

مقایسه گند زدایی آب با استفاده از تابش اشعه خورشیدی و کلر مادر در حذف باکتری اشرشیاکلی

حاتم گودینی^۱، نرگس بهداروند^{۲*}، قدرت‌الله شمس خرم‌آبادی^۱

چکیده

زمینه و هدف: گند زدایی نمودن آب به منظور نابودی میکرو ارگانیسم‌های مسبب بیماری موجود در آن است. هدف از این مطالعه بررسی روش گند زدایی خورشیدی به عنوان یک سیاست مناسب و با صرفه اقتصادی بیش‌تر در مقایسه با روش کلر مادر جهت تأمین آب در اجتماعات کوچک، شرایط اضطراری و در مناطق محروم می‌باشد.

مواد و روش‌ها: این مطالعه تجربی (مقیاس آزمایشگاهی) در تابستان ۱۳۹۲ در شهرستان خرم‌آباد روی محلول‌های سنتتیک انجام گردید. آزمایش‌ها در روزهای کاملاً آفتابی و در مقادیر مختلف کدورت، مواد آلی و باکتری اشرشیاکلی انجام شد. به منظور تعیین میزان کاهش غلظت باکتریایی در روند گند زدایی خورشیدی و کلر مادر در فواصل زمانی مشخص نمونه‌برداری و آزمایش تخمیر چند لوله‌ای انجام شد. تجزیه و تحلیل آماری در مدل طولی و با روش آنالیز واریانس طرح اندازه‌گیری مکرر انجام شد.

یافته‌ها: در دو روش گند زدایی، میانگین غلظت باکتریایی در طی زمان کاهش می‌یابد و کارایی حذف باکتری، با افزایش غلظت اولیه باکتری، کدورت و مواد آلی کاهش می‌یابد. پس از گذشت ۶۰ دقیقه از شروع گند زدایی، در روش خورشیدی میانگین تعداد باکتری باقی‌مانده 0.35 ± 0.28 MPN / 100ml - به دست آمد. در روش کلر مادر میانگین تعداد باکتری باقی‌مانده $32/59 \pm 3/55$ و تقریباً ۱۰۰ برابر میانگین تعداد باکتری باقی‌مانده در روش خورشیدی می‌باشد.

نتیجه‌گیری: روش گند زدایی آب با تابش خورشیدی خیلی مناسب، کم هزینه است و در شرایط آب و هوایی مشابه شهر خرم‌آباد، می‌توان از آن استفاده نمود. این روش را می‌توان در شرایط بحرانی و در جوامع کوچک بکار برد.

کلید واژگان: گند زدایی خورشیدی، کلر مادر، تصفیه آب، باکتری، اشرشیاکلی.

۱- دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط.

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط.

۲و۱- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، خرم‌آباد، ایران.

* نویسنده مسئول:

نرگس بهداروند؛ گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، خرم‌آباد، ایران.

تلفن: ۰۰۹۸۹۱۶۱۸۲۰۳۸۴

Email: Narges_behdarvan@yahoo.com

مقدمه

فقدان آب آشامیدنی کافی در کشورهای در حال توسعه مسأله‌ای است که با افزایش جمعیت و به تبع آن افزایش نیاز به منابع آب به‌طور مداوم در حال رشد است (۱). طبق گزارش سازمان ملل متحد در ژوئن ۲۰۱۲، ۱۱٪ جمعیت جهان (تقریباً ۷۸۳ میلیون نفر) به منبع آب آشامیدنی مطمئن دسترسی نداشتند و با روند کنونی تا سال ۲۰۱۵، هنوز ۶۰۵ میلیون نفر از مردم دچار این فقدان خواهند بود. مداخله در عرصه بهداشت، تأمین آب و امکانات بهداشتی از فاکتورهای مهم کنترل بیماری‌های منتقله از آب می‌باشد (۲، ۳). متأسفانه بیش از ۹۰٪ از موارد اسهال از طریق تغییرات محیط زیست، از جمله مداخله جهت افزایش دسترسی به آب سالم، قابل پیش‌گیری است (۲). فناوری‌های متداول مورد استفاده برای گند زدایی آب آشامیدنی (ازن‌زنی، کلرزنی، تابش با لامپ‌های فرا بنفش) به تجهیزات پیچیده، سرمایه‌گذاری زیاد و اپراتور ماهر نیاز دارند. بنابراین در کشورهای در حال توسعه، به روش‌های گند زدایی که به سادگی قابل استفاده هستند، نیاز می‌باشد (۴-۹). هزینه مواد شیمیایی مانند کلر و ید ممکن است، باعث شود که برای استفاده در سطح خانگی غیرقابل دسترس باشند (۱، ۱۰). جوشاندن آب فرآیند ساده‌ای است، ولی ممکن است به آسانی در دسترس نباشد. این روش زمان‌گیر است و طعم نامطبوعی به آب می‌دهد (۱-۱۲، ۳-۱). استفاده از بعضی ترکیبات موجود کلر به محلول یا قرص، هنگامی که توسط افراد غیر ماهر انجام می‌شود، از نظر زیست محیطی نادرست و از نظر بهداشتی نامطمئن خواهند بود (۱۳). برای استفاده از محلول کلر مادر باید از قطره چکان و وسیله‌ای برای اندازه‌گیری هر لیتر آب استفاده کرد، که معمولاً وجود این وسایل در خانه‌ها غیر معمول است (۱۰، ۱۴، ۱۵). گند زدایی آب گام بسیار مهمی در پیش‌گیری از بیماری‌های منتقله از آب دارد، ولی از جنبه‌های

دیگر با تأثیر در چرخه آب، تصفیه و چرخه توزیع، آب آشامیدنی ورودی به خانه را تحت شعاع قرار می‌دهد. گند زدایی آب با نور خورشید یک روش ساده است که در آن نمونه‌های آب به صورت مستقیم در بطری پلاستیکی یک‌بار مصرف روشن در معرض نور خورشید قرار داده می‌شوند و یک رویکرد علمی و کم هزینه می‌باشد که امکان استفاده از ترکیب تأثیر ضد میکروبی اشعه ماورای بنفش و حرارت خورشید را به صورت توأم فراهم می‌کند و بدین طریق این اثر هم‌افزایی و سینرژیسمی، باعث غیر فعال‌سازی و نابودی باکتری‌های بیماری‌زا و ویروس‌های موجود در آب، در طی مواجهه با نور خورشید می‌گردد (۱، ۱۵-۱۸) تصفیه آب با نور خورشید در هند باستان بیش از ۲۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح انجام می‌گرفت. در عصر جدید، قابلیت اشعه خورشید برای گند زدایی آب، حداقل از زمان مطالعات آکرا و همکارانش در سال ۱۹۸۴ در دانشگاه امریکایی بیروت در لبنان، شناخته شده است (۱۲). بیش‌تر تحقیقات نشان می‌دهد که بهره‌وری از مکانیسم انرژی خورشیدی از طریق شکستگی رشته، پایه و تغییر در اسیدهای نوکلئیک میکرو ارگانیزم‌ها باعث تغییر ساختار مولکولی و مرگ سلولی در آب می‌شود. استفاده از روش خورشیدی به عنوان اورژانس کوتاه مدت تصفیه آب در بلایای طبیعی و بحران‌ها توسط سازمان بهداشت جهانی و یونسف از سال ۲۰۰۵ به رسمیت شناخته شده است (۲). فیشر و همکارانش در سال ۲۰۱۱ تأثیر گند زدایی با اشعه تابش نور خورشید بر روی *شرشیاکلی*، *اتروکوک SSP* و *کلی‌فاژهای MS2* را با استفاده از جنس ظروف جایگزین و افزودن اکسیدان‌ها بررسی نمودند (۵). دان لوپ و همکارانش در سال ۲۰۱۱ نابودی *شرشیاکلی* در طی گند زدایی خورشیدی و فوتوکاتالیستی در کیسه‌های پلی‌اتیلنی در چگالی کم در مدل و سطح

