DOI: 10.22122/jhsr.v16i2.3721 Published by Vesnu Publications

Journal of Health System Research Vol. 16, No. 2, Summer

Received: 12.02.2019 Accepted: 13.05.2019 Published: 05.07.2020

Evaluation of Acetaldehyde in Water Stored in Polyethylene Terephthalate (PET) Bottles Distributed in Retail Stage in Isfahan, Iran

Neda Ghassami[1], Homa Honarmand[1], Reza Pourzamani[2], Karim Ebrahimpour[3], Hamid Reza Hamidi[1], Hadiseh Ebdali[4], Sepideh Mosharaf[1], Zahra Esfandiari[5]

Original Article

Abstract

Background: Polyethylene Terephthalate (PET) is a polymeric resin of polyester group used in the manufacture of beverage bottles. Migration of PET ingredients such as acetaldehyde to the content of bottles has adverse effects on consumers' health. The purpose of the present study is to measure acetaldehyde in bottles of water.

Methods: A total of 36 bottles of water stored in PET from 12 commercial brands (6 brands from each mineral and drinking water) were collected from retail stage in Isfahan, Iran. Measurement of acetaldehyde was performed using gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The results were compared with the limit defined in standard of European Community in SPSS software using t-test.

Findings: Acetaldehyde was found in 26 samples with the frequency of 72%. The average of this compound was 22.18 ± 6.79 and 6.36 ± 4.53 parts per billion (ppb) in mineral and drinking water, respectively. Acetaldehyde observed more in mineral water compared to drinking water samples. The amount of acetaldehyde was less than the limit defined in standard of European Community in all samples.

Conclusion: According to the comparison of the measured values for acetaldehyde in mineral and drinking water in the present study with standard limit of European Community, it is recommended to perform the studies for risk assessment of different compounds migrated from bottles to their content and their effects on health.

Keywords: Migration; Acetaldehyde; Bottled water; Polyethylene terephthalate

Citation: Ghassami N, Honarmand H, Pourzamani R, Ebrahimpour K, Hamidi HR, Ebdali H, et al. **Evaluation of Acetaldehyde in Water Stored in Polyethylene Terephthalate (PET) Bottles Distributed in Retail Stage in Isfahan, Iran.** J Health Syst Res 2020; 16(2): 123-8.

1- Vice Chancellery for Food and Drug, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
2- Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
3- Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
4- MSc Student, Student Research Committee AND Food Security Research Center, Department of Food Science and Technology, School of Nutrition and Food Science, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
5- Assistant Professor, Food Security Research Center, Department of Food Science and Technology, School of Nutrition and Food Science, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
Corresponding Author: Zahra Esfandiari; Assistant Professor, Food Security Research Center, Department of Food Science and Technology, School of Nutrition and Food Science, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran; Email: z.esfandiari@nutr.mui.ac.ir

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

DOI: 10.22122/jhsr.v16i2.3721 Published by Vesnu Publications

ارزیابی میزان استالدهید در آب‌های نگهداری شده در بطری پلی‌اتیلن ترفتالات (پت) توزیع شده در سطح عرضه شهر اصفهان

ندا قسامی[1]، هما هنرمند[1]، رضا پورزمانی[2]، کریم ابراهیم‌پور[3]، حمیدرضا حمیدی[1]، حدیثه ابدالی[4]، سپیده مشرف[1]، زهرا اسفندیاری[5]

مقاله پژوهشی

چکیده

مقدمه: پلی‌اتیلن ترفتالات (پت)، رزین پلیمری از خانواده پلی‌استر می‌باشد که در تولید بطری‌های نوشیدنی به کار می‌رود. انتقال ترکیبات سازنده پت مانند استالدهید به محتوای آن، تأثیرات نامطلوبی بر سلامت مصرف‌کنندگان می‌گذارد. پژوهش حاضر با هدف اندازه‌گیری میزان استالدهید انتقال یافته از پت به محتوای آب انجام شد.

روش‌ها: ۳۶ نمونه بطری آب نگهداری شده در پت از ۱۲ برند تجاری (از نوع معدنی و آشامیدنی هر کدام ۶ برند تجاری) موجود در فروشگاه‌های سطح عرضه شهر اصفهان جمع‌آوری گردید. سپس استالدهید به وسیله دستگاه کروماتوگرافی گازی- اسپکترومتری جرمی (Gas Chromatography-Mass Spectrometry یا GC-MS) اندازه‌گیری شد. نتایج با استاندارد اتحادیه اروپا مقایسه گردید و با استفاده از آزمون t در نرم‌افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

یافته‌ها: استالدهید در ۲۶ نمونه از آب‌های مورد بررسی با فراوانی ۷۲ درصد مشاهده گردید. میانگین استالدهید در آب‌های معدنی و آشامیدنی به ترتیب ۶/۷۹ ± ۲۲/۱۸ و ۴/۵۳ ± ۶/۳۶ ppb گزارش شد. میزان استالدهید در آب‌های معدنی بیشتر از آشامیدنی و مقادیر در کلیه نمونه‌ها کمتر از مقدار تعریف شده در استاندارد اروپا بود.

