Journal of Marine Medicine
Winter 2020, Volume 1, Issue 4
Pages: 182-189
10.30491/1.4.5

Pollution of Drinking Water Sources with Biological Toxins; Potential Threat of Bioterrorism

Ali Ahmadi [1], Jafar Soleimanian [2 *]

[1] *Applied Microbiology Research Center, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran*
[2] *Chemical Injury Research Center, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran*

Received: 10 December 2019 **Accepted:** 13 February 2020

Abstract

The importance of freshwater resources and water infrastructure for the health of human communities has made them one of the main targets of terrorist attacks. Currently, 9 types of biological toxins are considered to be potentially important factors in bioterrorism to contaminate drinking water resources. These toxins include botulinum toxin, T-2 mycotoxin, ricin, aflatoxin, saxitoxin, anatoxin A, tetrodotoxin, staphylococcal enterotoxins, and microcystin. There have been several reported terrorist attacks in the world using contaminated drinking water by microbial pathogens. Unlike most terrorist factors, it is very difficult to detect threats to water resources, and because such attacks are characterized only by the spread of contaminated water and the loss of many lives in an outbreak or epidemic, it is important to identify and deal with quickly. In addition to permanent control and elimination of the possible vulnerability of reservoirs and drinking water facilities in usual conditions, in order to quickly and efficiently deal with these threats, especially in crisis situations, most countries are equipped with diagnostic laboratories, monitoring systems and advanced monitoring networks. It seems vital to set up a specialized reference laboratory for controlling and monitoring drinking water in the field of passive defense. In addition to general and traditional tests, this laboratory must have specialized departments for monitoring, tracking and rapid detection of microbial pathogens contaminating drinking water, as well as biological toxins in this area using molecular, immunological methods, biosensors and nanosensors.

Keywords: Bioterrorism, Water, Toxin.

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.30491/1.4.5]

[*] **Corresponding author:** Jafar Soleimanian**, Email**: jafar.salimian@gmail.com
Address: Chemical Injury Research Center, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

مجله طب دریا
دوره ۱، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۸
صفحات: ۱۸۹-۱۸۲
10.30491/1.4.5

آلودگی منابع آب آشامیدنی با توکسین های بیولوژیک؛ تهدید بالقوه بیوتروریسم

علی احمدی[۱]، جعفر سلیمیان[۲*]

[۱] مرکز تحقیقات میکروبیولوژی کاربردی، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله، تهران، ایران
[۲] مرکز تحقیقات آسیب های شیمیایی، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله، تهران، ایران

دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۹/۱۹ **پذیرش مقاله:** ۱۳۹۸/۱۱/۲۴

چکیده

اهمیت منابع آب شیرین و تاسیسات زیربنایی آبی برای سلامت جوامع انسانی موجب شده است که این منابع از عمده‌ترین اهداف حملات تروریستی به شمار روند. در حال حاضر ۹ نوع توکسین بیولوژیک بعنوان عوامل مهم بالقوه بیوتروریسم برای آلوده کردن منابع آب آشامیدنی در نظر گرفته می‌شوند. این توکسین‌ها شامل: توکسین بوتولیسم، مایکوتوکسین T-2، ریسین، آفلاتوکسین، ساکسی‌توکسین، آناتوکسین A، تترودوتوکسین، انتروتوکسین های استافیلوکوکی، و میکروسیستین می باشند. تاکنون چندین مورد حملات تروریستی با استفاده از آلوده کردن آب آشامیدنی به پاتوژن های میکروبی در دنیا گزارش شده است. برخلاف اغلب عوامل تروریستی، تشخیص تهدیدات مربوط به منابع آبی بسیار مشکل است و از آنجا که چنین حملاتی تنها با پخش شدن آب آلوده و تلفات تعداد زیادی از افراد در یک طغیان یا اپیدمی مشخص می شود، تشخیص و مقابله سریع، اهمیت بسیار دارد. علاوه بر کنترل دائمی و برطرف کردن احتمال آسیب پذیری مخازن و تاسیسات آب شرب در شرایط طبیعی، به منظور مقابله سریع و کارامد با این تهدیدات بویژه در موقعیت‌های بحرانی، اکثر کشورهای دنیا به آزمایشگاه‌های تشخیصی، سیستم های نظارتی و شبکه های مونیتورینگ پیشرفته مجهز هستند. به نظر می رسد راه اندازی آزمایشگاه مرجع تخصصی کنترل و پایش آب آشامیدنی در زمینه پدافند غیرعامل، حیاتی است. این آزمایشگاه علاوه بر انجام تست های عمومی و سنتی، دارای بخش‌های تخصصی برای پایش، ردیابی و تشخیص سریع عوامل پاتوژن میکروبی آلوده‌کننده آب آشامیدنی و نیز توکسین های بیولوژیک موجود در این حیطه با استفاده از روشهای مولکولی، ایمنولوژیک، بیوسنسورها و نانوسنسورها خواهد بود.

کلیدواژه‌ها: بیوتروریسم، آب، توکسین.

*نویسنده مسئول: **جعفر سلیمیان**. پست الکترونیک: jafar.salimian@gmail.com .
آدرس: مرکز تحقیقات آسیب های شیمیایی، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله، تهران، ایران.

