

# بررسی مقایسه‌ای حذف ترکیبات تری‌هالومتان‌ها (THMs) از آب آشامیدنی با استفاده از ستون آکنده زدایش با هوا و نانو فیلتراسیون

محمدتقی صمدی<sup>۱</sup>، سیمین ناصری<sup>۲</sup>، علیرضا مصداقی‌نیا<sup>۳</sup>، محمدرضا علیزاده فرد<sup>۴</sup>

(دریافت ۸۴/۱۱/۱۰ پذیرش ۸۵/۲/۱۰)

## چکیده

تشدید آلودگی منابع آب در دهه‌های اخیر، باعث افزایش غلظت آلاینده‌های آلی آب گردیده است. با توجه به استفاده از منابع آب سطحی به عنوان یکی از عمده‌ترین منابع آب آشامیدنی در کشور و کاربرد سیستم‌های کلرزنی به عنوان متداول‌ترین روش گندزدایی آب آشامیدنی، احتمال تولید محصولات جانبی ناشی از گندزدایی (DBPs) در آب تصفیه شده افزایش می‌یابد. تری‌هالومتان‌ها (THMs) اصلی‌ترین گروه تشکیل دهنده محصولات جانبی ناشی از گندزدایی محسوب گردیده و می‌توانند خطر بروز عوارض سوء بهداشتی در کبد، کلیه و نیز سیستم اعصاب مرکزی را افزایش دهند. در این تحقیق دو پایلوت ستون آکنده زدایش با هوا و نانو فیلتر (NF) با مدول مارییچی طراحی و راه‌اندازی گردید. اثرات ناشی از تغییرات غلظت کلروفرم به عنوان ترکیب شاخص تری‌هالومتان‌ها، تغییرات گذر حجمی جریان عبوری در هر دو سیستم و تأثیر فشار عبوری در پایلوت غشائی به عنوان عوامل اصلی مؤثر بر کارایی حذف تری‌هالومتان‌ها مورد مطالعه قرار گرفت. اندازه‌گیری غلظت کلروفرم در نمونه‌های آب با دستگاه گاز کروماتوگراف (GC) و آشکار ساز رایش الکترون (ECD) انجام یافت. تجزیه و تحلیل داده‌ها مشخص ساخت که میان دبی جریان آب ورودی و غلظت کلروفرم با کارایی حذف آن، رابطه آماری معنی‌داری وجود دارد. کارایی حذف کلروفرم در ستون آکنده زدایش با هوا در این تحقیق بیشتر از غشاء نانوفیلتر ۳۰۰ و ۶۰۰ دالتون بوده است. در مجموع دامنه تغییرات کارایی حذف برای ستون زدایش با هوا، نانوفیلتر ۳۰۰ دالتون و نانوفیلتر ۶۰۰ دالتون، در آب دیونیزه به ترتیب بین (۸۲/۳ تا ۹۷/۶ درصد)، (۶۰/۵ تا ۸۷/۲ درصد) و (۴۲/۳ تا ۶۷/۶ درصد) بوده است. لذا براساس شرایط موجود می‌توان نسبت به استفاده از سیستم‌های مذکور اقدام نمود.

**واژه‌های کلیدی:** تری‌هالومتان‌ها، نانوفیلتراسیون، ستون آکنده زدایش با هوا.

## A Comparative Study on THMs Removal Efficiencies from Drinking Water through Nanofiltration and Air Stripping Packed-Column

Mohammad Taghi Samadi<sup>1</sup>, Simin Nasser<sup>2</sup>, Alireza Mesdaghinia<sup>3</sup>, Mohammad Reza Alizadefard<sup>4</sup>

(Received Jan. 30, 2006 Accepted Apr.30, 2006)

### Abstract

In recent decades, increasing pollution of water resources has caused higher rates of organic pollutants in water resources. Considering the surface water resources as one of the main water supplies in many regions of Iran and the application of chlorination for disinfecting drinking water has increased the rate of Disinfection By-Products (DBPs) formation. Trihalomethanes (THMs) as the main group of DBPs are categorized and considered to have the potentiality of increasing the rate of liver, kidney and CNS adverse effects. Air stripping and membrane technology can be used for the removal of THMs. In this research, two pilots were designed and set up: Air stripping packed-column and Nanofilter (NF) spiral-wound modules. The effects of changes in flow rate and chloroform concentrations were investigated in both treatment systems and the transmembrane pressure for membrane pilot as the basic variables affecting removal efficiencies. Gas Chromatography (GC) with Electron Capture Detector (ECD) was used for determination of chloroform concentration in water samples. The obtained data were analyzed by SPSS and non-parametric Kruskal-Wallis. The results showed a positive correlation between the flow rate and chloroform concentration, and removal efficiencies. In this study, chloroform removal efficiencies for air stripping pack-column were higher than NF 300, and 600 Da. Variation range of removal efficiencies for air stripping column, NF 300 Da and 600 Da with deionized water samples has been 82.3% to 97.6%, 60.5% to 87.2% and 42.3% to 67.6%, respectively.

