2021, Vol.8, No.3, Pages 73 to 80
Journal of Water and Sustainable Development

سال هشتم، شماره ۳، ۱۴۰۰، صفحات ۷۳ تا ۸۰
نشریه آب و توسعه پایدار

Article Type: Review

نوع مقاله: مروری

Causes and Risks of Increased Presence of Antibiotic-Resistant Bacteria in Drinking Water

M. Atharinia

PhD student in Food Science and Technology - Food Microbiology, Microbiology and Biology Research Group, Food Technology and Agricultural Products Research Institute, Standard Research Institute, Iran.

Email: atharinia_m@standard.ac.ir

Received: 18-04-2021 Revised: 15-06-2021
Accepted: 23-06-2021 Available Online: 06-12-2021

علل و خطرات افزایش حضور باکتری‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک در آب‌های آشامیدنی

معصومه اطهری‌نیا

دانشجوی دکترای علوم و صنایع غذایی - میکروبیولوژی مواد غذایی، گروه میکروبیولوژی و بیولوژی، پژوهشکده صنایع غذایی و فرآورده‌های کشاورزی، پژوهشگاه استاندارد، ایران.

E-Mail: atharinia_m@standard.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۲۹ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۳/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۰۲ تاریخ انتشار: ۱۴۰۰/۰۹/۱۵

Abstract

In the past, the purpose of water treatment was to reduce suspended solids and eliminate living pathogens in water, which was achieved by conventional filtration and disinfection methods. However, at present with the increase of pollution in water sources, the existing methods are not fully capable of proper water treatment. Studies have illustrated that disinfection of drinking water can enhance the growth of antibiotic-resistant bacteria in the aquatic environment. Water treatment may increase the antibiotic resistance of surviving bacteria, and water distribution systems may serve as an important reservoir for extending antibiotic resistance to opportunistic pathogens. Drinking water treatment processes can not eliminate ARGs from drinking water sources, therefore, drinking water supply systems may be an initial route of ARGs release from the environment to the host, posing potential risks to human health. Moreover, it has also been shown that the number of some bacteria increases along with chlorine levels increase in drinking water, and the water treatment process is not able to entirely remove antibiotics from drinking water. Therefore, it is necessary to study more about the amount and frequency of bacteria with antibiotic-resistant mutations. In this article, a brief review of researches on drinking water treatment besides the entrance of used antibiotics in daily life through sewage and effluents and its impact on human health has been represented.

Keywords: Drinking Water, Contamination, Antibiotic Resistance, Water Quality, Chlorination.

چکیده

در گذشته هدف از تصفیه آب، کاهش مواد معلق و از بین بردن عوامل زنده بیماری‌زا در آب بود که با روش‌های متداول فیلتراسیون و گندزایی بدست می‌آمد. اما در حال حاضر با افزایش انواع آلودگی‌ها به منابع آب روش‌های موجود به‌طور کامل توانایی تصفیه مناسب آب را ندارند. مطالعات نشان داده است، ضدعفونی آب آشامیدنی می‌تواند باعث افزایش باکتری‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک در محیط‌های آبی شود. تصفیه آب ممکن است مقاومت آنتی‌بیوتیکی باکتری‌های زنده مانده را افزایش دهد و سیستم‌های توزیع آب ممکن است به‌عنوان مخزنی مهم برای گسترش مقاومت آنتی‌بیوتیکی به عوامل بیماری‌زای فرصت طلب عمل کنند. فرایندهای تصفیه آب آشامیدنی نمی‌تواند ARGها را از منابع آب آشامیدنی به‌طور کامل از بین برد، بنابراین، سیستم‌های تأمین آب آشامیدنی ممکن است یک مسیر انتشار اولیه ARG ها از محیط به میزبان باشد که خطرات احتمالی را برای سلامتی انسان ایجاد می‌کند. همچنین مشخص شده است که تعداد بعضی از باکتری‌ها با افزایش میزان کلر در آب آشامیدنی افزایش می‌یابد و روند تصفیه آب قادر به حذف کامل آنتی بیوتیک‌ها از آب آشامیدنی نیست. به همین منظور کسب اطلاعات بیشتر در خصوص میزان و فراوانی باکتری‌های دارای جهش‌های مقاوم به آنتی بیوتیک‌ها ضروری به نظر می‌رسد. در این مقاله مروری کوتاه بر مطالعات صورت گرفته در مورد تصفیه آب آشامیدنی و همچنین ورود آنتی بیوتیک‌های استفاده شده در زندگی روزمره از طریق فاضلاب و پساب‌های تولیدی و تاثیر آن بر سلامت جامعه انسانی صورت گرفته است.

واژه‌های کلیدی: آب آشامیدنی، آلودگی، مقاومت آنتی بیوتیکی، کیفیت آب، کلرزنی.

