

Evaluation of Endotoxin Concentration and Reducing its Level during Treatment Process in a Drinking Water Treatment Plant in Tehran

Mohamadreza Massoudinejad¹,
Mohammad Rafiee²,
Mohammad Ali Esmaeili³,
Mohsen Mohseni⁴,
Asma Aliyari⁵

¹ Professor, Department of Environmental Health Engineering, Safety Promotion and Injury Prevention Research Center, School of Public Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

² Assistant Professor, Environmental and Occupational Hazards Control Research Center, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

³ Assistant Professor, Department of Biology, Medicinal Plants and Drugs Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

⁴ PhD Student in Environmental Health Engineering School of Public Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

⁵ MSc Student in Environmental Health Engineering, School of Public Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

(Received May 17, 2015 Accepted October 2, 2016)

Abstract

Background and purpose: Access to safe drinking water is of the utmost importance in public health around the world. Presence of contaminants, such as secondary bacterial growth and endotoxins could reduce the quality of water resources. This study aimed at investigating the occurrence, seasonal variation, and removal of endotoxins in a conventional water treatment plant (WTP) in Tehran, Iran.

Materials and methods: A total of 36 samples was collected on a monthly basis from raw water and treated water in each unit of Tehran-pars drinking WTP during summer and fall (2015). Endotoxin concentrations were assessed using the Endpoint Chromogenic Limulus Amebocyte Lysate (LAL) detection method. Furthermore, turbidity, heterotrophic plate count (HPC) and pH measurements were done to assist in the analysis of data.

Results: The mean values for the total endotoxin activities in summer and fall in the raw water were 44-54.5 and 17.62-54.5 Eu/ml, respectively. The results demonstrated a 34% decrease in endotoxin activity following the full-scale treatment process at the WTP. The highest concentration of endotoxin was detected in summer. Coagulation, clarification and sand filtration resulted in the highest endotoxin removal (38.16 %), while chlorination contributed to the concentration of total endotoxins by 5.6-6.7%.

Conclusion: Water treatment processes aiming at the removal of particulate matter in the WTP revealed the most effective removal rates of total endotoxins. However, endotoxin contamination exists in the drinking water treated.

Keywords: endotoxin, water treatment plant, LAL test, cyanobacteria, gram negative bacteria

J Mazandaran Univ Med Sci 2016; 26 (144): 127-135 (Persian).

بررسی میزان اندوتوکسین و کاهش سطح آن طی روش های تصفیه در یک تصفیه خانه آب آشامیدنی در شهر تهران

محمدرضا مسعودی نژاد^۱

محمد رفیعی^۲

محمدعلی اسماعیلی^۳

محسن محسنی^۴

اسماء علی یاری^۵

چکیده

سابقه و هدف: دسترسی به آب آشامیدنی سالم یکی از جدی ترین بحران های بهداشت عمومی در سراسر جهان به شمار می رود. حضور انواع آلودگی ها از جمله آلودگی های میکروبی ثانویه و اندوتوکسین ها می تواند افت کیفیت منابع آبی را در پی داشته باشد. هدف از این مطالعه ارزیابی میزان بروز و تغییرات فصلی اندوتوکسین ها در یک تصفیه خانه متداول آب آشامیدنی در شهر تهران است.

مواد و روش ها: مجموعاً تعداد ۳۶ نمونه بصورت ماهانه از آب خام و آب تصفیه شده هر واحد تصفیه خانه آب تهران پارس در طی تابستان و پاییز ۱۳۹۴ جمع آوری گردید. غلظت اندوتوکسین با استفاده از روش نقطه پایانی کرموزنیک آزمون لیمولوس آمبوسیت لایست (LAL) Endpoint Chromogenic Limulus Amebocyte Lysate تعیین شد. هم چنین سنجش کدورت، شمارش باکتری های هتروترف (HPC)، کلرباقیمانده و pH برای کمک به آنالیز نتایج انجام گردید.

یافته ها: متوسط فعالیت اندوتوکسین کل در ورودی تصفیه خانه در فصل تابستان ۵۴/۵-۴۴ و در پاییز ۵۴/۵-۵۴/۵ بود. راندمان کاهش غلظت اندوتوکسین در طی فرآیند تصفیه آب در تصفیه خانه ۳۴ درصد به دست آمد. بیش ترین غلظت اندوتوکسین در فصل تابستان بود. بیشترین کاهش اندوتوکسین در طی فرآیندهای انعقاد، زلال سازی و فیلتراسیون شنی (۳۸/۱۶ درصد) رخ داد، در حالی که فرآیند کلر زنی باعث افزایش ۵/۶ تا ۶/۷ درصدی در غلظت اندوتوکسین کل گردید.

استنتاج: فرآیندهای تصفیه آب مرتبط با حذف مواد ذره ای در تصفیه خانه آب، حذف موثرتر اندوتوکسین کل را نشان دادند. با این حال، آلودگی اندوتوکسین در آب آشامیدنی تصفیه شده همچنان وجود دارد.