بلایای طبیعی و بحران‌ها، در مناطق محروم و یا فاقد شبکه آب‌رسانی مطرح گردید و با روش گند زدایی آب با کلر مادر مقایسه گردید. کاربرد SODIS به عنوان یک روش گند زدایی خانگی در شرایط بحرانی در مناطق مختلف جهان با شرایط آب و هوایی متفاوت، برای حذف باکتری‌های شاخص، تا به حال در مطالعات متعددی بررسی شده است. در واقع نوآوری این تحقیق، "بومی‌سازی روش گند زدایی آب با نور خورشید در شرایط آب و هوایی خرم‌آباد" است که نتایج این تحقیق در مناطقی با شرایط آب و هوایی مشابه قابل انجام خواهد بود.

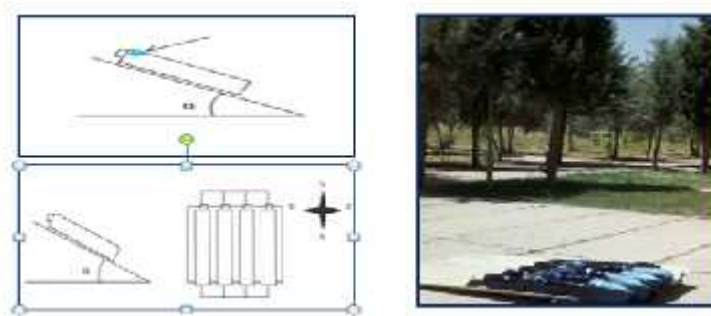
روش بررسی

این پژوهش به صورت تجربی و در مقیاس آزمایشگاهی روی محلول‌های سنتتیک انجام گردید. از بطری‌های پلاستیکی و شیشه‌ای بی‌رنگ و تیره در دسترس به عنوان ظروف آزمایش استفاده شد. از نمونه آب شرب شهری خرم‌آباد استفاده گردید، کلر زدایی با افزودن تیو سولفات سدیم ۳٪ انجام شد. یک روز قبل از انجام آزمایش‌ها به منظور نابودی ارگانسیم‌های بومی در نمونه آب موجود، محلول آزمایش در بطری (در محیط شیشه‌ای) اتو کلاو شد (۲۱). آزمایش‌ها در مقادیر مختلف کدورت، مواد آلی و باکتری اشرشیاکلی انجام شدند. به منظور بررسی اثر کدورت، سوسپانسیون استاندارد اولیه استوک فورمازین تهیه شد (۲۲). به منظور بررسی اثر مواد آلی، سوسپانسیون استاندارد اولیه استوک اسید هیومیک تهیه شد (۲۳). به منظور تلقیح باکتریایی، کدورت سوسپانسیون میکروبی مطابق با استاندارد نیم مک فارلند تنظیم گردید (۲۳، ۲۴). با استفاده از UV (Lutron) UV-۳۴۰ LIGHT A، میزان جذب اشعه ماورای بنفش UV-A توسط ظروف آزمایش، اندازه‌گیری شد. با توجه به انجام آزمایش‌ها در فصل تابستان از ابتدای

آب روستایی را ارزیابی کردند (۱۹). روش خورشیدی یک راه حل عمومی برای مشکل عدم دسترسی به آب آشامیدنی سالم نیست. روش‌های دیگر تصفیه در سطح خانگی نیز در دسترس و مؤثرند، گرچه هزینه‌شان بالاتر است. ولی با توجه به این که غالب بیماری‌ها و مرگ و میرهای ناشی از مصرف آب آلوده در هر کشوری مربوط به موقعیت‌هایی است که دسترسی به روش‌های گند زدایی سریع به راحتی امکان‌پذیر نیست و از سوی دیگر چون طرح اولیه استفاده از فناوری خورشیدی بسیار ساده است، به صورت انفرادی یا در سطح خانگی در اجتماعات کوچک، در اردوگاه‌های پناهندگان و مؤسسات، در شرایط اضطراری و بلایای طبیعی و بحران‌ها، در مناطق محروم و یا فاقد شبکه آب‌رسانی به عنوان یک گزینه مقرون به صرفه بیش‌تر از سایر روش‌های متداول مطرح می‌گردد، ولی موفقیت آن به عرض جغرافیایی، شرایط هوا، آب و هوا و کدورت آب بستگی دارد. کشور ایران در کمربندی از کره زمین (بین ۱۵ و ۳۵ درجه شمالی) قرار دارد که دریافت‌کننده حداکثر انرژی خورشیدی است که این امکان پشتیبانی استفاده از تابش خورشیدی را در کشور ما فراهم می‌کند (۲، ۱۰، ۱۷). مهم‌ترین مزیت این روش در مقایسه با روش مرسوم کلر زنی عدم ایجاد فرآورده‌های جانبی خطرناک و تضمین خلوص و سلامت آب از نظر شیمیایی است. هم‌چنین می‌تواند طیف وسیعی از میکروب‌ها، باکتری‌ها و ویروس‌ها را نابود کند. به همین دلایل در اغلب موارد روش قابل اتخاذتری برای جوامع کوچک‌تر می‌باشد (۲، ۱۸، ۲۰). از این رو، در این تحقیق کارایی گند زدایی آب با تابش نور خورشید به عنوان یک سیاست مناسب و با صرفه اقتصادی بیش‌تر از سایر روش‌های متداول در جهان امروز، جهت تأمین آب سالم شرب به ویژه برای جوامع کوچک و دور افتاده که برخوردار از سیستم‌های مستقل تصفیه آب نیستند، هم‌چنین در شرایط اضطراری و

آزمایش تخمیر چند لوله‌ای (MPN) (مطابق کتاب استاندارد متد) انجام شد (۲۶-۲۵). به منظور بررسی میزان اثر کلر بر گند زدایی آب، ابتدا کلر مادر (استوک) طبق دستورالعمل تهیه گردید (۱۴). و جهت گند زدایی محلول آزمایش مورد استفاده قرار گرفت و مراحل کار مانند روش SODIS انجام گردید. با این تفاوت که در این روش، فواصل زمانی ۰، ۳۰ و ۶۰ دقیقه در نظر گرفته شد. به منظور بررسی دقیق اثر فاکتورهای کدورت، ظرف، مواد آلی و غلظت اولیه باکتری در مدل طولی از روش آنالیز واریانس طرح اندازه‌گیری مکرر استفاده گردید و زمان به عنوان فاکتور تکرار در مدل قرار داده شد. با توجه به فرضیه‌های پژوهش در روش SODIS و روش کلر مادر تعداد حالت‌های مورد بررسی به ترتیب ۵۴۰ و ۸۱ نمونه و تعداد ظروف مورد آزمایش به ترتیب ۱۰۸ و ۲۷ عدد در نظر گرفته شد. آزمایش‌ها با دو بار تکرار صورت پذیرفت. (حجم نمونه: در روش SODIS ۵۴۰= ۵ زمان ۳× باکتری ۳× مواد آلی ۳× کدورت ۴× نوع ظرف) و (کلر مادر ۸۱= ۳ زمان ۳× باکتری ۳× مواد آلی ۳× کدورت)

