

Investigating the Efficiency of Ultraviolet Irradiation for Inactivation of Free Living Nematodes in Water

*Dehghani M.H.¹, Zarei A.¹, Mahvi A.H.¹, Jahed Gh.R.¹, Kia E.B.²

¹Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

²Department of Parasitology, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Received; 07 July 2011 Accepted; 06 September 2011

ABSTRACT

Background and Objectives: Free living nematodes due to their active movement and resistance to chlorination, don't remove in conventional water treatment processes thus can be entered to distribution systems and cause adverse health effects. UV irradiation can be used as a method of inactivating these organisms.

Materials and Methods: This study is done to investigate the effect of ultraviolet lamp on inactivation of free living nematode (Rhabditidae) in water. The effects of duration of irradiation, turbidity, temperature, UV dose and pH are investigated in this study. Ultraviolet lamp used in this study was a 11 watt lamp with intensity of 24 $\mu\text{w} / \text{cm}^2$.

Results: Contact time required to achieve 100% efficiency for larvae nematodes and adults were 9 and 10 minutes, respectively. Increase of turbidity up to 25 NTU decreased inactivation efficiency of larvae and adult nematodes from 100% to 66% and 100% to 64%, respectively. Change in pH ranged from 6 to 9 did not affect the efficiency of inactivation. With increasing temperature inactivation rate increased.

Conclusion: The results showed that there was a significant correlation between the increase in contact time, temperature rise and turbidity reduction with inactivation efficiency of lamp) $p < 0.001$. Also the effect of the lamp on inactivation of larvae nematod was more than the adults.

Keywords: Ultraviolet irradiation, Free living nematode, Water disinfection

*Corresponding Author: dehghanihadi@yahoo.com

Tel: +98 21 66 95 42 34, Fax: +98 21 66 41 99 84

بررسی کارایی پرتوتابی فرابنفش در غیر فعال سازی نماتودهای آزاد زی آب

محمد هادی دهقانی^۱، احمد زارعی^۲، امیرحسین محوی^۳، غلامرضا جاهد خانیکی^۴، عشرت بیگم کیا^۵

نویسنده مسئول: تهران، میدان انقلاب، دانشگاه علوم پزشکی تهران، دانشکده بهداشت، گروه بهداشت محیط dehghanihadi@yahoo.com

پذیرش: ۹۰/۰۶/۱۵

دریافت: ۹۰/۰۳/۱۷

چکیده

زمینه و هدف: نماتودهای آزادزی به دلیل حرکت فعال و مقاومت‌شان به کلر، در فرایندهای متعارف تصفیه آب از بین نرفته و به همین دلیل می‌توانند وارد سیستم‌های توزیع آب شده و موجب بروز اثرات نامطلوب بهداشتی گردند. بنابراین کاربرد پرتوتابی فرابنفش (UV) می‌تواند به عنوان یکی از روش‌های غیرفعال سازی این ارگانیسم‌ها مدنظر قرار گیرد.

روش بررسی: در این مطالعه به بررسی کارایی لامپ UV در غیرفعال سازی نماتودهای آزادزی شاخه رابیتیده (*Rhabditida*) پرداخته شده و اثر زمان تابش، کدورت، دما، دوز تابش و pH بر میزان غیرفعال سازی مورد بررسی قرار گرفته است. لامپ UV مورد استفاده، یک لامپ ۱۱ وات و شدت پرتودهی ۲۴ میکرو وات بر سانتی متر مربع بود.