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.30491/1.4.5]

مقدمه

اهمیت منابع آب شیرین و تاسیسات زیربنایی آبی برای سلامت جوامع انسانی، طبیعی و اقتصادی موجب شده است که این منابع از عمده ترین اهداف حملات تروریستی به شمار روند. احتمال حمله تروریستی به این منابع همواره وجود داشته و حمله به منابع آب آشامیدنی سابقه ای طولانی در تاریخ دارد. مخازن و سیستم‌های آبی اهداف جذابی برای بیوتروریست بوده و فقدان طبیعی یا عمدی آب آشامیدنی در جامعه، معضلات وحشتناکی به بار می آورد (۱).

نگرانی عمده در مورد حمله تروریستی به منابع آبی دو نوع کلی دارد: یا شالوده ها و زیرساختارهای سیستم های آبی می تواند مستقیما مورد حمله تروریستی قرار گیرد و تاسیسات، مخازن، لوله‌کشی، سدها و تصفیه خانه ها بطور فیزیکی تخریب شود یا بواسطه ورود یک عامل توکسیک یا یک عامل بیماری زا در منابع آبی مختلف این حمله صورت بگیرد. نتیجه هر دو عمل، غیر قابل شرب شدن آب، به خطر انداختن سلامت جامعه، و ایجاد هراس عمومی است. آسیب پذیری منابع و مخازن آبی در مقابل تروریسم، در گذشته بیشتر مربوط به تخریب فیزیکی تاسیسات آبی بوده ولی در سال های اخیر بویژه از سال ۲۰۰۰، موضوع حملات شیمیایی و بیولوژیک جدی شده است (۲).

برای حمله به منابع آبی و مخازن آب شرب، ایجاب مینماید انتخاب عوامل میکروبی و شیمیایی دارای خواص خاصی باشند. از جمله:

۱–قابلیت تبدیل به سلاح بیولوژیک را داشته باشد: باید در مقادیر کافی تولید و پخش شود تا اثر مورد نظر را داشته باشد.

۲–برای انتشار در آب مناسب باشد: در آب زنده بماند، حل شود، پایدار باشد و قابل انتقال باشد.

۳– عفونی، ویرولانت یا توکسیک باشد: باید بتواند در ایجاد بیماری یا مرگ، موثر و کارامد باشد و در جامعه هدف ایمنی القا نکند.

۴– دارای دوز عفونی کننده، ناتوان کننده، یا کشنده پایینی بوده و در عوض قابلیت سرایت بالا داشته باشند.

۵– در طول زمان و طی تریتمان، تاثیر خود را حفظ کند: باید به اندازه ای در آب حفظ شود که بتواند به محل مورد نظر رسیده و تاثیر کند و در این مسیر با سیستم های تریتمان استاندارد آب خنثی نشود.

۶– ابزار درمان یا پیشگیری در دسترس نباشد (۲،۱).

تاریخچه تهدیدات بالقوه و بالفعل حمله بیوتروریستی به سیستم های آبی

استفاده از سیستم ها و منابع آبی توسط تروریست ها سابقه طولانی دارد. حملات تروریستی به منابع آبی هم شامل تخریب فیزیکی مانند بمب گذاری و تخریب ساختارها و زیربناهای منابع آبی، هم عوامل شیمیایی از قبیل سیانید پتاسیم و جیوه و هم عوامل بیولوژیک (از انداختن اجساد در منابع آبی گرفته تا آلوده کردن با میکروب ها یا بیوتوکسین ها) می شود (۳).

در سال ۱۹۸۲ پلیس لس آنجلس و FBI ادعا کردند فردی را دستگیر کرده اند که در حال انجام یک عملیات برای آلوده کردن مخزن آب شهر با یک عامل بیولوژیک بوده است. در ۱۹۸۴ در امریکا مخزن آب شهر دالاس با سالمونلا آلوده شد که طغیان حاصله، بیش از ۷۵۰ نفر را درگیر نمود. در یک گزارش در کانادا در سال ۱۹۹۱ فردی نامه ای تهدید آمیز مبنی بر اینکه مخزن آب شهر را با یک عامل بیولوژیک آلوده خواهد کرد منتشر نمود که با تقویت سیستم امنیتی، اتفاق مورد نظر رخ نداد. در سال ۲۰۰۳ در اردن چند جاسوس عراقی به این جرم که سعی داشتند مخزن آب سربازان امریکایی را مسموم کنند دستگیر شدند (۳).

همچنین در مارس ۲۰۰۳ در NAUGATA، هنگامی که مردم اطلاع دادند چند بالگرد مشکوک با ارتفاع کم روی آب‌های آن محل پرواز کرده بودند دو مخزن آب آشامیدنی آنجا بسته شده و مورد بررسی قرار گرفتند (۴). نمونه شاخص آلودگی آب توسط عوامل بیولوژیک، آلوده شدن مخزن آب شهر میلواکی با انگل کریپتوسپوریدیوم در سال ۱۹۹۳ بود که بیش از ۱۰۰ کشته و ۴۰۰۰۰ بیمار و میلیون ها دلار هزینه در پی داشت. این طغیان که کاملاً غیر عمدی و غیر مرتبط با بیوتروریسم بود نگرانی های جدی در مورد حمله عمدی تروریستی به منابع آبی را مطرح کرد. بطور کلی تعداد تلفاتی که از حمله تروریستی به یک سیستم آبی اتفاق می افتد به موارد مختلفی از جمله دفاع های موجود از قبل، میزان و دوز سم خورده شده، زمان حمله، و توان تشخیص سریع و مقابله مسئولین محلی است (۳).

