

استفاده از نور خورشید جهت گندزدایی آب آشامیدنی برای مناطق غیرشهری

امیرحسین محوی^{۱*}، فروغ واعظی^{۲*}، Ph.D. محمود علی محمدی^{۳*} و علی مهرابی توانا^{۴*} Ph.D.

آدرس مکاتبه: * دانشگاه علوم پزشکی تهران - دانشکده بهداشت - گروه مهندسی بهداشت محیط

** دانشگاه علوم پزشکی بقیه... «ع» - پژوهشکده طب رزمی - مرکز تحقیقات بهداشت نظامی - تهران - ایران

تاریخ اعلام وصول: ۱۳۸۴/۹/۵ تاریخ دریافت مقاله اصلاح شده: ۱۳۸۴/۱۱/۱۰ تاریخ اعلام قبولی مقاله: ۱۳۸۴/۱۱/۱۸

خلاصه

مقدمه: فرآیند گندزدایی آب با نور خورشید (SODIS) تکنیک ساده‌ای جهت بهبود کیفیت میکروبیولوژیکی آب آشامیدنی است که با بهره گرفتن از اشعه خورشید برای تخریب میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا از ایجاد بیماری‌های ناشی از آب جلوگیری می‌کند. این تکنیک برای تصفیه میزان‌های کم آب مناسب می‌باشد. برای این کار بطری‌های شفاف پلاستیکی را با آب آلوده پر کرده و به مدت حداقل یک ساعت در معرض نور خورشید قرار می‌دهند. چنانچه جنس ظرف شفاف باشد از طریق دو مکانیسم پرتوتابی با امواج پلی‌کروماتیک و افزایش دما گندزدایی آب را تا تامین استانداردهای شرب به انجام می‌رساند. البته اگر دمای آب از ۵۰ درجه بالاتر رود فرآیند گندزدایی سه مرتبه سریع‌تر انجام خواهد شد.

مواد و روش کار: دو نمونه ظرف پلاستیکی با درصد عبور نور فرابنفش برابر ۰/۱ و ۰/۸ درصد برای تحقیق انتخاب شد و مطابق دستورالعمل سازمان بهداشت جهانی در روش SODIS، گندزدایی یک نمونه آب آلوده سطحی به کار گرفته شد. بررسی کیفیت میکروبیولوژیکی آب قبل و بعد از قرار گرفتن در تابش مستقیم آفتاب از طریق تست تخمیر چند لوله‌ای (۵ لوله‌ای) بررسی کلی فرم‌های مدفوعی مطابق با دستورالعمل کتاب روش‌های استاندارد بوده است.

نتایج: انجام گندزدایی آب‌های آلوده در صورت استفاده از ظروف پلاستیکی قابل دسترس که نسبت به نور فرابنفش (نور ۲۵۴ نانومتر) تقریباً غیرشفاف هستند طی ۶ ساعت تماس در دمای ۳۹/۵ درجه سانتی‌گراد تا حدود ۹۹/۹ درصد (سه لگاریتم) امکان‌پذیر می‌باشد. این ظروف نسبت به عبور امواج با طول موج‌های بالاتر فرابنفش نسبتاً شفاف محسوب می‌شوند.

بحث: اجرای تکنیک ساده و کم‌خرج SODIS که به‌علت مشکلات عدیده اتخاذ روش‌های گندزدایی و سرعت عملکرد در مناطق غیرشهری پیشنهاد شده است، خود به‌علت نیاز به ظروف PET که دارای شفافیت زیاد باشند، گاه مسئله آفرین می‌باشد. با توجه به نتایج تحقیق حاضر می‌توان اطمینان داد که با به‌کارگیری سایر ظروف پلاستیکی که نسبتاً شفاف باشند، مشروط بر این که دمای آب حدود ۴۰ درجه سانتی‌گراد باشد نیز اهداف SODIS قابل حصول می‌باشد. بدین ترتیب به‌کارگیری این ظروف که در همه مکان‌ها قابل دسترس هستند در فصول گرم سال در کشور قابل توجه خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: آب آشامیدنی، گندزدایی با نور خورشید، مناطق غیرشهری، ظروف پلاستیکی

مقدمه

۵- بطری را به حالت افقی بر روی یک صفحه آهنی جادار قرار دهید یا آن را بر روی سقف قرار دهید.