HomePage: https://jwsd.um.ac.ir

How to cite this article: Atharinia M. 2021. Causes and Risks of Increased Presence of Antibiotic-Resistant Bacteria in Drinking Water. Journal of Water and Sustainable Development, 8(3): 73-80. doi: 10.22067/jwsd.v8i3.2104.1039

مقدمه

بررسی کیفیت و سلامت آب آشامیدنی همواره یکی از موضوعات مهم در بهداشت عمومی بوده است. طبق گزارش سازمان بهداشت جهانی WHO[1] آب آشامیدنی و قابل دسترس برای سلامت عمومی، از نظر نوشیدن، استفاده خانگی، تولید غذا و اهداف تفریحی مهم است، بهبود آب، بهداشت و مدیریت بهتر منابع آب، می‌تواند رشد اقتصادی کشورها را افزایش داده و به کاهش فقر کمک کند (WHO، ۲۰۱۴). کیفیت آب آشامیدنی توسط آزمون‌های فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و ارگانیک ارزیابی می‌شود. آب فقط در صورتی‌که غلظت اجزاء در حد استانداردهای خاص خود باشد، با در نظر گرفتن حداکثر مصرف روزانه در طول زمان، ماهیت عوامل آلاینده و میزان احتمال سمیت آن آب می‌تواند مصرف شود (Petraccia و همکاران، ۲۰۰۶). آب قبل از ورود به سیستم‌های توزیع، برای از بین بردن میکروارگانیسم‌ها ضدعفونی می‌شود. با این حال برخی از باکتری‌ها به دلیل مقاومت به ضدعفونی کننده‌ها و وجود میزان کمی از مواد آلی قابل تجزیه مورد نیاز باکتری‌ها در آب، دوباره قادر به رشد هستند (Ashbolt، ۲۰۰۴).

ارگانیسم‌های بیماری‌زا (عوامل بیماری‌زا) که از طریق آب آشامیدنی منتقل می‌شوند، بیشتر منشأ مدفوعی دارند، بنابراین به‌عنوان عوامل بیماری روده شناخته می‌شوند (Ashbolt و همکاران، ۲۰۰۱).

تخلیه فاضلاب‌های کشاورزی، شهری و صنعتی به آبراهه‌ها، سلامت عمومی را به خطر می‌اندازد و در نتیجه میزان آلودگی‌های محیطی و بیماری‌زا افزایش می‌یابد (Alipour و همکاران، ۲۰۱۴). باکتری‌های عفونی انسان و حیوان به‌طور مداوم توسط فاضلاب وارد سیستم آب می‌شوند (Baquero و همکاران، ۲۰۰۸). استحمام در آب‌های تفریحی آلوده به مدفوع با افزایش خطر انتقال بیماری‌های عفونی از جمله بیماری‌های دستگاه گوارش، عفونت‌های پوستی، بیماری‌های چشم و گوش (Alipour و همکاران، ۲۰۱۴) و همچنین افزایش خطر سلامتی در ارتباط است. باکتری‌های مقاوم به آنتی بیوتیک و ژن‌های AMR[2] در مدفوع می‌توانند به منابع آب با فاضلاب تصفیه نشده یا تصفیه شده نفوذ کنند، این امر در مورد آب مورد مصرف برای نوشیدن، استحمام، شستشو و سایر مصارف نیز صادق است (WHO، ۲۰۱۴). وجود باکتری‌های مقاوم در برابر آنتی‌بیوتیک‌ها در مکان‌هایی که از دارو استفاده می‌شود (فاضلاب بیمارستان‌ها) رایج است و در سایر اکوسیستم‌های آبی نیز در حال افزایش است (Schwartz و همکاران، ۲۰۰۳). بسیاری از باکتری‌هایی که ژن‌های مقاوم به آنتی بیوتیک دارند در عوامل ژنتیکی متحرک (پلاسمیدها، ترانسپوزون‌ها و اینتگرون‌ها) یکی شده‌اند و می‌توانند از طریق باکتری‌های موجود در آب به بدن منتقل شوند. در زمینه چرخه آب شهری، باکتری‌هایی که می‌توانند در انواع مختلف آب ساکن شوند، اهمیت ویژه‌ای برای ارزیابی انتشار احتمالی مقاومت ضد میکروبی دارند (Figueira و همکاران، ۲۰۱۱). سوا از مکان‌های دست‌نخورده در رشته کوه‌ها، قبل از عبور آب از مناطق کلان‌شهرها یا کشاورزی، یافتن مکانی که در آن آنتی‌بیوتیک‌ها در آب مشاهده نشود، دشوار است (Yang و همکاران، ۲۰۰۳). محیط دریایی به‌عنوان یک مخزن حیاتی ARB[3] و ARG[4] در نظر گرفته شده است (Zhang و همکاران، ۲۰۰۹) و آنتی بیوتیک‌ها در اکوسیستم دریایی دو نگرانی وجود ARB و ARG را ایجاد کرده است. مشکل عمده سمیت احتمالی مواد ARB و ARG برای آبزیان و انسان از طریق فاضلاب تصفیه شده است. علاوه‌بر این، این نگرانی فزاینده وجود دارد که آزاد شدن آنتی بیوتیک‌ها در محیط با ظهور باکتری‌های بیماری‌زا که نسبت به غلظت‌های بالای این داروها تحمل دارند، ارتباط دارد.