تهدیدهای عمده بیوتروریستی منابع آبی

آژانس حفاظت محیط زیست در امریکا فهرستی از تهدید های بیولوژیک مربوط به آب شرح داده که به کلاس های مختلف تهدید تقسیم می شود. بعضی از این موارد؛ تنها در سیستم نظامی وجود دارند و بعضی دیگر می تواند توسط گروه‌های تروریستی تولید شوند. در کل دو نوع عمده تهدیدهای بیولوژیک در ارتباط با منابع آبی وجود دارد: پاتوژن ها و بیوتوکسین‌ها. پاتوژن ها ارگانیسم‌های زنده ای شامل باکتریها، ویروس ها و انگل ها هستند. توکسین ها مواد سمی تولید شده توسط موجودات زنده اند که دارای خصوصیات سمی برای موجودات دیگر می باشند (۱،۵).

در مجموع قابلیت تبدیل پاتوژنها به تهدید بیوتروریسم بیشتر از توکسین‌هاست. نمونه‌هایی از انواع پاتوژنهای مطرح در بیوتروریسم که قابلیت تهدید مخازن آبی را کاملاً دارا هستند در جدول–۱ ذکر شده است. البته بعضی دیگر هم کاربردهای خانگی یا صنعتی دارند. از آنجا که تمرکز این مطالعه مروری روی بیوتوکسین هاست از توضیح بیشتر روی پاتوژنها صرف نظر شده و

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.30491/1.4.5]

مهمترین انواع توکسین های مطرح در این رابطه بررسی می شود. توکسین های بیولوژیک گروهی مهم و کمپلکسی از عوامل سلاح بیولوژیک بالقوه اند که از متابولیت های طبیعی باکتریها، قارچ ها، گیاهان، و جلبک‌ها و گونه‌های آب شور هستند.این بیوتوکسین‌های طبیعی، بعضی از توکسیک ترین مواد برای انسان هستند. دوزهای کُشنده، اغلب در حد نانوگرم است. در کل، بیشترین بیوتوکسین‌هایی که به سلاح بیولوژیک تبدیل شده اند، عمدتاً برای کاربرد ائروسل و انتشار در جوامع نظامی و غیرنظامی توسعه پیدا کرده اند. با این حال، بسیاری از بیوتوکسین ها بعنوان تهدیدهای منتقله از طریق آب بالقوه به شمار رفته و آلاینده های موثری در آب‌های آشامیدنی تحت شرایط مناسب هستند. تعداد ۹ بیوتوکسین تهدیدکننده های بالقوه منتقله از طریق آب هستند و در شرایط مساعد می توانند بعنوان آلاینده های آب آشامیدنی بکار روند (جدول-۲). این توکسین ها که در ادامه توضیح مختصری داده می‌شوند شامل توکسین بوتولیسم (botulinum)، مایکوتوکسین T-2 (mycotoxin T-2)، ریسین (ricin)، آفلاتوکسین (Aflatoxins)، ساکسی‌توکسین (Saxitoxin)، آناتوکسین A (anatoxin A)، تترودوتوکسین (tetrodotoxin)، انتروتوکسین‌های استافیلوکوکی (Staphylococcal enterotoxins)، و میکروسیستین (Microcystin) هستند (۵،۱).

جدول-۱. نمونه هایی از انواع پاتوژنهای مطرح در بیوتروریسم با قابلیت تهدید مخازن آبی

عامل پاتوژن	به سلاح بیولوژیک تبدیل شده	پایداری در آب	مقاومت به کلر
باسیلوس آنتراسیس	بله	۲ سال (فرم اسپوری)	اسپورها مقاوم اند
ویبریو کلرا	نامشخص	کاملا زنده می ماند	به سرعت کشته می شود
شیگلا	نامشخص	۳-۲ روز	در ppm ۰/۰۵ در مدت ۱۰ دقیقه غیرفعال میشود
سالمونلا	نامشخص	۸ روز	غیرفعال می شود
فرانسیسلا تولارنسیس	بله	تا ۹۰ روز	در ppm ۱ در مدت ۱۰ دقیقه غیرفعال میشود
ویروس های انتریک	نامشخص	۳۲-۸ روز	به سرعت غیرفعال می شود
طاعون	احتمالاً بله	۱۶ روز	مشخص نیست
کریپتوسپوریدیوزیس	نامشخص	چند روز یا بیشتر	مقاوم

