Journal of Health in the Field, Vol.11, No.4, Winter 2024 Research Article

Potential releases of hydrocarbons and heavy metals from polyethylene pipes

Abbas Akbarzadeh[1*], Behnoosh Ahangari[2], Mohammad Rafiee[2], Mahsa Jahangirirad[3], Farzad Hashemzadeh[4]

1- Water and Wastewater Research Center (WWRC), Water Research Institute, Tehran, Iran

2- Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

3- Water Purification Research Center, Tehran Medical sciences, Islamic Azad University, Tehran, Iran

4- Researcher at water and wastewater Research center, Water Research Institute, Tehran, Iran

Abstract

Background and Aims: The release of organics and heavy metals from drinking water distribution pipes can adversely affect consumers' health. The aim of this study was to investigate the impact of water quality and pipe diameter on the release of organic compounds and heavy metals in polyethylene pipes.

Materials and Methods: The experiments were performed in three different cycles of 72, 144, and 216 hours. The effect of water temperature, pH, hardness and remaining chlorine concentrations, as well as pipes diameter on the release of organics and some heavy metals were investigated. Ethical considerations were all observed during the study.

Results: The release of TOC increased with increasing the contact time of water to the pipe; however, the concentration of released zinc decreased by increasing time. Concentrations of lead, cadmium, and nickel in all samples were lower than the detection limit (LOD). The odor threshold number in all samples was lower than the allowable limit. The results indicated that increasing pH and hardness resulted in the decreased concentrations of TOC and zinc in water. Additionally, with increasing temperature, the concentration of TOC sharply escalated. Nevertheless, the released amounts of both TOC and zinc decreased by increasing pipe diameter.

Conclusion: The results of the study revealed that the existing pipes do not pose a health threat in terms of the release of heavy metals into water. In relation to the release of TOC in water, although these values are low, thorough research should be conducted to determine their types and subsequently assess the risk of released hydrocarbons on the health of individuals.

Keywords: Water quality, Polyethylene pipes, Water distribution network, Organic compounds, Heavy metals

Please Cite this article as: Akbarzadeh A, Ahangari B, Rafiee M, Jahangiri rad M, Hashemzadeh F. Potential releases of hydrocarbons and heavy metals from polyethylene pipes. Journal of Health in the Field 2024; 11(4):21-30.

Corresponding Author: Water and Wastewater Research Center (WWRC), Water Research Institute, Tehran, Iran.

Email: abbasakbarzadeh@yahoo.com

DOI: https://doi.org/10.22037/jhf.v11i4.43781

Received: 4 November 2023

Accepted: 22 November 2024

مقاله پژوهشی

فصلنامه بهداشت در عرصه
دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی- دانشکده بهداشت و ایمنی
دوره ۱۱ شماره ۴، زمستان ۱۴۰۲، صفحات ۲۱ تا ۳۰

بررسی پتانسیل انتشار ترکیبات آلی و فلزات سنگین از لوله‌های پلی‌اتیلنی

عباس اکبرزاده[۱*]، بهنوش آهنگری[۲]، محمد رفیعی[۲]، مهسا جهانگیری‌راد[۳]، فرزاد هاشم‌زاده[۴]

۱- مرکز تحقیقات آب، موسسه تحقیقات آب، تهران، ایران
۲- گروه مهندسی بهداشت محیط ، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
۳- مرکز تحقیقات پالایش آب، دانشگاه آزاد اسلامی، علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
۴- پژوهشگر مرکز تحقیقات آب و فاضلاب، موسسه تحقیقات آب، تهران، ایران

چکیده

زمینه و اهداف: رهایش ترکیبات آلی و فلزات سنگین از لوله‌های توزیع آب شرب، اثر جدی بر سلامت مصرف‌کنندگان خواهد گذاشت. هدف از مطالعه حاضر بررسی تاثیر مشخصات کیفی آب و قطر لوله بر روی رهاسازی این ترکیبات شیمیایی در لوله‌های پلی‌اتیلنی است.

مواد و روش‌ها: آزمایشات در لوله‌های پلی اتیلنی حاوی آب و در سه سیکل مختلف ۷۲، ۱۴۴ و ۲۱۶ ساعت انجام و تاثیر دما، pH، سختی و کلر باقیمانده آب و همچنین قطر لوله بر میزان رهایش ترکیبات آلی و برخی فلزات مورد بررسی قرار گرفت. ملاحظات اخلاقی در تمام مراحل انجام پژوهش رعایت شده است.

یافته‌ها: با افزایش زمان تماس آب با لوله میزان رهایش کل کربن آلی (TOC) افزایش و غلظت روی آزاد شده کاهش یافت. غلظت سرب، کادمیوم و نیکل در همه نمونه‌ها پایین‌تر از حد تشخیص دستگاه بود. همچنین، عدد آستانه بو در تمامی نمونه‌ها پایین‌تر از حد مجاز استاندارد بود. علاوه بر این، نتایج نشان دهنده کاهش غلظت TOC و روی در آب با افزایش pH و سختی بود. افزایش دمای آب، افزایش قابل توجه غلظت TOC در آب را به دنبال داشت؛ با اینحال، با افزایش قطر لوله، میزان رهایش TOC و روی کاهش پیدا کرد.

نتیجه‌گیری: نتایج مطالعه نشان می‌دهد که لوله‌های موجود از لحاظ رهایش فلزات سنگین به آب تهدیدی برای سلامتی ایجاد نمی‌کنند. با اینحال، هرچند مقادیر رها شده TOC در آب در مطالعه حاضر پایین بود، اما این موضوع نیازمند بررسی دقیق‌تر جهت تعیین نوع و آن ارزیابی ریسک هیدروکربن‌های آزاد شده بر روی سلامت افراد می‌باشد.

کلید واژه‌ها: کیفیت آب، لوله‌های پلی‌اتیلنی، شبکه توزیع آب، ترکیبات آلی، فلزات سنگین

* **نویسنده مسئول:** مرکز تحقیقات آب، موسسه تحقیقات آب، تهران ، ایران.
Email: abbasakbarzadeh@yahoo.com

تاریخ دریافت مقاله:۱۴۰۲/۰۸/۱۳
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۲/۰۹