**Keywords:** Trihalomethans, Nanofiltration, Air Stripping Packed – Column.

1- Assist. Prof., School of Public Health, Hamedan University of Medical Sciences- samadi@umsha.ac.ir  
2- Prof., School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences  
3- Prof., School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences  
4- Assist. Prof., Department of Polymer, Amirkabir University of Technology

۱- استادیار گروه بهداشت محیط دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان - samadi@umsha.ac.ir  
۲- استاد گروه بهداشت محیط دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران  
۳- استاد گروه بهداشت محیط دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران  
۴- استادیار دانشکده پلیمر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران

$$dTHM/dt = -dC/dt = k_2 [Cl_2][C]m \quad (2)$$

در این رابطه،  $k_2$  سرعت واکنش،  $m$  درجه واکنش و  $[C]$  نشان‌دهنده غلظت مواد آلی موجود خواهد بود [۶].

رودخانه‌های تغذیه‌کننده دریاچه‌های پشت سدها و سایر منابع آب سطحی می‌تواند مقادیر قابل توجهی از پیش‌سازهای ترکیبات تری‌هالومتان را به منابع مذکور وارد سازند.

اگر چه غلظت ترکیبات تری‌هالومتان تولیدی در آبهای آشامیدنی گندزدایی شده با کلر اندک است، ولی توجه به خطرات و اثرات سوء بهداشتی ناشی از آنها به لحاظ سمیت بسیار بالا، مدت زمان مواجهه طولانی و مستمر، مثلاً برای تمام عمر (مدت زمانی که فرد از آب تصفیه شده و آلوده به THMs مصرف می‌نماید) و تعداد جمعیت در معرض خطر حائز اهمیت فراوان می‌باشد [۷].

در سال ۱۹۷۵ این ترکیبات از سوی USEPA به عنوان یک ماده سرطان‌زا برای انسان معرفی گردید و در گروه A مواد سرطان‌زا قرار گرفت [۶ و ۸] و به دنبال آن سازمان جهانی بهداشت نیز ضرورت عدم وجود آنها را در آبهای آشامیدنی مورد تأکید قرار داد. مطالعات متعددی که بر روی حیوانات آزمایشگاهی انجام یافته، نشانگر وجود رابطه معنی‌داری بین خطر ابتلاء به سرطان کولون، مثانه و رکتوم با آب حاوی ترکیبات تری‌هالومتان می‌باشد [۸].

اثرات دیگری نیز در مورد تری‌هالومتان‌ها و به خصوص کلروفرم به عنوان شاخص این ترکیبات گزارش گردیده است. تأثیر بر قابلیت تولید مثل، خاصیت بروز ناهنجاری‌های مادرزادی، آسیب به ارگان‌های خاص بدن مانند کبد و کلیه، آسیب به سیستم عصبی و بروز اثرات سوء در سیستم گردش خون و شیمی خون، از عوارض ناشی از این ترکیبات می‌باشد [۲، ۳ و ۸].

با توجه به مخاطرات ناشی از تری‌هالومتان‌ها، USEPA حداکثر مقدار قابل قبول این ترکیبات در آبهای آشامیدنی را از سال ۱۹۹۸ به ۸۰ میکروگرم در لیتر تقلیل داده است [۱]. مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران در سال ۱۳۷۶، حداکثر مقدار قابل قبول را برای کلروفرم (به عنوان شاخص ترکیبات تری‌هالومتان)، معادل ۲۰۰ میکروگرم در لیتر مشخص کرده است [۹].

مطالعاتی در ایران در خصوص غلظت تری‌هالومتان در منابع آب آشامیدنی انجام یافته است. در پژوهشی که در سال ۱۳۷۳ برای سنجش مقادیر غلظت تری‌هالومتان‌ها در آب آشامیدنی شهر تهران صورت گرفت، مشخص گردید که در ۲۵ درصد از نمونه‌های مطالعه شده، غلظت این ترکیبات بیش از حد مجاز بوده است [۱۰]. مطالعه دیگری که در همین زمینه در سال ۱۳۷۶ بر روی آبهای آشامیدنی تعدادی از شهرهای بزرگ انجام شده، غلظت این گروه از آلاینده‌ها در آب شهرهایی مانند اهواز، اصفهان و

همزمان با شروع گندزدایی آب آشامیدنی با ترکیبات کلر در سال ۱۹۰۴ میلادی، وقوع همه‌گیری‌های مرتبط با مصرف آب آلوده به شدت تقلیل یافت [۱ و ۲]. پس از آن روشهای مختلف گندزدایی آبهای آشامیدنی مانند کاربرد گاز ازن و اشعه فرابنفش نیز به منظور رفع آلودگی آب گسترش پیدا کرد. اما به دلیل مزایای متعدد کلر و مشتقات آن، گندزدایی آب آشامیدنی با این ترکیبات، متداول‌ترین و معمول‌ترین روش گندزدایی در سطح جهان محسوب می‌گردد [۳ و ۴].

در سال ۱۹۷۴ میلادی گروهی از پژوهشگران آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA)، سوئیس و هلند به وجود ترکیباتی در آب گندزدایی شده با کلر پی بردند که تا قبل از آن زمان در آب آشامیدنی مشاهده نشده بود. این ترکیبات که از خانواده ترکیبات آلی کلره هستند، تری‌هالومتان‌ها (THMs) نامیده شدند [۱ و ۵].