نتیجه‌گیری: با توجه به مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده استالدهید در آب‌های معدنی و آشامیدنی مورد بررسی در تحقیق حاضر و کمتر بودن آن نسبت به مقادیر تعریف شده در استاندارد اروپا، انجام مطالعاتی در خصوص ارزیابی خطر کلیه ترکیبات احتمالی انتقال یافته از بطری پت به محتوای آن و تأثیرات آن بر سلامت پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: مهاجرت؛ استالدهید؛ آب بطری شده؛ پلی‌اتیلن ترفتالات

ارجاع: قسامی ندا، هنرمند هما، پورزمانی رضا، ابراهیم‌پور کریم، حمیدی حمیدرضا، ابدالی حدیثه، مشرف سپیده، اسفندیاری زهرا. **ارزیابی میزان استالدهید در آب‌های نگهداری شده در بطری پلی‌اتیلن ترفتالات (پت) توزیع شده در سطح عرضه شهر اصفهان.** مجله تحقیقات نظام سلامت ۱۳۹۹؛ ۱۶ (۲): ۱۲۸-۱۲۳

دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۱۱/۲۳ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۲/۲۳ تاریخ چاپ: ۱۳۹۹/۴/۱۵

مقدمه

در سال‌های اخیر، نگهداری آب در بطری‌های پلاستیکی به دلیل کمبود آب آشامیدنی در سراسر جهان افزایش پیدا کرده، اما در حال حاضر استفاده از بطری، به عنوان یک مشکل جدی مطرح شده است و نگرانی‌های بسیاری در خصوص کیفیت آب و بسته‌بندی آن در سطح جهانی مشاهده می‌شود (۱). رایج‌ترین پلیمر برای بطری مورد استفاده جهت بسته‌بندی فرآورده‌های آشامیدنی، پلی‌اتیلن ترفتالات (پت) می‌باشد (۲). پت، رزین پلیمری ترموپلاستیک از خانواده پلی‌استر است که در ساخت متجاوز از نیمی از فیبرهای مصنوعی مورد نیاز در تولید بطری‌های بسته‌بندی آب، آبمیوه و نوشابه‌ها به کار می‌رود (۳). پت ترکیبی است که وزن سبکی دارد و نسبت به رطوبت، اکسیژن و دی‌اکسیدکربن، غیر قابل نفوذ می‌باشد و از سختی و استحکام مناسبی برخوردار است (۲). اولین مرحله در تولید صنعتی پت، واکنش پری‌پلیمریزاسیون می‌باشد. در این فرایند، ترکیبات اولیگومر با وزن کم و ترفتالات بیس هیدروکسی اتیل به عنوان یک ترکیب واسط تولید می‌شود. در مرحله بعدی، واکنش پلی‌کندانسیون با استفاده از کاتالیزورهای مختلف انجام می‌گیرد. مرحله اصلی در این فرایند مربوط به واکنش کندانسیون می‌باشد که مولکول‌ها با هم واکنش نشان می‌دهند. در این مرحله ممکن است ترکیباتی که عامل ایجاد طعم و بوی نامناسب هستند، تشکیل شود. استالدهید از ترکیبات گروه آلدهیدها می‌باشد که نیاز است در مواد اولیه پت، پریفرم‌های تولید پت و آب داخل بطری در فرایند کنترل کیفیت، پایش شود (۴).

مهاجرت مواد تشکیل دهنده بطری به محتوای آن، همیشه یک موضوع بحث‌برانگیز می‌باشد. برخی از ترکیبات مهاجرت‌کننده از پت، تأثیرات نامطلوبی بر سلامت انسان‌ها می‌گذارد (۵، ۲، ۱). با توجه به مقررات اتحادیه

۱- معاونت غذا و دارو، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
۲- استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
۳- استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
۴- دانشجوی کارشناسی ارشد، کمیته تحقیقات دانشجویی و مرکز تحقیقات امنیت غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده تغذیه و علوم غذایی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
۵- استادیار، مرکز تحقیقات امنیت غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده تغذیه و علوم غذایی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
نویسنده مسؤول: زهرا اسفندیاری؛ استادیار، مرکز تحقیقات امنیت غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده تغذیه و علوم غذایی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
Email: z.esfandiari@nutr.mui.ac.ir

اروپا، ظروف در تماس با مواد غذایی، باید عاری از مواد تشکیل دهنده‌ای باشند که به غذا منتقل می‌گردد و سلامت انسان را تهدید می‌کند (۶). با وجود این که ماده پت به عنوان ترکیب شیمیایی غیر فعال شناخته می‌شود، مطالعات مختلف حاکی از آن است که شرایط ذخیره‌سازی نامناسب در محیط، بر میزان مهاجرت مواد تشکیل دهنده پت تأثیر می‌گذارد (۷). همچنین، فرایندهای مختلف حرارتی ممکن است منجر به تخریب پت و ایجاد اتصالات عرضی نامناسب، ایجاد برش در زنجیره‌های سازنده، کاهش وزن مولکولی نهایی و در نهایت، آزاد شدن ترکیباتی مانند استالدهید، فرمالدهید، فتالات، آلکیل فنل‌ها و... شود (۸).