مقدمه

آب برای بقا و توسعه جامعه بشری، امنیت غذایی، توسعه اقتصادی و خدمات اکوسیستم در کره زمین ضروری است [۱]. تامین آب آشامیدنی سالم، نه تنها موجب بهبود سطح بهداشت جامعه می‌شود؛ بلکه از پیامد و تبعات منفی ناشی از عدم تامین آن، از جمله افزایش بار بیماری و هزینه‌های درمان، جلوگیری می‌کند. این موضوع به حدی حائز اهمیت است که هدف ششم توسعه پایدار، یعنی "اطمینان از در دسترس بودن و مدیریت پایدار آب و فاضلاب برای همه"، بر این مهم متمرکز است. در واقع، دسترسی به آب آشامیدنی سالم، اساسی‌ترین حق و کالای بشر محسوب می‌شود. ایمنی و کیفیت آب آشامیدنی اغلب به منبع آب مرتبط است؛ اما کیفیت آن می‌تواند در طول فرآیند انتقال از منبع آب به مصرف‌کننده نهایی، دستخوش تغییر شود [۲]. در دهه‌های اخیر به این موضوع که آب آشامیدنی سالم که از تصفیه‌خانه خارج شده، می‌تواند در معرض آلودگی‌های مختلف قرار بگیرد، پرداخته شده است و یکی از اصلی‌ترین راه‌های انتقال آلودگی می‌تواند توسط شبکه‌های انتقال و توزیع باشد [۳]. شبکه‌های تامین و توزیع آب شهری به‌عنوان یکی از زیرساخت‌های کلیدی و تأثیرگذار در حوزه مدیریت آب شهری، وظیفه انتقال آب از منابع تأمین‌کننده به دست مصرف‌کنندگان را با فشار کافی و کیفیت مناسب را دارند. بر اساس آمارهای منتشرشده از سوی وزارت نیرو در سال ۱۳۹۸، طول خطوط انتقال آب، از ۲۶۲۳۸ کیلومتر در سال ۱۳۹۱ به ۲۹۵۳۰ کیلومتر در سال ۱۳۹۷ و طول شبکه توزیع آب، از ۱۳۶۳۹۸ کیلومتر در سال ۱۳۹۱ به ۱۵۷۰۷۰ کیلومتر در سال ۱۳۹۷ افزایش یافته است. اگرچه لوله‌های آبی که امروزه در شبکه تامین و توزیع آب مورد استفاده قرار می‌گیرند نسبت به لوله‌های آب سربی که در دوران اوج امپراتوری روم استفاده می‌شد، سمیت کمتری دارند، اما با این وجود، همچنان می‌توانند تأثیر منفی بر کیفیت نهایی آب داشته باشند؛ زیرا آلاینده‌های ناسالم همچنان می‌توانند از لوله‌های آب به آب آشامیدنی نفوذ کنند.

نوع مواد شیمیایی منتقل‌شده به آب، عمدتاً مربوط به مواد اولیه لوله می‌باشند؛ در حالی‌که غلظت مواد شیمیایی می‌تواند تحت تأثیر عوامل دیگری از جمله متغیرهای کیفی آب مانند دمای آب، pH، ابعاد لوله و زمان قرار گرفتن آب در معرض لوله قرار گیرد [۲].

پلی‌اتیلن (Polyethylene: PE) پرمصرف‌ترین پلیمر در جهان است. لوله‌های ساخته شده از پلی اتیلن با چگالی بالا (High-density Polyethylene: HDPE) و پلی‌وینیل کلراید (Polyvinyl chloride: PVC)،کاربرد گسترده‌ای در سطح جهانی در شبکه توزیع آب آشامیدنی پیدا کرده [۴،۵] و جایگزین لوله‌های قدیمی مورد استفاده برای تامین آب آشامیدنی شده‌اند [۶]. ویژگی‌های سودمندی نظیر دوام طولانی‌مدت (عمر مفید بیش از ۱۰۰ سال)، انعطاف‌پذیری، ارزان، قابلیت نصب آسان، مقاومت در برابر خوردگی (بر خلاف لوله‌های فلزی و بتنی)، سبک وزن بودن، پایداری حرارتی و استحکام کششی بالا، لوله‌های پلیمری را به‌طور فزاینده‌ای جایگزین لوله‌های فلزی قدیمی در سیستم‌های آب آشامیدنی کرده است [۷،۸]. لوله‌ها و اتصالات پلی اتیلنی پس از نصب و جریان یافتن آب درون آن‌ها تحت شرایط مختلف دما، فشار، pH، سختی و... ممکن است شروع به نشت ترکیباتی همچون فنل، کوئینون‌ها، آنتی اکسیدان‌ها و زنجیره‌های کوتاه پلی‌اتیلنی کنند که در صورت مواجه مزمن با آنها اثرات بهداشتی مختلفی مانند انواع سرطان‌های گوارشی را در سالیان بعد بر روی مصرف‌کنندگان بوجود آورند. این ترکیبات می‌توانند مربوط به مونومرهای سازنده آن‌ها، آنتی اکسیدان‌ها، پایدار کننده‌های نوری، عوامل ضد چسبندگی، رنگدانه‌ها، مواد تقویت کننده و یا محصولات ناشی از واکنش بین ترکیبات موجود در آب با مواد سازنده‌ی لوله‌ها باشند [۹]. بنابراین شناسایی و کمی‌سازی ترکیبات ذکر شده، می‌تواند به ارتقاء سطح بهداشتی لوله‌ها و اتصالات پلی‌اتیلنی تولید شده کمک کند.

برای حفظ کیفیت آب آشامیدنی، شرکت‌های تامین و توزیع آب باید اطمینان حاصل کنند، رهاسازی آلاینده‌ها از طریق لوله‌ها اتفاق نمی‌افتد تا ایمنی آب آشامیدنی را به خطر بیاندازند [۵]. در نتیجه، کیفیت لوله‌ها و سایر محصولات نهایی به طور گسترده با روش‌های تست استاندارد مورد بررسی قرار می‌گیرند [۷]. مطالعات متعددی در ارتباط با میزان رهاسازی ترکیبات آلی و معدنی در پی تماس آب با جدار لوله‌های با جنس‌های مختلف انجام پذیرفته است که از آن جمله می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود.

مطالعه‌ای توسط Brocca و همکارانش در رابطه با انتشار افزودنی‌های آلی از چهار ماده پلی‌اتیلن به آب آشامیدنی انجام گرفت. ساختارهای مختلفی از مواد شیمیایی آلی در آب شناسایی شدند که با استفاده از آنالیز کروماتوگرافی گازی- طیف سنجی جرمی شناسایی شدند. نتایج این مطالعه که بر روی چهار نوع لوله مختلف با اقطار داخلی متفاوت در شرایط آزمایشگاهی انجام شد، نشان می‌دهد که مقدار این ترکیبات به مرور زمان کاهش پیدا می‌کند؛ علاوه بر آن، انتشار افزودنی های فنلی و آنتی اکسیدان‌هایی که در حین ساخت لوله مورد استفاده قرار می‌گیرند به درون آب نیز مورد تایید قرار گرفت [۶]. Kowalska و همکارانش به بررسی ترکیبات آلی که از لوله‌های پلاستیکی به آب مهاجرت می‌کنند، پرداختند. در این پژوهش پتانسیل مهاجرت آلاینده‌های شیمیایی از لوله‌های پلی وینیل کلراید (PVC) یا پلی اتیلن (PE) موجود در بازار لهستان به آب آشامیدنی و شناسایی آنها انجام گرفت. برای انجام آنالیزها از کروماتوگرافی گازی (GC) همراه با طیف سنجی جرمی (MS) استفاده شد. آنالیز ترکیبات آلی قلع موجود در آب در تماس با لوله‌های PVC تولید شده توسط شرکت‌های مختلف نشان داد که مونوبوتیل قلع (۱۶۹ و ۴۲۵ نانوگرم در لیتر) و دی‌بوتیل قلع (۵۱-۷۲ و ۲۴۹-۲۶۳ نانوگرم در لیتر) در دو نمونه از سه نمونه حضور داشتند. هیچ

ترکیب آلی در نمونه سوم مشاهده نشد، اما مقدار قابل توجهی سرب (۰/۱۳-۰/۸۲ میلی گرم در لیتر) مشاهده گردید. علاوه بر این، نوزده ترکیب آلی و همچنین ترکیبات آلی فرار مانند زایلن، استایرن، فنل ها و اتیل متیل بنزن، در طی آنالیزهای GC-MS نمونه های آب که در تماس با لوله پلی اتیلن با چگالی بالا بودند شناسایی شدند [۱۰].

