Journal of Research in Environmental Health

Volume 6, Issue 3, Autumn 2020

Effect of Heterotrophic Bacteria in Mashhad Sewage on Removal of Mercury From Used Fluorescent Lamps

Hossein Alidadi
Profoser, Environmental Health Engineering Department, Faculty of Health, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran

Fatemeh Mohammad Hosseini
MSc., Student, Environmental Health Engineering Department, Faculty of Health, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran

Samaneh Gohari
MSc., Environmental Health Engineering Department, Faculty of Health, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran

Ziaeddin Bonyadi
* Professor, Environmental Health Engineering Department, Faculty of Health, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran (Corresponding author):
E-mail: Bonyadiz@mums.ac.ir)

Received: 2020/08/22
Accepted: 2020/10/10

Document Type: Research article

ABSTRACT

Background and Aim: Today, fluorescent lamps are the most common light sources in the world and Iran. Mercury in these lamps may enter the environment and exert harmful effects. The present study aimed to investigate the effect of heterotrophic bacteria in wastewater on mercury removal from fluorescent lamps.

Materials and Methods: In this study, different components of lamps were separated using a crushing machine and then, mercury was separated from the phosphorus powder by acid washing. Bacteria isolated from wastewater were exposed to acid wash-extracted mercury and the mercury content in the lamps was measured by atomic absorption spectrophotometry. The highest concentration of mercury extracted from lamps was 86.03 ppb at the ratio of HCl to HNO3 of 4: 1, and the lowest mercury concentration was 14.03 ppb at HCl to HNO3 of 1:1. The one-way ANOVA test was used to analyze the amount of mercury extracted from the phosphorous powder of lamps at different ratios of acids.

Results: The results of this study showed that heterotrophic bacteria could reduce the mercury levels to less than 5 µg/L. Besides, 19 bacteria isolated from wastewater were resistant to mercury chloride at concentrations of 5 and 10 mg. Also, 10 bacteria could reduce mercury. The highest rate of mercury reduction (92.24%) was related to Pseudomonas marginalis and the lowest rate (62.47%) was related to Pseudomonas simiae.

Conclusion: This study showed that sewage heterotrophic bacteria can be used as an efficient, low-cost, and environmentally friendly method for the detoxification of mercury from out-of-date fluorescent lamps.

Keywords: Fluorescent Lamp; Mercury; Biosorption; Heterotrophic Wastewater Bacteria

▶ **Citation:** Alidadi H, Mohammad Hosseini F, Gohari S, Bonyadi Z. Effect of Heterotrophic Bacteria in Mashhad Sewage on Removal of Mercury From Used Fluorescent Lamps. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Autumn 2020; 6(3): 221-228.

تأثیر باکتری‌های هتروتروف فاضلاب‌های شهری مشهد در حذف جیوه از لامپ‌های فلورسنت

حسین علیدادی
استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران.
فاطمه محمدحسینی
دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران.
سمانه گوهری
کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران.
ضیاالدین بنیادی
* استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران.
(نویسنده مسئول): پست الکترونیک:
Bonyadiz@mums.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۲۰
نوع مقاله: مقاله اصیل پژوهشی

چکیده

زمینه و هدف: امروزه لامپ‌های فلورسنت، رایج‌ترین منبع نوری جهان هستند. میزان جیوه‌موجود در این لامپ‌ها ۰/۷۲-۱۱۵ میلی‌گرم به ازای هر لامپ بوده و با شکستن این لامپ‌ها، جیوه وارد محیط زیست شده و میزان سمیت آن، به شکل و راه ورود به بدن انسان بستگی دارد. جیوه در بدن تجمع یافته و باعث آسیب عصبی، فلج و نابینایی می‌شود. یکی از بهترین روش‌ها برای کاهش جیوه، استفاده از میکروارگانیسم‌هاست. مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر باکتری‌های هتروتروف فاضلاب در حذف جیوه موجود در لامپ‌های فلورسنت انجام شد.
مواد و روش‌ها: در این مطالعه از لامپ‌های فلورسنت خارج از رده استفاده شد. ابتدا توسط دستگاه خردایش، اجزای مختلف لامپ‌از هم جدا شدف و سپس جیوه آن‌ها با روش اسیدشویی از پودر فسفر لامپ جدا شد. باکتری‌های جدا شده از فاضلاب در معرض جیوه‌حاصل از اسیدشویی قرار گرفته و اثر این باکتری‌ها در کاهش جیوه مورد بررسی قرار گرفت. برای تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از مقایسه مقدار جیوه موجود در پودر فسفر لامپ‌های خارج از رده در نسبت‌های مختلف از اسید از آزمون آنووای یک‌طرفه استفاده شد.
یافته‌ها: نتایج مطالعه نشان داد، باکتری‌های هتروتروف قادر به کاهش جیوه به کمتر از ۵ میکروگرم بر لیتر می‌باشند و ۱۹ باکتری هتروتروف جداسازی شده از فاضلاب نسبت به غلظت‌های ۵ و ۱۰ میلی‌گرم کلرید جیوه مقاومت نشان داده و بالاترین میزان کاهش جیوه (۹۲/۲۴٪) مربوط به باکتری سودوموناس مارجینالیس و کمترین میزان کاهش (۶۲/۴۷٪) مربوط به سودوموناس سیمیا بود.
نتیجه‌گیری: باکتری‌های هتروتروف فاضلاب می‌توانند برای سم‌زدایی جیوه از لامپ‌های فلورسنت خارج از رده به‌عنوان یک روش کارآمد، کم‌هزینه و سازگار با محیط زیست استفاده شود.