استالدهید (CH_3CHO) یکی از مهم‌ترین آلدهیدها و ترکیبی بی‌رنگ، فرار و دارای بوی میوه است. ترکیب استات فتالات به طور عمده در پت جهت افزایش انعطاف‌پذیری استفاده می‌شود که می‌تواند به استالدهید تبدیل شود (۹). استالدهید در آبمیوه‌هایی که دارای این ترکیب هستند، مشکلی ایجاد نمی‌کند، اما در آب‌های بطری شده در مقادیر کم تا حدود ۲۰-۱۰ ppb، منجر به ایجاد طعم نامطلوب در محصول می‌شود. بنابراین، با توجه به این آستانه مقداری پایین از ترکیب به دلیل ایجاد مشکل در خصوصیات حسی ارگانولپتیک از نظر بو و طعم، ضروری است که غلظت آن در بطری پت ارزیابی گردد. از طرف دیگر، آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان (International Agency for Research on Cancer یا IARC)، استالدهید را به عنوان ماده سرطان‌زا معرفی نموده است (۹). تحقیقاتی در خصوص بررسی کیفیت شیمیایی و مقایسه اطلاعات برچسب آب‌ها با محتوای آزمایش شده (۱۰)، مقدار نیترات و نیتریت (۱۱) و ترکیبات شیمیایی آلی و فتالات‌ها (۷، ۶) در بطری‌های پت در اصفهان صورت گرفته است. در ادامه پژوهش‌های صورت گرفته و همچنین، گزارش ارایه شده توسط مسؤولان فنی کارخانجات تولیدکننده آب بطری شده در استان اصفهان در خصوص ایجاد بو و طعم نامناسب در این گروه از محصولات، مطالعه حاضر با هدف بررسی میزان استالدهید در آب‌های موجود در بسته‌بندی پت توزیع شده در سطح شهر اصفهان انجام شد.

روش‌ها

از ۳۶ بطری پت آب از ۱۲ برند تولید شده در استان‌های مختلف کشور (A تا L) موجود در سطح عرضه شهر اصفهان (۶ برند تولیدکننده آب معدنی و ۶ برند تولیدکننده آب آشامیدنی) با زمان تولید یک ماه بر اساس تاریخ تولید ذکر شده در روی بسته‌بندی پت و استان تولیدکننده، نمونه‌برداری تصادفی صورت پذیرفت. نمونه‌ها جهت بررسی مقدار استالدهید به آزمایشگاه دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی اصفهان انتقال داده شد.

استاندارد استالدهید (شرکت Merck، آلمان) در پنج غلظت ۰/۰۰۰۱، ۰/۰۰۱، ۰/۰۱، ۰/۱ و یک ppm به همراه نمونه شاهد آب مقطر تهیه و به دستگاه کروماتوگرافی گازی- اسپکترومتری جرمی (Gas Chromatography-Mass Spectrometry یا GC-MS) (مدل ۷۹۸۰A، شرکت Agilent Technologies، آمریکا) تزریق شد. سپس منحنی استاندارد نمونه‌ها رسم گردید (r^2 = ۰/۹۹۹ ،y = ۱۳۶۵۴x-۱۳۴۷). آماده‌سازی نمونه با انتقال ۲ میلی‌لیتر از نمونه‌های آب داخل بطری به ویال و افزودن ۲۰۰ میکرولیتر از محلول یک ppm از ارتو ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ پنتا فلوئورو بنزیل- هیدروکسیل آمین (O- (2,3,4,5,6-pentafluorobenzyl) hydroxylamine hydrochloride یا PFBOA) (شرکت Sigma-Aldrich، آلمان) و ۰/۲ گرم نمک طعام آغاز گردید. سپس ویال در دستگاه Headspace قرار داده شد و ۵۰۰ میکرولیتر از نمونه‌ها جهت اندازه‌گیری مقدار استالدهید به دستگاه GC-MS تزریق شد (۱۲). تزریق نمونه‌ها با سه تکرار صورت گرفت. نتایج با مقررات اتحادیه اروپا با شماره Directive 82/711/EEC مقایسه گردید. بر اساس این استاندارد، مقدار بیشینه استالدهید ۶۰ ppb تعریف شده است (۱۳).