در مطالعه‌ای که توسط صالحی و همکاران در ارتباط با تجمع فلزات در آب درون لوله‌های پلاستیکی انجام گرفت ۱۱ فلز از جمله آلومینیوم، کلسیم، کبالت، مس ، سرب، روی و... شناسایی گردید. نویسندگان یکی از علت‌های حضور این ترکیبات را ناخالصی موجود در لوله‌ها که جهت بهبود خواص شیمیایی و فیزیکی در آنها به کار رفته ذکر نمودند و علت دیگر را منبع آب ورودی به لوله ها برشمردند که حاوی این ترکیبات است [۱۱].

با توجه به اثرات مخربی که غلظت های بالای فلزات سنگین و ترکیبات آلی موجود در آب میتوانند بر سلامتی انسان داشته باشند شناسایی آنها در بسیاری از منابع آب صورت گرفته است [۱۴-۱۲].

در این مطالعه به امکان نشت ترکیبات شیمیایی منتشر شده از لوله‌های پلی‌اتیلنی با اقطار مختلف پرداخته شده است. در همین راستا تاثیر تغییرات کیفیت فیزیکوشیمیایی آب و همچنین قطر لوله بر پتانسیل انتشار این ترکیبات از لوله‌های پلی اتیلنی مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

مشخصات لوله‌های پلی‌اتیلنی مورد بررسی

لوله‌های پلی‌اتیلنی بکار گرفته شده در این پژوهش (شکل ۱) بر طبق استاندارد INSO 14427-2 ساخته شده و از شرکت خصوصی تهیه شدند.

قطرهای منتخب برای بررسی تاثیر قطر لوله بر میزان رهایش ترکیبات شیمیایی بر اساس بیش‌ترین فروش شرکت در نظر گرفته شد که ۱۱۰، ۱۶۰ و ۲۰۰ میلی‌متر بوده است. همچنین دامنه دانسیته لوله‌ها در این مطالعه بین ۰/۹۵۴ تا ۰/۹۵۶ گرم بر سانتی متر مکعب بوده است. نسبت سطح به حجم نیز برای لوله‌های با قطر ۱۱۰ ، ۱۶۰ و ۲۰۰ میلی‌متر به ترتیب ۰/۲، ۰/۲۵ و ۰/۳۶۳۶ بر سانتی‌متر گزارش شده است.

لوله‌ها ابتدا به خوبی با آب لوله‌کشی شسته شدند تا آلودگی ظاهری آنها از بین برود. سپس به مدت ۳۰ دقیقه در تماس با آب لوله‌کشی قرار داده شده و در نهایت نیز سه مرتبه با آب مقطر آبکشی شدند.

آزمایشات مربوط به بررسی میزان رهایش ترکیبات شیمیایی آلی و معدنی تحت شرایط مختلف در سه دوره زمانی ۷۲ ساعته با درپوش آلومینیومی انجام گرفته است.

شکل ۱- نمونه‌ای از لوله‌های پلی‌اتیلنی در اقطار مختلف جهت آزمایشات

Figure 1-Polyethylene pipes with different diameters used in the current study

متغیرهای تحقیق و روش بررسی

تمامی آزمایشات مطالعه پیش رو در آزمایشگاه‌های شیمی آب و فاضلاب واقع در موسسه تحقیقات آب انجام گرفته‌اند. جهت ارزیابی پتانسیل رهایش و مهاجرت ترکیبات آلی و فلزات سنگین از لوله‌های پلی‌اتیلنی به آب و تاثیر پارامترهای کیفیت آب بر آن، پیشینه تحقیق بصورت جامع مورد بررسی قرار گرفته و بر این اساس پارامترهای مهندسی و محیطی تاثیر گذار انتخاب گشتند. مطابق با بررسی‌های صورت گرفته، پارامترهایی همچون TOC، TON، pH، دما و زمان تماس و تاثیر آنها بر میزان انتشار فلزات سنگین مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت پس از آماده‌سازی تجهیزات و مواد آزمایشگاهی مورد نیاز، آزمایشات بر روی لوله‌های پلی‌اتیلنی در تماس با آب مقطر انجام پذیرفت. آزمایشات بر اساس ۶ متغیر مستقل (زمان ماند، دما، سختی آب ورودی به لوله، pH، کلر آزاد باقیمانده و قطر داخلی لوله) در ۳ حالت در لوله‌ها انجام پذیرفت. میزان رهایش فلزات سنگین (سرب ،کادمیوم، نیکل و روی) کل کربن آلی و حد تشخیص بو نیز بعنوان متغیرهای وابسته در نظر گرفته شد. غلظت فلزات سنگین با استفاده از دستگاه جذب اتمی (VARIAN)، با حد تشخیص ppb ۲/۹۹، ۳/۷۰، ۰/۱۹، ۷/۳۹ و ۱ به ترتیب برای Pb، Cr، Cd، Ni و Zn اندازه‌گیری شد. غلظت کل کربن آلی توسط آنالایزر TOC (Shimadzu) با حد تشخیص ppb ۱ و جهت اندازه‌گیری بو از روش ۲۱۵۰ استاندارد متد استفاده گردید [۱۵]. در این پژوهش پارامترها به صورت تک متغیره مورد بررسی قرار گرفته و توسط نرم‌افزارهای آماری و اکسل تجزیه و تحلیل شدند.

بررسی اثر متغیرها بر مقدار TOC، TON و فلزات سنگین منتشر شده

تاثیر زمان مواجهه آب با لوله بر میزان رهایش ترکیبات آلی و فلزات سنگین در زمان‌های ۷۲، ۱۴۴ و ۲۱۶ ساعت در لوله‌هایی به قطر ۱۶۰ میلی‌متر و در دمای ۲۵±۵ °C بررسی شده و مقدار TON و TOC و فلزات سنگین انتشار یافته از لوله (سرب، کادمیوم، نیکل، کروم، روی) پس از زمان‌های ذکر شده اندازه‌گیری شد. جهت بررسی اثر دما لوله‌هایی با قطر معین در بازه زمانی یک هفته در تماس با آب‌هایی که در دمای ۴، ۲۵ و ۶۰ °C بودند قرار داده شده و سپس مقدار TOC و TON و فلزات سنگین انتشار یافته از لوله (سرب، کادمیوم، نیکل، کروم،

