

# مقالات های علمی

## بررسی مهاجرت ترکیبات آلی از انواع لوله های پلیمری به آب آشامیدنی در زمان های اقامت طولانی

چکیده:

در این مطالعه، لوله های PPR<sup>1</sup>، PE<sup>2</sup> و PVC<sup>3</sup> جهت آب آشامیدنی مورد آزمون قرار گرفتند تا میزان مهاجرت کل ترکیبات کربن آلی به آب، مورد آزمون قرار گیرد. بررسی ها در زمان های اقامت مختلف انجام شد تا تمايل مهاجرت ترکیبات کربن آلی<sup>4</sup> (TOC) در لوله های مختلف در طول زمان بررسی شده و تغییرات کیفیت آب مثل از بین رفتان کلرین بررسی گردد. نتایج آزمایشات نشان داد که آزادسازی TOC از همه لوله ها به طور مشخصی با گذر زمان افزایش می یابد. بین انواع لوله ها، آبی که در تماس با لوله PE بود، بیشترین غلظت TOC را نشان داد. در این تحقیق همچنین مشخص شد که میزان مصرف کلرین نیز تابع مقادیر TOC است و روند مشابهی دارد.

کلمات کلیدی: لوله های پلیمری، آب آشامیدنی، مهاجرت، TOC، زمان اقامت، کلرین



متوجه:  
مهندسه پریسا جهانمرد  
سرپرست تحقیق و توسعه شرکت داراکار

<sup>1</sup>. پلی وینیل کلراید

<sup>2</sup>. پلی پروپیلن رندم

<sup>3</sup>. پلی اتیلن

(TOC)Total Organic Carbon.<sup>4</sup>

## مقدمه:

لوله های پلیمری به دلیل مزیت های قابل توجهشان مانند دوام خوب، مقاومت به خوردگی، قیمت پایین، نصب آسان و غیره، به طور گسترده ای جایگزین لوله های فلزی قدیمی برای آب آشامیدنی شده اند. در طول این پیشرفت و تغییر، انواع مختلفی از لوله های پلاستیکی مانند، PVC، PE و PP عمدها در شبکه های توزیع آب آشامیدنی در سراسر دنیا استفاده شده اند [۱-۴].

بر اساس تخمین آزانس حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA)<sup>۵</sup>؛ در طول ۲۰ سال آینده، آمریکا بین ۲۰ تا ۲۲ میلیون دلار برای تعمیر و جایگزینی زیرساخت های سیستم های آب آشامیدنی هزینه خواهد کرد و قابل ذکر است که در شمال آمریکا معروف ترین لوله های پلیمری؛ PVC و PE می باشند [۵].

در برنامه ملی پنج ساله دهم چین، لوله های پلاستیکی با قطر اسمی زیر ۴۰۰ میلیمتر در شبکه های آب آشامیدنی شهری استفاده شدند و در سال ۲۰۱۵، ۸۰٪ از کل لوله های مورد مصرف در سیستم توزیع آب را به خود اختصاص دادند. بنابراین، استفاده از مواد پلیمری در انتقال آب از واحدهای تصفیه آب به محل های مصرف آب آشامیدنی رو به افزایش است. با این وجود، یکی از نگرانی در استفاده از مواد پلیمری، مهاجرت ناخواسته و غیرقابل پیش بینی ترکیبات مواد پلاستیکی است که ممکن است به آب منتقل گردد.

مطالعات زیادی در مورد نفوذ ترکیبات آلی و غیرآلی که به طور ناخواسته از لوله های پلیمری به آب آشامیدنی نفوذ کرده و باعث آلودگی می گردد صورت گرفته است. مهاجرت آلودگی ها از لوله های پلیمری می تواند به طور مستقیم به طور مثال با نفوذ ترکیبات شیمیایی از مواد لوله به آب ایجاد شده و یا به طور غیرمستقیم به عنوان

مثال با تجزیه شدن محصولات افزودنی که در ساختار لوله مورد استفاده قرار گرفته و یا در اثر واکنش با ترکیبات آب ایجاد گردد [۶-۹].

تحقیقات گسترده ای صورت گرفت تا نشان دهد که مواد استخراجی از لوله های PVC؛ استیلایزرهای فلزی (سرپ، باریم و کلسیم و ...)، مونومرهای وینیل کلراید، پلاستی سایزرهای آنتی اکسیدان ها و روغن ها می باشند که در فرآیند ساخت لوله مورد استفاده قرار گرفته اند [۱-۴، ۶، ۸ و ۱۵-۲۰].

اما از آنجا که در ساخت لوله های PE، استیلایزرهای فلزی کمتری استفاده می شود؛ آلدگی های شناسایی شده در مجاورت لوله های PE معمولاً ترکیبات آلی می باشند. به خصوص ترکیبات فرار VOC<sup>۶</sup> که اصولاً به آنتی اکسیدان ها و محصولات تخریب شده و حالل ها مربوط می شوند [۲، ۴، ۷، ۸ و ۱۶-۲۰].

در مقایسه با لوله های PVC، به دلیل داده های محدود موجود و کمبود طراحی آزمایش در بخش آزمایشگاهی، هیچ توافقی در مورد آلودگی های رایج در PE وجود ندارد [۵].

