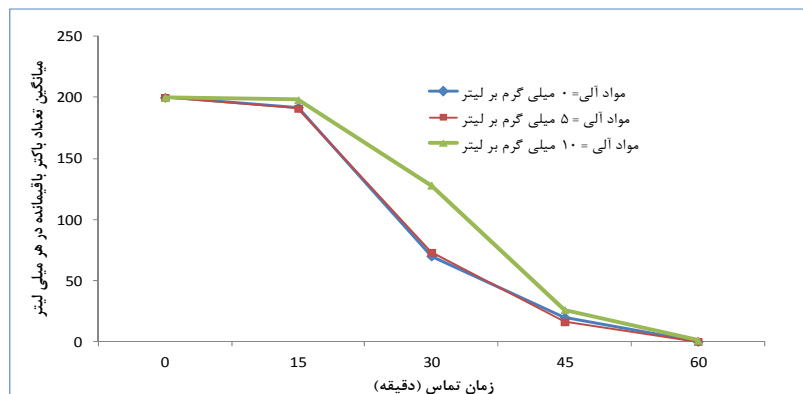
شکل ۲: میزان کاهش باکتری در سطوح کدورت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ NTU در طول زمان در روش گندزدایی آب با نورخورشید (pH=۷، غلظت اولیه باکتریایی ۲۰۰ عدد در هر میلی‌لیتر، ظرف پلاستیکی شفاف و مواد آلی صفر)

نقش مواد آلی در حذف باکتری در روش گندزدایی خورشیدی

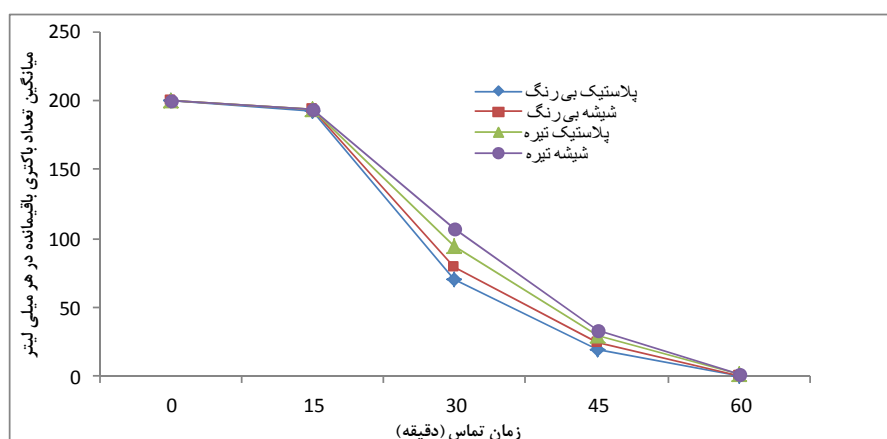
تأثیر مقادیر مختلف مواد آلی بر فرآیند گندزدایی آب با تابش اشعه خورشید در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌گونه که در نمودار ۳ مشاهده می‌شود پس از نیم ساعت از شروع گندزدایی، میانگین تعداد باکتری در سطح سوم مواد آلی (۱۰ mg/l) با تعداد ۱۲۲/۷ بالاترین میزان باکتری را داشته است. پس از ۴۵ دقیقه نیز همچنان بالاترین تعداد باکتری به سطح سوم مواد آلی اختصاص دارد. تقریباً ۶۰ دقیقه بعد تعداد باکتری‌ها در سطوح مختلف مواد آلی (۱۰، ۵) با هم برابرند و حذف کامل باکتری‌ها انجام شده است.

نقش کدورت و زمان تماس در حذف باکتری در روش گندزدایی خورشیدی

همان‌گونه که در شکل ۲ نشان داده شده است از زمان شروع گندزدایی تا پس از ۱۵ دقیقه تفاوتی بین تعداد باکتری‌ها در سطوح مختلف کدورت وجود نداشته است. پس از گذشت ۳۰ دقیقه سطح کدورت ۲۰ NTU با میانگین تعداد باکتری‌های مشاهده شده ۳۱ / ۱۳۱ در بالاترین رده بوده است. در دقیقه ۴۵، هم‌چنان بین سطوح کدورت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ با سطح کدورت ۲۰ NTU تفاوت مشاهده شده است؛ ولی در نهایت پس از گذشت ۶۰ دقیقه، تعداد باکتری برای آن‌ها تقریباً برابر بوده است.