روی) اندازه گیری و محاسبه گردید. جهت بررسی اثر اقطار مختلف لوله، بر اساس آمار فروش شرکت قطرهای ۱۱۰، ۱۶۰ و ۲۰۰ میلی‌متر انتخاب و آب در سه دوره زمانی مختلف در دمای °C ۵ ±۲۵در داخل لوله نگهداری گردید. مقدار TOC و TON و فلزات سنگین انتشار یافته از لوله پس از سپری شدن زمان مورد نظر اندازه گیری شد. جهت بررسی pH، لوله‌هایی با قطر داخلی معین را در بازه‌ی زمانی یک هفته در تماس با آبی با دمای ۲۵±۵°C قرار داده و pH های آب روی ۶، ۷ و ۸ تنظیم گردید. سپس تاثیر pHهای مختلف بر روی مقادیر TOCو TON و رهایش فلزات سنگین آب مورد بررسی قرار گرفت. به منظور تنظیم pH از اسیدکلریدریک ۶ نرمال و یا سود ۱ نرمال استفاده شده است. جهت بررسی اثر سختی بر میزان رهایش، لوله‌هایی به قطر ۱۶۰ میلی‌متر در ۳ دوره زمانی در دمای °C ۵±۲۵ در شرایط ۳۵۰، ۶۵۰، ۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سختی بر حسب کلسیم کربنات قرار گرفت. به منظور ایجاد سختی مورد نظر از کلسیم نیترات شش آبه استفاده گردید. به منظور بررسی اثر کلر در میزان آزادسازی ترکیبات مورد نظر از غلظت‌های کلرآزاد باقیمانده ۰/۵، ۰/۸ و ۱/۲ میلی‌گرم در لیتر استفاده شد؛ بدین صورت که لوله‌های مذکور با قطر ۱۶۰ میلی‌متر، در دمای °C ۵±۲۵ در سه دوره زمانی قرار داده شده و سپس متغیرهای وابسته مورد آزمایش قرار گرفت. به منظور ایجاد غلظت‌های ذکر شده از محلول سدیم هیپوکلریت استفاده شده است. به منظور تعیین میزان کلرآزاد باقیمانده از روش رنگ سنجی (کیت کلر سنجی و قرص‌های DPD) استفاده گردید. قرص (DPD: diethyl-p- phenylenediamine) که ماده اصلی تشکیل‌دهنده این قرص می‌باشد جهت اندازه‌گیری کلر در آب استفاده می‌گردد ماده دی اتیل پی فنیلن دی آمین با توجه به میزان کلر در آب ایجاد طیف‌های رنگ از قرمز پررنگ تا کمرنگ ایجاد می‌کند که هر آنچه میزان کلر در آب بیشتر باشد طیف پررنگ‌تری حاصل خواهد شد. تعهد به محرمانه باقی‌ماندن نام کارخانه تولید کننده لوله‌ها، رعایت اخلاق و بی طرفی در انتشار نتایج و رفرنس دهی صحیح در استفاده از منابع علمی به عنوان ملاحظات اخلاقی در تحقیق حاضر در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

بررسی تاثیر زمان مواجهه آب با لوله‌های پلی اتیلنی بر روی رهایش آلاینده‌های آلی و فلزات سنگین در سه زمان ۷۲، ۱۴۴ و ۲۱۶ ساعت انجام گرفت. نتایج حاصل از این آزمایش در جدول شماره ۱ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که این آزمایش در لوله با قطر ۱۶۰mm ، دمای آب ۲۵±۵°C و pH برابر با ۷ انجام گرفته است. همانگونه که ملاحظه می‌گردد با افزایش زمان تماس غلظت کل کربن آلی در آب افزایش داشته است هر چند این افزایش از نظر آماری معنی دار نیست. همچنین با افزایش زمان تماس از ۷۲ به ۲۱۶ ساعت، مقادیر اندازه گیری شده فلز روی از ۷/۳۲ ppb به ۳/۶ ppb کاهش یافته است.

بررسی تاثیر دما بر روی رهایش مواد آلی و فلزات سنگین

مقادیر TON ، TOC و فلزات سنگین منتشر شده از لوله‌های پلی‌اتیلنی در دماهای مختلف در جداول شماره ۲ و ۳ آورده شده است. لازم به توضیح است که این آزمایش بر روی لوله با قطر ۱۶۰mmو در سه سیکل ۷۲، ۱۴۴ و ۲۱۶ ساعت انجام گرفته است.

تاثیر تغییرات سختی آب بر رهایش مواد آلی و فلزات سنگین

غلظت TOC و فلزات سنگین منتشر شده از لوله‌های پلی‌اتیلنی در سختی‌های متفاوت در جداول ۴ و ۵ آورده شده است. لازم به ذکر است در تمامی آزمایش‌ها در این قسمت TON موجود در نمونه‌ها کمتر از ۱ بوده است.

pH

مقادیر TOC و روی منتشر شده از لوله‌های پلی‌اتیلنی درpH متفاوت در جدول شماره ۶ آورده شده است. لازم به ذکر است در تمامی آزمایش‌ها در این قسمت TON موجود در نمونه‌ها کمتر از ۱ بوده است. علاوه بر این غلظت دیگر فلزات سنگین در این آزمایش همچون جدول‌های شماره ۵ و ۶ پایین‌تر از حد تشخیص دستگاه بود.

اثر کلر آزاد باقیمانده

مقادیر TOC و روی منتشر شده از لوله‌های پلی‌اتیلنی در مقادیر ۰/۵، ۰/۸ و ۱/۲ میلی‌گرم در لیتر کلر آزاد باقیمانده در شکل شماره ۲ ارائه شده است. مقدار TON در نمونه‌های مذکور همانند داده‌های موجود در جدول شماره ۲ بوده است.

تاثیر قطر داخلی

غلظت TOC و فلزات سنگین و روی منتشر شده از لوله‌های پلی‌اتیلنی در مقادیر قطرهای ۱۱۰، ۱۶۰ و ۲۰۰ میلی‌متر در شکل شماره ۳ ارائه شده است. لازم به ذکر است در تمامی نمونه‌ها عدد آستانه بو کمتر از ۱ بوده است و غلظت دیگر فلزات سنگین پایین‌تر از حد تشخیص دستگاه بوده است.

جدول ۱- تاثیر زمان تماس در میزان انتشارات حاصل از تماس آب با لوله‌های پلی‌اتیلنی
Table1- Effects of contact time on the release of different elements from PE pipes

Zn (ppb)	Cr (ppb)	Ni (ppb)	Cd (ppb)	Pb (ppb)	TON	TOC (ppm)	زمان (ساعت)
۷/۳۲	<۲/۹۹	< ۳/۷۰	< ۰/۱۹	< ۷/۳۹	<۱	۱/۵۸	**۷۲**
۵/۴	<۲/۹۹	< ۳/۷۰	< ۰/۱۹	< ۷/۳۹	<۱	۱/۷۸	**۱٤٤**
۳/۶	<۲/۹۹	< ۳/۷۰	< ۰/۱۹	< ۷/۳۹	<۱	۱/۸۸	**۲۱٦**

جدول ۲- میزان انتشار مواد آلی و ترکیبات مولد بو در نتیجه تماس آب با لوله‌های پلی‌اتیلنی در دماهای مختلف، (pH=۷)
Table 2- Release of TOC and odorous compounds at different temperatures from PE pipes

TON			TOC (ppm)			**عوامل**
۶۰°C	۲۵°C	۴°C	۶۰°C	۲۵°C	۴°C	**دما**
۱/۳۳	<۱	<۱	۱/۸۶	۱/۵۸	۰/۷۲	**مرحله اول**
۱/۳۳	<۱	<۱	۱/۸۹	۱/۷۸	۰/۷۶	**مرحله دوم**
۱/۱۴	<۱	<۱	۲/۲۱	۱/۸۸	۰/۸۵	**مرحله سوم**

جدول ۳ - میزان انتشار برخی از فلزات سنگین در نتیجه تماس آب با لوله‌های پلی‌اتیلنی در دماهای مختلف (pH=۷)
Table 3- Release of selected heavy metals from polyethylene pipes at different temperatures