واژه های کلیدی: اندوتوکسین، تصفیه خانه آب، آزمون LAL، سیانو باکترها و باکتری های گرم منفی

مقدمه

یک میلیارد نفر، و یا به عبارت دیگر یک نفر از هر پنج نفر بر روی زمین، ناسالم بوده و به طور بالقوه منجر به بیماری و مرگ می شود (۲). کنترل آلودگی آب در دو

دسترسی به آب آشامیدنی سالم به یکی از جدی ترین بحران های بهداشت عمومی در جهان تبدیل شده است (۱). طبق گزارشات منتشر شده WHO، آب مصرفی بیش از

E-mail: asmaaliyari@yahoo.com

مؤلف مسئول: علی یاری - تهران: دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، دانشکده بهداشت

۱. استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات ارتقای ایمنی و پیشگیری از مصادومیت های، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

۲. استادیار، مرکز تحقیقات کنترل عوامل زیان آور محیط و کار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

۳. استادیار، گروه بیولوژی، پژوهشکده گیاهان و مواد اولیه دارویی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۴. دانشجوی دکتری مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

۵. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۲/۲۸ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: ۱۳۹۵/۲/۲۴ تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۷/۱۱

دهه گذشته بیش تر بر روی عوامل شیمیایی متمرکز بوده، و هر چند اقدامات مهمی در این رابطه انجام شده، خطرات مرتبط با آلاینده‌های میکروبی هنوز به قوت خود باقی مانده، شیوع یافته و تشدید می‌شوند. به دلیل آلودگی آب با میکروارگانیسم‌ها، برای یک پنجم از جمعیت جهان، این آب برای شرب ناسالم بوده و بنابراین حفظ کیفیت و سلامت آب آشامیدنی نسبت به قبل اهمیت بیش تری پیدا کرده است. طی این سال‌ها تحقیقات و مباحث مرتبط با آب عمدتاً بر روی کمیت آن متمرکز بوده‌اند، اما انتظار می‌رود تاسیسات آب آشامیدنی در آینده با چالش‌های متعدد کیفیت مواجه گردند. بر این اساس، حذف عوامل بیماری‌زا در آب خام از نگرانی‌های بزرگ بوده است. با این حال، هنوز در مورد اجزای مضر میکروارگانیسم‌ها مانند اندوتوکسین اطلاعات زیادی وجود ندارد (۱-۳). در علم باکتری شناسی واژه اندوتوکسین به ترکیب پیچیده لیپوپولی ساکاریدی که بخشی از دیواره سلولی خارجی بسیاری از باکتری‌های گرم منفی و برخی سیانوباکترها را تشکیل می‌دهد اختصاص دارد (۴) و در پزشکی نیز گاهی برای اشاره به هر گونه سم نشأت گرفته از درون سلول استفاده می‌شود (۵-۷). اندوتوکسین جدا شده از جدار خارجی باکتری‌های گرم منفی از نظر شیمیایی حاوی سه قسمت اصلی لیپید A، هسته پلی ساکارید و آنتی ژن O است (۹۸). زمانی که دیواره سلولی باکتری‌های گرم منفی در طی تکثیر، مرگ یا لیز شدن صدمه می‌بیند این اندوتوکسین در مقادیر زیاد آزاد می‌شود. اندوتوکسین‌ها در برابر حرارت نسبتاً پایدار بوده (۱۲۱) درجه سانتی‌گراد به مدت ۱ ساعت) و توسط استریلیزاسیون مرطوب (اتوکلاو) از بین نمی‌روند (۱۰-۱۲). یکی از مشهورترین اثرات اندوتوکسین تب زائی است، لیکن زمانی که از دوز کافی برخوردار باشد سبب اسهال، استفراغ، کاهش فشارخون سیستولیک، فعال شدن سیستم‌های انعقاد خون، تغییر متابولیسم قندها و چربی‌ها، ایجاد التهاب، خونریزی، شوک سپتیک و نهایتاً مرگ می‌شود (۱۳-۱۵). از اواخر دهه ۱۹۸۰ غلظت اندوتوکسین