یافته‌ها: برای لارو نماتود در زمان تماس ۹ دقیقه و برای نماتود بالغ در زمان تماس ۱۰ دقیقه راندمان غیرفعال سازی لامپ به ۱۰۰٪ می‌رسید. با افزایش کدورت تا ۲۵ NTU راندمان غیرفعال سازی لارو از ۱۰۰٪ به ۶۶٪ و نماتود بالغ از ۱۰۰٪ به ۶۴٪ کاهش یافت. در مدت زمان تابش یکسان تغییر pH در محدوده ۶ تا ۹ تاثیری بر راندمان غیرفعال سازی نداشت. با افزایش دما میزان غیرفعال سازی افزایش یافت.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از مطالعه نشان داد که ارتباط معنی‌داری بین افزایش زمان تماس، افزایش دما و کاهش کدورت با کارایی لامپ در غیرفعال سازی نماتود وجود دارد ($P < 0/001$). همچنین مشخص گردید تاثیر کارایی این لامپ بر روی لارو نماتود بیشتر از بالغ است.

واژگان کلیدی: پرتوتابی فرابنفش، نماتود آزادزی، گندزایی آب

- ۱- دکترای بهداشت محیط، دانشیار دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران
- ۲- کارشناس ارشد بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران
- ۳- دکترای بهداشت محیط، استادیار دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران
- ۴- دکترای بهداشت محیط، دانشیار دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران
- ۵- دکترای انگل‌شناسی، استاد دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران

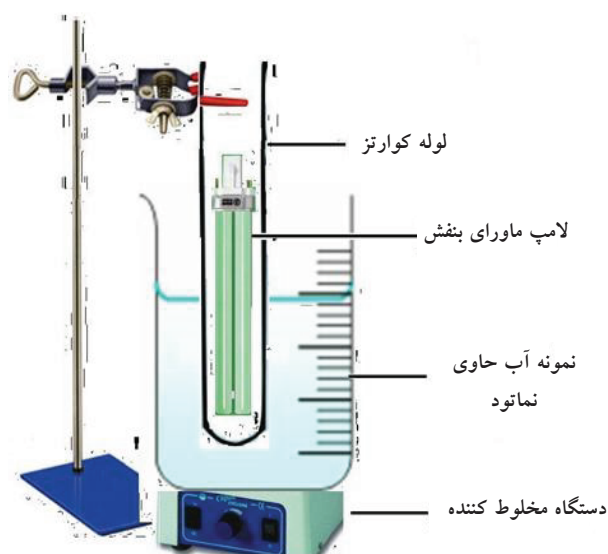
مقدمه

در بسیاری از کشورهای در حال پیشرفت، عدم برخورداری از آب آشامیدنی سالم به یکی از چالش برانگیزترین مشکلات بهداشتی تبدیل شده است. بدون شک در صورت عدم تامین آب سالم جایی برای سلامت انسان و رفاه جامعه وجود نخواهد داشت (۱). یکی از آلودگی های بسیار عمده و خطرناک منابع آب، آلودگی های زیستی است. آب می تواند به انواع میکروارگانیسم ها اعم از انواع باکتری ها، قارچ ها، ویروس ها و انگل ها آلوده شود. در این بین آلودگی به انواع کرم های انگلی یکی از شایع ترین بیماری های قابل انتقال از آب در نقاط مختلف دنیا گزارش شده است (۲). کرم های انگلی به گونه های مختلفی شامل ترماتودها، سستودها، نماتودها و ... دسته بندی می شوند. نماتودها که گونه ای از این کرم های انگلی می باشند، دسته ای از عوامل موجود در آب های شیرین هستند که منبع غذایی برای بی مهرگان و مهرداران کوچک نظیر ماهی و تعدادی از قارچ ها محسوب می شوند. تخمین زده شده است که صدها میلیون نماتود در هر ۴/۰۴۷ متر مربع در ۷/۶ سانتی متری بستر صافی آب آشامیدنی می تواند حضور داشته باشد. نماتودهای آزادزی معمولا کفزی یا ساکن خاک های مرطوب هستند. در مکان های هوازی طبیعی که حاوی مواد غذایی میکروبی و باکتری باشد، زیست می نمایند بنابراین آنها در فیلترهای شنی کند، واحدهای تصفیه بیولوژیکی فاضلاب و نیز به تعداد زیادی در پساب تصفیه ثانویه دیده می شوند. به دلیل حرکت فعال و مقاومشان به کلر، در فرایندهای متعارف تصفیه آب از بین نرفته و به همین دلیل می توانند به وفور به سیستم های توزیع آب وارد شوند. اغلب نماتودهای موجود در منابع آب مورد استفاده در تصفیه خانه های آب آشامیدنی از رواناب های خاک و رودخانه های با جریان زیاد که ارگانیسم های کف را شناور می کنند یا از پساب فاضلاب ها ناشی می شوند (۳ - ۱).