Zn			Cr			Ni			Cd			Pb			**عناصر (ppb)**
۶۰	۲۵	۴	۶۰	۲۵	۴	۶۰	۲۵	۴	۶۰	۲۵	۴	۶۰	۲۵	۴	**دما (°C)**
۷/۳۲	۶/۵۱	۱/۲۳	۲/۹۹<	۲/۹۹<	۲/۹۹<	۳/۷<	۳/۷<	۳/۷<	۰/۱۹<	۰/۱۹<	۰/۱۹<	۷/۳۹<	۷/۳۹<	۷/۳۹<	**مرحله اول**
۶/۶۰	۵/۴	۰/۸۴	۲/۹۹<	۲/۹۹<	۲/۹۹<	۳/۷<	۳/۷<	۳/۷<	۰/۱۹<	۰/۱۹<	۰/۱۹<	۷/۳۹<	۷/۳۹<	۷/۳۹<	**مرحله دوم**
۵/۶۰	۴/۳۲	۰/۷۵	۲/۹۹<	۲/۹۹<	۲/۹۹<	۳/۷<	۳/۷<	۳/۷<	۰/۱۹<	۰/۱۹<	۰/۱۹<	۷/۳۹<	۷/۳۹<	۷/۳۹<	**مرحله سوم**

جدول۴- میزان انتشار مواد آلی (TOC برحسب ppm) در نتیجه تماس آب با لوله‌های پلی‌اتیلنی در مقادیر مختلف سختی (°C ۲۵±۵)
Table 4- Release of TOC at different hardness from PE pipes

سختی ($mg\ CaCO_3/L$)			**مراحل**
۸۰۰	۶۵۰	۳۵۰	
۰/۲۳	۰/۲۸	۰/۳۳	**مرحله اول**
۰/۱۹	۰/۲۶	۰/۳۱	**مرحله دوم**
۰/۱۷	۰/۲۴	۰/۲۶	**مرحله سوم**

جدول۵- میزان انتشار برخی از فلزات سنگین در نتیجه تماس آب با لوله‌های پلی‌اتیلنی در سختی‌های مختلف (۵±۲۵ °C)

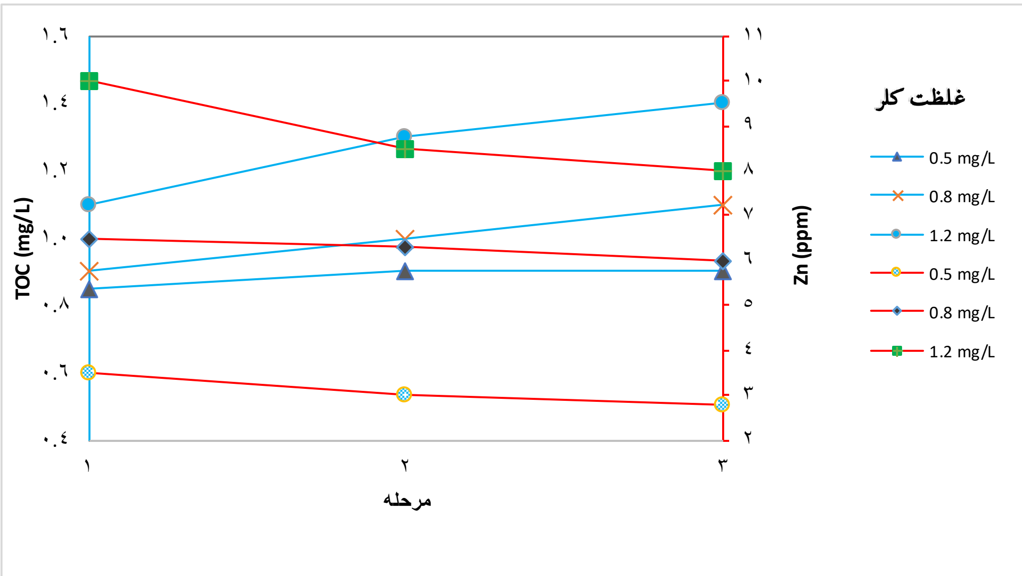
Table 5- Release of selected heavy metals from polyethylene pipes at different water hardness

عناصر (ppb)	Pb			Cd			Ni			Cr			Zn		
سختی (mgCaCO3/L)	۳۵۰	۶۵۰	۸۰۰	۳۵۰	۶۵۰	۸۰۰	۳۵۰	۶۵۰	۸۰۰	۳۵۰	۶۵۰	۸۰۰	۳۵۰	۶۵۰	۸۰۰
مرحله اول	۷/۳۹<	۷/۳۹<	۷/۳۹<	۰/۱۹<	۰/۱۹<	۰/۱۹<	۳/۷<	۳/۷<	۳/۷<	۲/۹۹<	۲/۹۹<	۲/۹۹<	۱/۴	۰/۹	۰/۵
مرحله دوم	۷/۳۹<	۷/۳۹<	۷/۳۹<	۰/۱۹<	۰/۱۹<	۰/۱۹<	۳/۷<	۳/۷<	۳/۷<	۲/۹۹<	۲/۹۹<	۲/۹۹<	۱/۲۳	۰/۵۲	۰/۴
مرحله سوم	۷/۳۹<	۷/۳۹<	۷/۳۹<	۰/۱۹<	۰/۱۹<	۰/۱۹<	۳/۷<	۳/۷<	۳/۷<	۲/۹۹<	۲/۹۹<	۲/۹۹<	۱/۱۲	۰/۳۲	۰/۳

جدول۶- میزان انتشار مواد آلی و روی در نتیجه تماس آب با لوله‌های پلی‌اتیلنی در مقادیر مختلف pH آب ۵±۲۵°C

Table6- Release of TOC and Zn at different pH from PE pipes

عوامل	TOC (ppm)			Zn (ppm)		
pH	٦	۷	۸	٦	۷	۸
مرحله اول	۰/۸	۰/۸	۰/۶۵	۹/۲	۸/۱	۸/۱
مرحله دوم	۰/۷۶	۰/۷	۰/۶۳	۸/۴	۷/۸	۷/۷
مرحله سوم	۰/۷۳	۰/۶۴	۰/۶	۸/۲	۷/۶	۷/۵

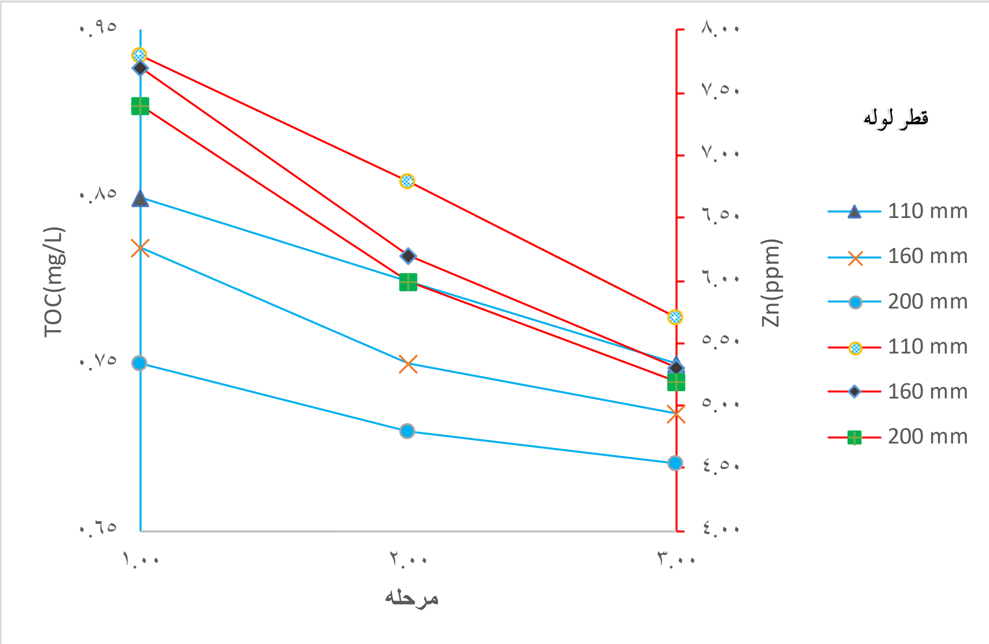


شکل ۲ – مقادیر کل کربن آلی و روی در مقادیر مختلف از کلر آزاد باقیمانده (۵±۲۵°C ، ۷= pH)

(خطوط آبی و قرمز به ترتیب نشان دهنده تغییر TOC , Zn در زمانهای تماس مختلف و سه غلظت متفاوت از کلر است)

Figure 2- TOC and Zn concentration at different residual chlorine (pH=7, 25 ±5°C)

((The blue and red lines show the change of Zn and, TOC at different contact times and three differences of chlorine, respectively.))