(ویا دقیق تر فعالیت اندوتوکسین) در واحد اندوتوکسین (Eu) به جای واحد وزن (عموماً ng/ml) به کار می‌رود که نشان دهنده این واقعیت است که قدرت اندوتوکسین به جنس باکتری، گونه، زیرگونه و در موارد خاص دسته‌ای که اندوتوکسین از آن جدا شده است، بستگی دارد (۸). در حال حاضر به علت کمبود اطلاعات در مورد پیدایش اندوتوکسین، اثرات احتمالی و حذف آن در طی فرایندهای تصفیه ی آب، مقادیر رهنمودی نیز برای آن تنظیم و اعلام نشده است (۱۴، ۱۶). ورود مواد مغذی یکی از مهم‌ترین دلایل افت کیفیت در منابع آب است. این مواد باعث رشد میکروارگانیسم‌ها و عوامل فتوسنتز کننده مثل سیانوباکترها می‌شوند، که خود از عوامل مهم تولید و ورود مواد سمی از جمله اندوتوکسین در منابع آب هستند. هم چنین برخی از میکروارگانیسم‌ها می‌توانند در طی فرایندهای تصفیه آب زنده مانده و اندوتوکسین آزاد کنند. حضور اندوتوکسین در محیط‌های آبی ممکن است خطر جدی برای ایمنی آب شرب و بهداشت عمومی ایجاد نماید. اغلب باکتری‌های تشکیل دهنده بیوفیلم در منابع آبی و شبکه‌های آبرسانی به گروه باکتری‌های گرم منفی تعلق دارند که دیواره سلولی آن‌ها حاوی اندوتوکسین است. مطالعات محدودی در مورد فعالیت اندوتوکسین موجود در آب‌های سطحی، زیرزمینی، آب لوله‌کشی و خروجی تصفیه‌خانه‌های آب شرب منتشر شده است. نتایج این مطالعات نشان می‌دهند غلظت اندوتوکسین در آب‌های خام از < 1 تا ng/ml ۱۰۴۹ متغیر است و در آب‌های زیرزمینی در محدوده $30 - 200$ Euml قرار دارند که بیش تر در محدوده $30 - 1$ Euml قرار دارند (۱۴۸، ۱۵۰). مطالعه‌ای جهت بررسی تخریب اکسیداتیو اندوتوکسین توسط فرآیند اکسیداسیون پیشرفته (UV/H_2O_2 , O_3/H_2O_2) در سال ۲۰۱۴ در کره جنوبی انجام شد. نویسندگان گزارش کردند فرآیند اکسیداسیون پیشرفته به دلیل ایجاد رادیکال هیدروکسیل، یک روش موثر و معتدل برای تخریب اندوتوکسین در سیستم‌های آبی است (۵). رضایی و

همکاران گزارش کردند فرایند ازن زنی کاتالیتیکی غیرهمگن در حضور خاکستر استخوان باعث حذف ۸۰ درصدی اندوتوکسین گردید (۱۷). نتایج تحقیق اندرسون و همکاران نشان داد کاربرد UV تا 500 mJ/cm^2 باعث غیرفعالسازی کامل و موثر اندوتوکسین در آب آشامیدنی می‌گردد. اگرچه امکان‌سنجی اقتصادی چنین دوزهای بالایی برای یک تصفیه‌خانه، باید در نظر گرفته شود (۱۸).

حضور و غلظت اندوتوکسین را می‌توان با استفاده از سلول‌های خونی خرچنگ نعل اسبی (آزمون LAL) تعیین کرد. تصفیه‌خانه‌های سوم و چهارم (تهران‌پارس) در شمال شرقی تهران واقع شده‌اند. تصفیه‌خانه شماره ۳ در سال ۱۳۴۶ و تصفیه‌خانه شماره ۴ در سال ۱۳۶۳ هجری شمسی هر کدام با ظرفیت طراحی ۴ مترمکعب در ثانیه به بهره‌برداری رسیده‌اند. آب خام ورودی این تصفیه‌خانه‌ها از سد لیتان و از طریق تونل تلو به طول حدود ۱۰ کیلومتر و قطر ۲/۷ متر تامین شده و پس از انجام فرآیندهای مختلف تصفیه متداول (فیزیکی - شیمیایی)، آب مناطق شرقی و بخش‌هایی از شمال، مرکز و جنوب شهر تهران را تامین می‌کنند. شناسایی و توسعه راه کارهای مناسب جهت حذف آلاینده‌ها از منابع آب‌های سطحی، زیرزمینی و آب لوله‌کشی شده به منظور تامین آب آشامیدنی سالم و حفظ بهداشت عمومی امری اجتناب ناپذیر است.

از این رو، ارزیابی غلظت اندوتوکسین سیانوباکترها و باکتری‌های گرم منفی در طی فرآیندهای متداول تصفیه آب آشامیدنی در دو فصل تابستان و پاییز در تصفیه‌خانه آب تهران پارس و آب خروجی از آن در این پژوهش مورد توجه قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری از آب به صورت لحظه‌ای در دو فصل تابستان و پاییز از آب خام ورودی به تصفیه‌خانه، آب خروجی از واحدهای پیش کلرزنی، زلالساز، فیلتراسیون شنی، کلرزنی نهایی و یک نقطه از شبکه توزیع (نزدیک به تصفیه‌خانه) انجام گردید. هم‌چنین سنجش pH،

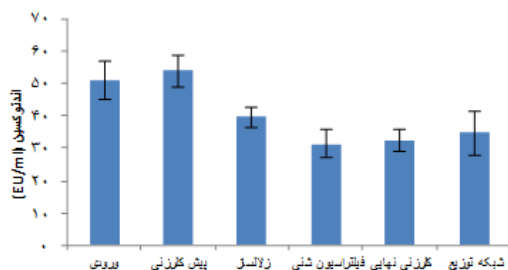
HPC و کدورت جهت بررسی رابطه احتمالی آن‌ها با اندوتوکسین، مدنظر قرار گرفت. آزمون نقطه پایانی کرموزنیک لیمولوس آمبوسیت لایست (LAL)، یک تست کمی برای اندازه‌گیری اندوتوکسین است.