۶- بطری را رو به آفتاب قرار دهید. بهترین ساعات ۹ صبح تا ۳ بعد از ظهر است و در تابستان (دمای بالای ۴۰ درجه) مدت تا حداقل یک ساعت قابل تقلیل است.

با طی مراحل فوق آب برای مصرف آماده شده و با اطمینان می‌توان برای شرب از آن استفاده نمود.

در استفاده از SODIS توجه به فاکتورهای زیر حائز اهمیت است [۷] و [۶]:

آب و هوا؛ SODIS نیاز به تشعشع و دما دارد. در نتیجه لازم است وقتی آسمان صاف باشد یا بالای ۵۰ درصد ابری نباشد ظرف به مدت ۶ ساعت در معرض خورشید قرار بگیرد.

در طول روزهای بارانی SODIS درست عمل نمی‌کند و نیز باید از ورود آب باران در طول این روزها جلوگیری کرد. اگر دمای هوا به ۵۰ درجه سانتی‌گراد رسید زمان مواجهه قابل کاهش بوده و تا یک ساعت کافی خواهد بود.

مطلوب‌ترین ناحیه برای SODIS بین عرض‌های جغرافیایی ۱۵ N/S و ۳۵ N/S است؛ چرا که تشعشع خورشیدی بالاست (۳۰۰۰ ساعت نور خورشیدی در هر سال) و دومین ناحیه مطلوب مابین خط استوا و عرض جغرافیایی ۱۵N/S است چرا که تشعشع متفرق در این ناحیه بالاست (۲۵۰۰ ساعت در هر سال) [۴] و [۸].

مواد معلق در آب باعث کاهش تاثیر امواج مفید به‌ویژه نور فرابنفش تشعشع خورشید به درون آب می‌شوند و از ریشه کنی میکروارگانیسم‌ها جلوگیری می‌نمایند.

SODIS نیازمند آب نسبتاً تمیز با کدورت کمتر از ۳۰ NTU است. پس لازم است آب کدر را قبل از مواجهه با نور خورشید فیلتر کرد تا کدورت آن پایین بیاید [۴] و [۷].

انواع گوناگونی از مواد پلاستیکی، انتقال دهنده‌های خوبی برای نور UV و طیف قابل رؤیت نور خورشید می‌باشند. بطری‌های پلاستیکی ساخته شده از PET (پلی‌اتیلن ترفتالات) به بطری‌های PVC (پلی‌وینیل کلراید) ترجیح داده می‌شود چرا که حاوی ثابت

روش‌های خانگی متعددی برای گندزدایی آب وجود دارد. مانند جوشاندن آب برای ۱۰ دقیقه و یا استفاده از کلر و ترکیبات آن مانند هیپوکلریت کلسیم را می‌توان نام برد. برای استفاده از کلر ابتدا باید محلول یک‌درصد کلر را تهیه کرد، بدین ترتیب که ۳ قاشق مرباخوری (۱۵ گرم) کلر را در یک لیتر آب حل کرده و در بطری‌های تیره رنگ نگهداری نمود. پس از این محلول یک درصد، سه قاشق غذاخوری در ۲۰ لیتر آب یا ۳-۷ قطره کلر در یک لیتر آب می‌ریخته می‌شود و پس از نیم‌ساعت زمان تماس با اطمینان خاطر قابل استفاده می‌باشد [۲] و [۱].