تصفیه آب آشامیدنی

در گذشته هدف از تصفیه آب کاهش مواد معلق و از بین بردن عوامل زنده بیماری زا در آب بود که با روش‌های متداول فیلتراسیون و گندزایی به‌دست می‌آمد. اما در حال حاضر با افزایش غلظت مواد ریزدانه، ترکیبات ازته، مواد آلی و معدنی و فلزات سنگین به منابع آب روش‌های موجود به‌طور کامل توانایی تصفیه مناسب آب را ندارند و لازم است از روش و فرآیندهای جدید برای این عمل استفاده شود (قادری دهکردی، ۱۳۹۴). اثر تصفیه آب آشامیدنی (به‌طور سنتی با استفاده از فیلتراسیون و کلرزنی) برای از بین بردن عوامل بیماری‌زای باکتریایی مانند عامل وبا (ویبریو کلرا) و تب‌های حصبه (سالمونلا تیفی و سالمونلا پاراتیفی)، باکتری شاخص مدفوعی اشریشیا کلی، که از مدفوع تمام حیوانات خونگرم و برخی از خزندگان دفع می‌شود، به‌خوبی مشخص شده است (Edberg و همکاران، ۲۰۰۰). با این وجود، بسیاری از عوامل بیماری‌زای روده‌ای هستند که به‌ویژه باتوجه‌به مقاومت در برابر مواد ضدعفونی و شرایط محیطی رفتار متفاوتی دارند (Ashbolt و همکاران، ۲۰۰۱). مطالعات مشخص کرده است استفاده از کلر برای ضدعفونی آب آشامیدنی می‌تواند باعث افزایش باکتری‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک در محیط‌های آبی شود. این امر در مطالعه Ribas و همکاران (۲۰۰۰) تایید شد و مشخص شد تعداد بعضی از باکتری‌ها با افزایش میزان کلر در آب آشامیدنی افزایش می‌یابد. همچنین مشخص

شد فرآیند تصفیه آب نمی‌تواند به‌طور کامل باعث حذف آنتی‌بیوتیک‌ها از آب آشامیدنی شود و روند تصفیه آب قادر به حذف کامل آنتی‌بیوتیک‌ها از آب آشامیدنی نیست (Figueira و همکاران، ۲۰۱۱).

در طول تصفیه آب و در آب لوله‌کشی مقاومت به برخی از آنتی‌بیوتیک‌ها مشاهده شده است، تصفیه آب ممکن است مقاومت آنتی‌بیوتیکی باکتری‌های زنده مانده را افزایش دهد و سیستم‌های توزیع آب ممکن است به‌عنوان مخزنی مهم برای گسترش مقاومت آنتی‌بیوتیکی به عوامل بیماری‌زای فرصت طلب عمل کنند (Baquero و همکاران، ۲۰۰۸؛ Xi و همکاران، ۲۰۰۹). فرایندهای تصفیه آب آشامیدنی نمی‌تواند ARGها را از منابع آب آشامیدنی کاملاً از بین ببرد. بنابراین، سیستم‌های تأمین آب آشامیدنی ممکن است یک مسیر انتشار اولی ARG ها از محیط به میزبان باشد، که خطرات احتمالی را برای سلامتی انسان ایجاد می‌کند (Han و همکاران، ۲۰۲۰). برپایه تحقیقاتی که روی تغییر جامعه باکتری در آب آشامیدنی در طی کلرزنی انجام شده، مشخص شده است که در سطح جنس، کلرزنی می‌تواند به‌طور موثر Methylophilus، Methylotenera، Limnobacter وPolynucleobacter را حذف کند، درحالی‌که باعث افزایش فراوانی نسبی سودوموناس، اسیدووراکس، اسفنگوموناس، پلئوموناس و آندی باکتریوم در آب آشامیدنی می‌شود. همچنین مشخص شد الگوهای کلی جامعه باکتری‌ها به‌طور قابل توجهی توسط کلرزنی تغییر یافتند، تجزیه و تحلیل میزبان بالقوه نشان داد سودوموناس میزبان اصلی نهفته ARGهای پایدار است. ژن‌های مقاومت به چند دارو در آب آشامیدنی غالب بوده و فراوانی نسبی آنها پس از کلرزنی تا حد زیادی افزایش می‌یابد (Jia و همکاران، ۲۰۱۵).