کلید واژه‌ها: باکتری‌های هتروتروف فاضلاب، جذب زیستی، جیوه، لامپ‌های فلورسنت

◀ **استناد:** علیدادی ح، محمدحسینی ف، گوهری س، بنیادی ض. تأثیر باکتری‌های هتروتروف فاضلاب‌های شهری مشهد در حذف جیوه از لامپ‌های فلورسنت. *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*. پاییز ۱۳۹۹؛۶ (۳): ۲۲۱-۲۲۸.

مقدمه

جیوه یکی از آلاینده‌های‌زیست‌محیطی است که به دو صورت عنصری[1] و دوظرفیتی[2] در محیط منتشر می‌شود. این فلز کاربرد گسترده‌ای در دندان‌پزشکی (۱)، صنعت طلا، داروسازی، کشاورزی، صنایع کاغذ، نقاشی (۲) و تجهیزات الکترونیکی دارد. برخی از تجهیزات الکترونیکی مانند تلویزیون، کامپیوتر و لامپ‌های فلورسنت نیز حاوی جیوه هستند (۳). جیوه ماده اولیه ضروری در تولید لامپ‌های فلورسنت بوده که به‌عنوان منبع تبدیل نور ماوراءبنفش به نور مرئی است (۴). مطالعات نشان داده‌اند که هر لامپ فلوروسنت به‌طور طبیعی حاوی ۳۰-۴۰ میلی گرم جیوه و به‌طور میانگین ۷/۲ میلی گرم جیوه است (۵). شکستن لامپ‌های فلورسنت، منجر به انتشار جیوه به محیط اطراف می گردد. بنابراین موجودات زنده در معرض بخار جیوه قرار گرفته و این امر می‌تواند منجر به ایجاد علائم مسمومیت گردد. میزان سمیت آن، به شکل و راه ورود آن به بدن بستگی دارد (۶). جیوه می‌تواند در بدن موجودات تجمع یافته و باعث آسیب عصبی، فلج، نابینایی و آسیب‌های کروموزومی شود (۷).

در مطالعه لیانگ و همکاران در چین بر مناطق کشاورزی مجاور کارخانه تولید لامپ‌فلوروسنت، غلظت جیوه‌کل[3] و متیل مرکوری[4] در برنج محلی مورد مطالعه قرار گرفت و مقادیر فوق به‌طور معنی‌داری بالاتر از نمونه‌های برنج تجاری بود و در موی کارگران این کارخانه نیز میزان غلظت جیوه کل به‌طور قابل توجهی از ساکنین محلی بالاتر بود (۸).

روش‌های مختلف فیزیکوشیمیایی (جذب و ترسیب)، شیمیایی، حرارتی، فیلتراسیون و تبادل یون برای حذف ترکیبات جیوه از محیط زیست وجود دارد. امروزه روش‌های بیولوژیک به‌دلیل سادگی کاربرد، کم‌هزینه بودن و سازگاری با محیط زیست مورد توجه محققان قرار گرفته‌اند (۹، ۱۰). اگرچه جیوه برای تمام موجودات و میکروارگانیسم‌ها سمی است، اما برخی از میکروارگانیسم‌ها قادر به افزایش مقاومت در برابر این فلز می‌باشند (۱۱). چندین مطالعه برای درک نقش میکروارگانیسم‌ها در جداسازی جیوه از محیط آبی انجام شده است (۱۲-۱۷). در مطالعه القوتی و همکاران بر توانایی مقاومت باکتری‌ها در جذب زیستی جیوه‌ناشی از لامپ‌های فلورسنت خارج از رده تأکید شد و مشخص گردید برخی از گونه‌های باکتریایی مانند آسینتوباکتر، باسیلوس‌ها می‌توانند جیوه را به مقدار زیادی جذب کنند (۵).

مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر باکتری‌های هتروتروف موجود در فاضلاب شهری در حذف جیوه لامپ‌های فلورسنت خارج از رده انجام شد.

روش کار

تمام مواد شیمیایی مورد استفاده در این تحقیق از شرکت مرک آلمان و محیط کشت‌های بیولوژیک مورد استفاده نیز از شرکت ایبرسکو ایران تهیه شدند. در این مطالعه از لامپ‌های مستعمل برندهای مختلف موجود در بازار ایران استفاده شد. اجزای مختلف لامپ فلوروسنت با استفاده از دستگاه خردایش لامپ (اصفهان، ایران) استخراج گردید. بر اساس این استخراج، حداکثر میزان پودر فسفر در بین لامپ‌های مورد مطالعه مشخص شد. سپس ۱۰ میلی‌لیتر از اسید کلریدریک (۳۷٪ حجمی) و اسید نیتریک (۶۵٪ حجمی) در یک بالن ژوژه ۱۰۰ میلی‌لیتری ریخته، سپس ۰/۲۵ گرم از پودر فسفر به آن اضافه شد. سپس با آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانیده شد.

و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه‌سانتی گراد روی شیکر با سرعت ۱۳۰ دور در دقیقه قرار گرفت، سپس با کاغذ صافی واتمن ۴۲ محلول فوق صاف و در دمای ۴- درجه‌سانتی گراد نگهداری شد. برای آنالیز جیوه موجود در نمونه‌ها از دستگاه جذب اتمی بخار سرد (آرورا، مدل VG411، ایتالیا) با طول موج ۲۵۳/۷ نانومتر استفاده شد (CVAAS[5]).

1. Hg^0
2. Hg^{2+}
3. THG
4. MeHg
5. Cold Vapor Atomic Absorption

نمونه فاضلاب مورد نیاز از تصفیه‌خانه فاضلاب شهری (پرکندآباد۲- مشهد- ایران) تهیه شد. نمونه در رقت‌های ۱، ۰/۱، ۰/۰۱، ۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۰۱ بر روی محیط کشت بلاد آگار به‌صورت خطی کشت و در انکوباتور با دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت قرار گرفت. از پلیت‌هایی که کلنی‌ها به‌صورت مجزا رشد کرده بودند (۱، ۰/۰۱) تعدادی کلنی‌برداشته و به‌طور مجزا به محیط کشت R2A تلقیح و سپس انکوبه شد تا تعداد بیشتری کلنی خالص رشد کنند. برای ذخیره‌سازی باکتری‌های خالص از محلول استوک باکتری استفاده شد. در این مرحله ۲۸ کلنی باکتری خالص انتخاب و با انجام تست تکمیلی گرم، باکتری‌های هتروتروف گرم منفی مشخص شدند.

جهت تشخیص قدرت تحمل باکتری‌های هتروتروف نسبت به کلرید جیوه از محیط کشت لوریل تریپتوز براث استریل شده با غلظت‌های ۰، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر کلرید جیوه استفاده شد. ۲۸ کلونی خالص شده مرحله قبل، بر روی محیط کشت‌های حاوی LB agar و کلرید جیوه به‌صورت خطی کشت داده شد و در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت انکوبه شد. در نهایت، با هدف ارزیابی رشد باکتری‌ها در حضور و عدم حضور کلرید جیوه، پلیت‌های کنترل با پلیت‌های حاوی کلرید جیوه مقایسه شد. برای تعیین جنس و گونه باکتری‌های هتروتروف کاهش‌دهنده‌جیوه از روش واکنش زنجیره ای پلیمراز (PCR) [1] استفاده شد. جهت تعیین توالی باکتری‌های هتروتروف موجود در فاضلاب که کاهش‌دهنده جیوه هستند، از تکنیک PCR و پرایمرهای یونیورسال استفاده شد. توالی پرایمرهای مربوطه با استفاده از مقالات مشابه انتخاب شدند (۱۸). ابتدا یک عدد قرص بافر فسفات سالین (PBS) [2] را در ۲۰۰ میلی‌لیتر آب حل نموده و در اتوکلاو ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۱۵ دقیقه گذاشته تا استریل شود. سپس مقدار ۲۰۰ میکرولیتر از محلول PBS را برداشته و به میکروتیوپ ۱/۵ اضافه شد. در مرحله بعد ۴-۶ کلنی از کلنی‌های رشد یافته روی محیط آگار برداشته و به محلول مورد نظر اضافه شد. سپس درب میکروتیوپ‌ها را بسته و در سانتریفیوژ با دور ۳۰۰۰، به‌مدت ۱۰ دقیقه و دمای ۱۸ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. بعد از اتمام این مدت، از مایع رویی برداشته و باقی‌مانده به‌مدت ۵ دقیقه جوشانده شد. سپس نمونه در سانتریفیوژ با دور ۱۰۰۰۰ به‌مدت ۵ دقیقه با دمای ۱۸ درجه سانتی‌گراد گذاشته شد و در آخر از هر نمونه ۲۰ لاندا برداشته شد و در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا زمانی‌که پرایمرها به نمونه‌ها افزوده گردد. سپس هر کدام از نمونه‌های مورد نظر با روش PCR مورد ازیابی قرار گرفت.