در این مطالعه کیت اندازه‌گیری اندوتوکسین Endpoint Chromogenic LAL QCL-1000™ از شرکت Lonza خریداری و مراحل انجام آزمایشات مربوطه مطابق با دستورالعمل ارائه شده در کیت تهیه شده و با استفاده از دستگاه میکروپلیت XS2 شرکت BioTek انجام شد. وجود اندوتوکسین در نمونه سبب ایجاد رنگ زرد می‌شود. جذب نمونه توسط اسپکتروفتومتر در ۴۱۰-۴۰۵ نانومتر تعیین و غلظت اندوتوکسین از منحنی استاندارد محاسبه گردید. بطری‌های شیشه‌ای نمونه‌برداری حداقل به مدت ۱ ساعت در دمای 250°C در آون قرار گرفته و عاری از اندوتوکسین گردیدند (۱۹،۵). شمارش بشقابی باکتری‌های هتروتروف (HPC) نیز بر اساس دستورالعمل ذکر شده در کتاب روش‌های استاندارد برای آزمایش‌های آب و فاضلاب (نسخه ۲۰) و در شرایط انکوباسیون 35°C به مدت ۴۸ ساعت انجام گرفت. از دستگاه کدورت سنج شرکت HACH مدل 2100AN برای سنجش کدورت نمونه‌ها و از دستگاه pH متر CORNING مدل ۱۲۰ برای سنجش pH استفاده گردید (۲۰). برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۳ استفاده شد. آزمون شاپیرو ویلک برای سنجش نرمالیتی داده‌ها و آزمون تی زوجی برای تعیین اثر واحدهای مختلف بر غلظت اندوتوکسین در ورودی و خروجی هر واحد تصفیه‌خانه استفاده گردید. جهت تعیین ارتباط بین غلظت اندوتوکسین با شمارش باکتری‌های هتروتروفیک در ورودی و خروجی هر واحد تصفیه‌خانه، از ضریب همبستگی پیرسون ($p < 0/05$) استفاده گردید.

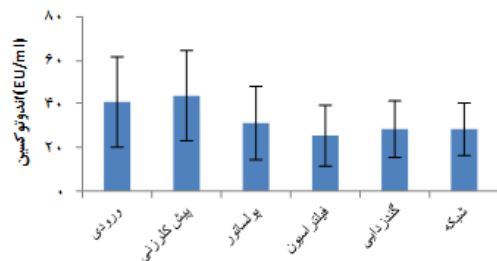
یافته‌ها

جداول شماره ۱ و ۲ به ترتیب خصوصیات فرآیندی

تصفیه خانه، مجموعاً کاهش ۳۴/۰۱ درصدی در غلظت اندوتوکسین را نشان می‌دهند. تغییرات غلظت اندوتوکسین کل در طی فرآیندهای تصفیه در دو فصل تابستان و پاییز در نمودارهای ۱ و ۲ نشان داده شده است.



نمودار شماره ۱: میانگین غلظت اندوتوکسین کل در خروجی واحدهای مختلف تصفیه و شبکه توزیع (نزدیک تصفیه خانه) در فصل تابستان



نمودار شماره ۲: میانگین غلظت اندوتوکسین کل در خروجی واحدهای مختلف تصفیه و شبکه توزیع (نزدیک تصفیه خانه) در فصل پاییز

همان‌گونه که در این نمودارها نشان داده شده است، غلظت اندوتوکسین بعد از واحدهای انعقاد، زلال‌سازی و فیلتراسیون شنی کاهش یافته و در طی فرآیند کلر زنی و هم‌چنین در شبکه توزیع غلظت اندوتوکسین افزایش می‌یابد. هم‌چنین غلظت‌های اندازه‌گیری شده اندوتوکسین در فصل تابستان بیش‌تر از مقادیر اندازه‌گیری شده در فصل پاییز است. روند تغییرات غلظت اندوتوکسین با HPC، کدورت و pH به ترتیب در نمودارهای ۲، ۳ و ۴ نشان داده شده است.

روند تغییرات غلظت کلر باقی‌مانده، کدورت و pH در خروجی واحدهای مختلف تصفیه و شبکه توزیع (نزدیک تصفیه خانه) در فصول تابستان و پاییز در نمودارهای ۳ و ۴ و هم‌چنین تغییرات HPC در فصول تابستان و پاییز در نمودار ۵ نشان داده شده است.

تصفیه‌خانه آب تهران پارس و ویژگی‌های آب خام ورودی به تصفیه‌خانه را نشان می‌دهند.