روش های گوناگونی برای گندزدایی منابع آب وجود دارد که به طور کلی به دو دسته شیمیایی و فیزیکی تقسیم می شوند. از

روش های رایج شیمیایی، کلرزی و استفاده از گاز ازن و از روش های رایج فیزیکی حرارت، فیلتراسیون و پرتودهی را می توان نام برد (۴). رایج ترین روش گندزدایی که تاکنون مورد استفاده واقع شده، کلرزی بوده است اما با کشف تولید تری هالومتان ها در گندزدایی با کلر، استفاده از لامپ های ماورای بنفش کاربرد فزاینده ای یافته است، به طوری که امروزه کلرزی در کشورهای با سطح سلامت بالا دیگر کمتر استفاده می شود. کاربرد لامپ های ماورای بنفش در گندزدایی آب، یک تکنولوژی نسبتا جدیدی است و سابقه ای ۴۰ ساله دارد (۵). نخستین لامپ واقعی بخار جیوه در سال ۱۹۸۶ ساخته شد که بر مبنای تخلیه الکتریکی در یک لوله کم فشار حاوی بخار جیوه کار می کرد. گام های بعدی در کاربرد پرتوهای UV در گندزدایی آب توسعه لامپ های جیوه مصنوعی در سال ۱۹۰۱ و استفاده از کوآرتز به عنوان انتقال دهنده اشعه ماورای بنفش در سال ۱۹۰۶ بود. اولین برنامه گندزدایی آب، در ماریسی فرانسه در سال ۱۹۱۰ به اجرا درآمد. در سال ۱۹۲۹ گیتس ارتباط میان گندزدایی فرابنفش و جذب نور ماورای بنفش توسط اسید نوکلئیک را شناسایی کرد (۵). تاکنون تحقیقات گسترده ای بر روی گندزدایی لامپ فرابنفش و غیرفعال سازی میکروارگانیسم ها و از جمله کرم های انگلی صورت گرفته است. سارا و همکاران میزان غیر فعال سازی تخم آسکاریس خوکی با استفاده از اشعه ماورای بنفش کم فشار را مورد بررسی قرار دادند (۶). در سال ۲۰۰۷ جادل و همکاران اثرات حرارت و میزان مقاومت نماتودهای آنتوموپاتوزن نسبت به پرتوی UV را مورد مطالعه قرار دادند (۷). در سال ۲۰۰۷، گومز و همکاران، به مطالعه تصفیه پیشرفته پساب فاضلاب با استفاده از لامپ UV برای حذف میکروارگانیسم ها از جمله نماتودهای بیماری زا پرداختند (۸). در بررسی دیگری که توسط وانگ جیان لین و همکاران انجام شد اثر ذرات معلق، کدورت و کلیفرم های مدفوعی و ارتقای تکنیک پرتو تابی بر روی کارایی لامپ فرابنفش در گندزدایی پساب ثانویه، مورد بررسی قرار گرفت (۹).