اما در مورد لوله های پلی پروپیلن، Loschner و همکاران (۲۰۱۱) کشف کردند که مواد استخراج شده از ۲، ۴ و ۵ PP دی ترت بوتیل فنل<sup>۷</sup> و ۳ و ۵ دی ترت بوتیل-۴-هیدروکسی بنزيل آلدید<sup>۸</sup> می باشد که از تجزیه آنتی اکسیدان هایی که به عنوان افزودنی به آن اضافه می شود حاصل می گردد. علاوه بر آن، (Hametner ۱۹۹۹)، تاثیر مهاجرت آنتی اکسیدان های فنلی که معمولاً به عنوان پایدارکننده به لوله های PP اضافه می شود را روی کیفیت آب بررسی کرده است [۲ و ۱۸].

همان طور که قبل اشاره شد، مهاجرت آلودگی از پلیمرها معمولاً با استفاده از روش های مستقیم و غیرمستقیم قابل بررسی است [۵].

U.S Environmental Protect Agency.<sup>۵</sup>

Volatile Compounds.<sup>۶</sup>

2,4di-tertbutylphenol.<sup>۷</sup>

ditert-butyl-4 hydroxybenzaldehyde 3,5.<sup>۸</sup>

گندزدا بیشتری نسبت به CPVC داشته که بتوی قابل ملاحظه ای هم خواهد داشت. مصرف مواد گندزدا و ضدغونی کننده می تواند به واکنش اکسیداسیون ضدغونی کننده با مواد آلی پلیمرها مرتبط باشد [۸] و [۱۵].

Bucheli-witschel TOC و همکاران (۲۰۱۲)، مقادیر TOC در پلیمرهای مختلف در تماس با آب آشامیدنی را ارزیابی کردند [۱].

به طور خلاصه، TOC نشانگر اطلاعات نهایی کل مهاجرت آلودگی های ترکیبات کربن آلی از پلیمرها به آب می باشد و از شرایط محیط تأثیر می پذیرد و به طور عمده با کیفیت آب مانند بو و مصرف گندزداها مرتبط است و پارامتر کنترل کننده خوبی در مقررات آب می باشد.

در شبکه های توزیع آب، وضعیت جریان در بخش های مختلف لوله متفاوت می باشد. سرعت جریان به طور اسمی در لوله های اصلی بالاتر از لوله ای است که در خطوط سرویس دهی می باشد. بنابراین زمان های اقامت مختلفی در بخش های مختلف لوله وجود دارد و باعث ایجاد وضعیت جریان های مختلفی می شود. آب در برخی بخش های لوله ها با سرعت جریان بالا ممکن است به سرعت تجدید و تعویض شود اما در مکان های انتهایی مرده سیستم و یا خطوط سرویس دهی، مکانی که سرعت اقامت پایین بوده ممکن است حتی آب برای مدتی راکد بماند. بنابراین، بایستی عموماً توجه کرد که زمان اقامت طولانی به خصوص در غلظت های پایین کلر باقیمانده می تواند مشکلات کیفیتی برای آب در سیستم توزیع ایجاد کند. مقالاتی هم به بررسی اثر زمان ایستایی بر مهاجرت پرداخته اند [۹، ۱۱، ۱۷ و ۲۰].

لذا، برخی مطالعات اثر زمان اقامت را روی کیفیت آب در موقعیت های راکد و ایستا در سیستم توزیع واقعی بررسی کرده اند.

اما هدف از این مطالعه -1- بررسی TOC برای لوله های پلیمری در زمان اقامت طولانی و -2- بررسی رابطه بین مهاجرت TOC و مصرف کلرین می باشد، که در ادامه به طور کامل توضیح داده شده است.

روش های غیرمستقیم شامل بررسی و مشاهده غلظت pH، TOC، مقدار مواد گندزدا، ویژگی های بو و مزه می باشد. در حالی که روش های مستقیم شامل استفاده از روش های جداسازی کروماتوگرافی، طیف سنجی ترکیبات آلی و غیر آلی در آب است. بنابراین، جهت آشنایی؛ برخی از شاخص های مختلف روش های مستقیم و غیرمستقیم به ترتیب در اینجا ذکر می گردد. شاخص های مستقیم شامل اورگانوتین ها، فتالات ها، آنتی اکسیدانت های فتلی، مونومرها و شاخص های غیر مستقیم شامل TOC، pH، کلر، شدت بو و کبدورت می باشند. قابل توجه است که شاخص های مستقیم و غیرمستقیم به یکدیگر مرتبط بوده و هر دو نشان دهنده میزان استخراج مواد از لوله های پلیمری می باشند [۱، ۲ و ۸].

آزادسازی ترکیبات آلی از پلیمرها تحت عنوان غلظت TOC شناخته شده و توسط بسیاری از محققان مورد بحث است. QU و همکاران (۲۰۱۲) تست های مهاجرت TOC بر روی آب تقطیر شده، آب توزیعی و ... را بر روی سه برنده از لوله های HDPE انجام داده است. نتایج نشان داد در تمامی برندها، مهاجرت TOC؛ با افزایش دما در طول زمان تست افزایش می یابد [۱۹].