تیرماه ۱۳۹۲، معادل ۲۲ ژوئن ۲۰۱۳ در شهر خرم‌آباد مرکز استان لرستان و با استفاده از سایت هواشناسی کشور، عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۲۸ دقیقه و ۵۹ ثانیه و زاویه میل خورشید ۲۳/۳۵ درجه محاسبه گردید. با استفاده از نرم‌افزار Gregorin Calender تبدیل تاریخ میلادی به شمسی انجام گردید. در روزهای کاملاً آفتابی، مواجهه ظروف آزمایش با نور خورشید روی سطح شیروانی آهنی موج‌دار که به منظور دستیابی به حداکثر تماس با نور خورشید در شیب مناسب طراحی گردیده بود؛ صورت پذیرفت (شکل ۱). آزمایش‌ها از ساعت ۱۱ صبح تا ۱۵ بعد از ظهر انجام شد (۱). به منظور ارتقای گرمایش خورشیدی یک پارچه سیاه در زیر نمونه‌ها انداخته شد. بطری‌ها به صورت افقی روی سطح بازتابنده قرار داده شدند (۱۲). در روزهای انجام آزمایش، میانگین شدت تابش خورشید و درجه حرارت هوا به ترتیب $(w/m^2) 964/67 \pm 5/19$ و $1/77 \pm 34/51$ °C گزارش گردید. در ابتدا از ظروف آزمایش حاوی محلول آزمایش که بیش‌ترین مقادیر کدورت، مواد آلی و باکتری اشرشیاکلی را به صورت دستی به آن افزودیم، بررسی انجام شد. در فواصل زمانی مشخص نمونه‌برداری و



شکل ۱: مواجهه ظروف آزمایش با نور خورشید روی سطح شیروانی آهنی موج‌دار در شیب مناسب

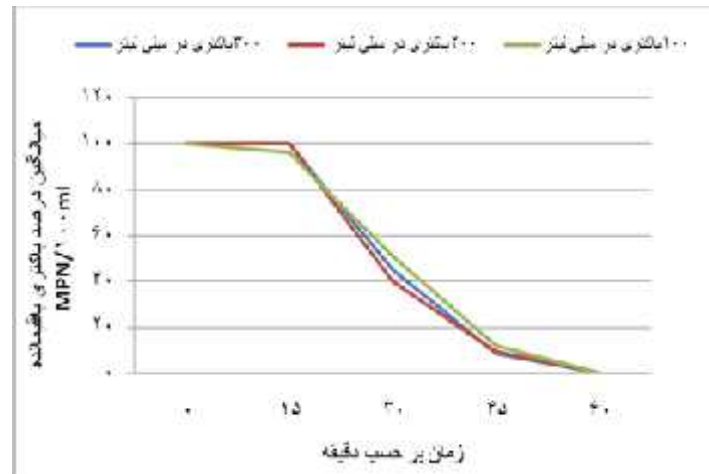
یافته‌ها

مختلف بر فرآیند SODIS، از ظروف پلاستیکی و شیشه‌ای بی‌رنگ و تیره استفاده شد و بررسی نشان داد که در طول زمان ظرف شیشه‌ای تیره، بیش‌ترین و ظرف پلاستیکی تیره، کم‌ترین میانگین C/C₀ را به خود اختصاص داده‌اند. اما در نهایت پس از گذشت ۶۰ دقیقه از شروع گندزدایی، تعداد باکتری باقی‌مانده در تمام ظروف با یکدیگر تقریباً یکسان و برابر صفر بوده است که نتایج آنالیز در نمودار ۴ نشان ارائه شده است. در ادامه برای بررسی تأثیر میزان‌های مختلف غلظت اولیه باکتری بر فرآیند گند زدایی آب با کلر مادر، باکتری اشرشیاکلی در سطوح ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ باکتری در میلی‌لیتر به آب افزوده شد و در زمان ۰، ۳۰ و ۶۰ دقیقه بررسی گردید. ۳۰ دقیقه پس از شروع گند زدایی، سطح ۳۰۰ باکتری در میلی‌لیتر، بالاترین درصد میانگین را نشان داده است؛ اما در دقیقه ۶۰، میانگین درصد باکتری باقی‌مانده، برای هر سه سطح غلظت اولیه باکتری با یکدیگر برابر شده است که نتایج آنالیز در نمودار ۵ نشان داده شده است. برای بررسی تأثیر میزان‌های مختلف کدورت بر فرآیند کلر مادر، فورمازین در سطوح ۰، ۱۰ و ۲۰ NTU به آب افزوده شد و در زمان ۰، ۳۰ و ۶۰ دقیقه بررسی گردید. سطح NTU ۲۰، ۱۰ و ۰ به ترتیب در تمام زمان‌های شمارش بیش‌ترین میانگین C/C₀ را دارند که نتایج آنالیز در نمودار ۶ ارائه شده است. برای بررسی تأثیر میزان‌های مختلف مواد آلی بر فرآیند کلر مادر، اسید هیومیک در سطوح ۰، ۵ و ۱۰ mg/l به آب افزوده شد و در زمان ۰، ۳۰ و ۶۰ دقیقه بررسی گردید. میانگین تعداد باکتری باقی‌مانده در هر زمان شمارش، برای سطح ۱۰ mg/l مواد آلی، نسبت به سطح ۵ mg/l و ۰ مواد آلی بیش‌تر می‌باشد که نتایج آنالیز در نمودار ۷ نشان داده شده است. در دو روش گند زدایی، میانگین غلظت باکتریایی در طی زمان کاهش می‌یابد و کارایی حذف باکتری، با افزایش