کلونی‌هایی که در مقابل کلرید جیوه مقاومت نشان دادند، در مواجهه با جیوه استخراج شده از پودر فسفر لامپ‌های فلوروسنت قرار گرفتند. در این مرحله ۳ عدد لوله آزمایش، یکی حاوی محیط کشت، دومی حاوی کلرید جیوه با غلظت ۵ میلی‌گرم در لیتر بدون تلقیح باکتری (گروه کنترل ۱) و دیگری حاوی محیط کشت بدون جیوه (گروه کنترل ۲) انتخاب شد. سپس لوله‌ها در انکوباتور شیکردار به‌مدت ۶ روز در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. بعد از این مدت، محیط کشت حاوی ترکیب جیوه و باکتری با فیلتر سر سرنگی ۰/۴۵ میکرون صاف و محلول باقی‌مانده با دستگاه اسپکترومتری جذب اتمی بخار سرد مدل VG411 در طول موج ۲۵۳/۷ نانومتر مورد آنالیز قرار گرفت. درصد حذف جیوه با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد: (C-T/C)*100

C: غلظت جیوه در گروه کنترل ۱ (در شرایط عدم حضور باکتری)، T: غلظت جیوه در حضور باکتری و ۶ روز پس از انکوباسیون.

داده‌های به‌دست آمده به‌صورت میانگین ± انحراف معیار ارائه شدند. برای تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از مقایسه مقدار جیوه موجود در پودر فسفر لامپ‌های خارج از رده در نسبت‌های مختلف از اسید از آزمون آنووای یک‌طرفه استفاده شد.

یافته‌ها

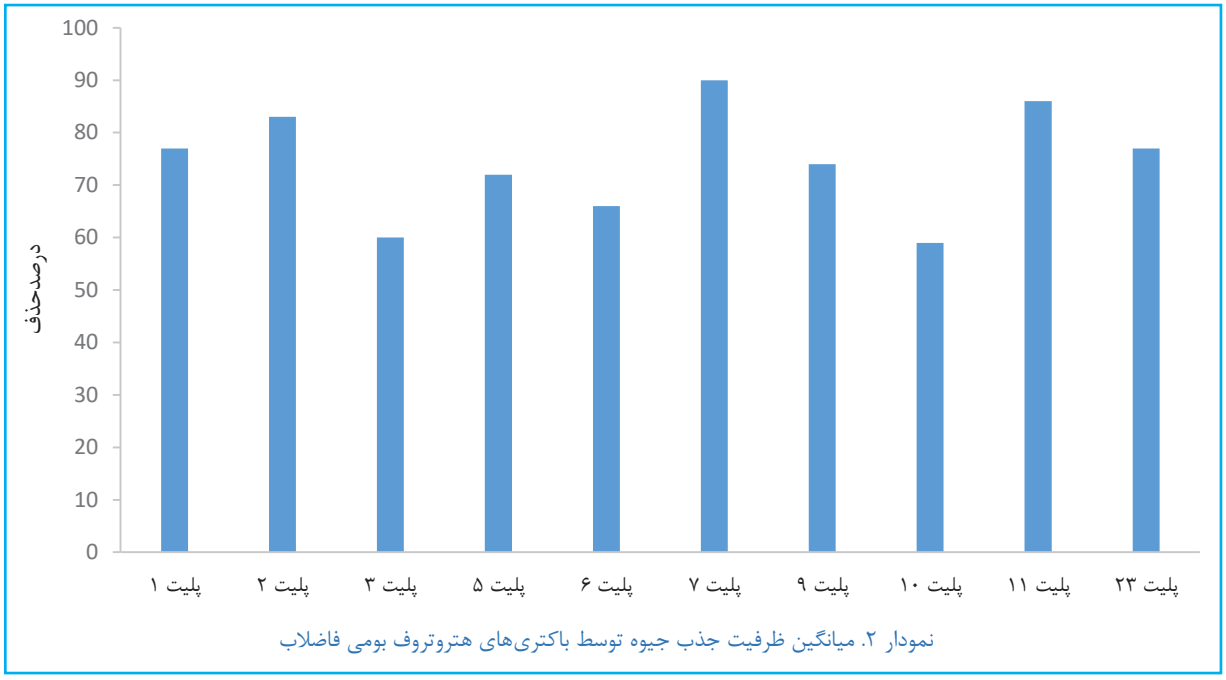
مطالعه حاضر با هدف بررسی اثر باکتری‌های هتروتروف بر حذف جیوه لامپ‌های فلورسنت خارج از رده انجام شد و نتایج