اساساً غیرقابل دسترس بودن مواد گندزدا و هزینه بالای آن از عمده مشکلاتی است که می‌توان نام برد. برای مثال در مناطقی که از خشکی و کمبود آب رنج می‌برند تهیه یک کیلوگرم چوب برای جوشاندن آب مشکل است. علاوه بر آن مزه آب جوشیده نیز کمی ناگوار است. یا برای اضافه کردن ۳ تا ۵ قطره محلول کلر باید از قطره چکان و وسیله‌ای برای اندازه‌گیری هر لیتر آب استفاده کرد که معمولاً وجود این وسایل در خانه‌ها غیرمعمول است. بنابراین با وجود این مشکلات نیاز به روشی می‌باشد که علاوه بر سهل و ارزان بودن در گندزدایی آب در مصارف خانگی به ما کمک کند [۳].

گندزدایی آب با نور خورشید (SODIS) تکنیک ساده‌ای برای گندزدایی آب در نقطه مصرف می‌باشد. این تکنیک چنانچه جنس ظرف شفاف باشد از طریق دو مکانیسم پرتو تابی با امواج پلی‌کروماتیک و افزایش دما گندزدایی آب را تا تامین استانداردهای شرب به انجام می‌رساند [۴] و [۱].

برای استفاده از SODIS چند مرحله را باید رعایت کرد. دستورالعملی که معمولاً ذکر می‌شود به شرح ذیل است [۴، ۵]:

- ۱- بطری را در اولین باری که از آن استفاده می‌کنید خوب بشویید.
- ۲- $\frac{۳}{۴}$ از بطری را از آب پر کنید.
- ۳- بطری را به مدت ۲۰ ثانیه تکان دهید. عمل هوادهی در آن انجام شود و میزان اکسیژن در آب بالا رود.
- ۴- کل بطری را پر کرده و درپوش را بگذارید.

روش انتخابی برای آزمایش نمونه‌های آب روش تخمیر چند لوله‌ای (روش ۵ لوله‌ای) یا روش MPN (مطابق با دستورالعمل مندرج در کتاب روش‌های استاندارد آب شناسی) می‌باشد [۱۱]. ابتدا نمونه آب مورد نیاز از کانال سطحی آب با رعایت شرایط نمونه‌برداری آب از منابع سطحی تهیه شده و بعد از ریختن در ظرف ۱/۵ لیتری (PET) به آزمایشگاه حمل شده است. دو نمونه ظرف مورد استفاده قرار گرفته است:

۱- ظروف بی‌رنگ PET با ضخامت دیواره کمتر از یک میلی‌متر و به شکل استوانه‌ای با درصد عبور نور فرابنفش (۲۵۴ نانومتر) به میزان ۰/۱ درصد.

۲- ظرف رنگی مایل به آبی (آبی بسیار شفاف) با ضخامت دیواره کمتر از یک میلی‌متر و به شکل استوانه‌ای.

درصد عبور نور فرابنفش (۲۵۴ نانومتر) در مورد این ظرف ۰/۸ درصد بود. بعد از انتقال نمونه به آزمایشگاه ابتدا pH، کدورت، هدایت الکتریکی و دمای بطری یادداشت گردید و دو مورد آخر در هر بار نمونه‌برداری تکرار و اندازه‌گیری شده است. سپس آزمایش باکتریولوژیکی انجام شد.

اولین سری آزمایش MPN با استفاده از ظرف بی‌رنگ بر روی نمونه آب آلوده انجام شد. باید متذکر شد که در زمان انجام این آزمایش هوا ابری بود.

دومین نمونه‌برداری برای انجام آزمایش در هوای آفتابی انجام گرفت، نمونه‌ها را از ساعت ۹:۳۰ صبح الی ۳ بعد از ظهر در مقابل نور خورشید قرار دادیم و پس از این مدت تأثیر میکروکشی نور خورشید و اثر افزایش زمان تماس بر کلی فرم‌های مدفوعی را مشاهده نمودیم.