ترکیبات THM در اثر واکنش کلر با برخی از انواع ترکیبات آلی موجود در آب تولید می‌شوند که مشتمل بر: مواد آلی طبیعی<sup>۳</sup> (NOMs) موجود در آبهای سطحی، مانند اسیدهای ناشی از تجزیه گیاهان (اسیدهای هیومیک<sup>۴</sup> و فولویک<sup>۵</sup>)، مواد آلی مترشحه از جلبکها و سایر موجودات آبی و نیز مواد آلی حاصل از فعالیت‌های انسانی (مانند فاضلابهای شهری و صنعتی و زه آبهای کشاورزی و شیرابه ناشی از دفع زباله) می‌باشد [۳ و ۵]. به این مواد که هسته اولیه تولید ترکیبات تری‌هالومتان محسوب می‌گردند، ترکیبات پیش‌ساز<sup>۶</sup> اطلاق می‌شود. این ترکیبات در مقایسه با بسیاری از املاح و ترکیبات معدنی موجود در آب، از طریق روشهای متداول تصفیه آب آشامیدنی حذف نمی‌گردند [۱].

از عوامل اصلی تشکیل تری‌هالومتان‌ها می‌توان به pH، دما، غلظت مواد آلی و غلظت کلر اشاره نمود. در مجموع، واکنش کلر باقیمانده و مواد آلی عمدتاً به غلظت آنها بستگی دارد. روابط زیر را می‌توان در خصوص نحوه تولید تری‌هالومتان‌ها در نظر گرفت:

$$d[Cl_2] / dt = -k_1 [Cl_2][TOC] \quad (1)$$

در این رابطه،  $k_1$  سرعت واکنش،  $[Cl_2]$  نشانگر غلظت کلر موجود و  $[TOC]$  مشخص‌کننده غلظت کل مواد آلی می‌باشد. اگر فرض شود که واکنش کلر با مواد آلی موجب کاهش قابل توجه آن نمی‌گردد، می‌توان از رابطه ۲ برای محاسبه کل ترکیبات تری‌هالومتان استفاده نمود:

<sup>1</sup> U.S Environmental Protection Agency

<sup>2</sup> Trihalomethane

<sup>3</sup> Natural Organic Matters

<sup>4</sup> Humic Acid

<sup>5</sup> Fulvic Acid

<sup>6</sup> Precursors

بندرعیاس را در بعضی ماههای سال بیش از حد مجاز گزارش نموده است [۱۱].

با توجه بیش از پیش به مهار آبهای سطحی در ایران و احداث سدهای متعدد در سطح کشور طی برنامه دوم و سوم اقتصادی و پیش‌بینی ادامه این روند در برنامه پنج ساله چهارم، در سالهای آتی عمده‌ترین منبع آب آشامیدنی مورد مصرف مردم در ایران، منابع آب سطحی و به خصوص آب ذخیره شده در دریاچه‌های پشت سدها خواهد بود.

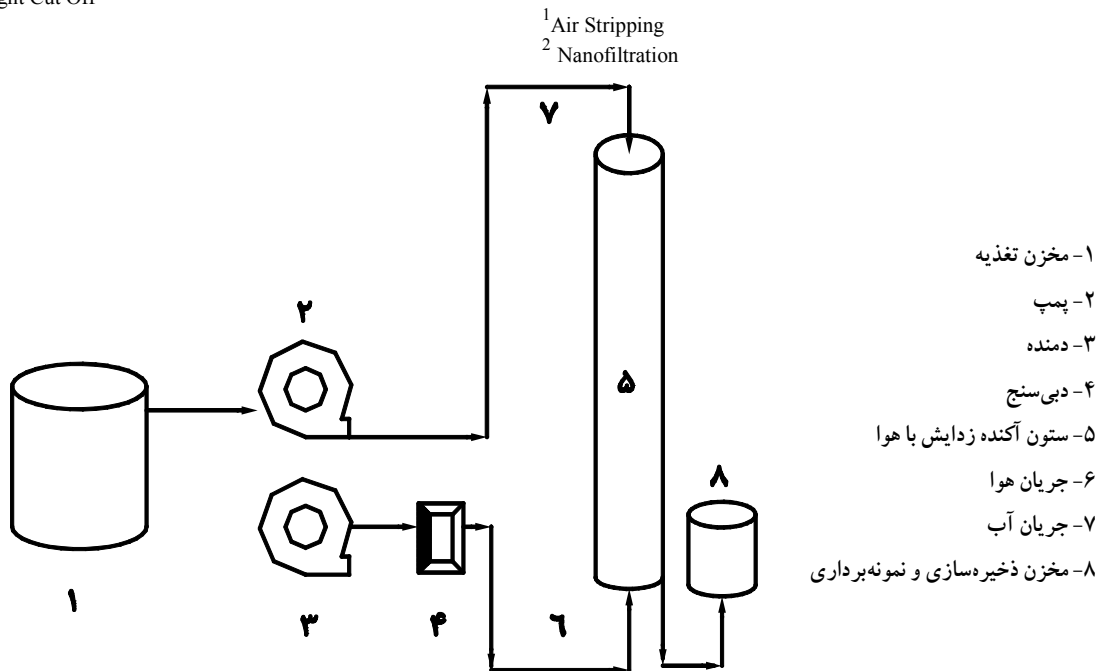
لذا با توجه به موارد ذکر شده، در این تحقیق سعی گردید تا با کاربرد ستون آکنده زدایش با هوا (AS) که یکی از روشهای متداول حذف ترکیبات آلی فرار محسوب می‌گردد و نیز روش جدید نانوفیلتراسیون (NF)<sup>۲</sup>، چگونگی حذف ترکیبات تری‌هالومتان، مورد مطالعه قرار گیرد. ضمن آنکه عدم تغییر سیستم گندزدایی و انجام تحولات گسترده سازه‌ای، تجهیزاتی و فرآیندی، در کوتاه مدت در تصفیه‌خانه‌های موجود آب آشامیدنی کشور موجب گردیده تا این پژوهش بر حذف ترکیبات تری‌هالومتان (کلروفرم) پس از تولید و قبل از ورود به شبکه توزیع و رسیدن به مراکز مصرف متمرکز گردد. فرضیه این تحقیق این است که غلظت THMS و دبی جریان ورودی در کارایی حذف هر دو سیستم و تغییرات فشار بهره‌برداری بر کارایی سیستم غشائی و تغییرات زمان تماس بر کارایی ستون زدایش با هوا مؤثر می‌باشد.