شکل ۳: میزان کاهش باکتری‌ها در سطوح مواد آلی ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر طی زمان در روش خورشیدی (pH=۷، غلظت اولیه باکتریایی ۲۰۰ عدد در هر میلی‌لیتر، ظرف پلاستیکی شفاف و کدورت صفر)



شکل ۴: میزان کاهش باکتری‌ها در ظروف مختلف پلاستیکی و شیشه‌ای بی رنگ و تیره در طی زمان در روش گندزدایی با نور خورشید ($pH=7$)، غلظت اولیه باکتریایی ۲۰۰ عدد در هر میلی لیتر و مواد آلی و کدورت صفر)

غلظت اولیه (۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ باکتری در میلی لیتر)، گندزدایی به خوبی انجام شده است. مدل اندازه‌های مکرر تفاوت بین سطوح مختلف غلظت اولیه را معنی‌دار نشان داده است ($p=0$). مقایسه دودویی نیز تفاوت بین سطوح مختلف غلظت اولیه را معنی‌دار نشان داده است ($p=0$)، که این تغییر که در طول زمان صورت گرفته است دلیلی بر معنی‌دار بودن اثر تعاملی زمان و غلظت می‌باشد ($p=0$). با افزایش زمان گندزدایی خورشیدی از زمان ۰ تا ۶۰ دقیقه و به تبع آن افزایش احتمالی دما، فرصت مناسب جهت کاهش غلظت باکتریایی رخ داده است. مقایسه نتیجه این پژوهش با مطالعات دیگران، این موضوع را تأیید می‌کند. جاسوا و همکارانش در سال ۲۰۰۹ به بررسی بازده غیرفعال‌سازی گندزدایی آب با تابش اشعه خورشید پرداختند و نتایج نشان داد که غیرفعال‌سازی باکتری اشرشیاکلی از حدود 10^6 CFU/ml به زیر سطح تشخیص (4 CFU/ml) رسید.^{۳۴} گومز و همکارانش در سال ۲۰۰۹ گندزدایی آب‌های طبیعی و سنتتیک با استفاده از تابش خورشیدی طبیعی را در یک پایلوت بررسی و گزارش کردند که برای غلظت اولیه باکتریایی بالاتر، نرخ غیرفعال‌سازی ثابت بالاتری به دست آمد، با این حال دوز بیش‌تری از انرژی خورشیدی مورد نیاز است.^{۳۵}

نقش نوع ظروف حاوی آب در روش گندزدایی خورشیدی

تأثیر ظروف مختلف بر فرآیند گندزدایی آب با تابش اشعه خورشید در شکل ۴ نشان داده شده است. در طی زمان تماس، ظرف شیشه‌ای تیره بیش‌ترین و ظرف پلاستیکی روشن کم‌ترین میانگین غلظت باقیمانده باکتری را در طی زمان به خود اختصاص داده‌اند. اما در نهایت پس از گذشت ۶۰ دقیقه از شروع گندزدایی، تعداد باکتری‌های باقی‌مانده در تمام ظروف با یکدیگر نزدیک شده‌اند.

بحث

برای مقایسه بهتر تأثیر غلظت اولیه باکتری بر گندزدایی، نمودار ۱ به خوبی تغییرات درصدها را در طول زمان نشان می‌دهد که تا ۴۵ دقیقه پس از شروع گندزدایی غلظت ۱۰۰ باکتری در میلی لیتر بیش‌ترین درصد باکتری باقی‌مانده را داشته است و دو سطح ۲۰۰ و ۳۰۰ باکتری در میلی لیتر مقادیر کم‌تری را نشان داده‌اند. اگر چه این تفاوت اندک بوده است اما مدل اندازه‌های مکرر این تفاوت را معنی‌دار نشان داده است ($p=0$). پس از گذشت یک ساعت، در تمام سطوح