جدول-۲. بیوتوکسین های مطرح در بیوتروریسم با قابلیت تهدید مخازن آبی

بیوتوکسین	به سلاح بیولوژیک تبدیل شده	پایداری در آب	مقاومت به کلر
توکسین بوتولیسم	بله	پایدار	در ppm ۶ برای ۲۰ دقیقه غیرفعال می‌شود
توکسین T-2	احتمالاً	پایدار	مقاوم در ppm ۱۰
ریسین	بله	پایدار	مقاوم در ppm ۱۰
ساکسی توکسین	احتمالاً	پایدار	مقاوم در ppm ۱۰۰
میکروسیستین	احتمالاً	احتمالاً پایدار	احتمالاً مقاوم
آفلاتوکسین	بله	احتمالاً پایدار	نامشخص
انتروتوکسین استافیلوکوکی	احتمالاً	احتمالاً پایدار	نامشخص
تترودوتوکسین	احتمالاً	احتمالاً پایدار	در ppm ۵۰ غیرفعال می شود
آناتوکسینA	نامشخص	ظرف چند روز غیرفعال میشود	احتمالاً مقاوم

آفلاتوکسین

متابولیت‌های کوچک آسپرژیلوس فلاووس هستند که کارسینوژن می‌باشند. مسمومیت واقعی افلاتوکسین توسط زردی، آسیت (Ascites) و هایپرتانسیون مشخص می شود و بواسطه خونریزی وسیع گوارشی، معمولا مرگ و میر بالایی دارد. علایم بالینی آن پس از خوردن ۶-۲ میلی گرم توکسین در روز آغاز می شود. میزان LD50 آن ۱۰۰-۱۰ میلی‌گرم به ازای هر فرد در مورد آفلاتوکسین نوع B است. آفلاتوکسین حلالیت کمی در آب داشته و احتمالاً به حرارت حساس و به کلرزنی مقاوم است (۶).

آناتوکسین A

یک نوروتوکسین آلکالوئیدی است که توسط سیانوباکتری های آب شیرین به نام "آنابنا فلوس آکوا" تولید می شود. در اثر این توکسین، بواسطه ایست تنفسی ظرف چند ساعت تا چند دقیقه مرگ رخ می‌دهد. میزان LD50 داخل صفاقی موش ۲۰۰ میکروگرم در هر کیلوگرم وزن بدن است. آناتوکسین A ظرف چند روز در آب به فرم غیر توکسیک تبدیل می شود. این توکسین به کلرزنی مقاوم بوده و فیلتراسیون بر آن اثری ندارد (۷).

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.30491/1.4.5]

توکسین بوتولیسم

توکسین های پروتئینی هستند که توسط باکتری کلستریدیوم بوتولینوم تولید می شوند. برای اینکه توکسین بوتولیسم بتواند به شکل موثری مخزن آب آشامیدنی را آلوده کند باید بعد از خروج آب از تصفیه خانه وارد آب شده و همچنین بتواند در مجاورت کلر زنده بماند. همچنین مقادیر خیلی بالایی از توکسین برای مخازن آب نیاز است. پس عملا توکسین بوتولیسم برای مسموم کردن مخازن بزرگ آب کاربردی نیست. از طرفی نور خورشید ظرف ۱ تا ۳ ساعت آن را غیرفعال می کند. در عرض ۱۲ ساعت در هوا غیرفعال شده و به حرارت و جوشاندن بسیار حساس است. سیستم‌های تصفیه کننده دارای شارکول بطور موثری توکسین بوتولیسم را بر می دارد (۱،۸).

میکروسیستین

این توکسین از سیانوباکتری‌های آب شیرین به نام میکروسیستین ها بویژه "میکروسیستیس ائروژینوزا" بدست می‌آید. میکروسیستین LR که سریع ترین فاکتور کشنده هم نامیده می‌شود شایع‌ترین میکروسیستین بوده و بهترین توکسین برای تبدیل شدن به سلاح است. اگرچه میکروسیستین در فرم ائروسل بالاترین میزان کشندگی را دارد اما بلعیدن از طریق خوراکی نیز بسیار خطرناک است. تزریق صفاقی آن به موش موجب خونریزی روده و شوک و سپس مرگ شده است. این توکسین در آب محلول و به حرارت مقاوم بوده و در مجاورت ۱۰۰ میلی گرم FAC (کلر آزاد در آب) تا ۳۰ دقیقه از بین نمی رود (۹).

ساکسی توکسین

ساکسی توکسین عامل مسمومیت فلج کننده ناشی از دوکفه‌ای ساکن دریاست که توسط دینوفلاژله های آب شور Gongaulax تولید می شود. بلعیدن ساکسی توکسین به شدت توکسیک بوده و حتی از تزریق آن هم سمی تر است. البته شاید توکسیک ترین حالت آن ائروسل باشد. ساکسی توکسین برای اهداف نظامی ائروسل شده است. علایم و نشانه های مسمومیت ناشی از این توکسین ۳۰ دقیقه پس از خوردن ایجاد شده و شامل درد شکمی، اسهال، تهوع و استفراغ و سرگیجه و سردرد و بی حسی زبان و لثه و نهایتا فلج است. بعلت نارسایی تنفسی، ظرف ۲۴-۱ساعت مرگ فرا می‌رسد. تنها درمان این توکسین حمایتی و تنفس مصنوعی است. میزان LD50 ساکسی توکسین از طریق بلعیدن، ۰/۳-۱ میلی گرم به ازای هر فرد است. ساکسی توکسین در آب محلول و به اسید مقاوم و در شرایط طبیعی محیطی پایدار است. ساکسی‌توکسین به محیط قلیا حساس است. این توکسین در اثر ۳۰ دقیقه مواجهه با غلظت ۱۰ میلی گرم در لیتر FAC تخریب نمی شود ولی در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم FAC تا بیش از ۹۹ درصد غیرفعال می شود. ید در غلظت ۱۶ میلی گرم در لیتر هیچ تاثیری ندارد. سیستم RO (Reverse Osmosis water) ساکسی‌توکسین را از آب تا ۹۸/۸ درصد حذف می کند ولی کواگولاسیون و فلوکولاسیون هیچ تاثیری بر آن ندارد. کارایی حذف توکسین توسط شارکول در حد طبیعی آب آشامیدنی کم است (۱۰).