پلیت‌های حاوی نماتود کشت داده شده با ۲۰ میلی لیتر (PBS) Phosphate-buffered saline با pH ۷/۴ شست و شو داده شد تا نماتودها وارد محلول شده و از محیط کشت جدا شوند. سپس مخلوطی از ۲۰۰ میلی لیتر نمونه آب کلرزدایی شده به همراه ۲۰ میلی لیتر PBS که با آن محیط کشت شست و شو داده شده بود، آماده گشت. بدین ترتیب نمونه ای ۲۲۰ میلی لیتری تهیه شد که ۱۱۰ میلی لیتر از آن به عنوان شاهد در داخل بشر ریخته شد و شمارش تعداد لارو مرده و زنده برای ۰/۵ میلی لیتر از آن صورت پذیرفت و ۱۱۰ میلی لیتر باقی مانده در زمان های مختلف از ۱ تا ۱۰ دقیقه در معرض پرتو ماورای بنفش قرار داده شد و مورد آنالیز قرار گرفت. در طول آزمایش میانگین فاصله نمونه در معرض پرتو از لامپ ۲ سانتی متر بوده و نیز دمای آب در حین انجام آزمایشات به استثنای زمان مطالعه تاثیر دما، در ۲۰ درجه سانتی گراد ثابت نگه داشته شد. در این تحقیق زمان ماند ثابت (۱۰ دقیقه) نگه داشته شده و تاثیر کدورت های مختلف بر میزان کارایی غیرفعال سازی نماتودها در لامپ ماورای بنفش بررسی می شد. نمونه های آب گرفته شده از آب شهری تهران دارای کدورت زیر حد استاندارد و اکثرا کمتر از ۰/۵ NTU بود. به همین دلیل از کدورت سنتتیک در آزمایشگاه استفاده شد.



شکل ۱: طرح شماتیک راکتور فرابنفش

در این مطالعه به بررسی کارایی لامپ گندزدای فرابنفش در تصفیه آب حاوی نماتود آزادی پرداخته شده و تاثیر پارامترهای کدورت، pH، دما و مدت زمان تماس بر میزان کارایی لامپ فرابنفش مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش ها

این مطالعه از نوع تجربی بوده و در آن به بررسی کارایی لامپ های گندزدای فرابنفش در تصفیه آب حاوی نماتود های آزادی (لارو و بالغ) و بررسی اثر مدت زمان تماس، کدورت، pH و دما بر میزان کارایی لامپ فرابنفش پرداخته شده است. لامپ ماورای بنفش کم فشار مورد استفاده، لامپ ۱۱ وات Philips-tUV ساخت کشور لهستان به طول ۱۶ و عرض ۳ سانتی متر با میزان شدت پرتو دهی ۲۴ میکرووات بر سانتی متر مربع بود. در این آزمایشات از یک راکتور ۱۰۰۰ میلی لیتری استفاده شد. لامپ در داخل لوله کوارتز قرار داده شد و سپس داخل راکتور مربوط قرار گرفت. پیش از هر بار استفاده، ۳ الی ۵ دقیقه برای گرم شدن و رسیدن به حالت ثابت استفاده شد. لوله کوارتز بعد از انجام هر آزمایش تمیز شده تا بر روی کارایی لامپ تاثیر نامطلوبی نگذارد. طرح شماتیک راکتور فرابنفش در شکل (۱) نمایش داده شده است.

نماتود مورد آزمایش در این مطالعه از نوع نماتودهای آزادی شاخه رابیتیده (Rhabditida) بود که از آزمایشگاه کرم شناسی دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران به صورت کشت داده شده، تهیه می گردید. اندازه بالغ و لارو نماتود مورد مطالعه به ترتیب ۸۰۰ و ۱۵۰ میکرون می باشد. بنابراین برای شمارش از میکروسکوپ نوری استفاده شد. برای شمارش نمونه ۰/۵ میلی لیتر با نمونه بردار برداشته و زیر لام و لامل با میکروسکوپ شمارش گردید (۳). شمارش سه بار تکرار گردیده سپس متوسط تعداد در حجم مورد محاسبه قرار گرفت. نمونه آب مورد آزمایش آب شهری بود. به نمونه های برداشت شده چند قطره تیوسولفات سدیم افزوده شد تا مزاحمت کلر برای تحت تاثیر قرار دادن نماتودها از بین برود. سپس

به منظور تعیین اثر کدورت از خاک رس استفاده شد. تاثیر خاک رس تا کدورت حدود ۳۰ NTU بر روی کارایی لامپ بررسی شد. اندازه ذرات خاک رس بنتونیت در محدوده کمتر از ۲ میکرون می باشد. به دلیل امکان ته نشینی ذرات خاک رس در محیط پایلوت در هنگام پرتو دهی اختلاط با استفاده از یک مخلوط کننده صورت می گرفت.