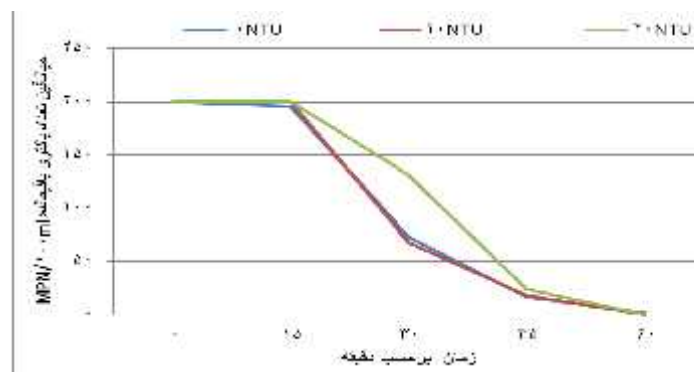
نتایج آزمایش‌های ابتدایی نشان داد که غیرفعال-سازی باکتری اشرشیاکلی در طول زمان کوتاه‌تر امکان-پذیر است. برای بررسی تأثیر میزان‌های مختلف غلظت اولیه باکتری بر فرآیند SODIS، باکتری اشرشیاکلی در سطوح ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ باکتری در میلی‌لیتر به آب افزوده شد و در طول زمان بررسی گردید. در تمام سطوح غلظت اولیه، پس از گذشت زمانی برابر یک ساعت، گند زدایی به خوبی انجام شده است. اما همان‌طور که نتایج آنالیز در نمودار ۱ نشان داده شده است، هر چه میزان غلظت اولیه باکتری‌ها در نمونه آب بیش‌تر باشد، زمان طولانی‌تری برای گند زدایی لازم است. برای بررسی تأثیر میزان‌های مختلف کدورت بر فرآیند SODIS، فورمازین در سطوح ۰، ۱۰ و ۲۰ NTU به آب افزوده شد و در طول زمان بررسی گردید. نتایج نشان داد که هر چه سطح کدورت را بالاتر ببریم، به همان نسبت، زمانی که آب در مجاورت نور خورشید قرار می‌گیرد، نیز باید بیش‌تر از ۶۰ دقیقه باشد. بر اساس نتایج به دست آمده از این تحقیق و با توجه به نمودار ۲، آن چه از مقایسه میانگین‌ها در طول زمان مشاهده می‌شود، بیان‌کننده تفاوت فاحش در میانگین تعداد باکتری مانده تا دقیقه ۳۰، بین سطح اول و دوم با سطح سوم کدورت می‌باشد، اما در دقیقه ۴۵، این تفاوت بسیار اندک و در دقیقه ۶۰ این تفاوت تقریباً به صفر رسید. برای بررسی تأثیر میزان‌های مختلف مواد آلی بر فرآیند SODIS، اسید هیومیک در سطوح ۰، ۵ و ۱۰ mg/l به آب افزوده شد و در طول زمان بررسی گردید. سطح سوم مواد آلی (۱۰ mg/l) در ۳۰ دقیقه پس از شروع گند زدایی با میانگینی برابر ۱۲۲/۷۲ باکتری، بالاترین C/C₀ را نسبت به سطح اول و دوم دارد و در دقیقه ۴۵، تفاوت میانگین تعداد باکتری‌ها کم‌تر شده و در دقیقه ۶۰، تقریباً از بین رفته است که نتایج آنالیز در نمودار ۳ نشان داده شده است. برای بررسی تأثیر ظروف

۸۸/۰۷ می باشد، اندکی بیش تر است، اما در دقیقه ۶۰، در روش SODIS، $C/C_0 = 0.35 \pm 0.28$ MPN/100ml به دست آمده و این در حالی است که در روش کلر مادر $C/C_0 = 0.32/0.59 \pm 0.3/0.55$ MPN/100ml می باشد و تقریباً ۱۰۰ برابر C/C_0 در روش SODIS می باشد.

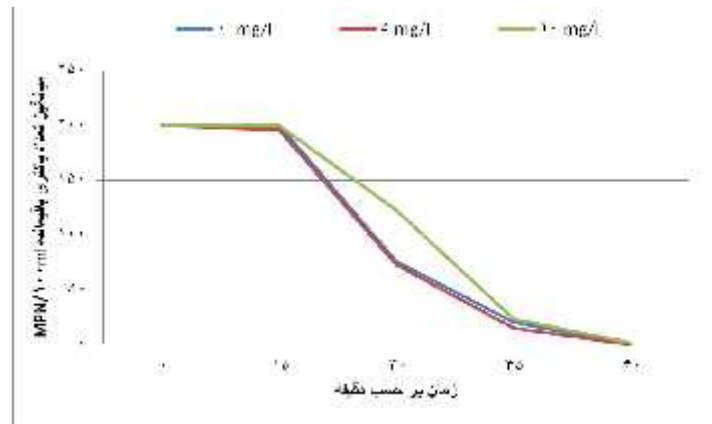
غلظت اولیه باکتری، کدورت و مواد آلی کاهش می یابد. مقایسه میزان حذف باکتری در دو روش گند زدایی آب با SODIS و کلر مادر در نمودار ۸ نشان داده شده است که تا ۳۰ دقیقه پس از شروع کار C/C_0 برای روش گند زدایی آب با SODIS برابر $0.91/0.3$ MPN /100 ml از C/C_0 در روش کلر مادر که برابر $0.1/0.01$ MPN



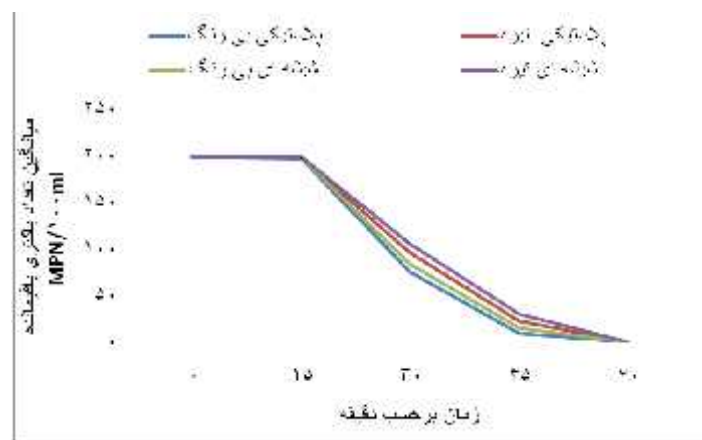
نمودار ۱: میزان کاهش درصد باکتری ها در غلظت های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ باکتری در میلی لیتر در زمان ۰، ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه در روش گند زدایی آب با نور خورشید



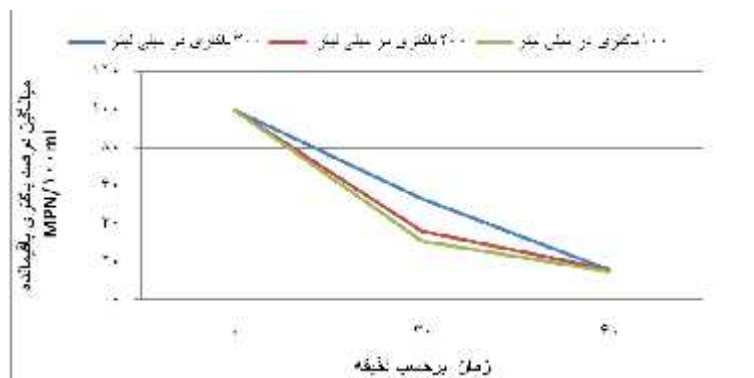
نمودار ۲: میزان کاهش باکتری ها در سطوح کدورت ۰، ۱۰ و ۲۰ NTU در زمان ۰، ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه در روش گند زدایی آب با نور خورشید



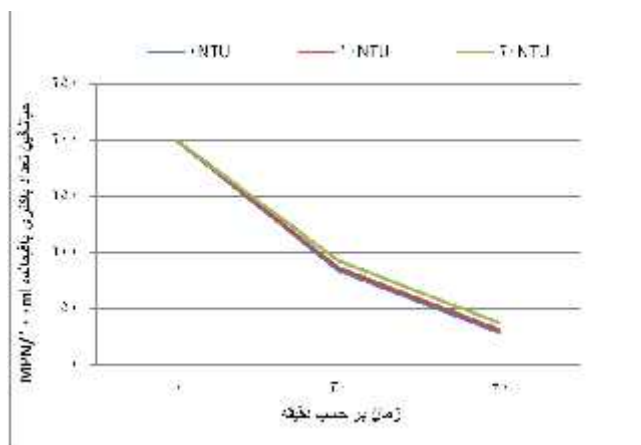
نمودار ۳: میزان کاهش باکتری‌ها در سطوح مواد آلی ۰، ۵ و ۱۰ mg/l در زمان ۰، ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه در روش گند زدایی آب با نور خورشید