ریسین

ریسین از گیاه کرچک بدست می آید. اگرچه تهیه ریسین نسبتا آسان است اما تهدید مهمی به عنوان سلاح بیولوژیک با دامنه اثر وسیع نیست چرا که حجم بسیار زیادی از توکسین برای آلوده سازی میزان بالای آب مخازن شهری یا نظامی نیاز است. بنظر می رسد استفاده آن به عنوان سلاح کشنده علیه افراد خاص یا جمعیت کوچکی از جامعه هدف بیشتر مد نظر باشد.

از آنجاکه فرم خوراکی ریسین در مقابل فرم تزریقی آن نسبت به سایر مسیرهای ورود به بدن سمیت کمتری دارد، تهدید عمده ای برای آلوده کردن آب‌های آشامیدنی به شمار نمی‌رود. بدنبال تزریق توکسین علایم و نشانه‌های بالینی بسیار شدیدتر شده و به زودی پس از تزریق، سیستم عصبی مرکزی درگیر می شود. پس از اینکه توکسین عملکرد سیناپس های مغز را مهار نمود به سرعت مرگ اتفاق می افتد. به دنبال بلعیدن ریسین، خونریزی گوارشی (اسهال خونی) با نکروز ارگان ایجاد می شود. میزان LD50 خوراکی برای موش ۲۰ میلی گرم در کیلوگرم است.

ریسین ظرف ۱۰ دقیقه در ۸۰ درجه سانتی گراد خاصیت سمی خود را از دست داده و ظرف ۱ ساعت در ۵۰ درجه سانتی گراد غیرفعال می شود. اما در دمای محیط پایدار است. پس از ۲۰ دقیقه تریتمان با FAC در غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر، تا بیش از ۹۹/۴ درصد آنرا غیر فعال می کند اما در غلظت ۱۰ میلی گرم در لیتر سالم می ماند. ید هم تا غلظت ۱۶ میلی گرم در لیتر اثری بر این سم ندارد. سیستم RO در برداشتن ریسین تا بیش از ۹۹ درصد از آب موثر است ولی کواگولاسیون/ فلوکولاسیون بی اثر است. سیستم حاوی شارکول می تواند بطور موثر توکسین را از آب حذف کند (۱۱).

انتروتوکسین استافیلوکوک

انتروتوکسین B استافیلوکوکی (SEB) که به سلاح بیولوژیک تبدیل شده، یکی از اعضای خانواده توکسین های پروتئینی است که توسط باکتری «استافیلوکوکوس اورئوس» تولید می شود. این توکسین می‌تواند در اشکال ائروسل و استنشاق استفاده شود، یا اینکه از طریق آب یا مواد غذایی آلوده با هدف حمله بیوتروریستی با حجم کم بکار رود. این توکسین بیشتر ناتوان کننده است و موجب درد شدید گوارشی و تهوع و اسهال (در صورت بلع) و در صورت استنشاق باعث تب و لرز، سردرد، درد عضلانی و تنگی نفس می‌شود. علایم و نشانه‌های بیماری در عرض چند ساعت آغاز شده ولی پس از چند ساعت فروکش می کند. بهبود کامل محتمل است

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.30491/1.4.5]

ولی سربازان تا دو هفته قادر به جنگیدن نیستند. ۳۰ نانوگرم به ازای هر فرد از توکسین ناتوان کننده است. ۱/۷ میکروگرم در هر فرد به شکل ائروسل کشنده است. توکسین در برابر pH اسیدی و بازی پایدار بوده، در ۱۰۰ درجه سانتیگراد پس از چند دقیقه غیرفعال می شود و برای مدت طولانی در دمای اتاق فعال نمی ماند. سیستم های تریتمان آب با استفاده از شارکول می‌تواند توکسین را حذف کند (۱۲).