داد که این تفاوت بین سطح اول و دوم با سطح سوم یک تفاوت معنی دار بوده است ($p=0.017$) ($p=0.003$)، اما تفاوتی که بین سطح اول و دوم دیده می شود ناشی از تصادف بوده و معنی دار نمی باشد ($p=0.82$) و هم چنین آنچه از نمودار برمی آید با آنچه آزمون اثر تعاملی زمان و مواد آلی نشان می دهد با یکدیگر هم خوانی دارد و معنی دار بودن این اثر هم زمان را تأیید می کند ($p=0.02$). در مطالعه انجام شده مشابه از جمله دیویس و همکارانش در سال ۲۰۰۹ اعلام کردند که هنگام استفاده از آب هایی با میزان رنگ بالا، غیرفعال سازی به طور قابل توجهی کاهش می یابد.^۱ هم چنین آنا گومز و همکارانش در سال ۲۰۰۹ نقش مواد آلی در حذف باکتری ها با استفاده از اشعه خورشیدی را نشان داده است.^{۳۵}

نتایج مربوط به اثر نوع ظرف در گندزدایی نشان دهنده مشابه بودن عملکرد گندزدایی در ظروف بی رنگ پلاستیکی و شیشه ای و نیز ظروف رنگی پلاستیکی و شیشه ای است. در طول زمان ظرف شیشه ای رنگی با میانگین بیشترین و ظرف پلاستیکی رنگی کمترین میانگین را دارا بوده اند. اما در نهایت پس از گذشت یک ساعت از شروع گندزدایی تعداد باکتری باقی مانده در تمام ظروف با یکدیگر تقریباً یکسان و برابر صفر بوده است. مدل بندی نشان داد که اگر چه تفاوت هایی بین عملکرد ظروف وجود دارد؛ اما این عملکرد متفاوت معنی دار نبوده است ($p=0.06$) و نیز اثر تعاملی ظرف و زمان نیز معنی دار نبوده است ($p=0.3$). بنابراین می توان گفت در طی روند گندزدایی خورشیدی و مدت زمان یک ساعت، نوع ظرف مورد استفاده اهمیت زیادی ندارد. در نتیجه اگر بخواهیم آب را در طی یک ساعت در نیمه روز، به وسیله نور خورشید گندزدایی کنیم؛ نوع ظرف چندان مهم نمی باشد و می توان با در نظر گرفتن هزینه و سطح دسترسی نوع ظرف را انتخاب کرد. اثر گندزدایی آب با استفاده از ظروف PET شفاف در مطالعات احمد در سال ۲۰۱۰، اسپمید در سال ۲۰۰۸ و هیندیه و همکارانش در سال ۲۰۱۲ مطرح شده است. ظروف

تأثیر میزان های مختلف کدورت بر فرآیند گندزدایی آب با تابش اشعه خورشید در شکل ۲ نشان داده شده است. براساس نتایج بدست آمده، تفاوت فاحش در میانگین تعداد باکتری باقی مانده تا دقیقه ۴۵ بین سطح اول و دوم با سطح سوم کدورت وجود دارد و در دقیقه ۶۰ این تفاوت ها تقریباً به هم نزدیک می شوند. اثر کدورت ($p=0$) و اثر تعاملی آن با زمان در حذف باکتری شاخص معنی دار است ($p=0$). بین سطوح مختلف کدورت در حذف باکتری شاخص تفاوت معنی داری وجود دارد. استفاده از این روش برای سطح کدورت ۲۰ NTU و بالاتر مناسب نمی باشد و برای این سطوح از کدورت (تا ۲۰ NTU) به حداقل زمانی معادل یک ساعت نیاز داریم. کدورت آب به عنوان یک فاکتور مؤثر روی کیفیت میکروبی آب با حمایت از رشد و بقای میکروارگانیزم ها، تأثیر منفی بر راندمان گندزدایی دارد. حضور جامدات معلق پراکنده در آب، مانع از نفوذ تابش خورشید و در نتیجه باعث کاهش اثر غیرفعال سازی گندزدایی آب با تابش اشعه خورشید می شوند.^{۳۶،۳۷} در بسیاری از تحقیقات نشان داده شده است که گندزدایی آب با تابش اشعه خورشید تنها باید برای آب با کدورت کم تر از ۳۰ NTU استفاده شود.^{۳۳،۳۷} نتیجه حاصل از این پژوهش با مطالعات انجام شده توسط کهو و سروانتس در ارتباط با اثر کدورت هم خوانی دارد.^{۲۰،۳۸}