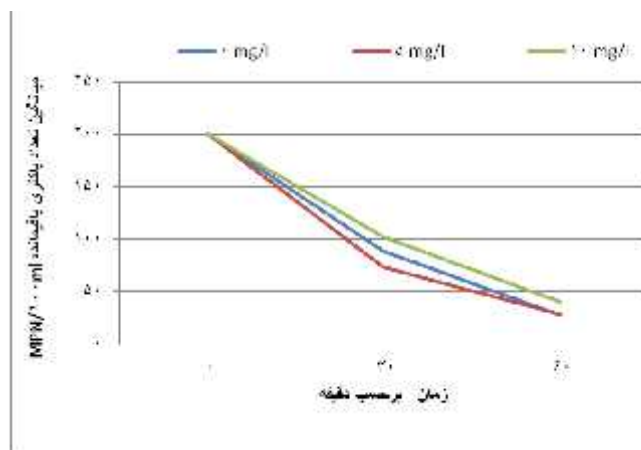
نمودار ۴: میزان کاهش باکتری‌ها در ظروف مختلف پلاستیکی و شیشه‌ای بی‌رنگ و تیره در زمان ۰، ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه در روش گند زدایی آب با نور خورشید



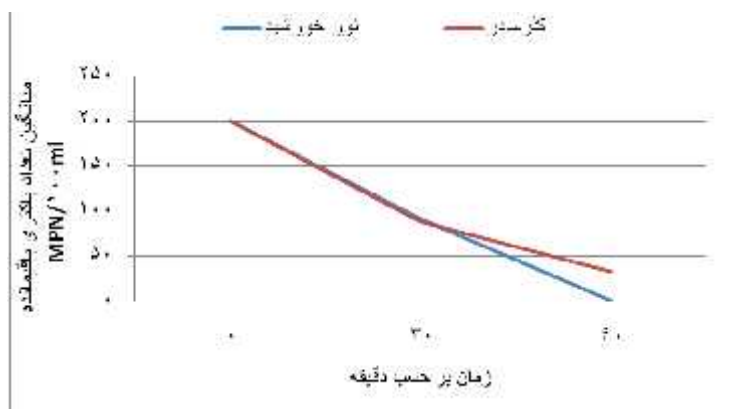
نمودار ۵: میزان کاهش درصد باکتری‌ها در غلظت ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ باکتری در میلی‌لیتر در زمان ۰، ۳۰ و ۶۰ دقیقه در گند زدایی آب با کلر مادر



نمودار ۶: میزان کاهش باکتری‌ها در سطوح کدورت ۱۰، ۲۰ و ۳۰، ۶۰ دقیقه در روش گند زدایی آب با کلر مادر



نمودار ۷: میزان کاهش باکتری‌ها در سطوح مواد آلی ۵، ۱۰ و ۲۰ mg/l در زمان ۳۰ و ۶۰ دقیقه در روش گند زدایی آب با کلر مادر



نمودار ۸: مقایسه میزان کاهش باکتری‌ها در روش گند زدایی آب با نور خورشید و کلر مادر

بحث

و بقای میکرو ارگانیزم‌ها، تأثیر منفی بر راندمان گند زدایی دارد. در واقع حضور جامدات معلق پراکنده در آب، مانع از نفوذ تابش خورشید، و در نتیجه باعث کاهش اثر غیرفعال‌سازی گند زدایی آب با تابش اشعه خورشید می‌شوند (۱۱، ۲۰، ۲۶). برای سرعت بخشیدن به روند غیرفعال‌سازی باکتریایی در آب‌هایی با کدورت بالا انجام پیش تصفیه توصیه می‌شود (۱۱). از بین روش‌های حذف کدورت می‌توان از ته‌نشینی ساده و یا فیلتر کردن استفاده نمود (۲۵). اثر مواد آلی ($P=0/002$) و اثر تعاملی آن با زمان در حذف باکتری شاخص نیز در روش SODID معنادار است ($P=0/02$). بین سطوح اول و دوم با سطح سوم مواد آلی در حذف باکتری شاخص تفاوت معناداری وجود دارد (به ترتیب ($P=0/017$) و ($P=0/003$)). بسیاری از پارامترها مثل اکسیژن مورد نیاز شیمیایی، جامدات معلق و رنگ بر عبور پرتو UV اثر منفی می‌گذارند (۲۵). در واقع اشعه UV برای منابع آب عاری از مواد معلق، رنگ و کدورت مناسب است. چون این عوامل میزان نفوذ اشعه فرا بنفش در آب را کاهش می‌دهند، که در این مواقع توصیه می‌شود، زمان تماس افزایش یابد. جذب پرتو فرا بنفش منجر به تولید گونه‌های واکنش‌پذیر اکسیژن می‌گردد، که در حضور غلظت بالای مواد آلی، این مواد با پراکسید هیدروژن وارد واکنش شده و موجب کاهش قدرت تأثیر پراکسید هیدروژن و در نتیجه کاهش راندمان حذف باکتری در فرآیند می‌شوند (۱۱، ۳۴، ۳۵). نتیجه این مطالعه نشان می‌دهد که هنگام وجود مواد آلی در نمونه آب، غیرفعال‌سازی به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد که با نتایج دیگر مطالعات هم‌خوانی دارد و در این صورت باید مدت زمان مواجهه با نور خورشید افزایش یابد (۲۱، ۲۸، ۳۶). ولی در روش مذکور، اثر ظرف ($P=0/06$) و اثر تعاملی آن با زمان بر حذف باکتری شاخص معنادار نمی‌باشد

در روش SODIS مدل اندازه‌های مکرر تفاوت بین سطوح مختلف غلظت اولیه باکتری را معنادار نشان داده است ($P=0$). مقایسه دو دویسی نیز تفاوت بین سطوح مختلف غلظت اولیه باکتری را معنادار نشان داده است ($P=0$)، این تغییر که در طول زمان صورت گرفته است، دلیلی بر معنادار بودن اثر تعاملی زمان و غلظت می‌باشد ($P=0$). هر چه میزان غلظت اولیه باکتری‌ها در نمونه آب بیش‌تر باشد، زمان طولانی‌تری برای گند زدایی لازم است. با افزایش زمان گند زدایی 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 دیگر، این موضوع را تأیید می‌کند (۱۰، ۲۷، ۲۸). هم‌چنین در این روش، اثر کدورت ($P=0$) و اثر تعاملی آن با زمان در حذف باکتری شاخص معنادار است ($P=0$). بین سطوح مختلف کدورت در حذف باکتری شاخص تفاوت معناداری وجود دارد. استفاده از این روش برای سطح کدورت ۲۰ NTU و بالاتر مناسب نمی‌باشد و برای این سطوح از کدورت (تا ۲۰ NTU) به حداقل زمانی معادل یک ساعت نیاز داریم. هر چه سطح کدورت را بالاتر ببریم، به همان نسبت باید زمانی که آب در مجاورت نور خورشید قرار می‌گیرد نیز بیش‌تر از ۶۰ دقیقه باشد. در بسیاری از تحقیقات نشان داده شده است، که روش SODIS برای گند زدایی آب با کدورت کم‌تر از ۳۰ NTU استفاده می‌شود (۱۲، ۳۱-۲۹). نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که به منظور گند زدایی نمودن آب شرب، باید نمونه آب با کدورت پایین‌تر از ۲۰ NTU، در معرض تابش خورشیدی در منطقه مورد مطالعه، حداقل به مدت یک ساعت قرار گیرد که با نتیجه دیگر مطالعه‌ها هم‌خوانی دارد (۳۳-۳۲). کدورت آب به عنوان یک فاکتور مؤثر روی کیفیت میکروبی آب با حمایت از رشد