## ۲- مواد و روشها

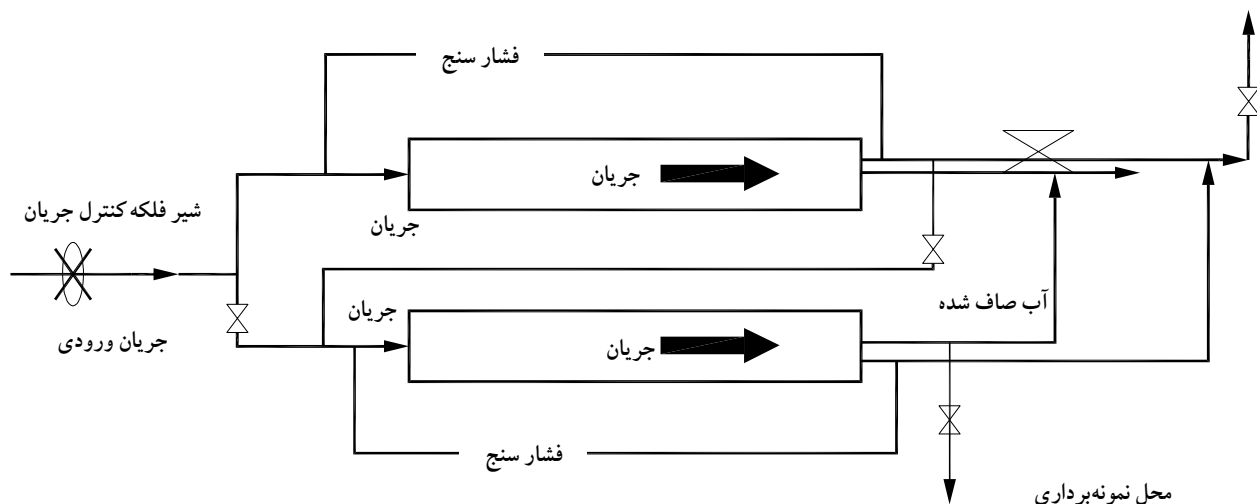
برای انجام این تحقیق، دو پایلوت ستون آکنده زدایش با هوا (AS) و سیستم غشائی از نوع نانوفیلتراسیون (NF) طراحی، ساخته و راه‌اندازی گردید. ستون آکنده زدایش با هوا از جنس پلاستیک شفاف با قطر ۲۵ سانتی متر و طول ۹۰ سانتی متر (که با استفاده از قطعات پلاستیکی با اندازه تقریبی ۱/۵ سانتی متر به شکل نیم دایره و ضخامت کمتر از ۰/۵ میلی متر پر گردیده بود)، مورد استفاده قرار گرفت. برای افزایش سطح تماس، قطعات پلاستیکی فوق‌الذکر از نوع ناصاف و شیاردار انتخاب گردید. هوای مورد نیاز با استفاده از یک دستگاه پمپ Sibata مدل 200RC – 20SC5 ساخت کارخانه هیتاچی ژاپن به همراه فلومتر ساخت همان کارخانه تأمین شد. پمپاژ آب حاوی ترکیبات تری‌هالومتان (کلروفرم) به ستون آکنده نیز با استفاده از مخزن و یک دستگاه پمپ Lowara ایتالیایی مدل PM16/A و به صورت جریان رو به پایین انجام یافت. شکل ۱، نشان‌دهنده شمای کلی پایلوت A.S و GAC و شکل ۲، مشخص‌کننده وضعیت پایلوت غشائی می‌باشد.