در سومین سری نمونه‌برداری که با ظرف بی‌رنگ (با قابلیت درصد عبور از ۱ درصد) انجام گرفت زمان تماس از ساعت ۸ صبح الی ۴ بعد از ظهر افزایش داده شد، همچنین تأثیر میکروکشی نور خورشید بر کلی فرم‌های مدفوعی بررسی گردید.

در مرحله چهارم نوع ظرف را عوض کرده و از ظروف آبی‌رنگ استفاده کرده و زمان تماس ۶ ساعت؛ از ساعت ۹ صبح الی ۳ بعد از ظهر را انتخاب نمودیم.

کننده‌های نور UV کمتری هستند.

در ضمن ظرف‌های پلاستیک بی‌رنگ یا شیشه‌ای بهترین انتخاب از لوازم در دسترس هستند چرا که نور را در محدوده‌ای نزدیک فرابنفش که کشنده‌ترین دامنه است قرار می‌دهند (۳۱۵-۴۰۰ nm). به علاوه در دامنه طیف مرئی، ظروف رنگی آبی و بنفش در ردیف بعدی قرار می‌گیرند و برای سایر ظروف ترتیب کاهش اثرات مفید سبز < زرد < نارنجی < قرمز می‌باشد. به این ترتیب از کاربرد ظرف‌های رنگی باید اجتناب شود چرا که مانع عبور غالب اشعه‌های کشنده نور خورشید می‌گردند [۷، ۴ و ۱]. با توجه به این که امواج فرابنفش با طول موج کم می‌تواند در کمترین زمان نابودسازی سیستم‌های تک یاخته‌ها را به انجام رساند، می‌توان با انتخاب مناسب ظرف از عبور این بخش از تابش اطمینان حاصل نمود [۹ و ۱۰].

وضعیت دیواره ظروف مورد استفاده در گندزدایی آب به روش SODIS از عوامل مهم محسوب می‌گردد. هر چه دیواره ضخیم‌تر باشد اثرات اشعه خورشید بر آن کمتر است. ضمناً ظروف دایره‌ای شکل بهترین گزینه هستند و با ظروف استوانه‌ای در یک سطح قرار دارند و بر ظروف مربعی شکل ترجیح دارند، زیرا خود را با حرکت شرق به غرب خورشید بهتر مطابقت می‌دهند. شکل ظرف به هر صورت باشد باید برچسب روی ظرف‌ها را جدا کرد. سایه یا هر چیزی که بر روی ظرف قرار بگیرد مانع عبور نور خورشید می‌شود و باید جدا شود [۴ و ۶].

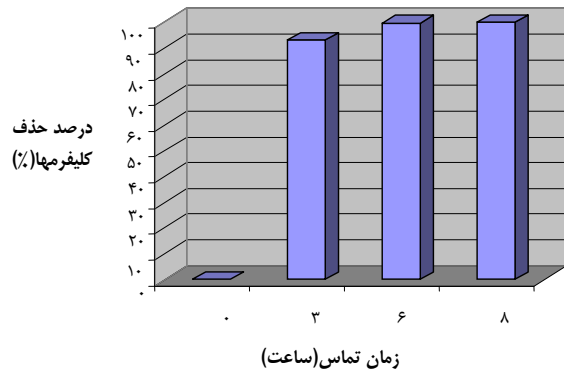
SODIS در آب حاوی میزان‌های بالای اکسیژن مؤثرتر است. نور خورشید تولید فرم‌های بسیار فعالی از اکسیژن در آب می‌کند این فرم‌های فعال اکسیژن در نابودی بیشتر میکروارگانیسم‌ها مؤثر هستند [۵ و ۴].

مواد و روش کار

این آزمایش با هدف تأثیر نور خورشید بر یک نمونه آب آلوده در شهر تهران انجام گرفت. تهران دارای عرض جغرافیایی ۴۱ دقیقه و ۳۵ ثانیه است و ارتفاع مرکز از سطح دریا ۱۱۱۰ متر می‌باشد. پرتو تابشی تمامی نمونه‌های آب در پشت‌بام دانشکده بهداشت دانشگاه تهران انجام شده است.