مایکوتوکسین T-2

یکی از مایکوتوکسین ها، تریکوتاسین است که از فوزاریوم و بعضی قارچ های دیگر بدست می آید. خوردن تریکوتاسین می‌تواند به شدت کشنده باشد. علائم ساب لتال (پیشامرگی) بلعیدن این توکسین شامل تهوع، استفراغ، و اسهال می باشد. توکسین T-2 حدود ۷ روز در آب با دمای متوسط پایدار مانده و این مساله آن را به یک تهدید بالقوه نظامی از طریق آب آشامیدنی تبدیل می کند. این سم در غلظت ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر FAC پس از ۳۰ دقیقه مواجهه در دمای اتاق تا ۹۷ درصد فعالیت خود را حفظ می کند. همچنین به غلظت ید ۱۶ میلی گرم بر لیتر مقاوم است. حذف این توکسین از آب توسط سیستم RO بیش از ۹۹ درصد بوده و سیستم های تریتمان دارای شارکول بطور موثری T-2 را حذف می کند و البته فلوکولاسیون/ کواگولاسیون هیچ تاثیری بر آن ندارد (۱۳).

تترودوتوکسین

تترودوتوکسین یک نوروتوکسین قوی است که در اثر مصرف ماهی بادکنکی (puffer fish) که بطور ناصحیح آماده شده، ایجاد شده و باعث مرگ افراد زیادی می شود. تترودوتوکسین به عنوان یکی از سلاح های بالقوه بیولوژیک مدنظر بوده است و می تواند بطور موثری در آب حل شده و به عنوان تهدید آب آشامیدنی مطرح باشد. علایم توکسیک مسمومیت تترودوتوکسین ۱۰ دقیقه تا یک ساعت پس از بلعیدن آغاز شده و شامل بی حسی لب ها، زبان و انگشتان، تهوع و استفراغ و در ادامه فلج می باشد. معمولا مرگ ظرف ۶ ساعت بواسطه نارسایی تنفسی رخ می دهد. تنها درمان موجود، تنفس مصنوعی است و ظرف ۲۴ ساعت بهبودی حاصل می‌شود. دوز کشنده خوراکی توکسین در انسان ۲-۱ میلی گرم است و LD50 آن ۳۰ میکروگرم بر کیلوگرم می باشد. تترودوتوکسین در آب محلول و به حرارت مقاوم است و در مجاورت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر کلر از بین می رود (۱۶-۱۴).

واکنش به تهدید بیوتروریستی منابع آبی

نمی‌توان هیچ برآورد دقیقی از ریسک واقعی بیوتروریسم مربوط به آب انجام داد. این حقیقت که تعداد موارد ثبت شده ای از حملات واقعی طرح ریزی شده به منابع آبی در گذشته وجود داشته است، تایید می‌کند که این خطر واقعا وجود دارد. بواسطه مقادیر خیلی بالای سم مورد نیاز برای مخازن با حجم های بالای آب آشامیدنی، منطقی آن است که مخازن خیلی کوچکتر برای آلوده کردن با توکسین‌ها انتخاب شوند. بنابراین حملات بیوتروریستی به منابع آب، بیشتر احتمال دارد که روی منابع خیلی کوچک آب آشامیدنی (مثل یک تانکر آب شرب که در مناطق نظامی کاربرد دارد) روی دهد (۱۷،۱۸).

در سال ۲۰۰۳، Environmental Protection Agency (EPA) و Centers for. Disease Control and Prevention (CDC) اعلام کردند "اگرچه اطلاعات موجود نشان می دهد تاکنون سیستم آب آشامیدنی در امریکا بطور اختصاصی تحت حمله تروریستی قرار نگرفته، اما این تاسیسات در امریکا به شدت آسیب پذیر است". از آن زمان هزینه های هنگفتی صرف راه اندازی شبکه های مونیتورینگ و اقدامات زیربنایی در حفاظت از تاسیسات آبی امریکا در مقابل حملات تروریستی برای جلوگیری از تخریب فیزیکی و آلودگی شیمیایی و میکروبی انجام شده است (۴،۱۹). در آوریل ۲۰۰۳، مطالعه ای منتشر شد که که نشان داد که در کشور انگلیس، مهمترین سیستم منبع آب آشامیدنی هیچ حفاظتی نداشته و در دسترس بیوتروریست ها قرار دارد. در این مقاله، فردی بطور آزمایشی نشان داده بود یک تروریست می تواند به راحتی به این مخزن دسترسی پیدا کرده و ریسین، سیانید و عامل وبا را وارد آن کند (۲۰).

در سال ۲۰۰۲، EPA در امریکا پروژه ای به نام "Water Sentinel Initiative" برای اطلاع رسانی و هشدار آلودگی آب را طراحی و اجرا کرد. این سیستم مونیتورینگ، تشخیص و آگاهی اولیه و زودرس از وقایع آلودگی آب در امریکا را انجام داد (۲۱).

همچنین یک شبکه از آزمایشگاه های تست آلودگی آب در سطح ایالتی و فدرال به راه افتاد. سیستم های مونیتورینگ با عنوان "Early Warning System" می تواند باعث شناسایی سریع حملات بیولوژیک به آب ها و امکان واکنش سریع و موثر به آن شود (۲،۲۲). از خصوصیات این سیستم نتایج مثبت و منفی کاذب بسیار کم، نصب و اجرای ساده، مونیتورینگ مداوم و دائم، سرعت گزارش بالای آن است. خصوصیاتی که هر سیستم دیگری برای مونیتورینگ چنین منبع حیاتی باید داشته باشد. ایجاد سیستم‌های استاندارد مونیتورینگ منجر به کاهش هزینه، اشتراک آن توسط استفاده کننده های دیگر و تسهیل تعمیر و جایگزینی آن می شود.