1. Polymerase chain reaction
2. Phosphate-buffered saline

در نمودارهای ۱ و ۲ نشان داده شده است. نمودار ۱، غلظت جیوه موجود در پودر فسفر در نسبت‌های مختلف اسیدشویی را نشان می‌دهد. در این مطالعه استخراج جیوه از پودر فسفر برای نسبت‌های مختلف اسید کلریدریک و اسیدنیتریک انجام شد تا بهترین نسبت برای استخراج به‌دست آید. این نسبت‌ها در نمودار ۱ نشان داده شده است.

نمودار ۲، میانگین ظرفیت جذب جیوه توسط باکتری‌های هتروتروف بومی فاضلاب را نشان می‌دهد.

نمودار ۱. غلظت جیوه موجود در پودر فسفر در نسبت‌های مختلف اسیدشویی



نمودار ۲. میانگین ظرفیت جذب جیوه توسط باکتری‌های هتروتروف بومی فاضلاب

در مطالعه‌حاضر برای شناسایی باکتری‌های گرم منفی مقاوم به کلرید جیوه از رنگ‌آمیزی گرم استفاده شد. جدول ۱، نتایج رنگ‌آمیزی باکتری‌های مقاوم به کلرید جیوه را نشان می‌دهد.

جدول ۱. نتایج رنگ‌آمیزی باکتری‌های مقاوم به کلرید جیوه

شماره پلیت‌های خالص شده باکتری	شکل باکتری	گرم منفی/گرم مثبت
۱	باسیل	گرم منفی
۲	باسیل	گرم منفی
۳	باسیل	گرم منفی
۴	باسیل	گرم منفی
۵	باسیل	گرم منفی
۶	باسیل	گرم منفی
۷	باسیل اسپوردار	گرم منفی
۸	باسیل اسپوردار	گرم مثبت
۹	باسیل	گرم منفی
۱۰	باسیل	گرم منفی
۱۱	کوکو باسیل	گرم منفی
۱۳	باسیل	گرم مثبت
۱۴	باسیل	گرم منفی
۱۵	باسیل	گرم منفی
۱۷	باسیل	گرم منفی
۲۰	باسیل	گرم منفی
۲۲	کوکسی	گرم مثبت
۲۳	باسیل	گرم منفی
۲۷	باسیل رشته‌ای قارچی شکل	گرم مثبت

بحث

بر اساس نمودار ۱، بیشترین مقدار جیوه (۸۶/۰۳ میکروگرم در لیتر) استخراج شده در نسبت $4\ HCL:1HNO_3$ گزارش شد (نمودار ۱)، در حالی‌که در مطالعه ال‌قوتی و همکاران، بیشترین میزان جیوه در نسبت‌های $6HCl:1HNO_3$ گزارش گردید. این اختلاف احتمالاً می‌تواند به‌دلیل تفاوت در نوع لامپ‌های فلوروسنت مورد مطالعه باشد (۵). همچنین مقایسه‌این مطالعه با سایر مطالعات نشان داد فاکتورهایی مانند سال تولید، ساعات کارکرد لامپ و شرکت تولیدکننده‌لامپ نیز از عوامل تأثیرگذار است (۱۹-۲۲). همچنین در سایر مطالعات مشابه مشخص شد که استخراج جیوه از اسید کلریدریک بیشتر از اسید نیتریک است، اما با مخلوط اسید کلریدریک و اسید نیتریک، جیوه‌بیشتری استخراج می‌گردد (۲۴,۲۳).