Loschner و همکاران (۲۰۱۱)، به این نتیجه رسیدند که روش مستقیم با کروماتوگرافی طیف سنجی جرمی گازی (GC-MS)<sup>۹</sup> نمی تواند تمام مواد آلی قابل استخراج را شناسایی کند و TOC به عنوان شاخص غیر مستقیم می تواند تا حدودی خطای ایجاد کرده و تمام ترکیبات آلی مهاجرت کرده به آب را نشان دهد [۲].

Dietrich و Heim (۲۰۰۷)، استخراج شدن مواد آلی را با اندازه گیری TOC برای لوله های پی وی سی کلرینه (CPVC)<sup>۱۰</sup> و HDPE مورد بررسی قرار دادند. نمونه های آب در تماس با HDPE، مقدار  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$  ۰/۱۴ TOC به ازای سطح لوله ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$  ۰/۱۴) آزاد می کند که به مراتب بیشتر از میزان TOC برای لوله های CPVC ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$  ۰/۰۸) می باشد. همچنین HDPE، مصرف مواد

<sup>۹</sup> Gas chromatography-mass spectrometry.

<sup>۱۰</sup> Chlorinated PVC.

## ۲- مواد و روش ها

### ۱- لوله های پلیمری مورد استفاده در این تحقیق

علاوه بر آن، شرایط تست مانند کیفیت آب اولیه (مانند pH، سطح مواد آلی و سطح مواد ضد عفنونی گندزدا) و زمان در معرض قرار گرفتن می تواند متفاوت باشد. از آنجایی که مطالعات در شرایط مختلف به روش های یکسانی صورت نگرفته است بنابراین مقایسه بین داده های مقالات مختلف مشکل می باشد. قابل توجه است که بیشتر مقالات منتشر شده داده هایی از مهاجرت مواد پلیمر جدید را در شرایط پایا گزارش داده اند. با این وجود، مطالعات در مورد مهاجرت در شرایط جریان دینامیکی کم و پیچیده می باشد. بنابراین این تحقیق در شرایط پایا و استاتیک انجام شده و اثر دینامیک بودن سیال مورد بررسی قرار نمی گیرد.

بر اساس استاندارد اروپا در مورد تست های مهاجرت (EN12873-1(۲۰۰۳)، ماده نمونه در تماس با آب در حداقل سه بازه زمانی متعاقب در دما و بازه های زمانی مشخص قرار می گیرد[۲۳].

TOC آزاد شده و بو و مزه آب آنالیز می گردد. با این وجود در استاندارد ملی چین به شماره (GB/T ۲۴ ۱۷۲۱۹-۱۹۹۸) تست مهاجرت در مدت زمان ساعت و دمای  $25 \pm 5^\circ\text{C}$  صورت می گیرد و آنالیز چندگانه روی آب صورت گرفته که شامل فلزات، بو، مزه و برخی ترکیبات مشخص و شاخص های انتخابی می باشد. استانداردهای قبلی در بازه های زمانی کوتاه بود تا به طور غیر مستقیم مهاجرت بررسی گردد. بر اساس دو استاندارد، روش پیوسته مهاجرت با زمان های اقامت مختلف در این تحقیق گسترش یافت تا میزان رفتار تجمعی مهاجرت TOC را از لوله های مختلف پلیمر با زمان مشخص کند و اثر مهاجرت آلدگی روی کیفیت آب بررسی گردد[۲۲-۲۳].

در این مطالعه، سه نوع لوله پلاستیکی تحت شرایط پیوسته مهاجرت به شرح زیر قرار گرفتند.

ابتدا لوله های مورد آزمون به سه قسمت مساوی طولی ( $30$  سانتی متر) به عنوان نمونه های مورد آزمون هر لوله تقسیم شدند.

در طول تست مهاجرت، نمونه های لوله بر اساس استاندارد ملی چین GB/T ۱۷۲۱۹-۱۹۹۸ آماده شدند.

سه نوع از مواد پلیمری یعنی PE، PPR و UPVC در این تحقیق بررسی شد. این سه نوع لوله دارای تأییدیه جهت تماس با آب آشامیدنی می باشند. ابعاد لوله های UPVC،  $63 \times 3 \text{ mm}^2$  (ضخامت دیواره  $\text{mm}$  قطر خارجی) می باشد. بنابراین قطر داخلی آن  $57$  است. مساحت سطحی از لوله (SA) که تحت آزمایش بوده و در تماس با حجم آب مورد تست قرار می گیرد به عنوان  $\text{SA/V}$  در متن ارجاع داده خواهد شد که واحد آن  $\text{cm}^{-1}$  ( $\text{cm}^2/\text{cm}^3$ ) می باشد. نسبت مساحت سطح به حجم برای لوله UPVC  $70.17/\text{cm}^0$  است. ابعاد لوله پلی اتیلن نیز  $4/7 \times 63 \times 4/7 \text{ cm}^{-1}$  با قطر داخلی  $53/6 \text{ mm}$  و  $74.62/\text{cm}^0$  می باشد. دو بند لوله های پلی پروپیلن با قطرهای داخلی  $51/4 \text{ mm}$  و  $45/8 \text{ mm}$  مورد آزمون قرار می گیرند و  $\text{SA/V}$  به ترتیب  $77.82/\text{cm}^0$  و  $87.33/\text{cm}^0$  است. هیچ کدام از لوله ها قبل از تست مهاجرت مورد استفاده قرار نگرفته بودند.