در این سیستم ها، از رویکردهای تشخیص عامل آلوده کننده آب در محل استفاده می شود که از آن جمله چیپ های DNA میکرواری، روش های نورسنجی، بیوسنسورها، تکنیک‌های بیولوژی مولکولی مانند Real Time PCR، تکنیک‌های ایمنولوژیک، میکروروبات ها، پروب های مولکولی و سایر تکنیک‌ها می باشد. در اروپا شبکه ای تشکیل شد که هدف آن ضمانت کیفیت و کارایی تشخیص توکسین های بیولوژیک با اولویت بالاتر (ریسین، توکسین بوتولیسم، انتروتوکسین B استاف، و ساکسی توکسین)

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.30491/1.4.5]

بود. این شبکه که EQUATOX (Establishment of Quality Assurance for the Detection of Biological Toxins of Potential Bioterrorism Risk) نام گرفت، همکاری مشترک بین بخش نظامی و غیرنظامی و با شرکت ۹ کمپانی مهم برای تشخیص توکسین های بیولوژیک است. در این شبکه ۳۲ آزمایشگاه از ۲۰ کشور دنیا فعالیت دارند. این شبکه در کنار استفاده از روش های مختلف پیشرفته برای تشخیص آلودگی آب به بیوتوکسین ها، در مورد نحوه اندازه گیری، تعیین مقدار توکسین های بیولوژیک در آب، و تعیین کیفیت آنها تحت مواد ضدعفونی کننده رایج در سیستم های آبی نیز فعالیت می کنند (۲۳،۲۴).

از این رو با توجه به حساسیت مسائل دفاعی کشور، ما نیز باید در این حوزه، مراقبت ها و نظارت های کافی داشته باشیم. کنترل منابع اصلی آب (شهری و پادگانی)، تضمین کیفیت و کارایی تریتمان آب و حفاظت از آب آشامیدنی تریت شده از خرابکاری باید انجام شود. موثرترین حفاظت در برابر عوامل سلاح بیولوژیک، حفظ بهداشت کلی آب آشامیدنی و استفاده از تریتمان کافی و مناسب است. سیستم های RO با عملکرد صحیح می توانند با غربال سایز، هر عامل سلاح بیولوژیک را تا حد مجاز در آب کاهش دهند اگرچه وزن مولکولی پایین توکسین هایی مانند T-2 می تواند آنها را از غشای RO عبور دهد و در این موارد باید از راه حل دیگری استفاده نمود. میکروب های پروبیوتیک مثل لاکتوباسیلوس‌ها، اثرات مفیدی در تداخل با پاتوژنهای روده ای دارند ولی حفاظتی چندانی علیه عوامل سلاح بیولوژیک ایجاد نمی کنند. محافظت نهایی علیه عوامل عفونی، فرایند ضدعفونی کردن است. اکثر بیوتوکسین ها برای FAC مورد استفاده در ضدعفونی کردن آب، تقریباً غیرقابل نفوذ هستند. از سوی دیگر واکسیناسیون و ایمنی زایی افراد مورد تهدید مانند نظامیان یا شاغلین در مراکز حساس سیاسی و صنعتی مانند سازمان انرژی هسته ای و رآکتور بوشهر می تواند در مقابل تهدید خاص مانند باسیلوس آنتراسیس و فلج اطفال و توکسین بوتولیسم بکار رود. البته اگر مواجهه با عفونت مشکوک رخ دهد یا بیماری کلینیکال بروز کند حتما باید درمان با آنتی بیوتیک های مناسب یا آنتی‌بادی‌های مناسب شروع شود. این مساله یک همکاری چندگانه بین مسئولین، کارشناسان شبکه بهداشت، متخصصان علوم بهداشت، عفونی، و اپیدمیولوژی و محققین علوم پایه پزشکی را می طلبد.

نتیجه‌گیری

در مجموع، آلوده کردن عمدی آب آشامیدنی با میکروبها یا بیوتوکسینهایی که بی رنگ، بی بو و بی مزه اند یک تهدید جدی است. اگرچه تاکنون استفاده از بیوتوکسین ها در آلوده کردن منابع آبی توسط بیوتروریسم در حد تهدید بوده است اما گزارشات حاکی است این قابلیت در حوزه نظامی وجود داشته و باید بسیار مراقب بود. از طرفی در خیلی از موارد اطلاعات محرمانه بوده و قابل دسترس نیست. باید در نظر داشت مهمترین مساله در این مورد دوز مورد نیاز عامل سلاح بیولوژیک است. این امر آنقدر کلیدی است که اقتضا می‌کند دشمن منابع آبی کوچکی که در نزدیک‌ترین فاصله تا مصرف کننده هستند را انتخاب نماید که این نقاط شامل محل های نهایی نگهداری آب مصرفی، نقاط آسیب پذیر در سیستم توزیع آب، و بطری های آب معدنی می باشد. همچنین حتی اگر چنین حمله ای نتواند موجب مرگ و میر و تلفات نیز شود ترس و اضطراب ناشی از آن برای امنیت جامعه بسیار جدی و خطرناک خواهد بود. با توجه به حساسیت و اولویت های دفاعی کشور، ایجاد سیستم های نظارتی دقیق و ایجاد اعتماد عمومی و مونیتورینگ سلامت و کیفیت آب بطور موثر و انتشار اطلاعات و آگاهی های کافی ضروری است.

