ORIGINAL ARTICLE

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

Mohamadreza Massoudinejad[1],
Mohammad Rafiee[2],
Mohammad Ali Esmaeili[3],
Mohsen Mohseni[4],
Asma Aliyari[5]

[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 uint 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).

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-03]

پژوهشی

مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران
دوره بیست و ششم شماره ۱۴۴ دی سال ۱۳۹۵ (۱۳۵-۱۲۷)

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 جدی‌ترین بحران‌های بهداشت عمومی در سراسر جهان به شمار می‌رود. حضور انواع آلودگی‌ها از جمله آلودگی‌های میکروبی ثانویه و اندوتوکسین‌ها می‌تواند افت کیفیت منابع آبی را در پی داشته باشد. هدف از این مطالعه ارزیابی میزان بروز و تغییرات فصلی اندوتوکسین‌ها در یک تصفیه‌خانه متداول آب آشامیدنی در شهر تهران است.

مواد و روش‌ها: مجموعا 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 جمع‌آوری گردید. غلظت اندوتوکسین با استفاده از روش نقطه پایانی کرموژنیک آزمون لیمولوس آمبوسیت لایست Endpoint Chromogenic Limulus Amebocyte Lysate (LAL) تعیین شد. هم‌چنین سنجش کدورت، شمارش باکتری‌های هتروترف(HPC)، کلرباقیمانده و pH برای کمک به آنالیز نتایج انجام گردید.

یافته‌ها: متوسط فعالیت اندوتوکسین کل در ورودی تصفیه‌خانه در فصل تابستان ۵۴/۵-۴۴ و در پاییز Eu/ml ۵۴/۵-۱۷/۶۲بود. راندمان کاهش غلظت اندوتوکسین در طی فرآیند تصفیه آب در تصفیه‌خانه ۳۴ درصد به دست آمد. بیش‌ترین غلظلت اندوتوکسین در فصل تابستان بود. بیشترین کاهش اندوتوکسین در طی فرآیندهای انعقاد، زلال‌سازی و فیلتراسیون شنی (۳۸/۱۶ درصد) رخ داد، در حالی‌که فرآیند کلرزنی باعث افزایش ۵/۶ تا ۶/۷ درصدی در غلظت اندوتوکسین کل گردید.

استنتاج: فرآیندهای تصفیه آب مرتبط با حذف مواد ذره‌ای در تصفیه‌خانه 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، تصفیه‌خانه آب، آزمون LAL، سیانو باکترها و باکتری‌های گرم منفی

مقدمه

دسترسی به آب آشامیدنی سالم به یکی از جدی‌ترین بحران‌های بهداشت عمومی در جهان تبدیل شده است(۱). طبق گزارشات منتشر شده WHO، آب مصرفی بیش از 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 می‌شود(۲). کنترل آلودگی آب در دو

مولف مسئول: علی یاری- تهران: دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، دانشکده بهداشت E-mail: asmaaliyari@yahoo.com
۱. استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات ارتقای ایمنی و پیشگیری از مصدومیت 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 : ۱۳۹۵/۳/۲۴ تاریخ تصویب : ۱۳۹۵/۷/۱۱

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-03]

دهه گذشته بیش‌تر 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 بیش‌تری 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(۳-۱). در علم باکتری شناسی واژه اندوتوکسین به ترکیب پیچیده لیپوپلی 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 نشات گرفته از درون سلول استفاده می‌شود(۷-۵). اندوتوکسین جدا شده از جدار خارجی باکتری‌های گرم منفی از نظر شیمیایی حاوی سه قسمت اصلی لیپید A، هسته پلی‌ساکارید و آنتی ژن O است(۹،۸). 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 نسبتا پایدار بوده (۱۲۱ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱ ساعت) و توسط استریلیزاسیون مرطوب (اتوکلاو) از بین نمی‌روند(۱۲-۱۰). یکی از مشهورترین اثرات اندوتوکسین تب زائی است، لیکن زمانی‌که 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(۱۵-۱۳). از اواخر دهه ۱۹۸۰ غلظت اندوتوکسین (ویا دقیق تر فعالیت اندوتوکسین) در واحد اندوتوکسین (Eu) به جای واحد وزن (عموماً ng/ml) به‌کار 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(۱۶،۱۴). 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. هم‌چنین برخی از میکروارگانیسم‌ها می‌توانند در طی فرآیندهای 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 ۱> تا ngml ۱۰۴۹ متغییر است و در آب‌های زیرزمینی در محدوده ۱-۲۰۰ Euml قرار دارندکه بیش‌تر در محدوده ۳۰- ۱ Euml قرار دارند(۱۵،۱۴۸). مطالعه‌ای جهت بررسی تخریب اکسیداتیو اندوتوکسین توسط فرآیند اکسیداسیون پیشرفته (O_3/H_2O_2 ,UV/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

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-03]

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 mj/cm^2 ۵۰۰ باعث غیرفعالسازی کامل و موثر اندوتوکسین در آب آشامیدنی می‌گردد. اگرچه امکان‌سنجی اقتصادی چنین دوزهای بالایی برای یک تصفیه خانه، باید در نظر گرفته شود(۱۸).