### ۲-۲- تست مهاجرت برای لوله های پلیمری

در سراسر جهان جهت ارزیابی اثر پلیمر بر روی کیفیت آب آشامیدنی مانند بو، مزه، غلظت TOC، پتانسیل رشد میکروبی از روش های مستقیم و غیر مستقیم استفاده می کنند[۱، ۷، ۸، ۱۵ و ۱۷]. روش های معمول تست، تست ارگانولپتیک(خصوصیات ظاهری مواد غذایی)<sup>۱۱</sup>، غلظت TOC و تشخیص آلدگی های مشخص می باشد[۲۱].

در چین، روش مهاجرت برای ارزیابی آلدگی لوله ها در استاندارد ملی ۱۹۹۸-۱۷۲۱۹ (استانداردی GB/T ۱۷۲۱۹-۱۹۹۸) جهت ارزیابی مطمئن مواد محافظ و تجهیزات در سیستم آب آشامیدنی توضیح داده شده است[۲۲]. بر اساس روش های مختلف، بیشترین تست ها در شرایط زیر صورت گرفته است:

- (۱) آزمون نفوذ در شرایط پایا [۱].
- (۲) لوله در شرایط پایا [۲، ۷، ۸ و ۱۶].
- (۳) جریان متناوب و یا پیوسته در لوله [۶].

Organoleptic.<sup>۱۱</sup>

مرتبه مقدار ml ۱۰ به آنالیز کننده TOC تزریق می گردد. سپس، غلظت TOC بر حسب واحد mg/L مشخص می شود. در واقع آنالیز کننده TOC بر اساس اکسیداسیون شیمیایی مواد آلی با استفاده از محلول پرسولفات سدیم صورت می گیرد. میانگین سه نمونه به عنوان غلظت TOC گزارش می گردد.

برای آماده کردن منحنی کالیبراسیون، فسفات پتاسیم (محصول شرکت Tianjin چین) در آب بسیار خالص milli-Q حل شده تا محلولی با غلظت کربن بین ۱/۰۰ mg/L تا ۱/۰ mg/L بدست آید. حد تشخیص این روش حدود ۰/۰۰۵ mg/L می باشد. در این آزمایش، تمام غلظت TOC از پلیمرهای مختلف که در نتایج و بحث های بخش های بعدی آمده است با تفاضل مقدار کنترل منفی TOC از مقدارهای اندازه گیری شده از لوله های پلیمری می باشد.

بر اساس غلظت TOC بدست آمده از همه تست های پیوسته و SA/V لوله های مورد تست، نرخ مهاجرت TOC بر اساس معادله مندرج در استاندارد (EN ۱۲۸۷۳-۱۲۰۰۳) به شرح زیر می باشد:

$$m = ct^{-1} (SA/V)^{-1}$$

که در آن  $m$ ، نرخ مهاجرت TOC محاسبه شده بر حسب  $(TOC \mu\text{g}/\text{d.cm}^2)$  است،  $C$  غلظت TOC بر حسب  $\text{mg/L}$  است که از آنالیز آب بدست می آید.  $SA/V$  هم مساحت سطح به حجم آب بوده که بر حسب  $\text{cm}^{-1}$  است و  $t$  زمان بر حسب روز (day) می باشد.

#### ۲-۴- تست کلرین

برای تست های کلرین، کل کلرین با سیستم آنالیزگر کلریتر HACH TMII قدرت  $DPD$  (روش) n, n دی اتیل- فنیل دامین) استفاده شده است.

غلظت کل کلرین تشخیص داده شده در محدوده پایین ۰/۲۰۲ mg/L کلر بوده و یا در محدوده بالا بین ۰/۱ تا ۰/۸ mg/L کلر می باشد.

قابل توجه است که تست های کل کلرین قبل و بعد از اینکه آب مورد آزمون قرار گرفت، انجام شده و مصرف کلرین بر حسب mg/L با کسر کردن مقادیر منفی آزمون کنترل بدست می آید. سرعت مصرف کلرین نیز بر حسب (L.d) mg/ می باشد.