یافته ها

کارایی غیر فعال سازی لارو و نماتود های بالغ در شرایط مختلف آزمایشگاهی از نظر زمان تابش، دوز لامپ، کدورت، دما و pH مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است. در شکل های ۲-۴ کارایی لامپ فرابنفش در غیر فعال سازی نماتود های آزادزی در زمان های مختلف تابش همچنین تاثیر تغییرات کدورت و دما در غیر فعال سازی نماتود های آزادزی در زمان تابش ۱۰ دقیقه با دوز یکسان ارایه گردیده است. همان طوری که در شکل ها دیده می شود تاثیر تغییرات زمان تابش از ۲ دقیقه تا ۹ دقیقه، تاثیر تغییرات دما در محدوده ۲۱-۴۵ درجه سانتی گراد، میزان کدورت در محدوده ۶-۲۵ NTU و pH در محدوده ۹-۶ مورد بررسی قرار گرفتند.

در این مطالعه برای تعیین ارتباط بین کارایی غیر فعال سازی و متغیرهای سنجش شده از آزمون رگرسیون خطی استفاده گردید. نتایج نشان داد که بین افزایش مدت زمان تابش و افزایش کارایی لامپ، بین افزایش کدورت و کاهش کارایی لامپ و همچنین بین افزایش دما و افزایش کارایی لامپ، ارتباط معناداری وجود دارد ($P < 0.001$).

بحث

تاثیر زمان تابش

نتایج حاصل از مطالعه نشان داد که با افزایش زمان تماس کارایی لامپ در غیر فعال سازی نماتودها افزایش می یابد. برای لارو نماتود در زمان تماس ۹ دقیقه (دوز $\mu\text{w.s/cm}^2$ ۳۲۴۰) و برای نماتود بالغ در زمان تماس ۱۰ دقیقه (دوز

تاثیر دوز لامپ

نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که تاثیر کارایی لامپ بر روی لارو نماتود بیشتر از بالغ است. به طوری که حداقل دوز برای غیر فعال سازی نماتود بالغ رابیتیده $3600 \mu\text{w.s/cm}^2$ و برای لارو آن $3240 \mu\text{w.s/cm}^2$ در فاصله ۲ سانتی متری در مدت زمان تابش ۱۰ دقیقه می باشد. در بررسی انجام گرفته توسط واعظی و همکاران در مورد کاربرد پرتو فرابنفش برای گندزدایی فاضلاب و بررسی اثر آن بر تخم آسکاریس، حداقل دوز لازم برای غیر فعال سازی تخم آسکاریس mw.s/cm^2 ۴۴۰ در زمان تابش ۵ دقیقه در فاصله ۶ سانتی متر از لامپ مشخص گردید (۱۰).

در مطالعه ای که توسط سارا، الف و همکاران در رابطه با میزان غیر فعال سازی تخم آسکاریس خوکی با استفاده از اشعه ماورای بنفش کم فشار صورت پذیرفت به این نتیجه انجامید که برای غیر فعال سازی تخم های دست نخورده میزان دوزهای تابش تا mw.s/cm^2 ۸۰۰ و برای تخم های پوست کنده شده تا mw.s/cm^2 ۵۰ لازم است (۶). دوزهای مورد نیاز برای غیر فعال سازی در هر دو مطالعه به طور قابل ملاحظه ای بیشتر از دوز مورد نیاز برای غیر فعال سازی لارو و نماتود بالغ مطالعه حاضر می باشد زیرا حساسیت لارو و نماتود بالغ در مقایسه با تخم کرم آسکاریس بیشتر است.