شکل ۳- روند تغییرات TOC و روی در مقادیر مختلف قطر لوله (pH =۷ ، ۲۵±۵°C)

(خطوط آبی و قرمز به ترتیب نشان دهنده تغییر Zn و TOC در زمانهای تماس مختلف و سه قطر متفاوت از لوله است)

Figure 3- Trends of TOC and Zn at different pipes diameters (pH=7, 25 ±5°C)
(The blue and red lines show the change of Zn and, TOC at different contact times and three different diameters of the pipes, respectively)

بحث

جدول شماره ۱، نتایج حاصل از تغییرات TOC در زمان‌های مختلف را نشان می‌دهد. براساس نتایج بدست آمده، روند افزایشی در غلظت TOC و کاهشی در آهنگ انتشار آن با افزایش زمان ماند مشاهده می‌شود که به نوبه خود می‌تواند بالقوه سبب کاهش کیفیت آب گردد. هر چند محتوای آلی آزاد شده در آب خیلی زیاد نیست؛ با اینحال، ماهیت مواد آلی منتشره به آب و پیامدهای بالقوه بهداشتی آن می‌بایست در مطالعات آتی تعیین گردد. در مطالعه‌ای که توسط Shaikh و همکاران در سال ۲۰۱۹ بر روی نوع ترکیبات آزاد شده از لوله‌های PVC صورت گرفت، شش ترکیب شامل تتراکلرید کربن، کلروفورم، تلوئن، استایرن، زایلن و بروموفرم شناسایی گردید [۱۶]. بیشترین میزان انتشار TOC در زمان ۲۱۶ ساعت معادل با ۱/۸۸ ppm مشاهده شد. در مطالعات دیگری که در این ارتباط صورت گرفته است، روند مشابهی از لحاظ آزاد سازی ترکیبات آلی از جدار لوله‌های پلاستیکی مشاهده گردیده است. در مطالعه‌ای که Zhang و همکاران در سال ۲۰۱۴ بر روی لوله‌های PVC و PE انجام دادند، روند افزایشی در غلظت TOC را تا ۲۴۰ ساعت در هر دو لوله مشاهده نمودند. این محققان بیشترین میزان افزایش در مقادیر TOC را در مدت ۴۸ ساعت ابتدایی تماس آب با لوله‌ها گزارش نمودند [۸]. مطالعه دیگری توسط Skjevrak و همکاران در سال ۲۰۰۳ برروی لوله‌های HDPE و PVC صورت گرفت. نتایج حاکی از افزایش غلظت ترکیبات آلی در برخی از لوله‌ها با افزایش زمان بود [۴].

همانطور که از جدول شماره ۲ مشخص است، غلظت TOC رها شده در آب در دمای ۴ درجه سلسیوس بسیار ناچیز است و با افزایش تعداد مراحل نیز روند افزایشی نشان می‌دهد؛ با اینحال، با افزایش دمای آب به ۲۵°C، رهایش مواد آلی تقریبا ده برابر گشته و در دمای ۶۰°C به حداکثر میزان خود برابر با ۲/۲۱ ppm رسیده است.

این امر دالت بر ارتباط مستقیم دمای آب بر میزان رهایش ناخالصی‌ها از لوله‌های پلی‌اتیلنی داشته و در گزارشات قبلی نیز مورد تایید قرار گرفته است. در تحقیقی که درسال ۲۰۱۲ در ارتباط با اثر سه متغیر دما، جنس لوله و کیفیت آب بر روی میزان آزاد سازی TOC در لوله‌های HDPE صورت گرفت، دما اولین عامل تاثیر گذار شناخته شد؛ بطوریکه با افزایش دما از ۲۰ تا ۴۰ درجه سلسیوس میزان رهاسازی TOC بصورت معناداری افزایش نشان داد. بعد از آن جنس لوله بعنوان دومین عامل تاثیر گذار شناخته شد و در آخر کیفیت آب ورودی به لوله‌ها تاثیر داشت [۲۰]. در تحقیق دیگری که توسط Allaf در سال ۲۰۲۰

برروی بطری‌های آب معدنی با جنس PET صورت گرفت، میزان رهایش مواد آلی در دمای ۵۰°C درجه سلسیوس چندین برابر غلظت آن در دمای ۲۵°C بود [۱۸]. همانگونه که ملاحظه می‌گردد رهایش مواد آلی با افزایش تعداد سیکل‌ها در اغلب موارد روند افزایشی بخود می‌گیرد. کاهش آهنگ قابل ملاحظه TOC آزاد شده از سیکل دوم به سوم در دمای ۶۰°C در مقایسه با دمای ۴°C احتمالا بخاطر فرار شدن برخی مواد قبل از آنالیز آنها بوده است. Shaikh و همکارانش نیز در مطالعه خود انتشار مواد فرار و نیمه فرار از لوله‌های PVC به داخل آب را مورد توجه قرار داده‌اند. تحقیقات نشان داد، غلظت آلاینده‌های فنلی و فرار با افزایش زمان تماس آب با لوله در نمونه‌ها افزایش داشته است و برای برخی از آلاینده‌ها روند افزایش غلظت از زمان ۴۸ به ۷۲ ساعت، آهنگ کاهشی به خود گرفته است [۱۹]. در رابطه با غلظت روی در هر سه دما، از سیکل‌های اول به سوم کاهش قابل ملاحظه مشاهده می‌شود (جدول شماره ۳) و با افزایش دما آزاد سازی افزایش یافته است. در تایید نتایج حاصل در تحقیقی که Tian و همکاران برروی آزادسازی روی در لوله‌ها انجام دادند، روند مشابهی را مشاهده نمودند بطوریکه با افزایش دما از ۵ به ۲۵ درجه سلسیوس غلظت روی در آب از حدود ۰/۱۵ میلی‌گرم بر لیتر به حدود ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر در مدت زمان ۴۸ ساعت افزایش نشان داد [۲۲]. بر اساس اطلاعات حاصل شده، می‌توان نتیجه گرفت که افزایش دما میزان انتشار ترکیبات آلی و فلز روی از لوله‌های پلی اتیلنی را افزایش داده است. طبق مطالعات صورت گرفته فلزات سنگین به عنوان مواد افزودنی برای بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی به لوله‌های پلاستیکی اضافه می‌گردند [۲۰]. همچنین در تحقیق حاضر غلظت فلزات سنگین سرب، کادمیوم، نیکل، کروم و روی در سه سیکل مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. بر اساس نتایج بدست آمده، از بین فلزات ذکر شده تنها غلظت فلز روی بعلت بالاتر بودن آن از حد تشخیص دستگاه کمی‌سازی شده و غلظت بقیه عناصر مورد مطالعه از حد تشخیص دستگاه (جداول شماره ۳ و ۵) کمتر بوده است.