ابتدا لوله ها با آب شیر شسته شده، سپس لوله با آب شیر پر شده و به طور مداوم به مدت ۳۰ دقیقه آب با فشار داخل آن ریخته شده و سه مرتبه نیز با آب دیونیزه شده تمیز شدند. آب مورد استفاده در این مطالعه از آب دیونیزه شده بوده و از معرف های شیمیایی خالص مثل (سدیم هیدروژن کربنات، کلسیم کلرید بی آب و سدیم هیپوکلریت) استفاده شده تا با آب آسامیدنی مشابه سازی شود. آب آسامیدنی مورد بررسی حاوی ۲ mg/L کلرین و ۱۰۰ mg/L سختی TOC کمتر pH در محدوده ۷/۸-۸ کمتر از ۰/۲ mg/L اضافی افزوده نشد. اندازه گیری کیفیت آب بر اساس مقادیر اشاره شده در استاندارد GB/T ۱۷۲۱۹-۱۹۹۸ شده باشد. هیچ بلafاصله پس از آماده سازی اولیه، لوله های آماده شده برای تست کاملاً با آب پر شده و توسط سرطانی از جنس تفلون در هر دو طرف آبیندی و در حالت استاتیک جهت آزمون مهاجرت پیوسته قرار گرفته است. برخلاف استاندارد (EN ۱۲۸۷۳-۱۲۰۰۳) یا GB/T ۱۷۲۱۹-۱۹۹۸ در این مطالعه، از روش مهاجرت پیوسته به مدت زمان افامت طولانی استفاده شده و تست های مهاجرت در ۵ بازه زمانی طولانی ادامه می یابد. برای هر نوع لوله، ۵ آزمون مهاجرت پیوسته مجزا در زمان های ۲۴، ۴۸، ۷۲، ۱۴۴ و ۲۴۰ ساعت تحت شرایط ایستایی  $25 \pm 5^\circ\text{C}$  طراحی شده است. پس از هر بازه زمانی آب آنالیز گشته و میزان TOC کلرین و pH آن بررسی می شود. علاوه بر این، تست کنترل منفی هم انجام می گردد که در این راستا، آب مورد تست را در ظرف شیشه ای ۱۰۰ میلی لیتری که توسط سرطانی از جنس تفلونی بسته شده اند ریخته و در شرایط مشابه قرار می گیرند. همه تست ها سه بار تکرار می گردند.

#### ۲-۳- تست های TOC

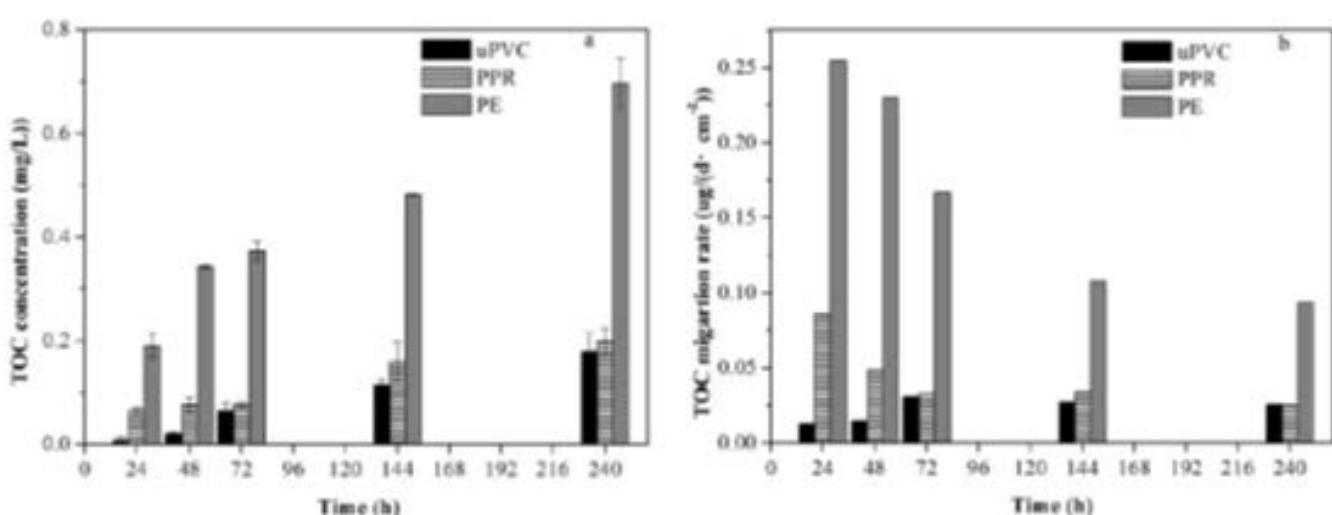
TOC به عنوان کربن آلی غیر قابل تصفیه به وسیله آنالیز کننده کل کربن (TOC-Vwp) اندازه گیری می شود. آب به داخل ظروف کوچک عاری از TOC منتقل شده و با استفاده از عامل اسیدی (اسید فسفریک)؛ کربن غیر آلی در آب به دی اکسید کربن تبدیل شده و توسط هوای عاری از CO<sub>2</sub> تخلیه می شود. برای هر نمونه اندازه گیری شده با TOC-Vwp، سه

۷۲ ساعت می باشد. پس از ۱۰ روز راکد بودن، غلظت TOC در آب برای PE، mg/L ۰/۸ بود. در حالی که، آب در تماس با لوله PPR افزایش تدریجی TOC را نشان می دهد. پس از ۲۴۰ ساعت، غلظت TOC برای لوله PPR حدود ۰/۲ mg/L بود و برای لوله UPVC، میزان TOC در آب مقدار کمی بوده اما با افزایش زمان راکد بودن آب، افزایش ثابتی را نشان می دهد. پس از ۴۸ ساعت، غلظت TOC برای UPVC در حدود ۰/۰۱ mg/L می باشد. اما پس از پایان آزمایش یعنی پس از ۲۴۰ ساعت این مقدار به ۰/۱۸ mg/L افزایش می یابد. در مجموع، PE بیشترین میزان رهایش TOC را در طول تست مهاجرت نشان می دهد. مقادیر آن ۲ تا ۲۱ برابر بیشتر از مواد دیگر بود. علاوه بر آن مهاجرت TOC از لوله PE با گذر زمان با سرعت بیشتری نسبت به لوله های با جنس ها دیگر رشد می کند که در ادامه با بررسی سرعت مهاجرت TOC، این مورد بیشتر توضیح داده خواهد شد.