جدول شماره ۱: خصوصیات فرآیندی تصفیه‌خانه‌های آب تهرانپارس

تصفیه‌خانه		
شماره ۳	شماره ۴	
سد لتیان	سد لتیان	محل برداشت آب
۱۳۴۶	۱۳۶۳	سال بهره‌برداری
۴	۴	ظرفیت اسمی (m ³ /s)
۴/۵	۴/۵	حداکثر ظرفیت بهره‌برداری (m ³ /s)
ندارد	دارد	توری آشغالگیر
گاز کلر	گاز کلر	پیش‌کلر زنی
ندارد	دارد	استخر ته‌نشینی مقدماتی
پولساتور	پولساتور	نوع دستگاه زلال‌ساز
ماسه‌ای تندتقلی (آکوازور T)	ماسه‌ای تندتقلی (آکوازور V)	صاف‌سازی
کلرور فریک	کلرور فریک	ماده منعقدکننده
شیر آهک	شیر آهک	ماده تنظیم‌کننده pH
گاز کلر	گاز کلر	ماده گندزدا

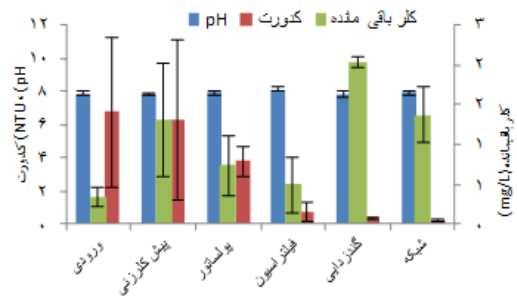
جدول شماره ۲: ویژگی‌های آب خام ورودی به تصفیه‌خانه آب تهرانپارس در فصول تابستان و پاییز

واحد	میانگین تابستان	میانگین پاییز
EU/ml	۵۰٫۷۵±۵٫۸۳	۴۱٫۱۹±۲۰٫۴۷
CFU/ml	۹۳۴۳٫۳۳±۱۶۱۵۷٫۲	۱۴۳۳۳±۴۰۴
NTU	۶٫۷۵±۴٫۵۲	۱۱٫۴۱±۲٫۸۴
-	۷٫۸۵±۰٫۱۲۵	۷٫۶۵±۰٫۲۴
mg/L	۰٫۳۳±۰٫۱۱	۰±۰

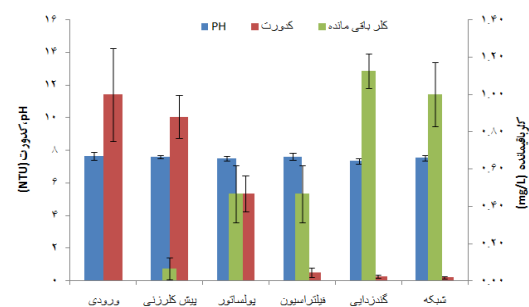
بر اساس نتایج به دست آمده، کدورت در آب ورودی تصفیه‌خانه از ۳/۳ تا ۱۴/۴ NTU متغیر بوده و با کاهش آن در آب خروجی تصفیه‌خانه به ۰/۱۷ NTU، راندمان کاهش ۹۶/۹ درصدی کدورت مشاهده گردید. هم‌چنین pH بین ۷/۵ تا ۷/۹ متغیر بود. تغییرات HPC در ماه‌های نمونه‌برداری بسیار متغیر بوده و غلظت‌های صفر تا ۲۸۰۰ CFU/ml در آب ورودی مشاهده گردید. این غلظت در خروجی تصفیه‌خانه نیز از صفر تا ۴۰۰ CFU/ml متغیر بود. غلظت اندوتوکسین در ورودی تصفیه‌خانه ۵۴/۵-۱۷/۶۲ Eu/ml و در آب تصفیه‌شده خروجی تصفیه‌خانه ۳۸/۹-۱۳/۹ Eu/ml بود. هم‌چنین غلظت اندوتوکسین در نقطه‌ای از شبکه توزیع (نزدیک تصفیه‌خانه) ۴۲/۱۸-۱۴/۲ به دست آمد. بر این اساس، فرآیندهای تصفیه آب به کار گرفته شده در این