مقاومت آنتی‌بیوتیکی

مقاومت آنتی‌بیوتیکی به بروز یک ویژگی خاص در یک میکروارگانیسم گفته می‌شود که باعث می‌شود تحت تأثیر داروهای آنتی‌بیوتیکی قرار نگیرد. درصورتی‌که پیش‌ازاین نسبت به داروی مذکور حساس بوده و این مقاومت باعث می‌شود آن دارو دیگر موجب مرگ یا توقف رشد میکروارگانیسم نشود. طی دهه‌های اخیر آنتی‌بیوتیک‌ها به‌طور گسترده‌ای در درمان عفونت‌های باکتریایی در انسان و حیوانات و همچنین به‌عنوان تقویت کننده‌های رشد در کشاورزی استفاده می‌شوند. افزایش درصد گونه‌های باکتریایی مقاوم در برابر آنتی‌بیوتیک‌ها در محیط‌های مختلف می‌تواند به بروز مشکلاتی در درمان انتخابی عفونت‌های باکتریایی کشیده شود. مهمترین علت بالا رفتن میزان مقاومت باکتری‌ها نسبت به آنتی‌بیوتیک‌ها در ایران ناشی از تجویز و استفاده بی‌رویه از آنتی‌بیوتیک‌ها است. بروز مقاومت باکتریایی در محیط‌های زیست‌آبی در بسیاری از مطالعات مختلف گزارش شده است. ازاین‌رو بسیاری از محققین، محیط‌های آبی به خصوص فاضلاب را به‌عنوان دریافت کننده اصلی باکتری‌های روده‌ای، جایگاهی مساعد برای مقاوم شدن بسیاری از باکتری‌ها در مقابل انواع گوناگون آنتی‌بیوتیک‌ها می‌دانند. زیرا که در چنین محیطی انتقال ژن‌های مقاوم به دلیل بالابودن بار غذایی و بار میکروبی به‌خوبی بین گونه‌های مختلف باکتریایی صورت می‌پذیرد (Le و همکاران، ۲۰۱۸؛ manaia و همکاران، ۲۰۱۸) امروزه، آنتی‌بیوتیک‌ها نقش عمده‌ای در کشاورزی و صنایع دامی مدرن دارند و استفاده از آنها در بسیاری از کشورهای پیشرفته در حال افزایش است. یکی از عمده‌ترین کاربردهای آنتی بیوتیک در سال‌های اخیر، افزایش رشد و اثربخشی خوراک دام‌های سالم است. مصرف بی‌رویه یا نداشتن الگوی مصرف درست آنتی‌بیوتیک یکی از چالش‌های اساسی در بروز مقاومت آنتی‌بیوتیکی انگاشته می‌شود (Sarmah و همکاران، ۲۰۰۶). ظهور باکتری‌های مقاوم در برابر آنتی‌بیوتیک‌ها در مناطقی که از آنتی‌بیوتیک‌ها استفاده می‌شود، معمول است، اما باکتری‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک نیز به‌طور فزاینده‌ای در محیط‌های آبی مشاهده می‌شوند. استفاده گسترده از آنتی‌بیوتیک در بیمارستان‌ها و دامداری بیانگر شرایط انتخابی است که بر باکتری تأثیر می‌گذارد. دامپروری باعث ورود باکتری‌های مقاوم به داخل خاک از طریق کود مایع و جامد می‌شود (Aarestrup و همکاران، ۱۹۹۶).

گزارشات متعددی همچنین وجود انتروکوک‌های مقاوم به وانکومایسین (VRE)[5] را در مدفوع افرادی که نه به‌تازگی در بیمارستان بوده‌اند و نه آنتی بیوتیک دریافت کرده‌اند، مستند کرده‌اند (manaia و همکاران، ۲۰۱۸). VRE مدفوع حیوانات سالم دام و فرآورده‌های حیوانی، در فاضلاب و آب‌های سطحی یافت شده است. VRE می‌تواند باعث ایجاد عفونت‌های اکتسابی در بیمارستان در بیماران ناتوان و کم‌نقص سیستم ایمنی شود، که به دلیل مقاومت زیاد این باکتری‌ها درمان آن دشوار است (Bates، ۱۹۹۷؛ Harwood و همکاران، ۲۰۰۱؛ Iversen و همکاران، ۲۰۰۲). آنتی‌بیوتیک‌ها به‌طور گسترده‌ای برای محافظت از سلامت انسان و حیوانات و یا افزایش سرعت رشد حیوانات به‌عنوان افزودنی غذایی استفاده می‌شوند. اکثر آنتی‌بیوتیک‌ها بدون تغییر در محیط دفع می‌شوند. بنابراین، نگرانی در مورد تأثیر احتمالی باقیمانده آنتی‌بیوتیک در محیط آبزی در سال‌های اخیر رو به افزایش است (Kouchesfahani و همکاران، ۲۰۱۵).

باکتری‌ها مکانیسم‌های مختلفی جهت بی‌اثر کردن آنتی‌بیوتیک‌ها دارند. ژن‌های رمز کننده این مکانیسم‌های دفاعی در کروموزوم باکتریایی یا روی پلاسمیدهای خارج کروموزومی قرار دارند و به نسل بعدی (انتقال ژن عمودی) منتقل می‌شوند. عناصر ژنتیکی، مانند پلاسمیدها، همچنین می‌توانند در میان باکتری‌های مختلف (انتقال افقی ژن) مبادله شوند (Davison، ۱۹۹۹).

در سیستم‌های توزیع آب، تمرکز اصلی تأسیسات تصفیه، کیفیت میکروبی آب آشامیدنی می‌باشد. آنتی‌بیوتیک‌های مورد استفاده همیشه به طور کامل در بدن متابولیزه نمی‌شوند و بیشتر به‌صورت اولیه به محیط منتقل می‌شود. حضور سطوح ردیابی آنتی‌بیوتیک‌ها، ARB و ARGها در آب منبع و فاضلاب می‌تواند تا حد زیادی بر بهداشت عمومی تأثیر بگذارد و این مسئله برای صنعت آب آشامیدنی حائز اهمیت است (Bergeron و همکاران، ۲۰۱۵). مقاومت آنتی‌بیوتیکی باکتری‌های بیماری‌زا نشان‌دهنده یک مشکل بهداشتی جهانی است که نیاز به درک بهتر از سرنوشت باکتری مقاوم در برابر آنتی‌بیوتیک‌ها (ARB) در محیط‌های آبی و گسترش آنها در سیستم تأمین آب می‌باشد. استفاده گسترده و بیش از حد آنتی‌بیوتیک‌ها باعث آلودگی منابع سطح زمین و منابع آب زیرزمینی توسط آنتی‌بیوتیک‌ها و ژن‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک (ARGs) شده است. فرآیند تصفیه آب فعلی نمی‌تواند به‌طور کامل آنتی‌بیوتیک‌های موجود در آب آشامیدنی را از بین ببرد. علاوه‌بر این انتقال افقی ARG میان میکروب‌ها در سیستم تأمین آب می‌تواند ظهور و انتشار مقاومت آنتی‌بیوتیک باکتری در آب آشامیدنی و سلامت انسان را تسهیل کند (Bai و همکاران، ۲۰۱۵).