### ۳- بحث و نتیجه گیری

#### ۱-۳- تعیین مهاجرت TOC از لوله های UPVC، PE، PPR

خصوصیات مهاجرت TOC از انواع لوله های مختلف در شکل ۱ نشان داده شده است. همان طور که در شکل ۱ مشاهده می شود، غلظت مهاجرت TOC از همه لوله ها با افزایش زمان اقامت افزایش می یابد و نشان می دهد که در شرایط راکد ماندن طولانی مدت، مقادیر مهاجرت مواد آلی از لوله های پلاستیکی به سرعت تجمع کرده و کیفیت آب را از بین می برد. برای PE، غلظت TOC از ۰/۱۹ mg/L به ۰/۳۴ در مدت زمان ۴۸ ساعت به سرعت افزایش یافته است. این شرایط بستگی به وجود ترکیبات باقی مانده آلی در سطح لوله ها دارد. غلظت TOC در آب در زمان بین ۴۸ تا ۷۲ ساعت افزایش کمی داشته است. دومین مرحله افزایش مشخص TOC پس از



شکل - ۱(الف) غلظت TOC بر حسب mg/L (ب) نرخ آزمون مهاجرت پیوسته

### ۲-۳- میزان کلرین باقیمانده با زمان

کل کلرین قبل و بعد از مهاجرت اندازه گیری شده، سپس بر اساس غلظت کل کلرین اندازه گیری شده، میزان مصرف و نرخ مصرف کلرین محاسبه می شود. در طول زمان این تحقیق، غلظت کل کلرین در طراحی اولیه برای آب تازه  $2 \text{ mg/L}$  نگه داشته شده است (کترل منفی) که نشان داده شد در طول حداقل ۱۰ روز را کد بودن، آب حاوی مقدار TOC بسیار کم، یعنی مصرف نکرده و غلظت بیون کم می باشد.

بنابراین، تغییر پذیری قابل مشاهده غلظت کل کلرین قبل و بعد از آزمون مهاجرت از هر جنس لوله می تواند به واکنش شیمیابی بین کلرین و آلدگی های نشست کرده از لوله های پلیمری با آب آشامیدنی مرتبط باشد.

داده های مصرف تجمعی کلرین در طول آزمون مهاجرت پیوسته در شکل ۲ نشان داده شده است. به وضوح در شکل ۲ الف نشان داده شده است که مصرف کلرین همه لوله های پلیمری افزایش قابل مشاهده ای را در طول زمان راکد بودن نشان می دهد. قابل توجه است که بالاترین میزان مصرف کلرین مربوط به آبی است که در تماس با لوله های پلی اتیلنی می باشد.

پس از ۱۰ روز راکد بودن آب، مصرف کل کلرین در آب برای PE حدود  $1/9 \text{ mg/L}$  می باشد که بسیار نزدیک به مقدار اولیه  $2 \text{ mg/L}$  در آب تازه مورد آزمون می باشد. این نشان می دهد که در طول زمان راکد ماندن طولانی مصرف کلرین می تواند افزایش یافته و کلرین باقیمانده در آب لوله کشی کافی نبوده و باعث ایجاد مشکلات میکند. آب آشامیدنی گردید.

در مجموع، میزان مصرف کلرین مشاهده شده از لوله های UPVC و PPR حدوداً ۱ تا ۳ برابر کمتر از PE می باشد. همچنین آبی که در مجاورت لوله PPR می باشد در مقایسه با UPVC میزان کلرین بیشتری مصرف می کند، پس از ۱۰ روز غلظت کل کلرین باقیمانده در آب از لوله UPVC و PPR به ترتیب mg/L و ۰/۵۵ متر باشد.

در نمودار شکل ۱ ب به طور واضح مشخص است که نرخ مهاجرت از لوله های مختلف متفاوت است.

نرخ مهاجرت TOC در لوله های PE پس از گذشت ۷۲ ساعت به حدود  $\mu\text{g/d.cm}^2$  (TOC) رسید.

۱/ کاهش می یابد. برای لوله های PPR، با گذشت زمان اقامت، نرخ مهاجرت از مقدار اولیه  $\mu\text{g/d.cm}^2$  (TOC) به مقدار  $\mu\text{g/d.cm}^2$  (TOC) کاهش می یابد. علاوه بر آن، سرعت مهاجرت TOC در زمان های اقامت مختلف در محدوده کوچک ( $\mu\text{g/d.cm}^2$ ) نوسان دارد.

به طور کلی، کاهش مشخص سرعت مهاجرت TOC با زمان در لوله های PE و PPR ت Shank می دهد که شدت مهاجرت مواد آلی از پلیمرها با گذر زمان تا برقراری تعادل بین پلیمر و آب کاهش می یابد. به طور خلاصه، افزایش زمان اقامت آب در تماس با لوله ها باعث افزایش مهاجرت ترکیبات آلی از پلیمر خواهد شد. در ادامه نشان داده خواهد شد که مقدار بیشتر مهاجرت مواد آلی در لوله های مختلف سبب مصرف مقدار بیشتری کلرین در آب می گردد. میزان غلظت TOC و همچنین سرعت مهاجرت TOC با گذر زمان به صورت زیر است:

این شرایط می تواند مرتبط با ترکیبات شیمیایی استفاده شده در لوله ها باشد. به طور کلی، در تولید لوله های PE و PPR مواد افزودنی آلی مانند آنتی اکسیدانت های بیشتری در مقایسه با لوله UPVC به کار می رود.