حضور و غلظت اندوتوکسین را می‌توان با استفاده از سلول‌های خونی خرچنگ نعل اسبی (آزمونLAL) تعیین کرد. تصفیه خانه‌های سوم و چهارم (تهران‌پارس) در شمال شرقی تهران واقع شده‌اند. تصفیه خانه 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 لتیان و از طریق تونل تلو به طول حدود ۱۰ کیلومتر و قطر ۲/۷ مترتامین 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 راه‌کارهای مناسب جهت حذف آلاینده‌ها از منابع آب‌های سطحی، زیرزمینی و آب لوله‌کشی شده به‌منظور تامین آب آشامیدنی سالم و حفظ بهداشت عمومی امری اجتناب ناپذیر است.

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

مواد و روش ها

نمونه‌برداری از آب به‌صورت لحظه‌ای در دو فصل تابستان و پاییز از آب خام ورودی به تصفیه خانه، آب خروجی از واحدهای پیش‌کلرزنی، زلالساز، فیلتراسیون شنی، کلرزنی نهایی و یک نقطه از شبکه توزیع (نزدیک به تصفیه خانه) انجام گردید. هم‌چنین سنجش pH، HPC و کدورت جهت بررسی رابطه احتمالی آن‌ها با اندوتوکسین، مدنظر قرار گرفت. آزمون نقطه پایانی کرموژنیک 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 ارایه 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 ۲۵۰ $^{\circ}C$ در آون قرار گرفته و عاری از اندوتوکسین گردیدند(۱۹،۵). شمارش بشقابی باکتری‌های هتروتروف (HPC) نیز براساس دستورالعمل ذکر شده در کتاب روش‌های استاندارد برای آزمایش‌های آب و فاضلاب (نسخه ۲۰) و در شرایط انکوباسیون ۳۵$^{\circ}C$ 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 هتروترفیک در ورودی و خروجی هر واحد تصفیه‌خانه، از ضریب همبستگی پیرسون ($p <$ ۰/۰۵) استفاده گردید.

یافته ها

جداول شماره ۱ و ۲ به ترتیب خصوصیات فرآیندی

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-03]

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

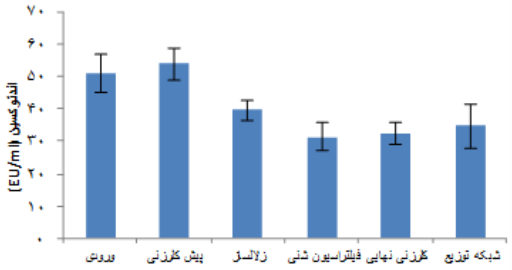
جدول شماره ۱: خصوصیات فرآیندی تصفیه خانه های آب تهرانپارس

	تصفیه خانه	
	شماره ۳	شماره۴
محل برداشت آب	سد لتیان	سد لتیان
سال بهره برداری	۱۳۴۶	۱۳۶۳
ظرفیت اسمی (m^3/s)	۴	۴
حداکثر ظرفیت بهره برداری (m^3/s)	۴/۵	۴/۵
توری آشغالگیر	ندارد	دارد
پیش کلرزنی	گاز کلر	گاز کلر
استخر ته نشینی مقدماتی	ندارد	دارد
نوع دستگاه زلال ساز	پولساتور	پولساتور
صاف سازی	ماسه ای تند ثقلی (آکوازورT)	ماسه ای تند ثقلی (آکوازورV)
ماده منعقد کننده	کلرور فریک	کلرور فریک
ماده تنظیم کننده pH	شیر آهک	شیر آهک
ماده گندزدا	گاز کلر	گاز کلر