C/C را دارند؛ اما این تفاوت به قدری نبوده است که مدل‌بندی آن را معنادار نشان دهد ($P=0/5$). روند تغییرها نیز در طول زمان تقریباً ثابت بوده است، که خود گواه معنادار نبودن اثر تعاملی زمان و کدورت می‌باشد ($P=0/913$). کدورت حاصل از ذرات ریز و دیگر ناخالصی‌های معلق در آب، از یک تماس خوب جلوگیری کرده و از عامل بیماری‌زا در مقابل کلر محافظت می‌کند. تأثیر کلر به عنوان یک گند زدا وقتی است که کلر با ارگانیزم در تماس باشد، تا بتواند آن را از بین ببرد (۲۵). که این موضوع با نتایج حاصل از پژوهش مطابقت دارد. گرچه مدل‌بندی اثر کدورت و هم‌چنین اثر تعاملی کدورت و زمان را معنادار ندانسته، اما نمودار برای سطح سوم کدورت (20 NTU) مقدار میانگین باکتریایی بیش‌تری را نشان می‌دهد. با توجه به این‌که وجود ناخالصی‌ها و کدورت آب، میزان کلر آزاد را کاهش می‌دهد و در نتیجه نابودی باکتری‌ها همراه ذرات معلق به خوبی انجام نمی‌شود؛ لازم است بعد از حذف کدورت، کلر زنی انجام پذیرد (۳۸). هم‌چنین در این روش، میانگین تعداد باکتری باقی‌مانده در هر زمان شمارش، برای سطح 10 mg/l مواد آلی، نسبت به سطح 5 mg/l و 0 مواد آلی بیش‌تر می‌باشد. این اختلاف با گذشت زمان تقریباً بی‌تغییر مانده است و تا انتهای کار سطح بالای مواد آلی بیش‌ترین میانگین را داشته است و این بی‌تغییری در تفاوت موجود، ثابت‌کننده عدم معناداری اثر تعاملی زمان و مواد آلی می‌باشد ($P=0/155$). اثر مواد آلی معنادار است ($P=0/035$). بین سطح دوم و سوم مواد آلی در حذف باکتری شاخص تفاوت معناداری وجود دارد ($P=0/03$). کیفیت آب، حضور مواد معدنی و آلی، بر مقدار کلر مصرفی تأثیر دارند (۳۹). اگر مواد آلی در آب وجود داشته باشند، عوامل گند زدا شیمیایی ممکن است با آن‌ها واکنش دهند و بدین طریق از غلظت مؤثر گند زدا کاسته می‌شود (۴۰). نوع و میزان مواد آلی علاوه

($P=0/3$). بین ظروف مختلف در حذف باکتری شاخص تفاوت معناداری وجود ندارد. تفاوت‌هایی بین عملکرد ظروف وجود دارد؛ اما این عملکرد متفاوت، معنادار نبوده است. در نتیجه اگر بخواهیم آب را در طول یک ساعت در نیمه روز، به وسیله نور خورشید گند زدایی کنیم؛ نوع ظرف چندان مهم نمی‌باشد و می‌توان با در نظر گرفتن هزینه و سطح دسترسی نوع ظرف را انتخاب کرد. در رتبه‌بندی میزان جذب UV-A توسط ظروف، به ترتیب ظروف پلاستیکی بی‌رنگ، شیشه‌ای بی‌رنگ، شیشه‌ای تیره و پلاستیکی تیره قرار می‌گیرند، که نتیجه حاصل از این پژوهش با دیگر مطالعات هم‌خوانی دارد (۱، ۱۱، ۳۲، ۳۷). نتایج مطالعات مشابه نشان داد که گند زدایی آب با قرار دادن بطری روی یک سطح تیره که گرما را جمع کرده و بازتاب می‌دهد (استفاده از اثر سینرژسمی UV-A و حرارت) و یا سیاه کردن سطح خارجی ظرف جهت جذب گرما (جهت استفاده از اثر حرارتی) رخ می‌دهد (۱۲). در روش گند زدایی آب با کلر مادر اثر غلظت اولیه باکتری ($P=0$) و اثر تعاملی آن با زمان در حذف باکتری شاخص معنادار است ($P=0$). بین سطوح مختلف غلظت باکتری در حذف باکتری شاخص تفاوت معناداری وجود دارد ($P=0$). هر چه میزان غلظت اولیه باکتری‌ها در نمونه آب بیش‌تر باشد، زمان طولانی‌تری برای گند زدایی لازم است. غلظت باکتری روی میزان کلر مورد نیاز مؤثر است و زمان تماس را نیز بالا خواهد برد. در واقع میزان میکرو ارگانیزم‌ها یعنی تعداد آن‌ها در واحد حجم معینی از آب و یا تجمع آن‌ها گاهی اوقات خود عامل مهمی در زیاد مصرف شدن ماده گند زدایی‌کننده است. هم‌چنین غلظت ماده گند زدا و زمان تماس آن با ارگانیزم، در روند گند زدایی اهمیت زیادی دارد. زیرا با توجه به غلظت باکتری، ماده گند زدا اثر کم‌تری خواهد داشت (۳۸). در این روش گرچه سطوح کدورت 20 ، 10 و 0 به ترتیب در تمام زمان‌های شمارش بیش‌ترین میانگین

یک مشکل جزئی در نظر گرفته می‌شود و تأیید می‌کنند که روند تصفیه آن، ساده و کارآمد و امن است (۳۷، ۴۴).

نتیجه‌گیری

کارایی SODIS به عنوان یک روش ساده، مقرون به صرفه و سازگار با محیط زیست در سطح خانگی و در شرایط بحرانی به غلظت اولیه باکتری، کدورت و مواد آلی بستگی دارد؛ یعنی هر چه میزان غلظت اولیه باکتری، کدورت و مواد آلی در نمونه آب بیش‌تر باشد، راندمان گند زدایی کاهش یافته و به زمان طولانی‌تری برای گند زدایی لازم است. بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق، کاهش غلظت باکتریایی مشاهده شده در روند گند زدایی آب با نور خورشید ممکن است در اثر اشعه UV-A خورشید و یا احتمالاً افزایش دمای آب به تبع افزایش درجه حرارت محیط باشد، که تفکیک میزان اثر هر عاملی نیاز به مطالعه‌های بیش‌تری دارد. همچنین موفقیت آن به شرایط هوا، آب و هوا و کدورت آب بستگی دارد. در روش گند زدایی آب با کلر مادر شرایط آب، درجه حرارت و pH آب و میزان باکتری، در روند گند زدایی آب مؤثر می‌باشند. چون دوزاژ کلر با کیفیت آب خام، دما و سایر شرایط آب و هوایی تغییر می‌کند. بنابراین با توجه به کیفیت متفاوت آب خام در مناطق مختلف انجام مطالعه در مقیاس آزمایشگاهی یا پایلوت برای تعیین میزان کلر توصیه می‌شود. در شرایط آب و هوایی مشابه شهر خرم‌آباد، SODIS با به کارگیری انواع ظروف در دسترس بدون صرف هزینه امکان‌پذیر است. بنابراین با توجه به کمبود امکانات در شرایط بحرانی و در جوامع کوچک و معایب روش‌های متداول، استفاده از این روش پیشنهاد می‌گردد.