در سیستم غشائی نیز از مدول‌های مارپیچی نانوفیلتراسیون (NF) با MWCO<sup>۳</sup> برابر ۳۰۰ و ۶۰۰ دالتون (Da) و از جنس استات سلولز و پلی‌آمید استفاده گردید و پس از آماده‌سازی سیستم، آب بدون یون، حاوی کلروفرم با استفاده از یک دستگاه پمپ ۳/۴ اسب بخار از غشاهای مذکور عبور داده شد. غلظت کلروفرم در

<sup>3</sup>Molecular Weight Cut Off



شکل ۱- شمای کلی پایلوت AS و GAC مورد استفاده جهت انجام پژوهش



شکل ۲- شمای کلی پایلوت سیستم غشائی مورد مطالعه

- تنظیم دمای آب ورودی در  $17^{\circ}\text{C}$  و دبی جریان در ۳، ۶ و ۹ لیتر در دقیقه؛

- تهیه نمونه‌های حاوی کلروفورم با غلظت ۱۰۰ میکروگرم در لیتر با آب بدون یون، دمای  $17^{\circ}\text{C}$  و دبی جریان ۳، ۶ و ۹ لیتر در دقیقه و اعمال فشارهای ۱۴۰، ۱۱۰، ۸۰ و ۵۰ psi به منظور مطالعه اثر تغییرات فشار بر کارایی حذف کلروفورم و

- انجام مراحل فوق با استفاده از آب آشامیدنی شبکه توزیع شهر تهران به منظور بررسی نحوه حذف کلروفورم از آن و مقایسه نتایج به دست آمده با نتایج حاصل از عبور محلولهای تهیه شده با آب بدون یون.

لازم به ذکر است که با توجه به استفاده از آشکارساز ECD در انجام آزمایشها، دقت کار بسیار بالا و در حد ۲ ppb بوده است به نحوی که در ساخت سری محلول‌های استاندارد از محلول ۲ ppb هم استفاده گردیده است.

### ۳- نتایج و بحث

جدولهای ۱ تا ۴، نتایج حاصل از عبور آب بدون یون و جدول ۵ نتایج حاصل از عبور آب شهر از سیستم مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به تعداد و نوع نمونه‌های مورد آزمایش در این تحقیق، کلیه نتایج به دست آمده با استفاده از روش آماری غیر پارامتری کروسکال-والیس<sup>۳</sup> مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بر این اساس با توجه به مندرجات جدولهای ۱ و ۲ مشاهده می‌گردد که بین تغییرات غلظت کلروفورم و زمان تماس جریان ورودی

آب ورودی و خروجی پایلوت‌های فوق با استفاده از دستگاه گاز کروماتوگراف (GC) با آشکار ساز ربایش الکترون (ECD)<sup>۱</sup> مدل GC-17 A، ساخت کارخانه شیماتسو ژاپن اندازه‌گیری گردید. ستون موئین آکنده در دستگاه نیز به طول ۴۰ متر، قطر ۰/۳۲ میلی متر و با ماده پرکننده DB-5 انتخاب شد. پس از آماده‌سازی پایلوت‌ها، تأثیرات غلظت کلروفورم و تغییرات گذر حجمی جریان بر کارایی حذف کلروفورم (به عنوان شاخص ترکیبات تری‌هالومتان از آب آشامیدنی) در ستون آکنده زدایش با هوا به شرح زیر مورد بررسی قرار گرفت:

- تنظیم دمای آب ورودی در  $17^{\circ}\text{C}$ ، دبی جریان ورودی ۱ لیتر در دقیقه و استفاده از آب بدون یون جهت تهیه محلولهای کلروفورم با غلظت ۵۰ تا ۳۰۰ میکروگرم در لیتر و عبور آن از سیستم جهت بررسی تأثیر غلظت کلروفورم بر کارایی حذف آن؛

- تهیه نمونه‌هایی از آب بدون یون، حاوی ۱۰۰ میکروگرم در لیتر کلروفورم با دمای  $17^{\circ}\text{C}$  و تغییر دبی جریان ورودی به سیستم بین ۰/۵ تا ۳ لیتر در دقیقه، جهت مطالعه تأثیر دبی جریان ورودی بر کارایی حذف کلروفورم در سیستم مذکور و

- تهیه نمونه‌هایی مطابق مراحل قبل با استفاده از آب آشامیدنی شبکه توزیع شهر تهران جهت بررسی نحوه حذف کلروفورم در سیستم.

مراحل زیر در بررسی کارایی حذف کلروفورم با استفاده از سیستم غشائی (NF) مد نظر بوده است:

- اندازه‌گیری جریان ورودی به سیستم در دماها و فشارهای مختلف؛

<sup>2</sup> Part Per Billion

<sup>3</sup> Kruskal - Wallis

<sup>1</sup> Electron Capture Detector

جدول ۱- اثر تغییرات زمان تماس دبی ورودی بر کارایی حذف کلروفرم در سیستم AS با جریان هوای ۴۰ لیتر در دقیقه و دمای ۱۷°C

P.Value	انحراف معیار	کارایی حذف (%)	غلظت کلروفرم		زمان تماس (hr)
			ورودی (µg/L)	خروجی (µg/L)	
P < ۰/۰۵	۰/۳۱	۹۷/۲	۲/۸	۱۰۱/۲	۳
	۰/۷۴	۹۶/۷	۳/۳	۱۰۰/۹	۲/۵
	۰/۲۵	۸۸/۸	۱۱/۴	۱۰۲/۴	۲
	۰/۹۷	۸۷/۴	۱۲/۵	۹۹/۶	۱/۵
	۰/۴۲	۸۴/۶	۱۵/۴	۱۰۰/۵	۱
	۰/۱۲	۸۳/۲	۱۷	۱۰۱/۳	۰/۵