شاخص‌های اعتباربخشی روش اندازه‌گیری شامل ضریب همبستگی (R^2) و خطی بودن منحنی کالیبراسیون، درصد بازیافت، ضریب تغییرات درون‌روزی و برون‌روزی، حد تشخیص روش (Limit of detection یا LOD) و حد تشخیص کمی‌سازی (Limit of quantification یا LOQ) تعیین گردید (جدول ۱).

به منظور تعیین تفاوت میانگین مقدار استالدهید در نمونه‌های مورد بررسی با مقدار تعریف شده در استاندارد اروپا، از آزمون t استفاده گردید. داده‌ها در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۳ (version 23, IBM Corporation, Armonk, NY) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. $P < ۰/۰۵$ به عنوان سطح معنی‌داری در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

در پژوهش حاضر، ۲۶ نمونه از ۳۶ بطری آب مورد بررسی دارای استالدهید (۷۲ درصد) بودند. بر اساس داده‌های جدول ۲، میزان استالدهید در نمونه‌های آب معدنی از مقدار غیر قابل تشخیص تا ۱۷/۰۰ ± ۲۲/۳۱ ppb و این مقدار در نمونه‌های آب آشامیدنی در بازه ۰/۲۰ ± ۰/۲۱ تا ۴/۹۰ ± ۷/۱۲ ppb اندازه‌گیری گردید. میانگین استالدهید در کلیه آب‌های معدنی و آشامیدنی به ترتیب معادل ۶/۷۹ ± ۲۲/۱۸ و ۴/۵۳ ± ۶/۳۶ ppb بود. استالدهید در نمونه‌های آب معدنی بیشتر از آب‌های آشامیدنی یافت شد. مقدار استالدهید به دست آمده در کلیه نمونه‌ها کمتر از مقدار تعریف شده در استاندارد اروپا مشاهده گردید و اختلاف معنی‌داری در میانگین مقدار استالدهید با عدد استاندارد مشاهده گردید ($P < ۰/۰۵$).

جدول ۱. شاخص‌های اعتباربخشی روش اندازه‌گیری استالدهید در مطالعه حاضر

منحنی کالیبراسیون		بازیافت (درصد)	ضریب تغییرات (درصد)		LOD (ppb)	LOQ (ppb)
ضریب همبستگی	فاصله خطی (ppb)		درون‌روزی	برون‌روزی		
۰/۹۹۸	۱-۱۰۰	۹۲/۳	۸/۶	۱۰/۲	۰/۱۲	۰/۳۹

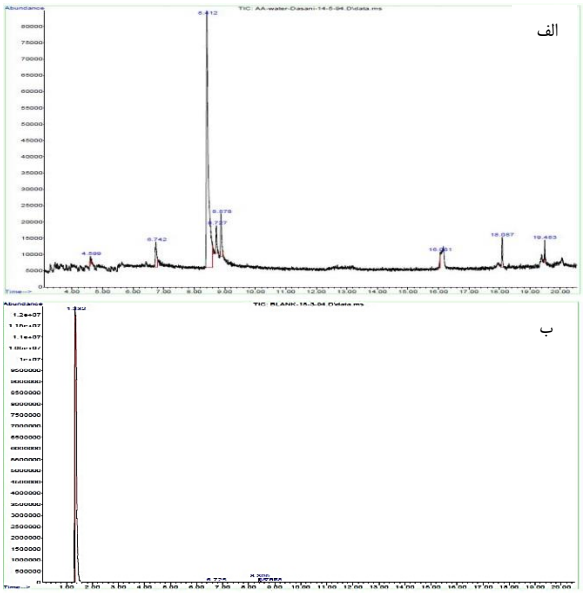
LOD: Limit of detection; LOQ: Limit of quantification

جدول ۲. میانگین استالدهید اندازه‌گیری شده در نمونه‌های مختلف آب معدنی و آشامیدنی نگهداری شده در بطری پت

کد برند	مقدار (ppb) (میانگین ± انحراف معیار)	استان تولیدکننده
	آب معدنی	
A	ND	اصفهان
J	۱۷/۰۰ ± ۲۲/۳۱	مازندران
H	ND	لرستان
I	۱/۰٤ ± ۳/۰٤	گیلان
K	۸/۱۹ ± ۱۹/۰۸	چهارمحال و بختیاری
L	۱/۱۸ ± ۱/۵۲	چهارمحال و بختیاری
	آب آشامیدنی	
B	۰/۲۰ ± ۰/۲۱	مازندران
C	٤/۰٦ ± ٤/۱۰	گلستان
D	۰/۸۰ ± ۷/۱۲	البرز
E	۱/۰۸ ± ٤/۲۲	تهران
F	٤/۹۰ ± ۷/۱۲	تهران
G	۳/۳۳ ± ٦/۵٤	تهران

ND: Not detected

در شکل ۱ کروماتوگرام نمونه آب آشامیدنی با برند G دارای مقدار ۴/۶۹ ppb از استالدهید و نمونه شاهد ارایه شده است. بر این اساس، دو پیک مربوط به استالدهید در زمان ۸/۷ و ۸/۸ دقیقه شناسایی گردید که به دلیل وجود دو مشتق استالدوکسیم و آنتی‌استالدوکسیم است که با استالدهید تولید می‌شود (۱۴). این دو مشتق طی واکنش به وجود آمده به وسیله PFBOA با استالدهید مهاجرت یافته به آب در بطری پت تشکیل می‌شود.