نتیجه گیری

تاثیر کدورت

نتایج این مطالعه نشان که در مدت زمان تابش ۱۰ دقیقه با افزایش کدورت تا ۲۵ NTU راندمان غیر فعال سازی لارو نماتود از ۱۰۰٪ به ۶۶٪ کاهش یافته است. از طرفی در رابطه با نماتود بالغ در مدت زمان تابش ۱۰ دقیقه، راندمان غیر فعال سازی تا میزان کدورت ۹ NTU ثابت ولی با افزایش کدورت تا ۲۵ NTU راندمان غیر فعال سازی از ۱۰۰٪ به ۶۴٪ کاهش می یابد.

مطالعات انجام شده توسط سایر محققان بیانگر آن است که تاثیر دما بر میزان دوز پاسخ، بستگی به نوع میکروارگانیسم دارد. به عنوان مثال مطالعات صورت گرفته نشان داده است که غیر فعال سازی باکتریوفاژ MS2، بستگی به دما ندارد (۱۱) و (۱۲). اما در مورد اشریشیاکلی و ژیا ردیا لامبلیا نیز ثابت گردیده که با افزایش دما از ۵ به ۳۵ درجه سانتی گراد میزان کارایی لامپ در حدود ۱۰ درصد افزایش می یابد

تاثیر pH

جهت بررسی میزان تاثیر pH بر میزان غیر فعال سازی نماتود بالغ و لارو یک محدوده pH از ۶ تا ۹ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایشات نشان داد که تغییر pH در این محدوده بر میزان کارایی غیر فعال سازی نماتود توسط لامپ ماورای بنفش تاثیر ندارد. (جداول ۱ و ۲) این یافته با نتایج مطالعه مالی جی پی جی آر که به بررسی مهندسی سیستم های اشعه ماورای بنفش در گندزدایی آب آشامیدنی پرداخته بود هم خوانی دارد (۱۴). با توجه به نتایج این مطالعه به نظر می رسد می توان از سیستم های پرتوتابی UV در صورت رعایت شرایط مطلوب برای گندزدایی پساب های خروجی از تصفیه خانه های فاضلاب سود جست و نیز کارایی این سیستم را در تلفیق با سایر فرایندها مثل کاربرد همزمان UV و H₂O₂ یا UV و ازن برای گندزدایی آب و فاضلاب مورد بررسی های بیشتر قرار داد.

جدول ۲: تاثیر pH بر کارایی غیر فعال سازی نماتود بالغ آزادزی در زمان تابش ۱۰ دقیقه (دوز یکسان)

pH	درصد کارایی غیر فعال سازی نماتود بالغ
۶	۰
۶/۵	۰
۷	۰
۷/۵	۰
۸	۰
۸/۵	۰
۹	۰

به عبارتی دیگر، با افزایش میزان کدورت کارایی لامپ در غیر فعال سازی نماتودها کاهش می یابد. (شکل ۳)

کاهش کارایی در اثر افزایش کدورت به دلیل قدرت پخش کنندگی نور توسط ذرات مسبب کدورت می باشد. نتایج بررسی صورت گرفته در رابطه با اثر ذرات معلق بر روی کارایی لامپ فرابنفش در گندزدایی پساب ثانویه توسط وانگ جیان لین و همکاران، نشان داد که با افزایش میزان کدورت، دستیابی به یک استاندارد مطلوب تصفیه توسط لامپ فرابنفش مشکل می شود و ذرات، به ویژه ذرات بزرگ تاثیر چشمگیری بر روی میزان کارایی گندزدایی دارند که با نتایج این مطالعه هم خوانی دارد (۹).

تاثیر دما

محدوده دمایی مورد مطالعه برای تعیین اثر دما در این آزمایش از ۲۱-۴۵ °C بود. نتایج آزمایشات نشان داد که دما بر میزان کارایی غیر فعال سازی تاثیر دارد و با افزایش دما کارایی غیر فعال سازی افزایش می یابد. به عبارتی دیگر در مدت زمان تابش ۱۰ دقیقه با افزایش دمای آب راندمان لامپ در غیر فعال سازی لارو و نماتود بالغ افزایش یافت. در رابطه با لارو، افزایش راندمان از ۱۸/۵٪ در دمای ۲۱ °C به ۸۹٪ در دمای ۴۵ °C تغییر یافته و افزایش راندمان برای نماتود بالغ از ۱۲/۵٪ در ۲۱ °C تا ۷۸/۸٪ در ۴۵ °C متغیر بود (شکل ۴).