نتایج

نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری کلی فرم‌های مدفوعی در نمونه‌برداری اول آب که با کمک ظروف بی‌رنگ انجام گرفت در شکل ۱ قابل ملاحظه است.



شکل ۱: تاثیر نورخورشید در انجام گندزدایی یک نمونه آب‌آلوده در زمان‌های تماس مختلف

در این نمونه‌برداری تعداد کلی فرم‌های مدفوعی اولیه در هر ۱۰۰ میلی‌لیتر آب ۲۴۵۰ بود که پس از گذشت حدود ۶ ساعت زمان تماس، تاثیر میکروب‌کشی نورخورشید بر آب‌آلوده را مشاهده کرده و تعداد آن‌ها به ۵ عدد در هر ۱۰۰ میلی‌لیتر رسید (۹۹/۷۹ درصد کاهش کلی فرم‌های مدفوعی).

در مرحله بعد با استفاده از همان ظرف ولی با افزایش مدت زمان تماس حدود ۸ ساعت (ساعت ۸ صبح الی ۴ بعد از ظهر) تحقیق ادامه یافت در این حالت تعداد کلی فرم‌های مدفوعی به ۲ عدد کاهش یافت (۹۹/۹۲ درصد). با مشاهده این نتایج می‌توان دریافت که علی‌رغم عدم شفافیت کافی ظرف عمل گندزدایی با موفقیت انجام گرفته است (شکل ۲).

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به در دسترس بودن ظروف مورد استفاده در این تحقیق در تمام مکان‌ها می‌توان در صورت رعایت زمان تماس کافی و تامین درجه

حرارت بالاتر کماکان به‌عنوان ظروف مناسب برای گندزدایی استفاده نمود. هر چند که در مقایسه با نتایج WHO که زمان تماس کمتر از یک ساعت را در شرایط کاربرد ظروف کاملاً شفاف اعلام نموده است ولی با توجه به این که دسترسی به ظروف مزبور برای مناطقی نظیر روستاها غالباً امکان‌پذیر نیست، می‌توان با قاطعیت اعلام داشت که حتی ظروف قابل دسترس نیز می‌تواند در عمل SODIS به‌کار گرفته شود مشروط به این که زمان تماس افزایش یابد.

لازم به ذکر است دمای اولیه آب در شروع آزمایش فوق ۱۹ درجه سانتی‌گراد و در پایان زمان تماس (۶ ساعت) ۳۹/۵ درجه سانتی‌گراد رسیده است و کدورت تمامی نمونه‌های آب در شروع آزمایش کمتر از ۰/۴ NTU بوده است. بدین ترتیب می‌توان گفت نوعی پاستوریزاسیون کند نیز صورت گرفته است.

شکل ۲ مقایسه تاثیر میکروب‌کشی نور خورشید بر آب‌آلوده در دو ظرف مختلف را نشان می‌دهد. در این شکل ستون روشن ظرف نمونه‌برداری با قابلیت عبور ۰/۱ درصد و ستون تیره ظرف آبی‌رنگ نمونه‌برداری با قابلیت درصد عبور ۰/۸ درصد را نشان می‌دهد. پس از استفاده از ظرف آبی‌رنگ با زمان تماس ۶ ساعت تمام کلی فرم‌های مدفوعی حذف شده است و آب را می‌توان با اطمینان مورد استفاده قرار داد.

در اینجا هم با توجه به نوع ظرف کارایی خوبی حاصل شده است هرچند که در مقایسه با سایر روش‌های گندزدایی زمان زیادی لازم است. کاهش در تعداد کلیفرمها (%)



شکل ۲: مقایسه قابلیت میکروب‌کشی نورخورشید در ظروف با شفافیت متفاوت

کاهش یافته است. این در حالی است که هدف در تحقیق حاضر بررسی امکان تسهیل بیشتر روش برای مناطق محروم بوده است، مناطقی که گاه به علت دور افتاده بودن امکان دسترسی منظمی برای آن‌ها به ظروف مرغوب‌تر وجود ندارد. با توجه به این که ممکن است منابع آبی موجود در این مناطق نیز از کدورت مناسب برای اجرای SODIS که کمتر از ۳۰ NTU اعلام شده است برخوردار نباشند، پیشنهاد می‌شود تا تحقیقاتی در زمینه اثر کدورت آب بر نتایج گندزدایی همچنین با پیش بینی اجرای روش‌های ساده‌ای برای پیش تصفیه آب به انجام رسد.