همچنین در مطالعه حاضر، از ۲۸ باکتری جدا شده‌که در معرض کلرید جیوه در غلظت‌های ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر قرار گرفتند، ۱۹ باکتری نسبت به کلرید جیوه مقاومت نشان دادند. این ۱۹ باکتری که عمدتاً شامل سودوموناس مارجینالیس و سودوموناس سیمیا بودند، توانستند جیوه موجود در لامپ‌های فلوروسنت را کاهش دهند (۲۳, ۲۴). بیشترین میزان کاهش جیوه مربوط به باکتری سودوموناس مارجینالیس (۹۲/۲۴٪) و کمترین میزان کاهش جیوه مربوط به باکتری سودوموناس سیمیا (۶۲/۴۷٪) به‌دست آمد.

بر اساس نتایج نمودار ۲، بیشترین درصد کاهش جیوه توسط باکتری سودوموناس مارجینالیس، پلیت شماره ۷ (P7) (۹۲/۲۴٪) و کمترین میزان کاهش مربوط به باکتری سودوموناس سیمیا، پلیت شماره ۱۰ (P10) (۶۲/۴۷٪) بود (نمودار ۲) که این نتایج با نتایج مطالعه‌کفیل زاده مطابقت داشت؛ به‌طوری‌که در مطالعه فوق، باکتری‌های سودوموناس و سراتیا مستخرج از رودخانه کر بیشترین مقاومت را نسبت به جیوه (۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر جیوه) و آنتی‌بیوتیک نشان دادند (۲۵)، در حالی‌که در مطالعه وانگ و همکاران نشان داده شد که باکتری‌های کاهش‌دهنده سولفور اثرات قوی‌تری بر حذف جیوه (۹۹٪/۴) دارند (۱۳).

بر اساس نتایج جدول ۱، از میان ۱۹ باکتری مقاوم به کلرید جیوه، ۱۵ باکتری گرم منفی بودند (جدول ۱). باکتری‌های گرم منفی دارای غشای خارجی بوده و نسبت به باکتری‌های گرم مثبت کمتر تحت تأثیر جیوه قرار می‌گیرند، بنابراین احتمال این‌که آن‌ها راحت‌تر از محیط جدا شوند، وجود دارد (۲۶). مطابق نتایج مطالعه حاضر، مطالعه سوراجیت داس و همکاران نشان داد که باکتری باسیلوس ترینجنسیس PW-05 می‌تواند در غلظت‌های بالا (۵۰ ppm)

نسبت به جیوه مقاومت نشان دهد. در باکتری‌ها، ژن‌هایی رمزگشایی شده برای جیوه (مراپورن) بر روی پلاسمید و ترنسپوزون‌ها قرار دارند. اختلاف بین باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی در مقاومت به جیوه با هیبریداسیون DNA آشکار می‌شود (۲۷). در مطالعه حاضر، حضور ژن mer A در باکتری‌های هتروتروف، علاوه بر تأیید مراپورن به‌طور غیرمستقیم، حضور ژن‌های عملکردی در اپرون را نیز تأیید می‌کند. این باکتری‌ها بیش از ۹۰٪ جیوه‌معدنی را به بخار تبدیل کرده، بنابراین نقش عملکردی ژن mer A که در غیاب سایر پروتئین‌های تنظیم کننده (merT و merP، mer R) عمل می‌کنند را نشان می‌دهد. بنابراین، این باکتری جزء طیف محدود باکتری‌های مقاوم به جیوه محسوب می‌شود. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که باکتری‌ها می‌توانند جیوه را در pH برابر ۷-۸ و دمای ۲۵-۴۰ درجه سانتی‌گراد به بخار (فرم عنصری) تبدیل کنند. باکتری‌های هتروتروفیک دارای مراپرون قرار گرفته بر روی پلاسمید بوده که همانند دیگر باکتری‌های مقاوم به جیوه عمل می‌کند. بنابراین حضور عامل مقاوم نسبت به جیوه در پلاسمید، باعث کارایی بیشتری در تبدیل زیستی است. پلاسمید در ژنوتیپ مقاوم می‌تواند به آسانی از یک نسل به نسل دیگری منتقل شود و ژنوتیپ مقاوم گسترش یابد، در حالی‌که بسیاری از باکتری‌ها مراپرون‌شان بر روی DNA و ترنسپوزون‌ها هستند. باکتری‌های مقاوم به جیوه مرتبط با مراپرون جایگاه‌های بسیاری همچون پلاسمید، ژنومیک DNA، ترنسپوزون و اینتگرین دارند. گونه‌های بسیاری از اشریشیاکلی، باسیلوس و سودوموناس مراپرونشان روی پلاسمید است (۲۸).