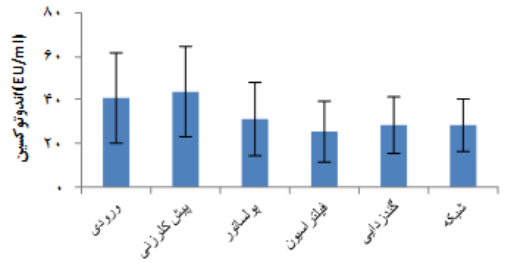
جدول شماره ۲: ویژگی های آب خام ورودی به تصفیه خانه آب تهرانپارس در فصول تابستان و پاییز

	واحد	میانگین تابستان	میانگین پاییز
اندوتوکسین کل	EU/ml	۵۰/۷۵±۵/۸۳	۴۱/۱۹±۲۰/۴۷
HPC	CFU/ml	۹۳۴۳/۳۳±۱۶۱۵۷/۲	۱۴/۳۳±۴/۰۴
کدورت	NTU	۶/۷۵±۴/۵۲	۱۱/۴۱±۲/۸۴
pH	–	۷/۸۵±۰/۱۲۵	۷/۶۵±۰/۲۴
کلر باقیمانده	mg/L	۰/۳۳±۰/۱۱	۰±۰

براساس نتایج به دست آمده، کدورت در آب ورودی تصفیه خانه از ۳/۳ تا ۱۴/۴NTU 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 نمونه برداری بسیار متغیر بوده و غلظت‌های صفر تا ۲۸۰۰۰CFU/ml در آب ورودی مشاهده گردید. این غلظت در خروجی تصفیه‌خانه نیز از صفر تا ۴۰۰CFU/ml متغیر بود. غلظت اندوتوکسین در ورودی تصفیه خانه ۱۷/۶۲-۵۴/۵ Eu/ml و در آب تصفیه شده خروجی تصفیه خانه ۱۳/۹-۳۸/۹ Eu/ml بود. هم‌چنین غلظت اندوتوکسین در نقطه‌ای از شبکه توزیع (نزدیک تصفیه خانه) ۱۴/۲-۴۲/۱۸ Eu/ml به دست آمد. بر این اساس، فرآیندهای تصفیه آب به‌کار گرفته شده در این 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

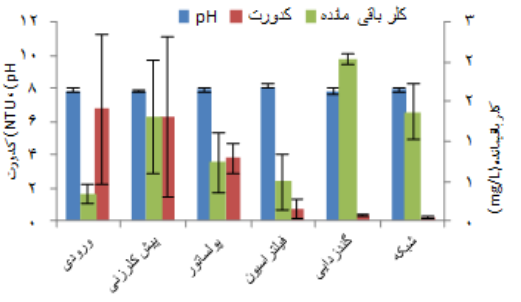


نمودار شماره ۲: میانگین غلظت اندوتوکسین کل در خروجی واحدهای مختلف تصفیه و شبکه توزیع (نزدیک تصفیه خانه) در فصل پاییز

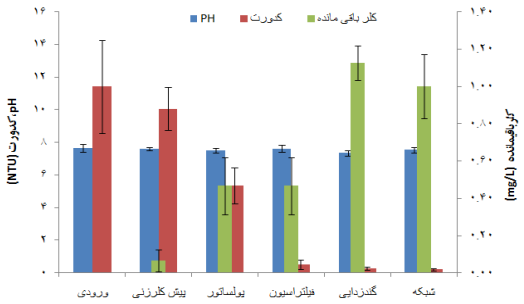
همان‌گونه که در این نمودارها نشان داده شده است، غلظت اندوتوکسین بعد از واحدهای انعقاد، زلالسازی و فیلتراسیون شنی کاهش یافته و در طی فرآیند کلرزنی و هم‌چنین در شبکه توزیع غلظت اندوتوکسین افزایش می‌یابد. هم‌چنین غلظت‌های اندازه‌گیری شده اندوتوکسین در فصل تابستان بیش‌تر از مقادیر اندازه‌گیری شده در فصل 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.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-03]

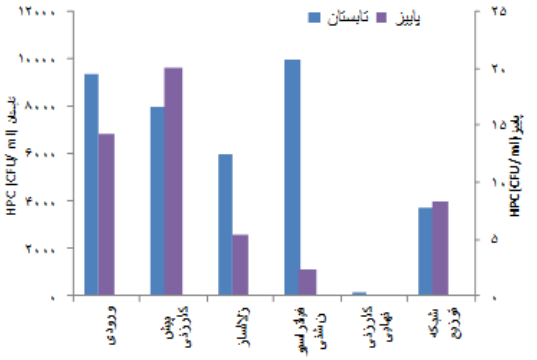


نمودار شماره ۳: روند تغییرات غلظت کلر باقیمانده، کدورت و pH در خروجی واحدهای مختلف تصفیه و شبکه توزیع (نزدیک تصفیه خانه) در فصل تابستان



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

همان‌طور که در نمودار شماره ۵ نیز قابل مشاهده است، تغییرات HPC در نوبت‌های مختلف نمونه برداری تغییرات بسیار زیادی داشته است که این تغییرات عموماً در فصل تابستان مشاهده می‌شود. هم‌چنین میانگین HPC نیز در فصل تابستان بسیار بیشتر از پاییز می‌باشد.