ژن‌های مقاوم در برابر آنتی‌بیوتیک، به‌عنوان آلودگی‌های محیطی در حال ظهور، نگرانی عمده‌ای در ارتباط با گسترش و توسعه مقاومت آنتی‌بیوتیکی هستند. محیط‌زیست آبزی به‌عنوان یکی از مهمترین مخازن باکتری و ژن‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک شناخته شده است. با استفاده گسترده از آنتی بیوتیک‌ها در پزشکی انسانی و دامپزشکی و صنعت کشاورزی، ARGها در محیط‌های مختلف از جمله آب‌های سطحی رودخانه، تاسیسات تصفیه‌خانه‌های شهری (MWTPs[۶])، تأسیسات تصفیه آب آشامیدنی (DWTPs[۷]) و آب مخازن ذخیره شناسایی شده‌اند. شواهد نشان می‌دهد ARB و ARGها در سیستم‌های آب آشامیدنی از آب منبع به آب پر شده انتقال پیدا می‌کند. از آنجایی‌که آب شیرین از DWTPs به‌دست می‌آید، شیوع ARGها در سیستم‌های آب آشامیدنی می‌تواند تهدید نهفته‌ای برای سلامت عمومی باشد (Lu و همکاران، ۲۰۱۸).

در این راستا در سال‌های اخیر پژوهش‌هایی بر روی مقاومت آنتی‌بیوتیکی باکتری‌ها در منابع آبی و انتقال ژن‌های مقاوم به آنها از طریق آب آشامیدنی به انسان انجام شده است. Bergeron و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند مقاومت آنتی‌باکتریایی در منابع آب و آب‌های شیرین نشان داد منابع آبی ARB دارند. همچنین حضور SrRAN16 در آب شهری تأیید شد (Bergeron و همکاران، ۲۰۱۵). بررسی Xi و همکاران (۲۰۰۹) روی وجود مقاومت آنتی‌بیوتیکی در آب آشامیدنی و سیستم‌های توزیع آب نشان داد، ARB و ARGs در تمام نمونه‌های آب‌های تصفیه شده (آب منبع و آب شهری که مورد آزمون قرار گرفتند) وجود دارد (Xi و همکاران، ۲۰۰۹). مطالعه لاله کیانی و همکاران (۱۳۹۵) روی فیلترهای دستگاه‌های تصفیه آب خانگی نشان داد، باکتری سودوموناس آئروژینوزا در این فیلترها وجود دارد و تست آنتی‌بیوگرام نشان داد اکثر این باکتری‌ها مقاومت چندگانه دارند. Bai و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند از میان ARBهای جدا شده در فرآیند تصفیه آب آشامیدنی ۷۵٪ به چندین آنتی‌بیوتیک مقاوم بودند و همچنین نشان داده شد اکسیداسیون ازن، فیلتراسیون BAC[۸] و ضدعفونی کلرامین می‌تواند تا حد زیادی بر میزان فراوانی نسبی باکتری‌ها در جامعه تأثیر بگذارد. Lu و همکاران (۲۰۱۸) مطالعه‌ای روی توزیع و فراوانی ژن‌های مقاوم در برابر آنتی‌بیوتیک در مخازن و تأسیسات تصفیه آب آشامیدنی در رودخانه زرد چین انجام دادند، هفتاد ARG ژنتیکی را شناسایی کردند که از جمله آن aadE، strA، strB، tetA، sulII، intl1 و Tn916 بیشترین تعداد شناسایی شده (بیش از ۸۰٪) را داشتند. Mena و همکاران (۲۰۰۹) مطالعه‌ای در مورد ارزیابی خطر سودوموناس آئروژینوزا در آب انجام دادند مشخص شد سودوموناس آئروژینوزا یکی از باکتری‌های مهم در به‌وجود آوردن انواع بیماری‌های مختلف می‌باشد که وجود آن در آب تأیید شد. Vaz-moriria و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای که روی تنوع و مقاومت آنتی‌بیوتیک روی گونه‌های سودوموناس در آب آشامیدنی انجام دادند مشخص کردند مقاومت به تیکارسیلین، تیکارسیلین با اسید کلوولانیک، فسفومیسین و کوتریموکسازول ۸۴-۶۹ درصد بود. اگرچه مطالعه نشان داد که تصور نمی‌شود گونه‌های سودوموناس به‌طور معمول در آب آشامیدنی بسیار گسترده باشند. با این وجود، مشخص شد سودوموناس موجود در آب می‌تواند از طریق انتقال عمودی مقاومت آنتی‌بیوتیکی به‌دست آورد. Schwartz و همکاران (۲۰۰۳) در مطالعه‌ای روی تشخیص باکتری مقاوم در برابر آنتی‌بیوتیک و ژن‌های مقاومت آن‌ها در فاضلاب، آب‌های سطحی و بیوفیلم‌های آب آشامیدنی انجام دادند، بیان کردند ژن‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک vanA و ampC در بیوفیلم‌های تشکیل شده در آب آشامیدنی شناسایی شد.