همانگونه که در بالا اشاره گردید، روند کاهشی در غلظت فلز روی با افزایش زمان ماند مشاهده می‌شود. با اینحال غلظت‌های اندازه‌گیری شده این فلز نیز خیلی پایین‌تر از مقادیر استاندارد آن در آب آشامیدنی (۳ ppm) می‌باشد. در مطالعه‌ای که توسط Bielski و همکاران در ارتباط با آزادسازی فلزات سنگین به داخل آب از طریق لوله‌های سیمانی پوشش داده شده صورت گرفت، غلظت فلزات سنگین سرب و کروم با افزایش زمان ماند کاهش نشان داد و بعد از حدود بیست روز به غلظت تعادلی در آب رسید. محققان دلیل این امر را پایین آمدن ضریب هیدرولیکی لوله و جذب مجدد آلاینده‌ها توسط جدار لوله ذکر نمودند [۲۱]. در مطالعه Kowalska و همکاران برروی لوله‌های پلاستیکی غلظت روی آزاد شده در محدوده ۱/۱۹ تا ۳/۱۲ میلی‌گرم برلیتر گزارش گردید. همچنین بالاترین مقدار TOC مربوط به لوله‌های باجنس HDPE و با میزانmg/L ۶ بود [۱۰]. لازم به ذکر است که عدد آستانه بو در تمامی موارد پایین‌تر از مقدار مجاز آن در آب آشامیدنی مطابق با استاندارد ۱۰۵۳ ایران بوده است (جداول شماره ۱ و ۲). همانطور که از نتایج مشخص است، مقادیر TOC اندازه‌گیری شده در میزان سختی ۳۵۰ ، ۶۵۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر بر حسب کلسیم‌کربنات، روند کاهشی دارد (جدول شماره ۴). در رابطه با غلظت روی در هر سه درجه سختی از سیکل‌های اول به سوم کاهش مشاهده می‌شود (جدول شماره ۵). نکته دیگر آنکه در این نتایج بسیار مشهود است، با افزایش میزان سختی میزان این انتشارات کاهش پیدا می‌کند که بدان معنا است که سختی آب می‌تواند اثر بازدارندگی در انتشار ترکیبات مختلف به درون لوله داشته باشد. این نتایج می‌تواند با رسوب ناخالصی‌های فلزی (نمک‌های کلسیم و منیزیم) بر روی جداره داخلی لوله‌ها و لذا ممانعت از رهایش ترکیبات به درون آب توضیح داده شود [۲۱]. همچنین اشباع شدن آن با نمک‌های کاتیون‌های دو ظرفیتی، انتشار مواد آلی و فلزات سنگین به درون آب را کاهش می‌دهد. در رابطه با تاثیر pHهای مختلف بر میزان رهایش با توجه به جدول شماره ۶ می‌توان روند کاهشی در میزان انتشارات TOC و روی را به ترتیب در سیکل‌های ۱، ۲ و ۳ مشاهده کرد. علاوه بر مواردی که در قسمت‌های بالا ذکر شد، با توجه به نتایج حاصله می‌توان نتیجه گرفت که به مرور زمان با افزایش pH، آهنگ انتشار TOC کاهش می‌یابد. با توجه جدول شماره ۶ در ارتباط با آزاد سازی فلز روی، با افزایش pH میزان آزاد سازی کاهش یافته است. در تایید نتایج حاصله در تحقیق حاضر، در مطالعه‌ای که توسط King و همکاران برروی میزان آزاد سازی هیدروکربن‌ها و برخی از فلزات در pHهای مختلف صورت گرفت میزان رهایش در pH برابر ۷ حدود سه برابر مقدار آن در pH برابر ۸/۵ گزارش گردید [۲۱]. در مطالعه دیگری که توسط Lasheen و همکاران برروی سه نوع لوله صورت گرفت با کاهش pH از ۸ به ۶ آزاد سازی برخی از فلزات به درون آب افزایش نشان داد [۲۳]. همانطور که از شکل شماره ۲ مشخص است، میزان غلظت TOC منتشر شده با افزایش غلظت باقیمانده کلر آزاد در آب افزایش پیدا کرده است، بدین معنی که افزایش غلظت کلر تشدیدکننده انتشارات از لوله پلی‌اتیلن است. در مطالعه مشابهی که توسط Zhang و همکاران در مورد ارتباط میان غلظت کلر آب ورودی به لوله‌ها و میزان انتشار TOC صورت گرفت ارتباط قوی میان این دو متغیر با ضریب همبستگی ۰/۸۶۷ مشاهده گردید. محققان برای تایید کار خود غلظت کلر نهایی را در آب خروجی از لوله‌ها اندازه‌گیری نمودند و شاهد کاهش معنی‌دار آن در خروجی بودند و نتیجه گرفتند که کلر باعث آزاد سازی هیدروکربن‌ها می‌گردد و در نهایت با آنها واکنش داده و محصولات جدیدی تولید می نماید [۸]. در رابطه با انتشار روی (شکل شماره ۲) در هر سه غلظت روند کاهشی در سیکل‌ها مشاهده گردید. هر چند این کاهش از لحاظ آماری معنادار نیست. نتایج حاصل همچنین

به وضوح نشان می‌دهد با افزایش غلظت کلر، آزادسازی روی در هر سیکل به شدت کاهش داشته است.

بر اساس نتایج حاصل شده (شکل شماره ۳)، انتشار TOC به مرور زمان برای هر ۳ قطر مورد مطالعه کاهش پیدا می‌کند. غلظت روی (شکل شماره ۳) در سیکل‌های اول به دوم با افزایش قطر لوله کاهش بیشتری نشان می‌دهد؛ ولی در سیکل سوم این کاهش به شدت سیکل قبل نیست. این امر احتمالا این نکته را روشن می‌سازد که تاثیر زمان تماس مهم‌تر از قطر لوله در آزاد سازی TOC بوده است؛ هر چند برایند تاثیر همزمان زمان تماس آب با لوله و افزایش قطر در نهایت منجر به کاهش TOC شده است. در تایید نتایج به دست آمده، در مطالعه‌ای که توسط Bielski و همکاران در سال ۲۰۲۰ انجام گرفت، غلظت فلزات در آب با افزایش قطر روند کاهشی نشان داد [۲۰]. مورد دیگر که باید به آن توجه کرد این است که با افزایش قطر، غلظت روی کاهش پیدا می‌کند که این امر می‌تواند بدلیل کاهش نسبت سطح به حجم با افزایش قطر لوله باشد.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر به بررسی میزان انتشار فلزات سنگین و پارامترهای مهم دیگری همچون TOC و TON پرداخته شده است. اثر زمان تماس، pH، دما، سختی آب، قطر داخلی لوله‌ها و سختی آب بر هریک از پارامترهای ذکر شده نیز مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج پژوهش نشان داد با افزایش زمان تماس به طور کلی میزان انتشار هیدروکربن‌ها افزایش پیدا کرده است. در حالی‌که میزان انتشار فلز روی کاهش نشان می‌دهد و بیشترین مقدار آن در ۷۲ ساعت اولیه گزارش گردیده است. بیشترین غلظت TOC و فلز روی به ترتیب پس از گذشت ۲۱۶ ساعت و ۷۲ ساعت زمان ماند به ترتیب ppm ۱/۸۸ و ۷/۳۲ppb گزارش شده است. به طور کلی با افزایش pH محیط، میزان انتشار آلاینده‌ها کاهش یافته است. عملکرد میزان سختی محیط هم همانند pH بوده و با افزایش سختی میزان انتشار روند کاهشی داشته است. نتایج تحقیق در خصوص اثر کلر آزاد باقیمانده نشان داد که با افزایش غلظت کلر میزان انتشار TOC افزایش یافته است و سرعت انتشار از لوله‌ها با افزایش زمان ماند رو به کاهش بوده است. اثر متغیر دما نیز تاثیر به سزایی در میزان رهاسازی TOC از جدار لوله‌ها داشته است؛ به طوری‌که در دمای ۶۰°C میزان رهایش چند برابر دمای ۴°C بوده است. با افزایش قطر داخلی لوله‌ها نیز روند انتشار آلاینده‌ها کاهش یافته است که به علت تغییرات نسبت سطح به حجم لوله‌ها می‌باشد. به طور کلی در کلیه آزمایشات انجام شده غلظت متغیرها از حد مجاز پیشنهادی استاندارد ۱۰۵۳ ایران و EPA فراتر نرفته است. البته با توجه به فرایند افزایش رهاسازی روی و TOC در برخی شرایط لزوم بررسی دقیق آلاینده‌ها در زمان‌های ماند بالاتر (بیش از ۱۰ روز) و همچنین بررسی دقیق هیدروکربن‌های شکل گرفته ضروری به نظر می‌رسد.