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

بحث

نتایج به دست آمده از این مطالعه حاکی از آن است که غلظت اندوتوکسین در ورودی تصفیه خانه ۵۴/۵-۱۷/۶۲ Eu/ml 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 Eu/ml و در آب نهایی تصفیه‌خانه در دامنه ۱۰-۴ Eu/ml گزارش نمودند که کاهشی ۴۹ درصد در اثر فرآیند کامل تصفیه در تصفیه‌خانه آب را دارا می‌باشد(۱۴). غلظت اندوتوکسین در آب‌های تصفیه نشده جزیره مونترال در سال ۲۰۰۸ از ۳۲ Eu/ml تا ۱۱۸۸ Eu/ml متغیر بود(۲۱). هم‌چنین رافالا و همکاران دامنه غلظت اندوتوکسین در آب خام را ۳۵۶-۱۸ Eu/ml گزارش کردند و فرآیندهای تصفیه ۷۹-۵۹ درصد فعالیت اندوتوکسین را کاهش دادند. رنج غلظت اندوتوکسین درآب تصفیه شده ۱۵-۳ Eu/ml بود(۲۲). تفاوت غلظت مشاهده شده‌اند اندوتوکسین در آب خام مورد مطالعه در این پژوهش در مقایسه با دیگر مطالعات می‌تواند 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 نمونه‌برداری و... وابسته باشد. هم‌چنین تفاوت در میزان کاهش غلظت اندوتوکسین در تصفیه‌خانه‌های مختلف علاوه بر نوع فرآیندهای تصفیه، می‌تواند 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 (۳۸/۱۶ 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 گردند که با نتایج حاصل از این مطالعه

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-03]

مطابقت دارد(۲۲). هم‌چنین 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 می‌کند(۱۴). اما گزارش گهر[1] و همکاران حذف جزئی اندوتوکسین طی فرآیند فیلتراسیون شنی را نشان می‌دهد(۲۱). این تفاوت می‌تواند 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 سیستم‌های آبی وجود دارد و در هر دو شکل می‌تواند فعالیت بیولوژیکی داشته باشد. با توجه به این‌که اندوتوکسین یک ترکیب آبگریز است، بنابراین تمایل به تشکیل لخته در محیط دارد(۱۴،۱۵). هم‌چنین در واحدهای اولیه تصفیه تا فیلتراسیون شنی راندمان ۹۳ درصدی حذف کدورت به دست آمده است، می‌توان نتیجه گرفت در طی فرآیندهایی از تصفیه آب که منجر به کاهش مواد ذره ای در فرآیند تصفیه می شوند، اندوتوکسین به‌طور موثرتری حذف می‌گردد. هم‌چنین نتایج این مطالعه نشان داد که پیش کلرزنی باعث افزایش ۵/۶ وکلرزنی باعث افزایش ۶/۷ درصدی اندوتوکسین کل می‌شود. آزمون تی زوجی رابطه معنی‌دار را برای این تغییرات فقط در واحد پیش کلرزنی (p=۰/۰۲۸) نشان داد و تغییر در کلرزنی نهایی معنی‌دار نشد (p> ۰/۰۵). کلرزنی سبب مرگ باکتری‌ها می‌شود و در نتیجه صدمه ایجاد شده به دیواره سلولی، اندوتوکسین آزاد و سطح آن افزایش می یابد. گهر و همکاران نیزگزارش کردند کلرزنی در غلظت‌های که بطور معمول در تاسیسات تصفیه آب استفاده می‌شوند، کم‌ترین اثر را روی سطح اندوتوکسین دارد (۲۵-۱۱ درصد)(۲۱). در حالی‌که هوانگ[2] و همکاران گزارش کردند کلرزنی تحت شرایط به کار رفته در مطالعه آن‌ها، نمی‌تواند فعالیت اندوتوکسین را در خروجی ثانویه، به‌طور موثری کاهش دهد. افزایش زمان تماس و افزایش دوز کلر نیز نمی‌تواند فعالیت اندوتوکسین را در خروجی پساب کاهش دهد. این محققان نتیجه گرفتند که کلرزنی ممکن است فعالیت اندوتوکسین را در فاضلاب و در آب‌هایی با تعداد زیادی باکتری‌های گرم منفی، افزایش دهد(۳). کن و همکاران نیز نتیجه گرفتند فعالیت اندوتوکسین بعد از کلرزنی افزایش می‌یابد(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 گندزدائی عوامل باکتریایی گرم منفی و رهاسازی اندوتوکسین می‌گردد ولی کلر آزاد موجود در مدت زمان متداول گندزدایی (۳۰-۱۵ دقیقه) تاثیری بر حذف اندوتوکسین ندارد(۱۶). مجموعاً می‌توان چنین نتیجه گرفت که فرآیند کلرزنی که با هدف بهبود کیفیت میکروبی آب آشامیدنی به کار میرود، علاوه بر این‌که نمی‌تواند اندوتوکسین را به‌طور موثری حذف کند، حتی ممکن است باعث افزایش غلظت اندوتوکسین نیز گردد.