قدردانی

این تحقیق مربوط به بخشی از پایان‌نامه مقطع کارشناسی ارشد گروه مهندسی بهداشت محیط دانشگاه

بر خطر تشکیل محصولات جانبی در واکنش با کلر، میزان مصرف کلر در گند زدایی آب را تحت شعاع قرار خواهند داد. چون دوزاژ کلر با کیفیت آب خام، دما و سایر شرایط آب و هوایی تغییر می‌کند، پس انجام مطالعه در مقیاس آزمایشگاهی یا پایلوت برای تعیین میزان کلر توصیه می‌شود (۱۴، ۴۳-۴۱). میزان حذف باکتری در دو روش گند زدایی آب با تابش خورشید و کلر مادر با هم مقایسه گردید، بین دو روش گند زدایی (P=0) و اثر تعاملی هر روش با زمان تفاوت معناداری وجود دارد (p=0). بر اساس نتایج آنالیز آماری، مشخص شد که در دو روش گند زدایی آب با تابش خورشید و گند زدایی آب با کلر مادر میانگین غلظت باکتریایی در طی زمان کاهش می‌یابد و کارایی حذف باکتری با افزایش غلظت اولیه باکتری، کدورت و مواد آلی کاهش می‌یابد. در نهایت کارایی گند زدایی آب با تابش خورشید در طی ۶۰ دقیقه بیش‌تر از روش گند زدایی آب با کلر مادر بوده است، به گونه‌ای که میانگین تعداد باکتری باقی‌مانده در روش گند زدایی آب با کلر مادر تقریباً ۱۰۰ برابر میانگین تعداد باکتری باقی‌مانده به روش گند زدایی آب با تابش نور خورشید می‌باشد. لازم به ذکر است که نگرانی استفاده از ظروف PET به دلیل تشکیل ترکیبات زیان‌آور در اثر تابش نور خورشید، سال‌ها پیش مطرح گردید و محققان مختلف از جمله وگیلن و همکارانش در سال ۲۰۰۱ و اسپمید و همکارانش در سال ۲۰۰۸ اعلام نمودند که تاکنون تحقیقات مشابه برای بطری‌های PET مورد استفاده تحت شرایط تصفیه SODIS فاقد مواد شیمیایی منتشره بودند و بطری‌های PET ظروف بسیار عالی برای آب آشامیدنی در طول مدت زمان طولانی در معرض نور خورشید می‌باشند. در یک ارزیابی کلی از SODIS، باید مزایا و خطرات مقایسه شوند. به طور کلی، مواد شیمیایی میکروآلاینده در آب آشامیدنی در مقایسه با خطرات احتمالی از آلودگی میکروبی به عنوان

علوم پزشکی لرستان می باشد که بدین وسیله از همکاری
سازمان هواشناسی استان لرستان و راهنمایی اساتید
ارجمند سرکار خانم فاطمه درگاهیان و سرکار خانم
سودابه زارع سپاس گذاری می شود.

منابع

- 1-Hindiyeh M, Ashraf A. Investigating the efficiency of solar energy system for drinking water disinfection 2010; (259): 208–15.
- 2-McGuigan KG, Conroy RM, Mosler, preez M, Ubomba-Jaswa E, Fernandez-Ibanez P. Solar water disihfection (sodis): Areview from bench-top to roof-top. Journal of Hazardous Materials 2012 Aug; (235-236): 29–46.
- 3-Siew LL, Anthony GF, William BK, Teik-Thye L. Emergency water supply: A review of potential technologies and selection criteria. Water Research 2012 Apr ; (4): 3125-51.
- 4-Clasen T, Haller L, Walker D, Bartram J, Cairncross S. Cost-effectiveness of water quality interventions for preventing diarrhoeal disease in developing countries. J Water Health 2007; 5 (4): 599-608.
- 5-Fisher M B, Iriarte M, Nelson K. Solar water disinfection (SODIS) of Escherichia coli, Enterococcus spp, and MS2 coliphage: Effects of additives and alternative container materials. Water Research 2012; (4 6): 174 5 – 51.
- 6-Jagadeesh A. Driking Water For All. Center for Energy and Sustainable Resources. Tamil Nadu: Engineering college kavaraipettai; 2005:1-11.
- 7-Acher E, Fischer R. Turnheim YM. Ecologically friendly wastewater disinfection techniques. Water Research 1997; (31):1398-1404.
- 8-Pelizzetti E. Solar water detoxification.Current status and perspectives. Zeitschrift fuer Physikalische Chemie 1999 July; 212(2): 207-18.
- 9-U.S. Enviromental Protection Agency. Ultraviolet light disinfection technology in drinking water application:an overview. EPA811-96-002.Washington: US E PA;1996.
- 10-Mahvi A, Vaezi F, Ali Mohamadi M, Mehrabi T M. Using sunlight to disinfect drinking water for rural. Military Medicine. 2005; 331–6. [In Persian].
- 11-Cervantes DXF. "Feasibility of semi-continuous solar disinfection system for developing countries at a household level." Master's of Engineering in Civiland Environmental Engineering Thesis, Massachusetts Institute Of Technology, 2003.
- 12-Sobsey M D. Managing water in the home: Accelerated Health Gains from Improved Water supply. Geneva: Department of Environmental Sciences and Engineering School of Public Health University of North Carolina; 2002 .
- 13-Jagadeesh A. Driking Water For All. Center for Energy and Sustainable Resources. Tamil Nadu: Engineering college kavaraipettai; 2005. P.1-11.
- 14-WHO. Guidelines on Technologies for Water Supply System in Small Communities. Tanslator Mahvi A H, Asghari A. Tehran: Avay ghalam, 2009.
- 15-Guide to Water and Wastewater Sanitation in Emergencies and disasters. Pzky University of Tehran: Mht Institute of Environmental; 2012.
- 16-Centre for Affordable Water and Sanitation Technology(CAWST). Household Water Treatment and Safe Storage Factsheet: Source Protection; 2010.
- 17-Masombigi H. A simple method of treating an emergency Bdr. Pzky University of Baghiyatola Tehran Quarterly of Health Education Schools 2011; (42): 34-44.
- 18-WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation. Global water supply and sanitation assessment report. U.S.A: World Health Organization and United Nations Children's Fund; 2000.
- 19-Dunlop PSM, Ciavola M, Rizzo L, Byrne J A .Inactivation and injury assessment of Escherichia coli during solar and photocatalytic disinfection in LDPE bags. Chemosphere 201; 85: 1160-66.
- 20-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, Journal of Kashan University of Medical Sciences 2011; 15(2): 126-131.
- 21-Rojko Ch. "Solar disinfection of drinking water". Master's of Environmental engineering Thesis, Worcester polytechnic institute, 2003.