در انتخاب روش گندزدایی آب در کشور توجه به این نکته حائز اهمیت است که استفاده از انرژی خورشیدی می‌تواند به عنوان یک گزینه با صرفه‌های اقتصادی و اجرایی بیشتر از سایر روش‌های متداول مطرح گردد، چرا که کشور ایران در کمربندی از کره زمین قرار دارد که دریافت کننده انرژی خورشیدی حداکثر بوده و سایر شرایط محیطی نیز در این ناحیه مطلوبیت دارد. این ناحیه بین ۱۵ و ۳۵ درجه شمالی است و برای کشورهایی که در این ناحیه هستند کاربرد این انرژی مقرون به صرفه و عملی اعلام شده است. برای اجتماعات کوچک و مناطق پرت نیز ایده‌آل‌ترین روش گندزدایی آب محسوب می‌شود [۱۵ و ۱۶]. نتایج برخی از تحقیقات اخیر موثر بودن روش را در نابودسازی کریپتوسپوریدیوم نیز نشان داده است [۱۷ و ۱۸].

تشکر و قدردانی

از پرسنل آزمایشگاه شیمی و میکروبیولوژی آب و فاضلاب دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران و سرکار خانم لیلا کردی تشکر و قدردانی می‌گردد.

با توجه به این که حتی در ظرف بی‌رنگ (با قابلیت عبور نور ۲۵۴ nm کمتر از ۱ درصد) و پس از ۶ ساعت تماس حذف کلی فرم تا ۹۹/۷۹ درصد ملاحظه شده است، می‌توان نتیجه گرفت عوامل دیگر اشعه خورشید یعنی سایر طول موج‌ها و اثرات گرمایی در از بین رفتن میکروارگانیسم‌ها نقش اساسی داشته‌اند.

برای ظرف بی‌رنگ هم مسأله کماکان مشابه است. هر چند که این ظروف شفافیت بیشتری را برای عبور UV کوتاه تأمین می‌کند، اما می‌توان اعلام نمود که گندزدایی واقع شده در این مورد نیز مجدداً ناشی از سایر امواج نور آفتاب می‌باشد. یادآور می‌شود که ظروف مورد استفاده در این تحقیق در برابر عبور فرابنفش با طول موج‌های بالا (ردیف ۴۰۰ نانومتر) تقریباً شفاف محسوب می‌شوند (با قابلیت عبور نور بیش از ۶۰ درصد).

مطلب قابل تذکر دیگر تاثیر زمان تماس بر نتیجه گندزدایی آب با نور خورشید است. همان‌طور که شکل ۲ نشان می‌دهد جهت اخذ نتایج بهتر از SODIS توسل به زمان‌های تماس طولانی‌تر حتی برای آب‌های با کدورت پایین الزامی می‌باشد. البته مسلم است که در صورت به کارگیری ظروف مرغوب‌تر و یا کار در دمای بالاتر این زمان قابل کاهش خواهد بود. به هر ترتیب طولانی بودن زمان مورد نیاز یکی از عیوب روش محسوب می‌شود اما نباید فراموش کرد که SODIS برای شرایط و مواقعی توصیه شده است که دسترسی به روش‌های intensive (دارای سرعت عملکرد) گندزدایی (نظیر جوشاندن، فرابنفش مصنوعی و کلرزنی) به راحتی امکان پذیر نمی‌باشد. همچنین نباید فراموش کرد که غالب امراض و مرگ و میرهای ناشی از آب‌آلوده در هر کشوری مربوط به این قبیل موقعیت‌ها می‌باشد. معهذاً، عمده تحقیقاتی که در جهان امروز انجام گرفته چون در مسیر بالا بردن کارایی SODIS بوده است غالباً منجر به پیچیده‌سازی روش شده است [۱۴، ۱۳ و ۱۲]. اما البته زمان کار