داس و همکاران نشان دادند که باکتری باسیلوس سرئوس مستخرج از خلیج بنگال در شرایط آزمایشگاهی قادر است ۹۹٪ جیوه را حذف کند و همزمان بیش از ۵۳٪ از آن را هم به بخار تبدیل کند. کپسول‌سازی ترانسفورماتور حذف جیوه را تقریباً تا ۱۰۰٪ افزایش می‌دهد. به‌علاوه، باسیلوس سرئوس در طیف وسیعی از شرایط محیطی همچون شوری (۵-۱۰ ppm) و جیوه (۵-۵۰ ppm) و pH و در محیط آلوده به جیوه بیش از ۷ روز می‌تواند زنده بماند. باکتری‌های نرمال قادرند ۶/۴٪ از جیوه را حذف کنند، در حالی‌که در اثر سینرژیستی با باکتری باسیلوس سرئوس در شرایط طبیعی می‌تواند ۹۶/۴٪ جیوه‌غیرآلی را بعد از ۷۲ ساعت حذف کند (۲۹).

نتیجه‌گیری

باکتری‌های فاضلاب برای سمیت‌زدایی جیوه موجود در لامپ‌های فلوروسنت به‌عنوان یک روش کارآمد، کم‌هزینه و دوستدار محیط زیست قابل استفاده می‌باشند و مطالعات بیشتر در این زمینه می‌تواند در حذف این آلاینده از محیط زیست مؤثر باشد. بنابراین، بکارگیری باکتری‌های هتروتروف فاضلاب می‌تواند به‌منظور کاهش و یا حذف جیوه دوظرفیتی موجود در پودر فسفر لامپ‌های فلورسنت به‌کار رود.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان تمام نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

همچنین هرگونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می‌کنند.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل پایان‌نامه کارشناسی ارشد به‌عنوان طرح تحقیقاتی مصوب به شماره ۹۵۱۳۳۹ می‌باشد. بدین‌وسیله از تمامی اساتید و دوستانی که ما را در نگارش این پژوهش یاری نمودند، تشکر و قدردانی می‌شود.

References

1. Subhavana K, Qureshi A, Roy A. Mercury levels in human hair in South India: baseline, artisanal goldsmiths and coal-fired power plants. Journal of exposure science & environmental epidemiology. 2019:1.
2. Lecler M-T, Zimmermann F, Silvente E, Masson A, Morèle Y, Remy A, et al. Improving the work environment in the fluorescent lamp recycling sector by optimizing mercury elimination. Waste Management. 2018;76:250-60.
3. Hobohm J, Krüger O, Basu S, Kuchta K, van Wasen S, Adam C. Recycling oriented comparison of mercury distribution in new and spent fluorescent lamps and their potential risk. Chemosphere. 2017;169:618-26.