شکل ۱. کروماتوگرام‌های آب آشامیدنی مورد بررسی از برند G با غلظت ۴/۶۹ ppb (الف) و نمونه شاهد از استالدهید (ب)

بحث

با توجه به نگرانی‌های جامعه مبنی بر احتمال قرار گرفتن در معرض مواد شیمیایی در درون آب بسته‌بندی شده در بطری پت و تأثیرات نامطلوب ترکیبات انتقال یافته از آن به محتوای بسته‌بندی و همچنین، گزارش دریافت شده از مسؤولان فنی کارخانجات تولیدکننده آب‌های بطری شده مبنی بر وجود بو و طعم محسوس و نامطلوب در این گروه از محصولات، پژوهش حاضر با هدف اندازه‌گیری مقدار استالدهید در آب‌های معدنی و آشامیدنی انجام شد. مطابق با نتایج به دست آمده، مقدار استالدهید از میزان غیر قابل شناسایی تا ۱۷/۰۰ ± ۲۲/۳۱ ppb در آب‌های آشامیدنی و معدنی متغیر بود (جدول ۲). بر اساس مقایسه مقادیر یافت شده در مطالعه حاضر با استاندارد تعریف شده در اروپا برای ترکیب استالدهید، این مقادیر می‌تواند حاکی از سالم بودن آب‌های بطری شده در پت در تحقیق حاضر باشد. بالا بودن استالدهید در آب‌های معدنی در مقایسه با آشامیدنی، می‌تواند مربوط به وجود املاح معدنی باشد که در تشکیل استالدهید و انتقال این ترکیب به محتوای بسته تأثیرگذار است.

پژوهش‌های مختلف قابل مقایسه با نتایج مطالعه حاضر، در سطح ملی و بین‌المللی با بررسی متغیرهای مختلف محیطی انجام شده است. در یکی از کارخانجات تولیدکننده آب معدنی گازدار در لهستان، ترکیبات فرمالدهید و استالدهید از مهم‌ترین ترکیبات کربونیل شناسایی شده در نمونه‌ها گزارش گردید. ترکیبات آلدهیدی دیگری مانند پروپانال، نونانال و گلی‌اکسال نیز در نمونه‌ها یافت شد. آلدهیدها از مقادیر ۱ تا ۲۰۰ ppb در نمونه‌های آب به دست آمد. درجه حرارت، زمان نگهداری و مقدار گاز دی‌اکسید کربن در مهاجرت ترکیبات آلدهیدی از دیواره بطری به محتوای بسته تأثیر قابل توجهی داشت (۱۵). در تحقیقی در فرانسه، میزان ترکیبات آلدهیدی مانند استالدهید و فرمالدهید در دو نوع آب از نوع گازدار و بدون گاز در بطری پت در روز نمونه‌برداری و ۱۰ روز پس از نگهداری در دماهای مختلف نگهداری مانند ۲۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سیلسیوس از طریق دستگاه GC-MS گزارش شد. همچنین، نتایج بررسی نشان داد که درجه حرارت بر مهاجرت آلدهیدها تأثیر می‌گذارد. مهاجرت استالدهید در مقایسه با آلدهید در دماهای مختلف در آب گازدار بیشتر مشاهده گردید؛ به طوری که میزان استالدهید و فرمالدهید در آب گازدار در دمای ۶۰ درجه سلسیوس، ۷۲ و ۸/۵ ppb پس از ۱۰ روز نگهداری اندازه‌گیری شد. در مقابل، این مقدار در آب بدون گاز به ترتیب ۱۷ و ۵ ppb به دست آمد؛ در حالی که میزان استالدهید و فرمالدهید در آب گازدار در دمای ۲۰ درجه سلسیوس، ۴۷ و ۵ ppb و در آب بدون گاز، ۱ و ۰/۵ ppb به دست آمد (۲).