بحث

نتایج به دست آمده از این مطالعه حاکی از آن است که غلظت اندوتوکسین در ورودی تصفیه خانه تصفیه خانه ۵۴/۵-۱۷/۶۲ و در آب تصفیه شده خروجی تصفیه خانه ۳۸/۹-۱۳/۹ Euml بود. مجموعاً غلظت اندوتوکسین پس از عبور از فرآیندهای تصفیه کاهش ۳۴ درصد داشت. کن و همکاران فعالیت اندوتوکسین کل در آب خام تصفیه خانه را ۱۶-۱۱ و در آب نهایی تصفیه خانه در دامنه ۱۰-۴ گزارش نمودند که کاهش ۴۹ درصد در اثر فرآیند کامل تصفیه در تصفیه خانه آب را دارا می باشد (۱۴). غلظت اندوتوکسین در آب های تصفیه نشده جزیره موترا در سال ۲۰۰۸ از ۳۲ Euml تا ۱۱۸۸ Euml متغیر بود (۲۱). هم چنین رافالا و همکاران دامنه غلظت اندوتوکسین در آب خام را ۳۵۶-۱۸ گزارش کردند و فرآیندهای تصفیه ۷۹-۵۹ درصد فعالیت اندوتوکسین را کاهش دادند. رنج غلظت اندوتوکسین در آب تصفیه شده ۱۵-۳ Euml بود (۲۲). تفاوت غلظت مشاهده شده اندوتوکسین در آب خام مورد مطالعه در این پژوهش در مقایسه با دیگر مطالعات می تواند به عوامل مختلفی از جمله نوع منبع تامین کننده آب و خصوصیات آن، شرایط آب و هوایی منطقه، مسیر انتقال آب از منبع تا تصفیه خانه و شرایط انتقال آب، فصول مختلف نمونه برداری و... وابسته باشد. هم چنین تفاوت در میزان کاهش غلظت اندوتوکسین در تصفیه خانه های مختلف علاوه بر نوع فرآیندهای تصفیه، می تواند به کیفیت و شرایط راهبری بهینه واحدهای تصفیه خانه، میزان بارگذاری سطحی و هم چنین غلظت اولیه و ماهیت اندوتوکسین و... بستگی داشته باشد. در این مطالعه بیشترین کاهش در غلظت اندوتوکسین در طی مراحل اولیه تصفیه تا فیلتراسیون شنی (۱۶/۳۸ درصد) مشاهده شد. رافالا و همکاران نیز بیشترین کاهش فعالیت اندوتوکسین در طی مراحل اولیه تصفیه آب، در طی انعقاد، ته نشینی، و فیلتراسیون شنی گزارش کردند که با نتایج حاصل از این مطالعه

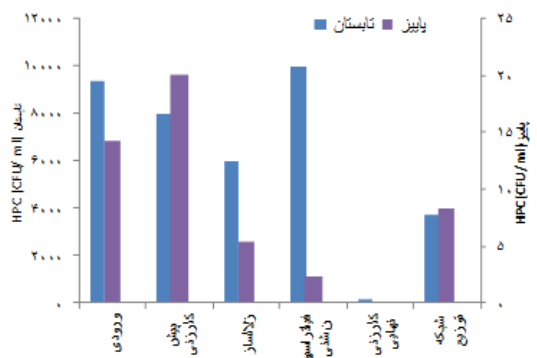


نمودار شماره ۳: روند تغییرات غلظت کلر باقیمانده، کدورت و pH خروجی واحدهای مختلف تصفیه و شبکه توزیع (نزدیک تصفیه خانه) در فصل تابستان



نمودار شماره ۴: روند تغییرات غلظت کلر باقیمانده، کدورت و pH خروجی واحدهای مختلف تصفیه و شبکه توزیع (نزدیک تصفیه خانه) در فصل پاییز

همان طور که در نمودار شماره ۵ نیز قابل مشاهده است، تغییرات HPC در نوبت های مختلف نمونه برداری تغییرات بسیار زیادی داشته است که این تغییرات عموماً در فصل تابستان مشاهده می شود. هم چنین میانگین HPC نیز در فصل تابستان بسیار بیشتر از پاییز می باشد.



نمودار شماره ۵: میانگین HPC در واحدهای مختلف تصفیه و شبکه توزیع (نزدیک تصفیه خانه) در فصول تابستان و پاییز

مطابقت دارد (۲۲). هم چنین طبق گزارش کن و همکاران فرآیندهای متداول تصفیه آب (انعقاد، رسوب دهی و فیلتراسیون) مقادیر قابل توجهی از اندوتوکسین کل (بالای ۶۳ درصد) را حذف می کند (۱۴). اما گزارش گهر^۱ و همکاران حذف جزئی اندوتوکسین طی فرآیند فیلتراسیون شنی را نشان می دهد (۲۱). این تفاوت می تواند در ارتباط با ماهیت (محلول یا معلق بودن) اندوتوکسین در منابع آب مختلف باشد. اندوتوکسین در هر دو شکل آزاد و باندی (متصل به ذرات و دیواره سلولی باکتری) در سیستم های آبی وجود دارد و در هر دو شکل می تواند فعالیت بیولوژیکی داشته باشد. با توجه به این که اندوتوکسین یک ترکیب آبگریز است، بنابراین تمایل به تشکیل لخته در محیط دارد (۱۴، ۱۵). هم چنین در واحدهای اولیه تصفیه تا فیلتراسیون شنی راندمان ۹۳ درصدی حذف کدورت به دست آمده است، می توان نتیجه گرفت در طی فرآیندهایی از تصفیه آب که منجر به کاهش مواد ذره ای در فرآیند تصفیه می شوند، اندوتوکسین به طور موثرتری حذف می گردد. هم چنین نتایج این مطالعه نشان داد که پیش کلرزنی باعث افزایش ۵/۶ و کلرزنی باعث افزایش ۶/۷ درصدی اندوتوکسین کل می شود. آزمون تی زوجی رابطه معنی دار را برای این تغییرات فقط در واحد پیش کلرزنی ($p=0/028$) نشان داد و تغییر در کلرزنی نهایی معنی دار نشد ($p>0/05$). کلرزنی سبب مرگ باکتری ها می شود و در نتیجه صدمه ایجاد شده به دیواره سلولی، اندوتوکسین آزاد و سطح آن افزایش می یابد. گهر و همکاران نیز گزارش کردند کلرزنی در غلظت های که بطور معمول در تاسیسات تصفیه آب استفاده می شوند، کم ترین اثر را روی سطح اندوتوکسین دارد (۲۵-۱۱ درصد) (۲۱). در حالی که هوانگ^۲ و همکاران گزارش کردند کلرزنی تحت شرایط به کار رفته در مطالعه آنها، نمی تواند فعالیت اندوتوکسین را در خروجی ثانویه، به طور موثری کاهش دهد. افزایش زمان تماس و افزایش دوز کلر نیز