جدول ۲- اثر تغییرات غلظت کلروفرم در آب ورودی بر کارایی حذف آن در ستون AS با دبی آب ورودی ۱ لیتر در دقیقه، دمای ۱۷°C و جریان هوای ۴۰ لیتر در دقیقه

P.Value	انحراف معیار	کارایی حذف (%)	غلظت کلروفرم	
			ورودی (µg/L)	خروجی (µg/L)
P < ۰/۰۵	۰/۹۵	۹۷/۶	۱/۲	۵۰
	۱/۲۴	۹۵/۸	۴/۲	۱۰۰
	۰/۷۱	۹۵/۲	۷/۲	۱۵۰
	۰/۶۴	۸۶/۸	۳۳	۲۵۰
	۰/۹۲	۸۲/۳	۵۳/۳	۳۰۰

کلروفرم ورودی، از ۵۰ به ۳۰۰ میکروگرم در لیتر می‌باشد و رابطه آماری معنی‌داری بین این دو عامل مشاهده نگردید ( $P=۰/۶۳$ ). بررسی مندرجات جدول ۴ که تغییرات کارایی حذف کلروفرم بر حسب تغییر فشار اعمال شده را نشان می‌دهد، مشخص می‌سازد که با بالا رفتن فشار تا ۱۱۰ psi، کارایی حذف افزایش یافته و سپس با افزایش فشار به ۱۴۰ psi، کاهش اندکی در مقدار درصد حذف کلروفرم مشاهده می‌گردد. در مجموع، رابطه آماری معنی‌داری بین افزایش فشار و تغییرات حذف کلروفرم وجود دارد ( $P < ۰/۰۵$ ) و بیشترین درصد کارایی حذف، در فشار ۱۱۰ psi به دست آمده است. در تحقیقی که به وسیله کاراکولسکی<sup>۱</sup> در مورد حذف THMS با استفاده از غشاهای اسمز معکوس انجام یافته گزارش گردیده است، در این تحقیق تأثیر غلظت THMS ورودی بر کارایی حذف ۸۰ تا ۹۹ درصد بر حسب شرایط مختلف بهره‌برداری کارایی حذف مورد مطالعه قرار نگرفته است [۱۳]. در تحقیق دیگری که به وسیله میتیش و همکاران<sup>۲</sup> انجام یافته، کارایی حذف ترکیبات آلی فرار از منابع آب زیرزمینی با استفاده از ستون زدایش با هوا، بیش از ۹۰ درصد گزارش گردیده است [۱۴]. در بررسی دیگری نیز که توسط چاین<sup>۳</sup> بر روی حذف محصولات جانبی

حاوی کلروفرم، با کارایی حذف کلروفرم در ستون آکنده زدایش با هوا (AS) رابطه آماری معنی‌داری وجود دارد ( $۰/۰۵$ ).  $P < ۰/۰۵$  به عبارت دیگر با افزایش غلظت کلروفرم از ۳۰۰ µg/L به ۵۰، کارایی حذف حدود ۱۵ درصد کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش دبی آب ورودی و به دنبال آن کاهش زمان تماس (حجم و ارتفاع ستون ثابت بوده و با افزایش دبی ورودی، زمان تماس کاهش خواهد یافت) کارایی حذف تغییر می‌نماید و تغییر در کارایی حذف کلروفرم برای زمان تماس ۳ و ۲/۵ ساعت بسیار اندک (در حد ۰/۵ درصد) می‌باشد. در مجموع می‌توان گفت که در سیستم مورد مطالعه بیش از ۸۰ درصد حذف، در نیم ساعت اول تماس اتفاق افتاده است. محمود و کمار نیز تحقیقی را در مورد حذف ترکیبات آلی کربنه از منابع آب انجام داده‌اند و نتایج بسیار خوبی نیز به دست آورده‌اند ولی تأثیر تغییرات دبی جریان ورودی بر کارایی ستون را بررسی نکرده‌اند [۱۲]. با توجه به نتایج حاصل از تغییر دبی جریان از ۱ لیتر به ۳ لیتر در دقیقه به نظر می‌رسد که در صورت افزایش دبی جریان ورودی به مقادیر بالاتر (مانند ۲۰ لیتر در دقیقه) کارایی حذف کلروفرم به نحو قابل توجهی کاهش پیدا کند.

اعداد و ارقام جدول ۳، نشانگر افزایش اندک کارایی حذف در دو نوع غشاء نانوفیلتر ۳۰۰ و ۶۰۰ دالتون بر حسب افزایش غلظت

<sup>1</sup> Karakulski

<sup>2</sup> Mitesh et al.