نتایج پژوهش حاضر از نظر تأثیر نوع آب و میزان استالدهید، با مطالعه Bach و همکاران (۱۶) در فرانسه هم‌راستا می‌باشد. در تحقیق آنان، بررسی میزان مهاجرت ترکیبات مختلف از جمله ترکیبات آلدهیدی در روز نمونه‌برداری و پس از ۲، ۶ و ۱۰ روز نگهداری در مقابل نور خورشید، در آب‌های گازدار و بدون گاز ارزیابی گردید. در آب‌های گازدار، میزان استالدهید و فرمالدهید به واسطه نور خورشید در روز دهم تا ۵۰ و ۱۰ ppb مشاهده شد و در آب‌های بدون گاز ترکیبات آلدهیدی در روزهای مختلف در مقابل نور خورشید تولید نشده بود. در مجموع، «نوع آب» یکی از موارد تأثیرگذار بر میزان مهاجرت ترکیبات آلدهیدی نتیجه‌گیری شد (۱۶). در هر دو پژوهش صورت گرفته در فرانسه، آب‌های مورد بررسی اثرات سیتوتوکسیک و ژنوتوکسیک در آزمایش‌های ارزیابی مواجهه از خود نشان ندادند (۱۶، ۲). تأثیر متغیرهای مختلف محیطی، نور خورشید و درجه حرارت هوا بر روی

محتوای آب‌های بسته‌بندی در پت در سوریه طی ۱۰۰ روز از مدت زمان نگهداری با استفاده از دستگاه HPLC ارزیابی گردید. نتایج به دست آمده نشان دهنده مهاجرت ترکیبات کربونیلی شامل استالدهید، فرمالدهید و استون در این مدت زمان بود. ذخیره‌سازی آب در زیر نور خورشید، منجر به افزایش مهاجرت ترکیبات کربونیل تا ۱۵ درصد نسبت به نمونه‌های نگهداری شده در شرایط تاریکی در آزمایشگاه شد (۱۷).

با توجه به این که استالدهید در گروه 2B از نظر سرطان‌زایی قرار دارد، مطالعه‌ای در یونان با هدف بررسی میزان استالدهید در آب معدنی و نوشیدنی‌های الکلی صورت گرفت و مشخص گردید که میزان استالدهید رابطه مستقیمی با میزان الکل در نوشیدنی دارد. به همین جهت، اندازه‌گیری استالدهید توسط مراجع قانونی ضروری پیشنهاد گردید. در تحقیق مذکور، استالدهید در فاصله مقداری ۰/۰۹۶-۰/۰۰۲ با مقدار میانگین ۰/۰۴ ppm با استفاده از دستگاه HPLC مشاهده شد (۱۸). Abboudi و همکاران در پژوهش خود در سوریه، میزان مهاجرت ترکیبات دارای کربونیل در آب‌های معدنی بطری‌های پت پس از یک سال نگهداری در زیر نور خورشید و شرایط آزمایشگاهی را اندازه‌گیری و ترکیبات کربونیل مانند استون، استالدهید و فرمالدهید را پس از ۲۱۰ روز نگهداری به ترتیب ۲۲ ± ۴۳۴، ۱۸ ± ۳۴۵ و ۵ ± ۹۴ ppb گزارش نمودند. میزان افزایش در نمونه‌های نگهداری شده در زیر نور خورشید در مقایسه با شرایط آزمایشگاهی و بدون نور، با ۱۰، ۱۶ و ۳۶ درصد افزایش برای هر یک از ترکیبات ذکر شده همراه بود (۱۹).

مطالعه‌ای در کشور تانزانیا با هدف اندازه‌گیری استالدهید و فرمالدهید به کمک دستگاه HPLC و بررسی متغیرهای زمان و شرایط مختلف، بر روی ۱۴۴ نمونه آب نوشیدنی بسته‌بندی شده در بطری صورت گرفت. نتایج نشان داد که در نمونه‌های نگهداری شده در یخچال، فرمالدهید در بازه مقداری ۲/۴۶ تا ۱۹/۲۵ ppb و استالدهید از مقدار غیر قابل تشخیص تا ۵۸/۷۰ ppb متغیر بود. در نمونه‌های نگهداری شده در دمای اتاق نیز مقدار فرمالدهید و استالدهید به ترتیب تا ۲۳/۲۶ و ۳۶/۱۰ ppb گزارش گردید. بالاترین مقدار فرمالدهید و استالدهید در نمونه‌های نگهداری شده در مقابل نور خوشید به ترتیب ۴۶ و ۱۸۷ ppb به دست آمد. کمترین مقدار از آلدهیدها در نمونه‌های نگهداری شده در یخچال و بیشترین مقدار آن‌ها در نمونه‌های نگهداری شده در نور خورشید گزارش شد. میزان این آلدهیدها پس از مدت زمان‌های مختلف نگهداری نیز با افزایش همراه بود. با این وجود، مقادیر اندازه‌گیری شده کمتر از محدوده قابل پذیرش تعریف شده توسط سازمان جهانی بهداشت در خصوص فرمالدهید بود. زمان و شرایط نگهداری به عنوان عوامل تأثیرگذار در مهاجرت این ترکیب آلدهیدی نتیجه‌گیری شد (۹).