نمی تواند فعالیت اندوتوکسین را در خروجی پساب کاهش دهد. این محققان نتیجه گرفتند که کلرزنی ممکن است فعالیت اندوتوکسین را در فاضلاب و در آب هایی با تعداد زیادی باکتری های گرم منفی، افزایش دهد (۳). کن و همکاران نیز نتیجه گرفتند فعالیت اندوتوکسین بعد از کلرزنی افزایش می یابد (۱۴). رضایی و همکاران در مطالعه خود بر روی بررسی اثر گندزدایی آب با کلر بر رها سازی و حذف اندوتوکسین گزارش نمودند که کلر به عنوان یک گندزدای متداول، باعث گندزدایی عوامل باکتریایی گرم منفی و رها سازی اندوتوکسین می گردد ولی کلر آزاد موجود در مدت زمان متداول گندزدایی (۳۰-۱۵ دقیقه) تاثیری بر حذف اندوتوکسین ندارد (۱۶). مجموعاً می توان چنین نتیجه گرفت که فرآیند کلرزنی که با هدف بهبود کیفیت میکروبی آب آشامیدنی به کار میرود، علاوه بر این که نمی تواند اندوتوکسین را به طور موثری حذف کند، حتی ممکن است باعث افزایش غلظت اندوتوکسین نیز گردد.

به طور کلی در این مطالعه تفاوت غلظت اندوتوکسین در دو فصل تابستان و پاییز از لحاظ آماری معنی دار نبود براساس آزمون تی زوجی تغییرات غلظت اندوتوکسین در واحدهای پیش کلرزنی ($p=0/028$)، زلاساژ ($p=0/028$) و فیلتراسیون شنی ($p=0/028$) معنی دار بوده است. اما این تغییرات در سایر واحدها معنی دار نبود ($p>0/05$). علاوه بر این داده های به دست آمده در این مطالعه ارتباطی معنی دار بین غلظت اندوتوکسین کل و کدورت ($r=0/498$) مشاهده شد اما ارتباط اندوتوکسین با سایر پارامترهای اندازه گیری شده مشاهده نشد. این در حالی است که رافالا و همکاران ارتباطی هر چند ضعیف اما معنی دار، بین غلظت اندوتوکسین در نمونه آب و شمارش باکتری های هتروتروف ($r=0/48$) گزارش کردند (۲۲). علت این تفاوت می تواند منابع آب مختلف، تفاوت در جمعیت میکروبی غالب در نمونه آب، تاثیر روش های مختلف تصفیه، وجود یا عدم وجود پیش کلرزنی در تصفیه خانه و ... باشد.

1. Gehr
2. Huang

می‌گردد. با توجه به این یافته‌ها، می‌توان نتیجه گرفت که در تصفیه خانه‌های متداول آب با حذف موثرتر و کاراتر ذرات درشت می‌توان به میزان بالاتری از حذف اندوتوکسین دست یافت. با این وجود، فرآیندهای غیر فعال‌سازی میکروبی موثر همانند فرآیندهای گندزدایی و کلرزنی متداول در تصفیه‌خانه‌ها نه تنها قادر به حذف موثر اندوتوکسین نیستند بلکه حتی ممکن است باعث افزایش آن نیز بشوند.