نتایج و بحث

باتوجه‌به افزایش روز افزون جمعیت و توسعه صنایع و افزایش آلودگی منابع آب شیرین، دسترسی به آب سالم و مناسب در اکثر کشورها به یک بحران جدی تبدیل شده است. تأثیر حیات بخش آب برروی توسعه و زندگی از یک سو و افزایش جمعیت و رشد مصارف کشاورزی، خانگی و صنعتی و کمبود این ماده حیاتی در کشورهای خشک و نیمه خشک (مثل ایران) از سوی دیگر سبب شده است تا استفاده بهینه از آب در مصارف مختلف شرب، بهداشت، کشاورزی باعث نگرانی مسئولان شود و استفاده از آب بسته‌بندی شده به‌عنوان یک راهکار جدی در اجرای قانون عادلانه آب مورد توجه قرار گیرد. باتوجه‌به کمبود روزافزون آب، حفاظت از آب به‌منظور پیشگیری از هدررفتن آن و آسیب به سلامت انسان و محیط ضروری است. دانش اپیدمیولوژی بیان می‌کندمصرف آب آلوده به‌صورت مستقیم (نوشیدن) و یا به‌صورت غیر مستقیم (تماس) می‌تواند سلامت انسان را به خطر انداخته و ایجاد بیماری کند. بسیاری از عوامل بیماری که باعث آلودگی آب می‌شوند، میکروارگانیسم‌ها هستند که از طریق مواد دفعی انسان و حیوان منتقل می‌شوند. علاوه‌بر موارد مطرح شده امروزه حضور باکتری‌ها و ژن‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک مقاومت در آب‌ها از جهات مختلف حائز اهمیت می‌باشد، ماندگاری و انتشار آنها در طبیعت منجر به افزایش عفونت با این پاتوژن‌ها می‌شود. همچنین انتشار باکتری‌ها و ژن‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک ممکن است باعث افزایش مخازن ژن‌های مقاوم به دارو در محیط شود و منجر به انتقال این ژن‌ها به سایر باکتری‌های بیماری‌زا شود. به دلیل مصرف بی‌رویه و خودسرانه آنتی بیوتیک‌های بتالاکتام مانند پنی سیلین‌ها، سفالوسپورین‌ها و کارباپنم‌ها که برای درمان عفونت‌های سودوموناسی استفاده می‌شوند، باعث مقاومت سودوموناس آئروژینوزا نسبت آنها شده است.

مطالعات اخیر نشان داده است، انواع مختلفی از ژن‌های مقاومت به آنتی‌بیوتیک (ARG) در آب آشامیدنی در سراسر جهان وجود دارد (Jia و همکاران، ۲۰۱۵). باکتری‌های مولد متالوبتالاکتاماز بیشتر الگوی مقاوم دارویی چندگانه هستند و عامل عفونت‌های جدی هستند که درمان آنها سخت می‌باشد. این آنزیم‌ها توانایی هیدرولیز آنتی‌بیوتیک‌های گروه بتالاکتام را دارند که بیشتر در باکتری‌های سودوموناس و اسینتوباکتر یافت می‌شوند (Walsh، ۲۰۰۷). منابع آب آشامیدنی به دلیل ارتباط آنها با آلودگی حاصل از خاک آغشته به کود فاضلاب شهری و بیمارستانی می‌توانند میزبان ARGها و عوامل بیماری‌زای متنوعی باشند. با این وجود برخی از باکتری‌ها به دلیل مقاومت به مواد ضدعفونی کننده قادر به رشد در محیط آبی هستند. مطالعات مشخص کرده است که استفاده از کلر برای ضدعفونی آب آشامیدنی می‌تواند باعث افزایش باکتری‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک در محیط‌های آبی شود. وجود تعداد زیادی باکتری به همراه ژن‌های مقاومت به آنتی‌بیوتیک، سلامت اعضای جامعه را در معرض خطر قرار می‌دهد. در طول تصفیه آب و در آب لوله‌کشی مقاومت به برخی از آنتی‌بیوتیک‌ها مشاهده شده است. تصفیه آب ممکن است مقاومت آنتی‌بیوتیکی باکتری‌های زنده مانده را افزایش دهد و سیستم‌های توزیع آب ممکن است به‌عنوان مخزنی مهم برای گسترش مقاومت آنتی‌بیوتیکی به عوامل بیماری‌زای فرصت طلب عمل کنند (Baquero و همکاران، ۲۰۰۸؛ Xi و همکاران، ۲۰۰۹).