برای بررسی تأثیر میزان های مختلف مواد آلی بر فرآیند گندزدایی به وسیله نور خورشید سه میزان ۱۰، ۵، ۰ mg/l از آن به آب افزوده شد. نتایج، بیانگر تأثیر معنی دار میزان مواد آلی بر گندزدایی می باشد. ۱۰ mg/l مواد آلی در ۳۰ دقیقه پس از شروع گندزدایی با میانگینی برابر ۱۲۲/۷۲ باکتری بالاترین مقدار را داشته و از سطح اول و دوم که به ترتیب ۷۵ و ۷۳ باکتری بوده اند تفاوت فاحشی را داشته است و این تفاوت در دقیقه ۴۵، کم تر گشته و در دقیقه ۶۰ تقریباً از بین رفته است. در این جا نکته جالب توجه پایین تر بودن میانگین در سطح متوسط نسبت به سطح صفر می باشد. مدل بندی نشان

۱۰۰ درصد را برای ظروف پلاستیکی و شیشه ایی شفاف فراهم می‌کند. میزان کاهش متأثر از غلظت اولیه باکتری، کدورت و مواد آلی می‌باشد. با توجه به این که این روش نسبت به سایر روش‌ها مقرون به صرفه بوده و نیاز به تجهیزات و نیروی کارشناس ندارد. همچنین در محیط زیست آلودگی ثانویه ایجاد نمی‌کند و در کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب گندزدایی شده تغییری به وجود نمی‌آورد. در شرایط آب و هوایی مشابه شهر خرم آباد، گندزدایی آب با نور خورشید با به‌کارگیری انواع ظروف در دسترس بدون صرف هزینه امکان‌پذیر است. بنابراین با توجه به کمبود امکانات در شرایط بحرانی و در جوامع کوچک استفاده از این روش پیشنهاد می‌گردد.

پلاستیکی یا شیشه‌ای بی‌رنگ بهترین انتخاب هستند، زیرا نور را نزدیک به فرابنفش انتقال می‌دهند که کشنده‌ترین طیف است. نتایج مطالعه احمد و همکارانش در سال ۲۰۱۰^{۷،۱۶،۲۷} نشان می‌دهد که به منظور گندزدایی آب شهری، باید نمونه آب در بطری‌های PET شفاف با کدورت پایین‌تر از ۲۳NTU و در معرض تابش خورشیدی در منطقه مورد مطالعه حداقل به مدت یک ساعت قرار گیرد.^{۱۶}

نتیجه‌گیری

براساس نتایج حاصل از این تحقیق، کاهش اساسی غلظت باکتریایی در روند گندزدایی آب با نور خورشید در طی حداکثر ۱ ساعت تماس اتفاق می‌افتد و راندمانی نزدیک به

References

1. Davies CM, Roser DJ, Feitz AJ, Ashbolt NJ. Solar radiation disinfection of drinking water at temperate latitudes: inactivation rates for an optimised reactor configuration. *Water Res* 2009; 43(3):643-52.
2. Cervantes DX. Feasibility of semi-continuous solar disinfection system for developing countries at a household level (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology). Massachusetts Institute of Technology. 2003.
3. Mouchtouri V, Velonakis E, Hadjichristodoulou C. Thermal disinfection of hotels, hospitals, and athletic venues hot water distribution systems contaminated by *Legionella* species. *Am J Infect control* 2007; 35(9):623-627.
4. Song K, Mohseni M, Taghipour F. Application of ultraviolet light-emitting diodes (UV-LEDs) for water disinfection: A review. *Water Res* 2016; 94: 341-349.
5. Zhu X, Zhang X. Modeling the formation of TOCl, TOBr and TOI during chlorination of drinking water. *Water Res* 2016; 96:166-176.
6. Kang G, Roy S, Balraj V. Appropriate technology for rural India - solar decontamination of water for emergency settings and small communities. *T Roy Soc Trop Med H* 2006; 100(9):863-866.
7. Hindiyeh M, Ashraf A. Investigating the efficiency of solar energy system for drinking water disinfection. *Desalination* 2012; (259):208-15.
8. Halperin M, Paz-Soldán V, Quispe V, Paxton A, Gilman R. Sustainability of solar disinfection to provide safe drinking water in rural Peru. *Public Health Rep* 2011; 126(5):762-768.
9. Hunter PR. Household water treatment in developing countries: comparing different intervention types using meta-regression. *Environ Sci Technol* 2009; 43:8991-8997.
10. Mahvi A, Vaezi F, Ali Mohamadi M, Mehrabi T M. Using sunlight to disinfect drinking water for rural. *Military Med* 2005; 331-336.
11. Mac Mahon J, Pillai SC, Kelly JM, Gill LW. Solar photocatalytic disinfection of E. coli and bacteriophages MS2, ΦX174 and PR772 using TiO₂, ZnO and ruthenium based complexes in a continuous flow system. *J Photoch Photobio B* 2017;170:79-90.
12. Lonnen J, Kilvington S, Kehoe S.C, Altouati F, McGuigan K.G. Solar and photocatalytic disinfection of protozoan, fungal and bacterial microbes in drinking water. *Water Res* 2005; (39):877-883.
13. McGuigan KG, Conroy RM, Mosler, preez M, Ubomba-Jaswa E, Fernandez-Ibanez P. Solar water disinfection (SODIS): A review from bench-top to roof-top. *J Hazard Mater* 2012; (235-236):29-46.
14. Flendrig LM, Shah B, Subrahmaniam N, Ramakrishnan V. Low cost thermoformed solar still water purifier for D&E countries. *Phys Chem Earth* 2009; 34:50-54.
15. Amin MT, Han MY. Roof-harvested rainwater for potable purposes: application of solar collector disinfection (SOCO-DIS). *Water Res* 2009; 43:5225-5235.