<sup>3</sup> Chin

جدول ۳- تأثیر تغییرات فشار آب ورودی بر کارایی حذف کلروفورم در سیستم غشائی NF (۳۰۰ و ۶۰۰ دالتون) (فشار ۱۱۰ psi و دمای ۱۷°C)

دبی						غلظت (µg/L)
نانوفیلتر ۶۰۰ دالتون			نانوفیلتر ۳۰۰ دالتون			
۹	۶	۳	۹	۶	۳	
(L/min)	(L/min)	(L/min)	(L/min)	(L/min)	(L/min)	
۷۱/۶	۶۴/۶	۵۰/۳	۸۵/۶	۸۱/۴	۷۹/۶	۵۰
۷۲/۲	۶۵/۱	۵۰/۹	۸۵/۸	۸۱/۹	۸۰/۸	۱۰۰
۷۲/۹	۶۵/۹	۵۱/۲	۸۶/۲	۸۲/۵	۸۱/۲	۱۵۰
۷۳/۸	۶۶/۸	۵۱/۹	۸۶/۴	۸۳/۶	۸۱/۷	۲۰۰
۷۴	۶۶/۹	۵۲/۴	۸۷/۱	۸۳/۷	۸۲/۲	۲۵۰
۷۴/۱	۶۶/۹	۵۲/۹	۸۷/۸	۸۳/۹	۸۲/۹	۳۰۰

جدول ۴- تأثیر تغییرات فشار آب ورودی بر کارایی حذف کلروفورم در سیستم غشائی NF (۳۰۰ و ۶۰۰ دالتون) (دمای آب ۱۷°C، غلظت کلروفورم ورودی ۳۰۰ µg/L)

دبی						غلظت (µg/L)
نانوفیلتر ۶۰۰ دالتون			نانوفیلتر ۳۰۰ دالتون			
۹	۶	۳	۹	۶	۳	
(L/min)	(L/min)	(L/min)	(L/min)	(L/min)	(L/min)	
۶۱/۹	۵۳/۲	۴۲/۳	۶۳/۷	۵۹/۲	۶۰/۵	۵۰
۶۶/۷	۵۷/۸	۴۸/۸	۷۶/۳	۶۸/۹	۶۷/۲	۸۰
۷۴/۶	۶۷/۶	۵۲/۹	۸۷/۸	۸۳/۹	۸۲/۹	۱۱۰
۷۴/۱	۶۶/۹	۵۲/۲	۸۷/۲	۸۳/۱	۸۲/۱	۱۴۰

روز به وجود آوردند، توانستند با به کارگیری سیستم غشاء NF، مواد آلی محلول در آب را تا حدود ۹۰ درصد حذف نمایند به نحوی که غلظت DOC قابل تجزیه بیولوژیکی به حد غیر قابل شناسایی (کمتر از ۱/۱ میلی گرم در لیتر) تقلیل یابد. همچنین با این روش، پتانسیل تولید کلروفورم و پتانسیل تولید مواد آلی هالوژنه به ترتیب ۹۶ درصد و ۸۷ درصد کاهش یافته و میزان نیاز به تزریق کلر نهائی نیز ۹۵ درصد تقلیل پیدا نمود [۱۶].

#### ۴- نتیجه گیری

در مجموع می توان گفت که با وجود بالا بودن درصد حذف کلروفورم در ستون AS نسبت به سیستم غشائی، لکن به لحاظ هزینه های بالای انرژی و عدم امکان افزایش دبی آب عبوری از آن، هزینه تمام شده هر واحد آب تصفیه شده با این سیستم بسیار بیشتر از سیستم غشائی خواهد بود. لازم به ذکر است که در این

حاصل از گندزدایی با استفاده از اشعه UV و ازن زنی انجام گرفته مشخص گردیده که این روش قادر به حذف حدود ۸۰ درصد از محصولات مذکور می باشد؛ در حالی که سیستم های مورد مطالعه در این تحقیق کارایی حذف بیشتری از خود نشان دادند [۱۵].

با توجه به نتایج مندرج در جدول ۵ که تغییرات عوامل مختلف آب آشامیدنی شهر تهران در عبور از سیستم AS و سیستم غشائی را نشان می دهد، مشخص می گردد که رابطه آماری معنی داری بین درصد کارایی حذف کلروفورم از آب بدون یون و آب شهر تهران در سیستم های فوق الذکر وجود ندارد ( $P=0/78$ )؛ ولی درصد حذف کلروفورم در سیستم های مذکور متفاوت بوده و به ترتیب بیشترین و کمترین درصد حذف در ستون زدایش با هوا (۹۱/۴ درصد) و غشاء نانوفیلتر ۶۰۰ دالتون (۷۲/۳ درصد) به دست آمده است.

لازم به ذکر است که کوته و همکاران<sup>۱</sup> با تغییراتی که در تصفیه خانه آب آشامیدنی حومه پاریس با ظرفیت ۱۸۰۰۰۰۰ متر مکعب در

<sup>۱</sup>Cote et al.