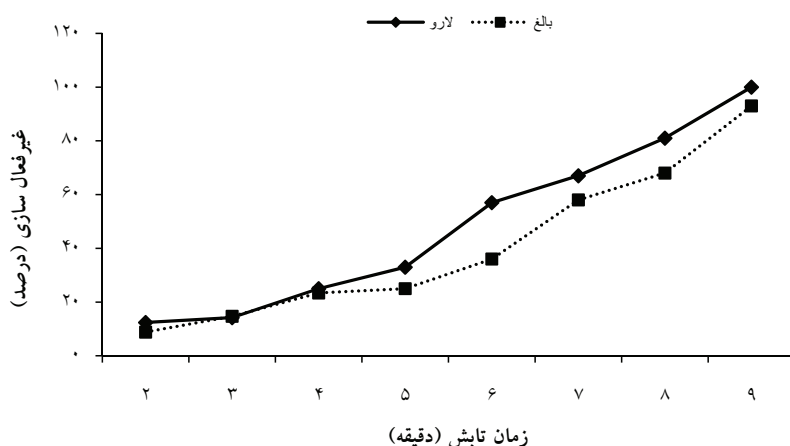
جدول ۱: تاثیر pH بر کارایی غیر فعال سازی لارو نماتود آزادزی در زمان تابش ۱۰ دقیقه (دوز یکسان)

pH	درصد کارایی غیر فعال سازی لارو نماتود
۶	۰
۶/۵	۰
۷	۰
۷/۵	۰
۸	۰
۸/۵	۰
۹	۰

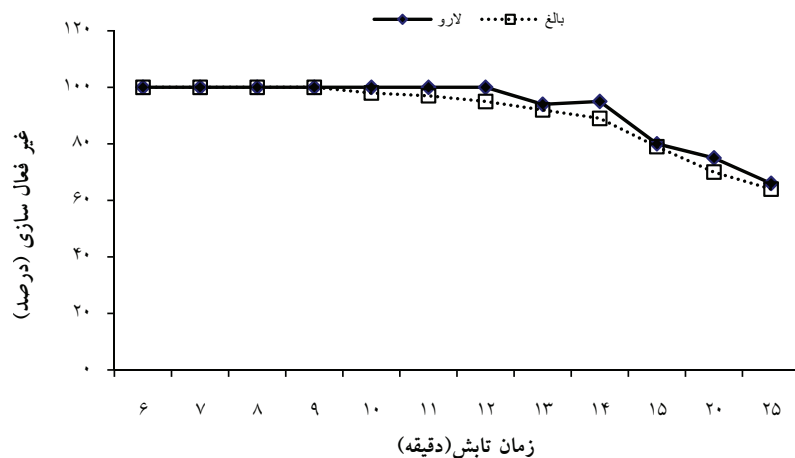
تشکر و قدردانی

این مقاله از پایان نامه مقطع کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران استخراج گردیده است.