16. Ahmad M F, Saleem M. Disinfection of municipal water using solar radiation: an economical approach for rural dwellers in the coastal region of karachi. *Nucleus* 2010; 47:165-171.
17. Heaselgrave W, Kilvington S. The efficacy of simulated solar disinfection (SODIS) against coxsackie virus, poliovirus and hepatitis A virus. *J Water Health* 2012; 10: 531-538.
18. Mosler HJ, Kraemer SM, Johnston RB. Achieving long-term use of solar water disinfection in Zimbabwe. *Pub Health* 2013; 127: 92-98.
19. Dunlop PS, Ciavola M, Rizzo L, Byrne JA. Inactivation and injury assessment of *Escherichia coli* during solar and photocatalytic disinfection in LDPE bags. *Chemosphere* 2011; 85(7):1160-1166.
20. Marques AR, Gomes FD, Fonseca MP, Parreira JS, Santos VP. Efficiency of PET reactors in solar water disinfection for use in southeastern Brazil. *Sol Energy* 2013; 87:158-167.
21. Godini H, Behdarvand N, Shams Khoramabadi G. Comparison between solar radiation and mother chlorine for water disinfection and *E. coli*. *Jundishapur Sci Med J* 2015; 3(6): 651-664. (In Persian)
22. Montgomery MA, Elimelech M. Water and sanitation in developing countries: including health in the equation. *Environ Sci Technol* 2007; 41: 17-24.
23. Oates PM, Shanahan P, Polz MF. Solar disinfection (SODIS): simulation of solar radiation for global assessment and application for point-of-use water treatment in Haiti. *Water Res* 2003; 37(1): 47-54.
24. Wegeling M, Canonica S, Mechsner K, Fleischmann T, Pesaro F, Metzler A. Solar water disinfection: scope of the process and analysis of radiation experiments. *Water SRT-Aqua* 1994; 43(3):154-169.
25. Harding AS, Kellogg J. Using Limes and Synthetic Psoralens to Enhance solar Disinfection of Water (SODIS): A Laboratory Evaluation with Norovirus, *Escherichia coli*, and MS2. *Am J Tropic Med Hyg* 2012;86:566-572.
26. Hermida MF, CastroHermida J.A, AresMazas E, Kehoe S.C, McGuigan K.G. Effect of batch process solar disinfection on survival of *Cryptosporidium parvum* oocysts in drinking water. *Appl Environ Microb* 2005; (71):1653-1654.
27. Schmid P, Kohler M, Meierhofer R, Luzi S. Does the reuse of PET bottles during solar water disinfection pose a health risk due to the migration of plasticisers and otherchemicals into the water? *Water Res* 2008; 42(20):5054-5060.
28. Boyle M, Sichel C, Ferna`N , Arias-Quiroz G. B, Iriarte-Pun M, Mercado A. Bactericidal effect of solar water disinfection under real sunlight conditions. *Appl Environ Microb* 2008; 74(10): 2997-3001.
29. Dejung S, Fuentes I, Almanza G, Jarro R, Navarro L. Effect of solar water disinfection (SODIS) on model microorganisms under improved and field SODIS conditions. *J Water Supply Res T* 2007; 56 (4): 245-256.
30. Semakalu C, Jaswa E, Motaung K, Pillay M. Influence of solar water disinfection on immunity against cholera - a review. *J Water Health*. 2014; 12(3): 393-398.
31. Rojko C. Solar disinfection of drinking water (Doctoral dissertation, Worcester Polytechnic Institute). Worcester polytechnic institute. 2003.
32. APH, AWWA, WEF. Standard methods for the examination of water and waste water. 21th ed. Washington. American Public Health Association (APHA). 2005.
33. Sobsey MD. Managing water in the home: accelerated health gains from improved water supply. Geneva: World Health Organization; 2002.
34. Jaswa E, Navntoft C, Polo-Lopez MI, Fernandez-Ibáñez P, McGuigan KG. Solar disinfection of drinking water (SODIS): an investigation of the effect of UV-A dose on inactivation efficiency. *Photoch Photobio Sci* 2009; 8(5):587-595.
35. Gomez-Cousoa H, Fontan-Sainz M, McGuigan K G, Ares-Mazas E. Effect of the radiation intensity, water turbidity and exposure time on the survival of *Cryptosporidium* during simulated solar disinfection of drinking water. *Acta Tropica* 2009; (112): 43-48.
36. Miranzadeh MB, Hasanzadeh M, Dehqan S, Sabahi-Bidgoli M. The relationship between turbidity, residual chlorine concentration and microbial quality of drinking water in rural areas of Kashan during 2008-9. *Feyz* 2011; 15(2):126-131 (In Persian).
37. Islam MA, Azad AK, Akber MA, Rahman M, Sadhu I. Effectiveness of solar disinfection (SODIS) in rural coastal Bangladesh. *J Water Health* 2015; 13(4):1113-1122.
38. Kehoe SC, Joyce TM, Ibrahim P, Gillespie JB, Shahar RA, McGuigan KG. Effect of agitation, turbidity, aluminium foils reflectors and container volume on the inactivation efficiency of batch-process solar disinfectors. *Water Res* 2001; 35(4):1061-1065.