در تحقیق صورت گرفته در ایران، میزان انتقال فرمالدهید و استالدهید بر روی ۲۰ نمونه آب موجود در بطری پت توزیع شده در سوپرمارکت با استفاده از روش HPLC ارزیابی گردید. بر اساس نتایج، استالدهید و فرمالدهید در همه نمونه‌ها یافت شد. کمترین و بیشترین میزان فرمالدهید و استالدهید در فاصله ۴۵-۱۲ و ۲۵-۱۲۰ ppb گزارش گردید. مقدار میانگین فرمالدهید و استالدهید ۲۸/۶ و ۶۱/۳ ppb به دست آمد. با وجود مقادیر یافت شده از ترکیبات ذکر شده، مصرف آب ایمن اعلام گردید (۱). در پژوهشی در ترکیه، با توجه به گزارش‌های ناشی از مشکلات طعم و بوی نامناسب در آب‌های آشامیدنی بسته‌بندی شده در پت، میزان ترکیباتی مانند آنتیموان، کبالت و انتقال استالدهید در حجم‌های مختلف از بطری پت و مواد اولیه پریفرم جهت تولید بطری پت با استفاده از دستگاه GC-MS در فاصله زمانی دو ماه تا یک سال مورد بررسی قرار گرفت. بیشترین مقدار انتقال در کمترین حجم از بطری‌های پت (۰/۵ لیتر) مشاهده گردید. عامل اصلی طعم نامناسب در بطری‌های پت، انتقال ترکیب استالدهید به محتوای آب بود. مقدار استالدهید در همه آب‌های نوشیدنی از صفر تا ۱۴۰ ppb متغیر بود و میزان این ترکیب در بعضی از بطری‌ها بالاتر از حد آستانه طعم (۱۵ ppb) یافت شد. همچنین، با افزایش زمان ماندگاری با دمای نگهداری ۲۰ درجه سلسیوس، میزان ترکیبات انتقال یافته با افزایش همراه بود. میزان انتقال ترکیبات مورد آنالیز در کلیه نمونه‌ها کمتر از مقدار تعریف شده برای مهاجرت خاص بود. لازم به ذکر است که بر اساس استاندارد ترکیه، میزان مهاجرت خاص برای ترکیبات آنتیموان، کبالت و استالدهید به ترتیب ۶، ۳۰ و ۶ ppb تعریف شده است (۴). تفاوت مشاهده شده نتایج مطالعات ذکر شده (۴، ۱) با تحقیق حاضر می‌تواند به دلیل تفاوت در نوع تکنولوژی در تولید رزین‌های مورد استفاده در تولید پت و همچنین، روش‌های متفاوت تصفیه آب از طریق ازن و یا اسمز معکوس و متغیرهای مورد بررسی و دستگاه مورد استفاده جهت شناسایی باشد. از دیگر دلایل مربوط به تفاوت مقدار استالدهید در آب‌های معدنی و آشامیدنی، می‌توان به مواردی مانند تفاوت در بستر زمین در خصوص آب‌های معدنی و نوع املاح موجود در این آب‌ها اشاره کرد که در تشکیل استالدهید تأثیر دارد. از محدودیت‌های پژوهش حاضر می‌توان به عدم امکان دسترسی به آب‌های بسته‌بندی در پت تولید شده در کلیه استان‌ها و توزیع شده در سطح عرضه اصفهان جهت مقایسه اشاره کرد. همچنین، عدم وجود محدوده و مقدار مجاز در خصوص استالدهید در استانداردهای ملی ایران مربوط به فرآورده‌های آب آشامیدنی و آب معدنی و استاندارد بین‌المللی سازمان جهانی بهداشت جهت مقایسه با نتایج مطالعه حاضر می‌باشد که موجب گردید مقایسه نتایج با استاندارد اتحادیه اروپا صورت پذیرد (۲۲-۲۰).

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، مقدار انتقال استالدهید در نمونه‌های آب معدنی مورد بررسی بیشتر از آب آشامیدنی بسته‌بندی در محتوای پت گزارش گردید. مقدار استالدهید اندازه‌گیری شده در پژوهش حاضر در مقایسه با استاندارد اروپا کمتر بود. با این وجود، انجام مطالعات جامع در خصوص ارزیابی خطر استالدهید و دیگر ترکیبات احتمالی مهاجرت‌کننده از بطری به محتوای آب و تأثیر آن بر سلامت، توصیه می‌گردد.

تشکر و قدردانی

مطالعه حاضر برگرفته از طرح تحقیقاتی با شماره ۲۹۲۲۳۹، مصوب شورای پژوهش‌های کاربردی معاونت غذا و دارو دانشگاه علوم پزشکی اصفهان می‌باشد. بدین وسیله نویسندگان از معاونت پژوهشی و فن‌آوری دانشگاه به جهت تأمین منابع مالی این تحقیق، تقدیر و قدردانی به عمل می‌آورند.