نتیجه‌گیری

باتوجه‌به اینکه آب (آشامیدنی و معدنی) بخش پیوسته زندگی تمام انسان‌ها در تمام سنین می‌باشد، انتقال آلودگی‌های مختلف در آب، می‌تواند خطر بزرگی برای سلامتی اقشار مختلف جامعه باشد. امروزه قوانین لازم برای کنترل آنتی‌بیوتیک‌ها در منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی و آب‌های آشامیدنی کافی نیست چون فرض می‌شود مقادیر آنها در آب بسیار کم و در ارزیابی خطرهای محیط‌زیستی، اثرات ثابت شده و معنی‌داری روی محیط‌زیست نشان ندادند. لذا به‌دست آوردن اطلاعات بیشتر در خصوص میزان و فراوانی باکتری‌های دارای جهش‌های مقاوم به آنتی بیوتیک‌ها ضروری به نظر می‌رسد. همچنین باتوجه‌به خطرات ناشی از فاضلاب‌های بیمارستانی و عدم توجه به دفع صحیح اینگونه فاضلاب‌ها در شهر، به نظر می‌رسد بررسی چگونگی دفع فاضلاب‌ها به‌خصوص فاضلاب‌های بیمارستانی اهمیت دارد. باتوجه‌به عدم مطالعه کافی روی باکتری‌های آلوده‌کننده آب‌های آشامیدنی و معدنی و انتقال ژن‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک به محیط‌زیست لازم است این موضوع بیشتر بررسی شود.سیستم‌های فاضلاب باید طوری طراحی شوند که ضدعفونی کردن باکتری‌های موجود در پساب‌ها (شهری، بیمارستانی) را قبل از تخلیه فاضلاب به اکوسیستم آبی در نظر بگیرد. از این رو، به نظارت بر مقاومت و اهمیت اکوسیستم‌های آبزی برای انتشار عوامل تعیین کننده مقاومت آنتی‌بیوتیکی نیاز است، زیرا در بسیاری از نقاط آب‌های سطحی کره زمین به‌عنوان نقطه پایانی برای اثرات تصفیه شده/ تصفیه نشده از تصفیه فاضلاب در نظر گرفته می‌شوند (Devarajan و همکاران، ۲۰۱۷).

انتخاب و محافظت از منابع آب آشامیدنی مسئله اساسی در ایمنی آب آشامیدنی است. نتایج نشان داده است باکتری‌های موجود در محیط، عامل اصلی مقاومت آنتی‌بیوتیکی است،

فراوانی ARG با فراوانی پاتوژن‌های فرصت طلب و روند مقاومت آنتی‌بیوتیکی در ارتباط می‌باشد. بنابراین، محافظت از منابع آب آشامیدنی در برابر آلودگی‌های آنتی‌بیوتیکی و بیولوژیکی توسط سیاست‌های سختگیرانه ممکن است اقدامات عملی در جهت مدیریت منابع آب آشامیدنی در آینده باشد. فاضلاب دام و طیور، فاضلاب بالینی و فاضلاب بیمارستانی اهداف اولویت هستند. به دلیل تنوع زیاد در آلودگی آنتی‌بیوتیکی در منابع آب آشامیدنی، باید استراتژی‌های تصفیه دقیق در تصفیه آب آشامیدنی در نظر گرفته شود. نظارت بر منابع آب آشامیدنی می‌تواند کمک کند تا خطرات احتمالی سلامتی ARGها و عوامل بیماری‌زا ارزیابی شود. برای اینکه صنعت کشاورزی و نهادهای ناظر دولتی بتوانند مدیریت موثری و در این مورد اتخاذ کنند، باید تحقیقات بین رشته‌ای انجام شود و برای این منظور نیاز به همکاری میکروب‌شناسان، سم‌شناسان، مهندسان محیط‌زیست و کشاورزی، شیمی‌دانان ارگانیک، ژئوشیمی‌دانان، ارزیابان ریسک و مهندسان مرتبط با صنعت دارد.

پی‌نوشت

1-World Health Organization
2-Antimicrobial Resistance
3-Antibiotic Resistance Bacteria
4-Antibiotic Resistance Genes
5-Vancomycin-resistant Enterococcus
6-Municipal Wastewater Treatment Plants
7-Drinking Water Treatment Plants
8-Biological activated carbon

منابع

قادری دهکردی، م. ۱۳۹۴. بررسی راهکارهای فناوری نانو در مقابله با آلاینده‌های محیط‌زیست و تصفیه آب آشامیدنی. دومین کنفرانس بین‌المللی پژوهش در علوم و تکنولوژی. استانبول، ترکیه.

لاله کیانی، ا.، توفیقی، ر. و معتمدی، ح. ۱۳۹۵. شناسایی و بررسی مقاومت آنتی‌بیوتیکی باکتری‌های موجود در فیلترهای دستگاه تصفیه آب خانگی در شهر اهواز مجله سلامت و محیط‌زیست، ۹(۴): ۵۵۹-۵۷۰.

Aarestrup F.M., Ahrens P., Madsen M., Pallesen L.V., Poulsen R.L. and Westh H., 1996. Glycopeptide susceptibility among Danish Enterococcus faecium and Enterococcus faecalis isolates of animal and human origin and PCR identification of genes within the VanA cluster. Antimicrobial agents and chemotherapy, 40(8): 1938-1940

Alipour M., Hajiesmaili R., Talebjannat M. and Yahyapour Y. 2014. Identification and Antimicrobial Resistance of Enterococcus Spp. Isolated from the River and Coastal Waters in Northern Iran. Scientific World Journal, 1: 1-5.

Ashbolt N.J. 2004. Microbial contamination of drinking water and disease outcomes in developing regions. Toxicology, 198(1-3): 229-238.

Ashbolt N.J., Grabow W.O.K. and Snozzi M. 2001. Indicators of microbial water quality. Water quality: Guidelines, standards and health, 30: 289-316.

Bai X., Ma X., Xu F., Li J., Zhang H. and Xiao X. 2015. The drinking water treatment process as a potential source of affecting the bacterial antibiotic resistance. Science of the Total Environment, 533(15): 24-31.

Baquero F., Martínez J.L., and Cantón R. 2008. Antibiotics and antibiotic resistance in water environments. Current opinion in biotechnology, 19(3): 260-265.

Bates J. 1997. Epidemiology of vancomycin-resistant enterococci in the community and the relevance of farm animals to human infection. Journal of Hospital Infection, 37(2): 89-101.