تشکر و قدردانی: از محققانی که با نظرات ارزشمند خود در غنای مطالب حاضر ما را یاری کردند، تشکر و قدردانی می گردد.

تضاد منافع: نویسندگان تصریح می کنند که در مطالعه حاضر هیچ گونه تضاد منافعی وجود ندارد.

منابع

1. Dickinson Burrows W and E. Renner S. Biological warfare agents as threats to potable water. Environmental Health Perspectives. 1999;107:975-984.
2. Rice EW. Microbial Issues in Drinking Water Security. InHandbook of Water and Wastewater Systems Protection 2011 (pp. 151-161). Springer, New York, NY.
3. Janke R, Tryby ME, Clark RM. Protecting water supply critical infrastructure: An overview. InSecuring water and wastewater systems 2014 (pp. 29-85). Springer, Cham.
4. Francy DS, Bushon RN, Brady AM, Bertke EE, Kephart CM, Likirdopulos CA, et al. Performance of traditional and molecular methods for detecting biological agents in drinking water. U. S. Geological Survey; 2009.
5. Hope King W. Bioterrorism May Pose Threat to Water Supplies: Can POU/POE technology aid the war on bioterrorism? Water's Right; 2010
6. Malíř F, Roubal TO, Ostry V, Tůma JI, Procházková H, Rolečková B, et al. Mycotoxins and Bioterrorism. Chem Listy. 2007; 10:119-21.
7. Patočka J. The toxins of cyanobacteria. Acta Medica (Hradec Kralove). 2001;44(2):69-75.
8. Arnon S, Schechtre S, Inglesby T, Henderson D, et al. Botulism toxin as a biological weapon. JAMA 2001; 285:1059-1065
9. Meinhardt PL. Water and bioterrorism: preparing for the potential threat to US water supplies and public health. Annu. Rev. Public Health. 2005;26: 213-37.
10. Cusick KD, Sayler GS. An overview on the marine neurotoxin, saxitoxin: genetics, molecular

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-10-30]
[DOI: 10.30491/1.4.5]

targets, methods of detection and ecological functions. Marine drugs. 2013;11(4):991-1018.
11. Roxas-Duncan V, Smith LA. Of beans and beads: ricin and abrin in bioterrorism and biocrime. J Bioterr Biodef S. 2012;7(2).
12. Campbell GA, Medina MB, Mutharasan R. Detection of Staphylococcus enterotoxin B at picogram levels using piezoelectric-excited millimeter-sized cantilever sensors. Sensors and Actuators B: Chemical. 2007;126(2):354-60.
13. Stark AA. Threat assessment of mycotoxins as weapons: molecular mechanisms of acute toxicity. Journal of food protection. 2005 Jun;68(6):1285-93.
14. Narahashi T. Tetrodotoxin. Proceedings of the Japan Academy, Series B. 2008;84(5):147-54.
15. Cinturati F. The Bioterrorism act and water utilities protection: How to Proceed from Policy to Practice. Journal of Applied Security Research. 2014;9(1):97-108.
16. Ecker DJ, Sampath R, Willett P, Wyatt JR, Samant V, Massire C, et al. The Microbial Rosetta stone Database: a compilation of global and emerging infectious microorganisms and bioterrorist threat agents. BMC microbiology. 2005;5(1):19.
17. Donaghy M. Neurologists and the threat of bioterrorism. Journal of the neurological sciences. 2006;249(1):55-62.
18. Kiernan MC, Isbister GK, Lin CS, Burke D, Bostock H. Acute tetrodotoxin-induced neurotoxicity after ingestion of puffer fish. Annals of neurology. 2005;57(3):339-48.
19. Nuzzo JB. The biological threat to US water supplies: toward a national water security policy. Biosecurity and bioterrorism: biodefense strategy, practice, and science. 2006 ;4(2):147-59.
20. Smithson AE. Grounding the threat in reality. Ataxia: The Chemical and Biological Terrorism Threat and the US Response. 2000:11-69.
21. Mariola MJ. Farmers, trust, and the market solution to water pollution: The role of social embeddedness in water quality trading. Journal of Rural Studies. 2012;28(4):577-89.
22. Krause C. Bioterrorism early-warning system-algae?. Journal of environmental health. 2003;66(3): 43-4.
23. Dorner BG, Zeleny R, Harju K, Hennekinne JA, Vanninen P, Schimmel H, et al. Biological toxins of potential bioterrorism risk: Current status of detection and identification technology. TrAC Trends in Analytical Chemistry. 2016;85:89-102.
24. Skarin H, Tevell Åberg A, Woudstra C, Hansen T, Löfström C, Koene M, et al. The workshop on animal botulism in Europe. Biosecurity and bioterrorism: biodefense strategy, practice, and science. 2013;11(S1):S183-90.

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.30491/1.4.5]