جدول ۵- نتایج حاصل از عبور آب شهر تهران از ستون آکنده زدایش با هوا ( هوای ورودی ۴۰L/min و زمان تماس ۲ ساعت ) و سیستم غشائی نانوفیلتر ( فشار ۱۱۰ psi ، جریان ورودی ۹ لیتر در دقیقه در دمای ۱۷C )

نانوفیلتر		ستون آکنده زدایش با هوا		میانگین در		عامل	
۶۰۰ دالتون		۳۰۰ دالتون		جریان	ورودی		
درصد حذف	میانگین خروجی	درصد حذف	میانگین خروجی	درصد حذف	میانگین خروجی		
-	۷/۹	-	۷/۲	-	۸/۵	۷/۷	pH
۶۶/۹	۱۱۵/۲	۷۰/۱	۱۰۴/۱	۵/۵	۳۲۹	۳۴۸	(mg/L) TDS
۸۱/۶	۴۲/۷	۸۳/۲	۳۸/۹	۲/۱	۲۲۷	۲۳۲	(mg/L)TSS
۱۰۰	۰	۱۰۰	۰	۱۰۰	۰	۰/۲	غلظت کلر باقیمانده (ppm)
-	۲۱/۳	-	۲۰/۸	-	۱۶	۱۷	دما (C)
۷۰/۹	۹۲/۲	۷۳/۴	۸۴/۳	۳/۵	۳۰۶	۳۱۷	هدایت الکتریکی (μs.cm)
۷۲/۳	۱۵/۵	۸۶/۱	۷/۸	۹۱/۴	۴/۸	۵۶	غلظت کلروفورم (μg/L)

#### ۵- تشکر و قدردانی

از مسئولین محترم مرکز ملی تحقیقات علوم پزشکی کشور به لحاظ توجه به اهمیت موضوع و تصویب آن به عنوان بخشی از طرح تحقیقاتی بررسی روشهای حذف ترکیبات تری هالومتان از منابع آب آشامیدنی و از کارشناسان بخش سم شناسی آزمایشگاههای مرجع کنترل غذا و داروی وزارت بهداشت، سرکار خانم ابوحسین و سرکار خانم جم به لحاظ همکاری در انجام آزمایشهای مربوط به این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌گردد.

تحقیق در محدوده زمانی تقریباً مشابه به ازای عبور ۱/۵ مترمکعب آب در ستون آکنده زدایش با هوا، ۱۵ متر مکعب آب از سیستم غشائی عبور داده شد. به این ترتیب در صورت نیاز به تصفیه آب آشامیدنی شهری مانند تهران ( با حجم بیش از ۲ میلیون متر مکعب در روز)، کاربرد ستون آکنده زدایش با هوا، توجیه بهداشتی، فنی و اقتصادی مناسبی نخواهد داشت، ولی سیستم غشائی با توجه به کارایی بالای حذف و دبی قابل توجه جریان عبوری، قابلیت به کارگیری در تصفیه‌خانه‌های آب آشامیدنی کشور را دارا می‌باشد.

#### ۶- مراجع

- 1-Frederick, W. (1998). *Small systems to tackle disinfection by-products*, AWWA technical reports , 1-6.
- 2- Bryant, E. (1992). *Disinfection alternatives for safe drinking water*, Van Nostrand Reinhold, 10-17.
- 3- Alicia, C. (2000). "DBP formation during chlorination." *J. AWWA*, 92 , 76-90.
- 4- Abdel-shafy, M. (2000). "THM formation in water supply in South Bohamia." *J. Water Research*, 34 , 3452-3459.
- 5- Bodzek, M. (2002). "Pressure driven membranes techniques in the treatment of water containing THMs." *J. Desalination*, 147 , 101-107.
- 6- Gallard, H. (2002). "Chlorination of natural organic matter: Kinetics of chlorination and of THM formation." *J. Water Research*, 36 , 65-74.
- 7- Kim Chul, H. (2005). "Characterization of natural organic matter for selection of treatment processes focused on DBPs control." *J. Water Research*, 39, 4779-4789.
- 8- WHO. (1998). *Guidelines for drinking water quality, (Chloroform), Health criteria and other supporting information*, Geneva, 255-275.

۹- مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. (۱۳۷۶). *ویزگیهای فیزیکی و شیمیایی آب آشامیدنی*، چاپ پنجم.

- ۱۰- حمیدیه ، م. (۱۳۷۳). "ارزیابی کارایی صافی‌های جاذب در حذف بقایای آلاینده‌ها از آب آشامیدنی در نقطه مصرف." پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۳-۱۷.
- ۱۱- دائی ، م. (۱۳۷۴). "بررسی احتمال وجود تری‌هالومتان‌ها در آب آشامیدنی کشور." پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۴۷-۱۲.
- 12- Mahmud, H., and Kumar, A.(2000). "A study of mass transfer in the air stripping process." *J. Membrane Sciences*, 179,29-41.
- 13- Karakulski, K. (2001). "Pilot plant studies on the removal of Trihalomethanes by composite reverse osmosis membranes." *J. Desalination*, 140 , 227-234.
- 14- Mitesh, R., and Noble, D. (2004). "Pervaporation air stripping process for removal of VOCs from groundwater." *J. Membrane Sciences*, 241, 257-263.
- 15- Chin, A., and Berube, P.R. (2005). "Removal of disinfection by-product precursors with ozone UV advanced oxidation process." *J. Water Research*, 39, 2136-2144.
- 16- Cote, P. (1993). *Nanofiltration for surface water treatment, advances in water and effluent treatment*, John Willy & Sons Publishers, New York.