منابع

- 1- Cotruvo AJ, Craun GF and Hearne N. Providing safe drinking water in small systems. NSF,WHO,PAHO; 1999.p:203-207
- 2- HDR Eng. Hand book of public water systems. 2nd ed. J Wiley; 2001.p:615- 629
- 3- Acra A, Raffoul Z, Karahagopian Y. Solar Disinfection of Drinking Water and Oral Rehydratoin Solutions. Department of

Environmental Health Faculty of Health Science - American University of Beirut; 1984. available from <http://almashriq.hiof.no/lebanon/600/610/614/solar-water/unesco/35-46.html>.

- 4- Reed RH, Mani SK, Meyer V. Solar photo - oxidative disinfection of drinking water: preliminary field observations,

Letters in Applied Microbiology 2000; 30: 432-436.

- 5- McGuigan KG, Joyce TM, Conroy RM, Gillespie JB and Elmore M. Solar disinfection of drinking water contained in transparent plastic bottles. *Journal of Applied Microbiology* 1998; 84:1138-1148.
- 6- Fujioka RS, Yoneyama BS. Sunlight inactivation of human enteric viruses and fecal bacteria. *Water Science and Technology* 2002;46(11-12):291-5.
- 7- AWWA. Water quality and treatment. 5th ed.1999. P.14-1 to 14-6.
- 8- Wegelin M and Gremoin B. Solar acceptance. *Water* 2000;21:35-6.
- 9- Clancy JL, Marshal MM, Hargy TM and Korich DG. Susceptibility of five strains of *Cryptosporidium parvium* oocysts to UV light. *J AWWA* 2004;96(3):84-93.
- 10- Mofidi AA, Baribeau H, Rochelle PA, Leon RD, Coffey BM and Green JF. Disinfection of *Cryptosporidium parvium* with polychromatic UV light. *J AWWA* 2001;93(6):95-109.
- 11- APHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 18th ed. 2000. P. 9,47-48.
- 12- Masschelein W.J. UV light in water and wastewater sanitation. CRC; 2002. P.2, 5, 7, 59.
- 13- Caslake LF, Connoly DJ, Menon V and Duncanson CM. Disinfection of contaminated water by solar irradiation. *Applied and Envi. Microbiology* Feb 2004;1145-50.
- 14- Kehoe SC, Joyce TM, Ibrahim P, Gillespie JB, Shahar RA and McGvigan KG. Effect of agitation, aluminum foil reflectors and volume on inactivation of efficiency of Batch-process solar disinfectors. *Water Research* 2001;35:4, 1061-5.
- 15- Rose A, Roy S, Abraham V, Holmgren G and George K. Solar disinfection of water for diarrhoeal prevention in India. *Arch Dis Child* 2006;91:139-141.
- 16- Acra A, Raffoul Z, Karahagopian Y. Solar Disinfection of Drinking Water and Oral Rehydratoin Solutions. Department of Environmental Health Faculty of Health Science - American University of Beirut; 1984. available at <http://almashriq.hiof.no/Lebanon/600/610/614/solar-water/unesco/24-26.html>.
- 17- Hermida FM, Hermida JAC, Mazas EA. Effect of batch process solar disinfection on *Cryptosporidium parvum* oocysts in drinking water. *Appl Env Microbiology* 1998;71(3):1653-4.
- 18- Lenen J, Kilvington S and Kehoe SC. Solar and photocatalytic disinfection of protozoan and fungal microbes in dtinking water. *Water Reaserch* 2005;39:877-883.