References

1. Dehghani MH, Farhang M, Zarei A. Investigation of carbonyl compounds (acetaldehyde and formaldehyde) in bottled waters in Iranian markets. Int Food Res J 2018; 25(2): 876-9.
2. Bach C, Dauchy X, Severin I, Munoz JF, Etienne S, Chagnon MC. Effect of temperature on the release of intentionally and non-intentionally added substances from polyethylene terephthalate (PET) bottles into water: chemical analysis and potential toxicity. Food Chem 2013; 139(1-4): 672-80.
3. Fukushima K, Coulembier O, Lecuyer JM, Almegren HA, Alabdulrahman AM, Alsewailem FD. Organocatalytic depolymerization of poly (ethylene terephthalate). J Polymer Sci Part A: Polymer Chem 2011; 49(5): 1273-81.
4. Dogan CE, Cebi N. Investigation of antimony, cobalt, and acetaldehyde migration into the drinking water in Turkey. Pack Technol Sci 2019; 32(5): 239-46.
5. Wagner M, Oehlmann J. Endocrine disruptors in bottled mineral water: estrogenic activity in the E-Screen. J Steroid Biochem Mol Biol 2011; 127(1-2): 128-35.
6. Ebrahimi A, Moazeni M, Esfandiari Z, Estaki F, SamaniMajd AM, Mirlohi M, et al. Qualitative evaluation of bottled water stored in polyethylene terephtalate based on organic chemical compounds. Anuario Instit Geocien 2016; 39(2): 29-35.
7. Esteki F, Karimi H, Moazeni M, Esfandiari Z, Zarean M, Pourzamani HR. Risk assessment of Phthalate compounds migrated of polyethylene terephthalate bottled water in Iran. J Food Qual Hazard Control. [In Press].
8. Bach C, Dauchy X, Chagnon MC, Etienne S. Chemical compounds and toxicological assessments of drinking water stored in polyethylene terephthalate (PET) bottles: A source of controversy reviewed. Water Res 2012; 46(3): 571-83.
9. Lugwisha E, Mahugija JA, Mwankuna C. Levels of formaldehyde and acetaldehyde in selected bottled drinking water sold in urban areas in Tanzania. Tanz J Sci 2016; 42: 1-14.
10. Moazeni M, Atefi M, Ebrahimi A, Razmjoo P, Vahid Dastjerdi M. Evaluation of chemical and microbiological quality in 21 brands of Iranian bottled drinking waters in 2012: A comparison study on label and real contents. J Environ Public Health 2013; 2013: 469590.
11. Moazeni M, Ebrahimi A, Atefi M, Mahaki B, Rastegari HA. Determination of nitrate and nitrite exposure and their health risk assessment in 21 brands of bottled waters in Isfahan's market in 2013. Int J Environ Health Eng 2014; 3(1).
12. Nawrocki J, Dabrowska A, Borcz A. Investigation of carbonyl compounds in bottled waters from Poland. Water Res 2002; 36(19): 4893-901.
13. Oromiehie A. Plastic packaging food and drug principles and testing methods. Tehran, Iran: Ideh Pardazan Fan & Honar Publications; 2010. p. 226. [In Persian].
14. Sugaya N, Nakagawa T, Sakurai K, Morita M, Onodera S. Analysis of aldehydes in water by Head Space-GC/MS. J Health Sci 2001; 47(1): 21-7.
15. Darowska A, Borcz A, Nawrocki J. Aldehyde contamination of mineral water stored in PET bottles. Food Addit Contam 2003; 20(12): 1170-7.
16. Bach C, Dauchy X, Severin I, Munoz JF, Etienne S, Chagnon MC. Effect of sunlight exposure on the release of intentionally and/or non-intentionally added substances from polyethylene terephthalate (PET) bottles into water: chemical analysis and in vitro toxicity. Food Chem 2014; 162: 63-71.
17. Abboudi M, Odeh A. Impact of sunlight/dark storage on natural spring water bottled in polyethylene terephthalate. J water Sup: Res Technol-Aqua 2015; 64(2): 149-56.
18. Ioannidou MD, Samouris G, Achilias DS. Acetaldehyde contamination of water, alcoholic, and non-alcoholic beverages stored in glass or plastic bottles. Toxicol Environ Chem 2016; 98(10): 1183-90.
19. Abboudi M, Odeh A, Aljoumaa K. Carbonyl compound leaching from polyethylene terephthalate into bottled water under sunlight exposure. Toxicol Environ Chem 2020; 98(2): 167-78.
20. Iranian National Standard Organization. Natural Mineral Water Specification. No. 2441 [Online]. [cited 2005]; Available from: URL: http://www.isiri.org/portal/files/std/2441.pdf [In Persian].
21. Iranian National Standard Organization. Drinking Water-Physical and Chemical Specification. No. 1053 [Online]. [cited 2009]; Available from: URL: http://www.isiri.org/portal/files/std/1053.pdf [In Persian].
22. World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality. Geneva, Switzerland: WHO; 2008.