به‌طور کلی در این مطالعه تفاوت غلظت اندوتوکسین در دو فصل تابستان و پاییز از لحاظ آماری معنی‌دار نبود براساس آزمون تی زوجی تغییرات غلظت اندوتوکسین در واحدهای پیش‌کلرزنی (p=۰/۰۲۸)، زلالساز (p=۰/۰۲۸) و فیلتراسیون شنی (p=۰/۰۲۸) معنی‌دار بوده است. اما این تغییرات در سایر واحدها معنی‌دار نبود (p> ۰/۰۵). علاوه بر این داده‌های به‌دست آمده در این مطالعه ارتباطی معنی‌دار بین غلظت اندوتوکسین کل و کدورت (r=۰/۴۹۸) مشاهده شد اما ارتباط اندوتوکسین با سایر پارامترهای اندازه‌گیری شده مشاهده نشد. این در حالی است که رافالا و همکاران ارتباطی هرچند ضعیف اما معنی‌دار، بین غلظت اندوتوکسین در نمونه آب و شمارش باکتری‌های هتروتروف (r=۰/۴۸) گزارش کردند(۲۲). علت این تفاوت می‌تواند منابع آب مختلف، تفاوت در جمعیت میکروبی غالب در نمونه آب، تاثیر روش‌های مختلف تصفیه، وجود یا عدم وجود پیش کلرزنی در تصفیه خانه و ... باشد.

1. Gehr
2. Huang

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-03]

در پایان می‌توان نتیجه‌گیری کرد که این مطالعه برای تعیین میزان آلودگی آب خام با اندوتوکسین و تاثیر فرآیندهای‌تصفیه آب برحذف آن انجام‌گرفت. غلظت‌های اندوتوکسین در آب خام و خروجی تصفیه خانه به ترتیب Eu/ml ۵۴/۵-۱۷/۶۲ و Eu/ml ۳۸/۹-۱۳/۹ 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 می‌گردد. با توجه به این یافته‌ها، می‌توان نتیجه گرفت که در تصفیه خانه‌های متداول آب با حذف موثرتر وکاراتر 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.

References

1. 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.
2. Costán-Longares A[1]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.
3. 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.
4. 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.
5. Oh BT, Seo YS, Sudhakar D, Choe JH, Lee SM, Park YJ, et al. Oxidative degradation of endotoxin by advanced oxidation process (O 3/H 2 O 2 & UV/H 2 O 2). J Hazard Mater 2014; 279: 105-110.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. Sushruta M, Anubha K. An overview of limulus amoebocyte lysate (LAL) test. International Research Journal of Pharmacy (IRJP) 2011; 2(4): 67-71.
11. Anderson WB, Mayfield CI, Dixon DG, Huck PM. Endotoxin inactivation by selected drinking water treatment oxidants. Water Res 2003; 37(19): 4553-4560.
12. 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.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-03]

13. Ghasemian-Safaii H, Yazdani F, Navab Akbar R, Vazirzadeh GH. Measurement of endotoxin levels in blood of hemodialysis Patients by'Lal'test and comparision 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-3deoxyoctulosonic acid) in raw and biologically treated domestic wastewater. Water Res 2011; 45(1): 155-162.
16. Rezaii 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. REZAEE A, Ghani zadeh G, Yazdanbaksh AR, Behzadiyan nejad G. Endotoxin removal from water using heterogenus catalytic ozonation by bone char. Quarterly Water and Wastwater 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 Oganization. 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.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-03]