Study of Effective Factors on *E.coli* Removal from Water Using Solar Radiation Disinfection

Narges Behdarvand¹, Elham Godini^{2*}, Hatam Godini³, Ghodratoolah Shams Khoramabadi⁴

1. MSc in Environmental Health, Department of Environmental Health, School of Health, Lorestan University of Medical Sciences, Khoramabad, Iran

2. MSc in Microbiology, Department of Microbiology, Faculty of Biological Sciences, Alzahra University, Tehran, Iran

3. Associate Professor, Department of Environmental Health, School of Health and Research Center for Health, safety and Environment, Alborz University of Medical Sciences, Karaj, Iran

4. Associate Professor, Department of Environmental Health, School of Health, Lorestan University of Medical Sciences, Khoramabad, Iran

* E-mail: elham_godini@yahoo.com

Received: 24 Apr. 2017; Accepted: 18 Sep. 2017

ABSTRACT

Introduction: The removal of microbial pollutants is important for access of water quality standard. Therefore, drinking water disinfection for pathogens removal or inactivation conducted in water treatment installations. Today, due to environmental friendly, solar radiation disinfection considered. Objective of this study was effect of certain environmental factors such as turbidity, organic matter, container kind, and initial bacteria concentrations on *E. coli* removal from water solution using solar radiation disinfection.

Material and Methods: In this study, the performance of *E. coli* removal were evaluated using different container (PET and Glass), turbidity (0, 10, 20 NTU), organic matter (0, 5, 10 mg/l), and initial *E. coli* concentrations (100, 200, 300 bacteria/ml) as experimental study. This study conducted at perfectly sunny days in July and August between 11 to 15 o'clock with maximum radiation intensity.

Results: Results of this study show that both PET and Glass containers are capable to decrease of 300 *E.coli* per milliliter to zero at 60 min contact time. With increasing of organic matter, turbidity, and initial concentration of *E. coli*, bacterial removal rate from water solution decreased. Generally, solar radiation can be provide 100 % removal of *E. coli* in a water solution with 300 *E. coli*/l as initial concentration, 20 NTU of turbidity and 10 mg/l of organic matter with 60 min contact time.

Conclusion: The use of solar radiation technology is suitable for drinking water disinfection both at household level and at remote communities even for water with high turbidity and high organic matter concentrations.

Keywords: Solar disinfection, *E. coli*, Water solutions, Water treatment.