Bergeron S., Boopathy R., Nathaniel R., Corbin A. and LaFleur G. 2015. Presence of antibiotic resistant bacteria and antibiotic resistance genes in raw source water and treated drinking water. International Biodeterioration & Biodegradation, 102: 370-374.

Davison J. 1999. Genetic exchange between bacteria in the environment. Plasmid, 42(2): 73-91.

Devarajan N., Köhler T., Sivalingam P., Van Delden C., Mulaji C.K., Mpiana P.T., Ibelings B.W. and Poté J. 2017. Antibiotic resistant Pseudomonas

Distribution and abundance of antibiotic resistance genes in sand settling reservoirs and drinking water treatment plants across the Yellow River, China. Water, 10(3): 246.

Manaia Célia M., Jaqueline R., Nazareno S., Roberto M., Elena R., Francesco B., Francisco c., Gianuário F., Iakovos c., Ian z., Ioannis k., Ivone v.m. and Olga c.n. 2018. Antibiotic resistance in wastewater treatment plants: tackling the black box. Environment international, 115 : 312-324.

Mena Kristina D. and Charles P.G. 2009. Risk assessment of Pseudomonas aeruginosa in water. Reviews of environmental contamination and toxicology, 201: 71-115.

Petraccia L., Liberati G., Masciullo S. G., Grassi M. and Fraioli A. 2006. Water, mineral waters and health. Clinical nutrition, 25(3): 377-385.

Ribas F., Perramon J., Terradillos A., Frias J. and Lucena F. 2000. The Pseudomonas group as an indicator of potential regrowth in water distribution systems. Journal of applied microbiology, (88)4: 704-710.

Sarmah A.K., Meyer M.T. and Boxall A.B. 2006. A global perspective on the use, sales, exposure pathways, occurrence, fate and effects of veterinary antibiotics (VAs) in the environment. Chemosphere, (65)5: 725-759.

Schwartz T., Kohnen W., Jansen B. and Obst U. 2003. Detection of antibiotic-resistant bacteria and their resistance genes in wastewater, surface water, and drinking water biofilms. FEMS microbiology ecology, (43)3: 325-335.

Vaz-Moreira I., Nunes O.C. and Manaia C.M. 2012. Diversity and antibiotic resistance in Pseudomonas spp. from drinking water. Science of the Total Environment, 426: 366-374.

Walsh T. R. 2005. The emergence and implications of metallo-β-lactamases in Gram-negative bacteria. Clinical microbiology and infection, 11(S6): 2-9.

WHO. 2014. World Health Organization. Briefing note: antimicrobial resistance: an emerging water, sanitation and hygiene Issue. W. H. Organization.

spp. in the aquatic environment: a prevalence study under tropical and temperate climate conditions. Water Research, 115: 256-265.

Edberg S.C.L., Rice E.W., Karlin R.J. and Allen M.J. 2000. Escherichia coli: the best biological drinking water indicator for public health protection. Journal of applied microbiology, 88(S1): 106S-116S.

Figueira V., Vaz-Moreira I., Silva M. and Manaia C.M. 2011. Diversity and antibiotic resistance of Aeromonas spp. in drinking and waste water treatment plants. Water research, 45(17): 5599-5611.

Han Z., Zhang Y., An W., Lu J., Hu J. and Yang M. 2020. Antibiotic resistomes in drinking water sources across a large geographical scale: Multiple drivers and co-occurrence with opportunistic bacterial pathogens. Water Research, 183: 116088.

Harwood V.J., Brownell M., Perusek W. and Whitlock J.E. 2001. Vancomycin-resistant Enterococcus spp. isolated from wastewater and chicken feces in the United States. Applied and Environmental Microbiology, 67(10): 4930-4933.

Iversen A., Kühn I., Franklin A. and Möllby R., 2002. High prevalence of vancomycin-resistant enterococci in Swedish sewage. Applied and Environmental Microbiology, 68(6): 2838-2842.

Jia S., Shi P., Hu Q., Li B., Zhang T. and Zhang X.X. 2015. Bacterial community shift drives antibiotic resistance promotion during drinking water chlorination. Environmental science & technology, (49)20: 12271-12279.

Kouchesfahani M.M., Alimohammadi M., Nodehi R.N., Aslani H., Rezaie S. and Asadian S. 2015. Pseudomonas aeruginosa and heterotrophic bacteria count in bottled waters in Iran. Iranian journal of public health, 44(11): 1514.

Le T.H., Ng C., Tran N.H., Chen H. and Gin K.Y.H. 2018. Removal of antibiotic residues, antibiotic resistant bacteria and antibiotic resistance genes in municipal wastewater by membrane bioreactor systems. Water research, 145: 498-508

Lu J., Tian Z., Yu J., Yang M. and Zhang Y. 2018.

occurrence in a river through pristine, urban and agricultural landscapes. Water Research, 37(19): 4645-4656.

Zhang X. X., Zhang T. and Fang H. H. 2009. Antibiotic resistance genes in water environment. Applied microbiology and biotechnology, 82(3): 397-414.

No. WHO/FWC/WSH/14.7.

Xi C., Zhang Y., Marrs C.F., Ye W., Simon C., Foxman B. and Nriagu J. 2009. Prevalence of antibiotic resistance in drinking water treatment and distribution systems. Applied and environmental microbiology, 75(17): 5714-5718.

Yang S. and Carlson K. 2003. Evolution of antibiotic