در پایان می‌توان نتیجه‌گیری کرد که این مطالعه برای تعیین میزان آلودگی آب خام با اندوتوکسین و تاثیر فرآیندهای تصفیه آب بر حذف آن انجام گرفت. غلظت‌های اندوتوکسین در آب خام و خروجی تصفیه خانه به ترتیب $17/62-54/5$ Eu/ml و $13/9-38/9$ Eu/ml بود و فرآیندهای تصفیه باعث کاهش ۳۴ درصد اندوتوکسین شدند. به نظر می‌رسد در طی فرآیندهایی از تصفیه آب که منجر به کاهش جامدات معلق و کلوئیدی در فرآیند تصفیه می‌شوند، اندوتوکسین به‌طور موثرتری حذف

References

- Zhang K, Farahbakhsh K. Removal of native coliphages and coliform bacteria from municipal wastewater by various wastewater treatment processes: implications to water reuse. *Water Res* 2007; 41(12): 2816-2824.
- Costán-Longares A¹, Montemayor M, Payán A, Méndez J, Jofre J, Mujeriego R, et al. Microbial indicators and pathogens: removal, relationships and predictive capabilities in water reclamation facilities. *Water Res* 2008; 42(17): 4439-4448.
- Huang H, Wu QY, Yang Y, Hu HY. Effect of chlorination on endotoxin activities in secondary sewage effluent and typical Gram-negative bacteria. *Water Res* 2011; 45(16): 4751-4757.
- Barcón T, Alvariano T, Gomez M, Omil F. Strategies to minimize the release of endotoxins in effluents from sewage treatment plants. *Environmental Progress & Sustainable Energy* 2014. 34(2): 432-436.
- Oh BT, Seo YS, Sudhakar D, Choe JH, Lee SM, Park YJ, et al. Oxidative degradation of endotoxin by advanced oxidation process (O₃/H₂O₂ & UV/H₂O₂). *J Hazard Mater* 2014; 279: 105-110.
- De Man H, Heederik DD, Leenen EJ, de Roda Husman AM, Spithoven JJ, van_Knapen F. Human exposure to endotoxins and fecal indicators originating from water features. *Water Res* 2014; 51: 198-205.
- Annadotter H, Gronberg G, Nystrand R, Rylander R. Endotoxins from cyanobacteria and gram-negative bacteria as the cause of an acute influenza-like reaction after inhalation of aerosols. *EcoHealth* 2005; 2(3): 209-221.
- Anderson WB, Slawson RM, Mayfield CI. A review of drinking-water-associated endotoxin, including potential routes of human exposure. *Can J Microbiol* 2002; 48(7): 567-587.
- Blechova R, Pivodova D. Limulus amoebocyte lysate (LAL) test-An alternative method for detection of bacterial endotoxins. *Acta Vet Brno* 2001; 70(3): 291-296.
- Sushruta M, Anubha K. An overview of limulus amoebocyte lysate (LAL) test. *International Research Journal of Pharmacy (IRJP)* 2011; 2(4): 67-71.
- Anderson WB, Mayfield CI, Dixon DG, Huck PM. Endotoxin inactivation by selected drinking water treatment oxidants. *Water Res* 2003; 37(19): 4553-4560.
- Anderson WB, Mayfield CI, Huck PM. Endotoxin release from biologically active bench-scale drinking water anthracite/sand filters. *J Water Supply Res T* 2008; 57(8): 585-597.

13. Ghasemian-Safaii H, Yazdani F, Navab Akbar R, Vazirzadeh GH. Measurement of endotoxin levels in blood of hemodialysis Patients by Lal'test and comparison of its efficacy with blood culture. *J Shahid Sadoughi Univ Med Sci* 2006; 13(5): 9-14.
14. Can Z, Wenjun L, Wen S, Minglu Z, Lingjia Q, Cuiping L, et al. Endotoxin contamination and control in surface water sources and a drinking water treatment plant in Beijing, China. *Water Res* 2013; 47(11): 3591-3599.
15. Guizani M, Yusuke N, Dhahbi M, Funamizu N. Characterization of endotoxic indicative organic matter (2-keto-3-deoxyoctulosonic acid) in raw and biologically treated domestic wastewater. *Water Res* 2011; 45(1): 155-162.
16. Rezaei A, ghanizadeh Gh, Yazdanbakhsh A R, Behzadian nejad Gh, Khavanin A, Khavanin A, et al. Effect of water disinfection with chlorine on release and removal of endotoxin. *J Mil Med* 2008; 9(4): 249-256.
17. REZAEI A, Ghani zadeh G, Yazdanbakhsh AR, Behzadian nejad G. Endotoxin removal from water using heterogenous catalytic ozonation by bone char. *Quarterly Water and Wastewater* 2011; 22(3): 26-31.
18. Anderson WB, Huck PM, Dixon DG, Mayfield CI. Endotoxin inactivation in water by using medium-pressure UV lamps. *Appl Environ Microbiol* 2003; 69(5): 3002-3004.
19. World Health Organization(WHO). TEST FOR BACTERIAL ENDOTOXINS [Internet]. World Health Organization. 2012.
20. American Public Health Association (APH). Standard methods for the examination of water and wastewater. (APHA), 1999.
21. Gehr R, Parent Urib S, Da Silva Baptista IF, Mazer B. Concentrations of endotoxins in waters around the island of Montreal, and treatment options. *Water Qual Res J Can* 2008; 43(4): 291-303.
22. Rapala J, Lahti K, Räsänen LA, Esala AL, Niemelä SI, Sivonen K. Endotoxins associated with cyanobacteria and their removal during drinking water treatment. *Water Res* 2002; 36(10): 2627-2635.