- 22-Tripathi BD, Govil SR. Water pollution (an experimental approach). Translated by Ahizade M. Tehran: Mojesabz; 2003.
- 23-APH, AWWA, WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water. 21th ed. Washington: American Public Health Association (APHA); 2005.
- 24-Saremi M, Saremi MA. Laboratory cultures (quality control applications) as well as color atlas media. Tehran: Health Laboratory, Ministry of Health and Medical Education; 2008.
- 25-Zazouli M A, Bazrafshan E. Water and Wastewater Technology. Tehran: Samat; 2009.
- 26-Water Pollution Control Federation (WPCF). Microbial testing of water and wastewater. Translated by Emtiyazi G, Etemadifar Z. Esfahan: Mani; 2007.
- 27-Ubomba-Jaswa E, Navntoft C, Polo-Lopez MI, Fernandez- Ibanez P, McGuigan KG. Solar disinfection of drinking water (SODIS): an investigation of the effect of UV-A dose on inactivation efficiency. *Photochem Photobiol Sci* 2009 May; 8(5): 587-95.
- 28-Gomes AI, Vilar VJP, Boaventura RAR. Synthetic and natural waters disinfection using natural solar radiation in a pilot plant with CPCs. *Proceeding of 5th European Conference on Solar Chemistry and Photocatalysis: Environmental Applications*; 2008-8 Oct; Palermo, Italy. P. 55-61.
- 29-Acra, Aftim. Solar Disinfection of Drinking Water and Oral Rehydration Solutions. Guideline for Household Applications in Developing Countries. Department of Environmental Health. USA: American University of Beirut 1984.
- 30-Wegeling M, Canonica S, Mechsner K, Fleischmann T, Pesaro F, Metzler A. Solar Disinfection: Scope of the Process and Analysis of Radiation Experiments. *Water SRT-Aqua* 1994; 43(3): 154-169.
- 31-Solar water disinfection. 2013. Wikipedia. Available at: http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_water_disinfection. Accessed Nov, 2013.
- 32-Ahmad M F, Saleem M. Disinfection of municipal water using solar radiation: an economical approach for rural dwellers in the coastal region of Karachi. *The Nucleus* 2010; 47(2): 165-71.
- 33-Kehoe SC, Joyce TM, Ibrahim P, Gillespie JB, Shahar R A, Mc Guban KG. Effect of agitation, turbidity, aluminium foil reflectors and container volume on the inactivation efficiency of batch-process solar disinfectors. *Water Research* 2001 Mar; 35(2): 1061-65.
- 34-Smith M. "Microbial Contamination and Removal from Drinking Water in the Terai Region in Nepal." Master's of Engineering Thesis, Massachusetts Institute of Technology, 2001.
- 35-Reed RH. Solar inactivation of fecal bacteria in water: the critical role of oxygen. *Letters in Applied Chemistry* 1997 Apr; 24(4): 276-80.
- 36-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 Research* 2009; 43(3): 643-52.
- 37-Schmid P, Kohler M, Meierhofer R, Luzi S, Wegelin M. Does the reuse of PET bottles during solar water disinfection pose a health risk due to the migration of plasticisers and other chemicals into the water. *Water Research* 2008 Dec; 42(20): 5054-60.
- 38-Hosiniyan M. *The Principles Water Treatment*. Tehran: Hosiniyan; 2002.
- 39-Masombigi H, Karimi- Zarchi AA. Study of Disinfection of Drinking Water at Army garrisons. *Military Medicine* 2003; 6(3): 159-65.
- 40-Renolds T D, Recharad PA. *Unit Operation and Processes in Environmental Engineering*. Translated by Torkian A, Mardan S. Tehran: Industrial Estates Tehran; 2001. Vol. 2. p. 847-850.
- 41-Qasim S R, Motley E M, Zho G. *Water Works Engineering: Planning, Design and Operation*. Translated by Mosavi G. Tehran: Entesharat Hafiz; 2009. Vol. 2 p. 112-114
- 42-Malcolm P. *Guidance Manual for Compliance with Filtration and Disinfection Requirements for Public Water Supply Systems Using Surface Water Sources*. USEPA: Science and Technology Branch Washington; 1990.
- 43-Clasen T, Haller L, Walker D, Bartram J, Cairncross S. Cost-effectiveness of water quality interventions for preventing diarrhoeal disease in developing countries. *J Water Health* 2007; 5 (4): 599-608.
- 44-Boyle M, Sichel C, Ferna N, Arias-Quiroz G B, Iriarte-Pun M, Mercado A, "et al". Bactericidal Effect of Solar Water Disinfection under Real Sunlight Conditions. *Microbiology* 2008; 74(10): 2997-3001 .

Comparison between Solar Radiation and Mother Chlorine for Water Disinfection and E. Coli

Hatam Godini¹, Narges Behdarvand^{2*}, Ghodratolah Shams Khoramabadi¹

1-Associate Professor of Environmental Health.

2-MSPH Environmental Health Engineering.

1,2-Department of Environmental Health, School of Health, Lorestan University of Medical Sciences, Khoramabad, Iran.

*Corresponding author:

Narges Behdarvand; Department of Environmental Health, School of Health, Lorestan University of Medical Sciences, Khoramabad, Iran.

Tel: +989161820384

Email: Narges_behdarvand@yahoo.com

Abstract

Background and Objective: The aim of water disinfection is to destroy microorganisms that cause water born-diseases. The purpose of this study was to investigate the efficacy of solar disinfection method as an appropriate policy and economically feasible in comparison with mother chlorine method for water supply in small communities, emergency situations and in deprived areas.

Subjects and Methods: This laboratory scale experimental study was conducted in the summer of 2013 in the city of Khorramabad on synthetic solutions. The testes were carried out on perfectly sunny days on different degrees of turbidity, organic matter and State the different bacterial counts used. In order to determine the reduction in bacterial count in both the solar disinfection and mother chlorine were sampled and tested in multiple tube fermentation State the time intervals. Linear model analysis of variance with repeated measure analysis was performed .

Results: Both disinfection methods decreases bacterial average counts in the test periods. The bacteria removal efficiency was reduced with the increased initial bacteria count, turbidity and presence of organic matter. After the 60 min of start of treatment, the method solar radiation method, the mean number of bacteria remaining was 0.35 ± 0.28 MPN/100 ml while with mother chlorine the mean number of bacteria remained was 32.59 ± 3.55 MPN/100 ml, which was 100 fold higher than solar radiation method.

Conclusions: Solar radiation method is a very suitable, cheap and reliable method for water disinfections and can be employed under climatic conditions similar to Khorramabad. This method can be applied under critical condition and in small communities.

Keywords: Solar disinfection, Mother Chlorine, Water purification, Bacteria, *E. coli*.

Please cite this paper as:

Godini H, Behdarvand N, Shams, Khoramabadi Gh. Comparison between Solar Radiation and Mother Chlorine for Water Disinfection and E. Coli Removal. *Jundishapur Sci Med J* 2015;13(6):651-664

Received: Feb 16, 2014

Revised: Oct 30, 2014

Accepted: Oct 7, 2014