استخراج شدن ترکیبات آلی مانند TOC از لوله های پلیمری در تحقیقات گذشته نیز نشان داده شده است. مشاً غلظت TOC در لوله های PE، PEX و PVC نرم، با افزایش زمان کاهش می یابد<sup>[۱، ۴ و ۱۵]</sup>.

یافته و بنابراین مقدار کمتری کلرین توسط مواد آلی به ازای زمان مصرف خواهد شد. در مجموع، میزان مصرف کلرین و نرخ مصرف کلرین که در این تحقیق بررسی شد نشان داد که ترتیب این موارد در لوله های مورد آزمون به این صورت می باشد:

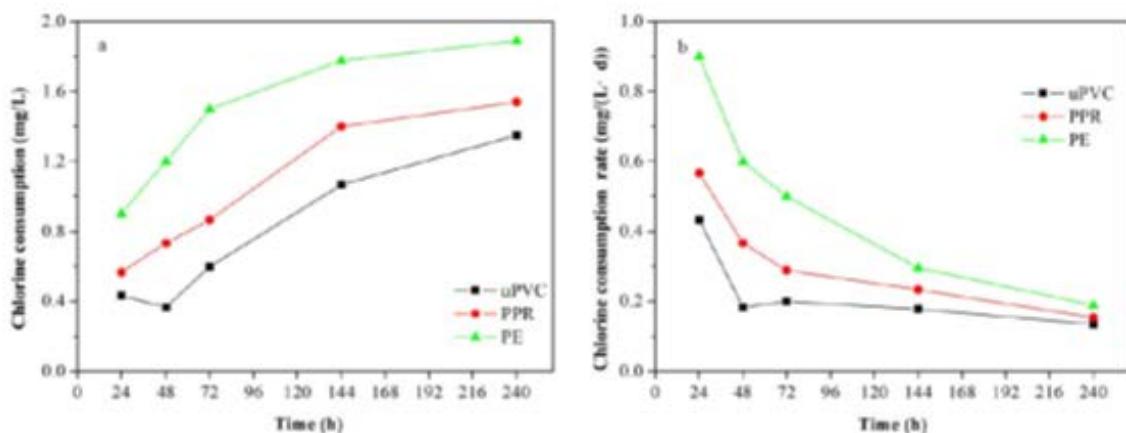
$\text{PE} < \text{PPR} < \text{UPVC}$

که در نمودار ۱ مشاهده شد. این نشان می دهد که مصرف مواد ضدغونی کننده (گندزا) می تواند به واکنش بین مهاجرت مواد آلی از پلیمرها مرتبط باشد.

در مقابل، نرخ مصرف کلرین در لوله های مختلف، روند کاهشی دارد (شکل ۲ ب). این روند ممکن است به دو دلیل باشد.

۱- افزایش مصرف مقدار کلرین با گذر زمان، کلرین باقیمانده در آب با زمان کاهش می یابد و بنابراین سرعت واکنش بین کلرین و آلودگی های نفوذ کرده در آب کاهش می یابد.

۲- تأثیر مهاجرت TOC. زیرا با وجود روند افزایشی غلظت TOC با زمان، نرخ مهاجرت TOC کاهش



شکل - ۲- (الف) مصرف کلرین (mg/L) ب) نرخ مهاجرت کلرین (mg/L.d) در طول زمان آزمون مهاجرت پیوسته

#### ۴-نتیجه گیری

آزمون های مهاجرت در این تحقیق به طور غیر مستقیم ویژگی های مهاجرت TOC از سه نوع لوله را بررسی کرده است. این بررسی در زمان اقامت طولانی انجام شده و رابطه بالقوه بین مهاجرت مواد آلی و کیفیت آب مانند میزان مصرف کلرین را نشان می دهد. نتایج نشان می دهد که با افزایش زمان اقامت، مهاجرت مواد آلی از پلیمرها افزایش یافته و میزان آزادسازی TOC از لوله های مختلف متفاوت می باشد. در این تحقیق، میزان کل مهاجرت TOC به آب به صورت زیر است:  $\text{PE} > \text{PPR} > \text{UPVC}$ . داده های مصرف کلرین در این تحقیق پیرو روند مقادیر مهاجرت TOC می باشد. در حالت کلی، در شرایط اقامت و راکد بودن طولانی، کیفیت آب آشامیدنی به سرعت با افزایش مهاجرت مواد آلی و مصرف کلرین پایین می آید. در مجموع، این مطالعه بررسی ارزشمندی در مورد مهاجرت مواد آلی مانند TOC از پلیمرهای مختلف را نشان می دهد که می تواند به صنایع با مصارف آبرسانی گوشزد کند تا فرآیند ساخت خود را تغییر داده و مواد افزودنی آلی کمتری استفاده کرده تا در نهایت کیفیت لوله های پلیمری در تماس با آب آشامیدنی بالا رود.