تشکر و قدردانی

مقاله حاضر نتیجه طرح تحقیقاتی به شماره قرارداد ۷۶۹۶ می‌باشدکه با حمایت مالی شرکت تولید لوله‌های پلی‌اتیلنی و موسسه تحقیقات آب صورت گرفته است. نویسندگان بدین وسیله از کلیه همکاران آزمایشگاههای مرکز تحقیقات آب که ما را در انجام این طرح یاری نمودند تشکر می‌نمایند.

تضاد منافع

در این مطالعه نویسندگان هیچ تضاد منافعی ندارند

References

1-Yao Y, Sun J, Tian Y, Zheng C, Liu J. Alleviating water scarcity and poverty in drylands through telecouplings: Vegetable trade and tourism in northwest China. Science of the Total Environment 2020; 741:140387.Doi: 10. 1016/ j. scitotenv. 2020.140387.

2- Holder SL, Hedenqvist MS, Nilsson F. Understanding and modelling the diffusion process of low molecular weight substances in polyethylene pipes. Water Research 2019; 157:301-09. Doi: 10.1016/j.watres.2019.03.084.

3- Hill ChP, Cantor AF. Internal Corrosion Control in Water Distribution Systems: M 58. 1st ed. United States of America: American Water Works Association 2011.

4- Skjevrak I, Due A, Gjerstad KO, Herikstad H. Volatile organic components migrating from plastic pipes (HDPE, PEX and PVC) into drinking water. Water Research 2003; 37(8):1912-20.

5-Whelton AJ, Nguyen T. Contaminant migration from polymeric pipes used in buried potable water distribution systems: A review. Critical Reviews in Environmental Science and Technology 2013; 43(7):679-751.

6- Brocca D, Arvin E, Mosbæk H. Identification of organic compounds migrating from polyethylene pipelines into drinking water. Water Research 2002; 36(15):3675-80.

7-Kalweit C, Stottmeister E, Rapp Th. Contaminants migrating from crossed-linked polyethylene pipes and their effect on drinking water odour. Water Research 2019; 161:341-53. Doi: 10.1016/j.watres.2019.06.001.

8- Zhang L, Liu S. Investigation of organic compounds migration from polymeric pipes into drinking water under long retention times. Procedia Engineering 2014; 70:1753-61. Doi: 10.1016/j.proeng.2014.02.193.

9- Fish KE, Osborn AM, Boxall J. Characterising and understanding the impact of microbial biofilms and the extracellular polymeric substance (EPS) matrix in drinking water distribution systems. Environmental Science: Water Research & Technology 2016; 2:614-30. Doi: 10.1039/c6ew00039h.

10- Kowalska B, Kowalski D, Rożej A. Organic compounds migrating from plastic pipes into water. Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua 2011; 60(3):137-46.

11- Salehi M, Li X, Whelton AJ. Metal accumulation in representative plastic drinking water plumbing systems. Journal-American Water Works Association 2017; 109(11):E479-93.

12- Aghavali N, Nezhad Ali M, Qomi M. Assessment of heavy metals (Pb, Cd and Cu) concentrations in groundwater resources of Shahrab and its surrounding villages in Ardestan city during May and June 2015. Journal of Health in the Field 2017; 4(4):1-8 (In Persian).

13- Malakootian M, Khashi Z. Heavy metals contamination of drinking water supplies in Southeastern villages of Rafsanjan plain: Survey of arsenic, cadmium, lead and copper. Journal of Health in the Field 2014; 2(1):1-9 (In Persian).

14-Yazdanbakhash AR, Eslami A, Rezaei S. Quality assessment of Tehran’s Firoozabad channel surface runoff for irrigation uses. Journal of Health in the Field 2015; 3(3):19-26 (In Persian).

15- Rice EW, Baird RB, Eaton AD. Standard methods for the examination of water and wastewaters. 23nd ed. United States of America: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation; 2017.

16- Shaikh MM, Mohd Hanafiah MO, Basheer A. Leaching of organic toxic compounds from PVC water pipes in Medina Al-Munawarah, kingdom of Saudi Arabia. Processes 2019; 7(10):641. Doi:10.3390/pr7100641.

17- Qu J, Yu H, Zhang L, Zhang G, Liu J. Effect of temperature and water quality on migration of total organic carbon from the high-density polyethylene drip irrigation pipes. Sensor Letters 2012; 10(1-2):471-74.

18- Allafi AR. The effect of temperature and storage time on the migration of antimony from polyethylene terephthalate (PET) into commercial bottled water in Kuwait. Acta Bio Medica: Atenei Parmensis 2020; 91(4):e2020105. Doi: 10. 23750/ abm.v91i4.8463.

19- Tian Y, Li J, Jia Sh, Zhao W. Co-release potential and human health risk of heavy metals from galvanized steel pipe scales under stagnation conditions of drinking water. Chemosphere 2021; 267:129270. Doi: 10. 1016/ j. chemosphere. 2020.129270.

20- Herath A, Salehi M. Studying the combined influence of microplastics’ intrinsic and extrinsic characteristics on their weathering behavior and heavy metal transport in storm runoff. Environmental Polluion 2022; 308:119628. Doi: 10.1016/j.envpol.2022.119628.

21- Bielski A, Zielina M, Młyńska A. Analysis of heavy metals leaching from internal pipe cement coating into potable water. Journal of Cleaner Production 2020; 265:121425. Doi: 10. 1016/ j. jclepro.2020.121425.

22- King PW, Peldszus S, Mishrra A, Trueman BF, Aghasadeghi K, Gagnon GA, et al. Role of natural organic matter and hardness on lead release from galvanic corrosion. Environmental Science: Water Research & Technology 2022; 8(8):1687-99.

23- Lasheen M, Sharaby C ,El-Kholy N, Elsherif I, El-Wakeel S. Factors influencing lead and iron release from some Egyptian drinking water pipes. Journal of Hazardous Materials 2008; 160(2-3):675-80.