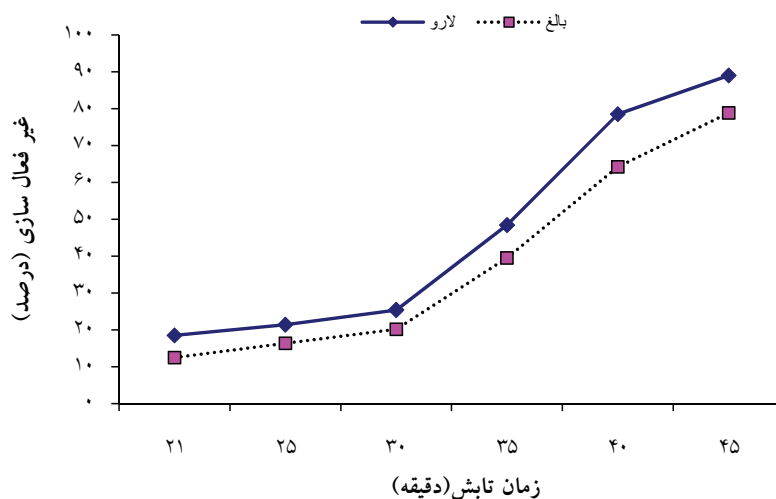
برخود لازم می دانیم از کارشناسان محترم آزمایشگاه‌های میکروبیولوژی محیط و انگل شناسی دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران که در انجام آزمایشات و تهیه نمونه‌های نماتود با نویسندگان تشریک مساعی نمودند صمیمانه تشکر نماییم.



شکل ۲: کارایی لامپ فرابنفش در غیر فعال سازی نماتودهای آزادزی در زمان‌های مختلف تابش



شکل ۳: تاثیر تغییرات کدورت در غیر فعال سازی نماتودهای آزادزی در زمان تابش ۱۰ دقیقه



شکل ۴: تاثیر تغییرات دما بر کارایی غیر فعال سازی نماتوهای آزادزی در زمان تابش ۱۰ دقیقه

منابع

1. Mark WL, Kwok-Keung A. Water Treatment and Pathogen Control: Process Efficiency in Achieving Safe Drinking-Water. London: IWA Publication; 2004.
2. Hammer MJ, Hammer MJR. Water and Wastewater Technology. 6th ed. New Delhi: Prentice-Hall Inc.; 2008.
3. ISIRI. Quality standards of drinking water: Detection and separation of nematodes in raw water. Tehran: Institute of Standards and Industrial Research of Iran; 2002 (in Persian).
4. McGhee TJ. Water Supply and Sewerage. 6th ed. USA: McGraw-Hill Inc.; 1991.
5. Gates FL. A study of the bactericidal action of ultraviolet light. General Physiology. 1929;13(2):231-60.
6. Sarah A, Brownell K, Nelson L. Inactivation of single-celled *Ascaris suum* eggs by low-pressure UV radiation. Applied and Environmental Microbiology. 2006;72(3):2178-84.
7. Jagdale GB, Grewal PS. Storage temperature influence desiccation and ultraviolet radiation tolerance of entomopathogenic nematodes. Thermal Biology. 2007;32(1):20-27.
8. Gomez M, Plaza F, Garralon G, Perez J, Gomez MA. A comparative study of tertiary wastewater treatment by physico-chemical-UV process and macrofiltration-ultrafiltration technologies. Desalination. 2007;202(1-3):369-76.
9. Wang J, Lin W, Baozhen W, Jinsong Z, Qixian Z. Impact of suspended particles and enhancement techniques on ultraviolet disinfection of a secondary effluent. Journal of Ocean University of China. 2006;5(4):381-86.
10. Vaezi F. Application of ultraviolet irradiation for wastewater disinfection [dissertation]. Tehran: Tehran University of Medical Sciences; 1995 (in Persian).
11. Templeton M, Hofmann R, Andrews R, Whitby E. UV inactivation of floc associated MS-2 coliphage. Proceedings of American Water Works Association Water Quality Technology Conference; 2003 Nov 2 – 6; Philadelphia, PA.
12. Malley J. The state of the art in using UV disinfection for waters and wastewaters in North America. Proceedings of ENVIRO 2000 – Australian Water Association (AWA); 2000 Apr 9 – 13; Sydney, Australia.
13. Severin BF, Suldan MT, Englebrecht RS. Effects of temperature on ultraviolet light disinfection. Environmental Science and Technology. 1983;1(17):717-21.
14. Malley JP, Jr. Engineering of UV disinfection systems for drinking water. IUVA News. 2000;2(3):8-14.