- [1] Bucheli-Witschel, M., Kotzsch, S., Darr, S., Widler, R. and Egli, T., 2012. A new method to assess the influence of migration from polymeric materials on the biostability of drinking water. *Water research* 46(13), 4246-4260.
- [2] Löschner, D., Rapp, T., Schlosser, F.-U., Schuster, R., Stottmeister, E. and Zander, S., 2011. Experience with the application of the draft European Standard prEN 15768 to the identification of leachable organic substances from materials in contact with drinking water by GCMS. *Analytical Methods* 3(11), 2547.
- [3] Trew, J.E., Tarbet, N.K., De Rosa, P.J., Morris, J.D., Cant., J. and Olliff, J.L. (1995) Pipe Materials Selection Manual: Water Supply, Medmenham,UK.
- [4] Zhang, L., Yu, H.Y., Zhang, G. and Liu, J., 2011. Research progress of the impacts of plastic water supply piping to water safety. *Journal of Safety and Environment* 11(2), 158-161.
- [5] Whelton, A.J. and Nguyen, T., 2013. Contaminant Migration From Polymeric Pipes Used in Buried Potable Water Distribution Systems: A Review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 43(7), 679-751.
- [6] Adams, W.A., Xu, Y., Little, J.C., Fristachi, A.F., Rice, G.E. and Impellitteri, C.A., 2011. Predicting the migration rate of dialkyl organotins from PVC pipe into water. *Environmental Science & Technology* 45(16), 6902-6907.
- [7] Brocca, D., Arvin, E. and Mosbæk, H., 2002. Identification of organic compounds migrating from polyethylene pipelines into drinking water. *Water research* 36(15), 3675-3680.
- [8] Skjervak, I., Due, A., Gjerstad, K.O. and Herikstad, H., 2003. Volatile organic components migrating from plastic pipes (HDPE, PEX and PVC) into drinking water. *Water research* 37(8), 1912-1920.
- [9] Walter, R.K., Lin, P.H., Edwards, M. and Richardson, R.E., 2011. Investigation of factors affecting the accumulation of vinyl chloride in polyvinyl chloride piping used in drinking water distribution systems. *Water research* 45(8), 2607-2615.
- [10] Al-Malack, M.H., 2001. Migration of lead from unplasticized polyvinyl chloride pipes. *Journal of hazardous materials* 82(3), 263-274.
- [11] Lasheen, M.R., Sharaby, C.M., El-Kholy, N.G., Elsherif, I.Y. and El-Wakeel, S.T., 2008. Factors influencing lead and iron release from some Egyptian drinking water pipes. *Journal of hazardous materials* 160(2-3), 675-680.
- [12] Al-Malack, M., 2004. Effect of UV-Radiation on the Migration of Vinyl Chloride Monomer from Unplasticized PVC Pipes. *Journal of Environmental Science and Health, Part A* 39(1), 145-157.
- [13] Al-Malack, M.H. and Sheikheldin, S.Y., 2001. Effect of solar radiation on the migration of vinyl chloride monomer from unplasticized PVC pipes. *Water research* 35(14), 3283-3290.
- [14] Al-Malack, M.H., Sheikheldin, S.Y., Fayad, N.M. and Khaja, N., 2000. Effect of water quality parameters on the migration of vinyl chloride monomer from unplasticized PVC pipes. *Water Air and Soil Pollution* 120(1-2), 195-208.
- [15] Heim, T.H. and Dietrich, A.M., 2007. Sensory aspects and water quality impacts of chlorinated and chloraminated drinking water in contact with HDPE and cPVC pipe. *Water research* 41(4), 757-764.
- [16] Durand, M.L. and Dietrich, A.M., 2007. Contributions of silane cross-linked PEX pipe to chemical/solvent odours in drinking water. *Water Science & Technology* 55(5), 153-160.
- [17] Lund, V., Anderson-Glenna, M., Skjervak, I. and Steffensen, I.L., 2011. Long-term study of migration of volatile organic compounds from cross-linked polyethylene (PEX) pipes and effects on drinking water quality. *Journal of water and health* 9(3), 483-497.
- [18] Hametner, C., 1999. Polypropylene pipes for drinking water supply. *Journal of Macromolecular Science-Pure and Applied Chemistry A* 36(11), 1751-1758.
- [19] Qu, J.W., Yu, H.Y., Zhang, L., Zhang, G. and Liu, J., 2012. Effect of Temperature and Water Quality on Migration of Total Organic Carbon from the High-Density Polyethylene Drip Irrigation Pipes. *Sensor Letters* 10(1-2), 471-474.
- [20] Lytle, D.A. and Schock, M.R., 2000. Impact of stagnation time on metal dissolution from plumbing materials in drinking water. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA* 49(5), 243-257.
- [21] Rogers, H.R., Norris, M.W. and James, H.A., 2004. Effects of materials of construction on tastes and odours in drinking water. *Reviews in environmental science and bio-technology* 3(1), 23-32.
- [22] GB/T 17219-1998, 1998. Standard for safety evaluation of equipment and protective materials in drinking water system.
- [23] EN 12873-1, 2003. Influence of materials on water intended for Human Consumption- Influence due to migration- Part 1: Test method for nonmetallic and non-cementitious factory mead products.