4. Kadam A, Nair GB, Dhoble S. Insights into the extraction of mercury from fluorescent lamps: A Review. Journal of Environmental Chemical Engineering. 2019.
5. Al-Ghouti MA, Abuqaoud RH, Abu-Dieyeh MH. Detoxification of mercury pollutant leached from spent fluorescent lamps using bacterial strains. Waste management. 2016;49:238-44.
6. Phanprasit W, Muadchim M, Park J, Robson MG, Sujirarat D, Kwonpongsagoon S, et al. Mercury health risk assessment among petrochemical workers in Rayong Province, Thailand. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal. 2019;25(6):1448-62.
7. Abass K, Huusko A, Knutsen H, Nieminen P, Myllynen P, Meltzer H, et al. Quantitative estimation of mercury intake by toxicokinetic modelling based on total mercury levels in humans. Environment international. 2018;114:1-11.
8. Liang P, Feng X, Zhang C, Zhang J, Cao Y, You Q, et al. Human exposure to mercury in a compact fluorescent lamp manufacturing area: By food (rice and fish) consumption and occupational exposure. Environmental pollution. 2015;198:126-32.
9. Park J-H, Wang JJ, Xiao R, Pensky SM, Kongchum M, DeLaune RD, et al. Mercury adsorption in the Mississippi River deltaic plain freshwater marsh soil of Louisiana Gulf coastal wetlands. Chemosphere. 2018;195:455-62.
10. Liu L, Bilal M, Duan X, Iqbal HM. Mitigation of environmental pollution by genetically engineered bacteria—Current challenges and future perspectives. Science of The Total Environment. 2019.
11. Bonsignore M, Andolfi N, Barra M, Madeddu A, Tisano F, Ingallinella V, et al. Assessment of mercury exposure in human populations: A status report from Augusta Bay (southern Italy). Environmental research. 2016;150:592-9.
12. Ozgur C, Coskun S, Akcil A, Beyhan M, Üncü IS, Civelekoglu G. Combined oxidative leaching and electrowinning process for mercury recovery from spent fluorescent lamps. Waste management. 2016;57:215-9.
13. Wang J, Hong Y, Lin Z, Zhu C, Da J, Chen G, et al. A novel biological sulfur reduction process for mercury-contaminated wastewater treatment. Water research. 2019;160:288-95.
14. Imron MF, Kurniawan SB, Soegianto A. Characterization of mercury-reducing potential bacteria isolated from Keputih non-active sanitary landfill leachate, Surabaya, Indonesia under different saline conditions. Journal of environmental management. 2019;241:113-22.
15. Huang Z, Wei Z, Xiao X, Tang M, Li B, Zhang X. Simultaneous mercury oxidation and NO reduction in a membrane biofilm reactor. Science of The Total Environment. 2019;658:1465-74.
16. Giovanella P, Cabral L, Bento FM, Gianello C, Camargo FAO. Mercury (II) removal by resistant bacterial isolates and mercuric (II) reductase activity in a new strain of Pseudomonas sp. B50A. New biotechnology. 2016;33(1):216-23.
17. Su Y-Q, Zhao Y-J, Zhang W-J, Chen G-C, Qin H, Qiao D-R, et al. Removal of mercury (II), lead (II) and cadmium (II) from aqueous solutions using Rhodobacter sphaeroides SC01. Chemosphere. 2019:125166.
18. Nabavi BF, Nikaeen M, Amin MM, Hatamzadeh M. Isolation and identification of aerobic polychlorinated biphenyls degrading bacteria. International Journal of Environmental Health Engineering. 2013;2(1):47.
19. Jang M, Hong SM, Park JK. Characterization and recovery of mercury from spent fluorescent lamps. Waste management. 2005;25(1):5-14.
20. Rhee S-W, Choi H-H, Park H-S. Characteristics of mercury emission from linear type of spent fluorescent lamp. Waste management. 2014;34(6):1066-71.
21. Rey-Raap N, Gallardo A. Determination of mercury distribution inside spent compact fluorescent lamps by atomic absorption spectrometry. Waste Management. 2012;32(5):944-8.
22. Park H-S, Rhee S-W. Estimation of retorted phosphor powder from spent fluorescent lamps by thermal process. Waste management. 2016;50:257-63.
23. Hobohm J, Kuchta K, Krüger O, van Wasen S, Adam C. Optimized elemental analysis of fluorescence lamp shredder waste. Talanta. 2016;147:615-20.
24. Innocenzi V, Ippolito NM, De Michelis I, Medici F, Vegliò F. A hydrometallurgical process for the recovery of terbium from fluorescent lamps: experimental design, optimization of acid leaching process and process analysis. Journal of environmental management. 2016;184:552-9.
25. Kafilzadeh Farshid MN, Kargar Mehdi. Isolation and identification of mercury-resistant bacteria from water and sediments of the Kerr River. Journal of the World of Microbes.1(1):43-9 [In Persian].
26. Aram M, Sharifi A, Kafeelzadeh F, Naghmachi M, Yasari E. Isolating mercury-resistant bacteria from Lake Maharloo. International Journal of Biology. 2012;4(3):63.
27. Kargar M, Jahromi MZ, Najafian M, Khajeaian P, Nahavandi R, Jahromi SR, et al. Identification and molecular analysis of mercury resistant bacteria in Kor River, Iran. African Journal of Biotechnology. 2012;11(25):6710-7.
28. Dash HR, Mangwani N, Das S. Characterization and potential application in mercury bioremediation of highly mercury-resistant marine bacterium Bacillus thuringiensis PW-05. Environmental Science and Pollution Research. 2014;21(4):2642-53.
29. Dash HR, Das S. Bioremediation of inorganic mercury through volatilization and biosorption by transgenic Bacillus cereus BW-03 (pPW-05). International Biodeterioration & Biodegradation. 2015;103:179-85.