

## تعیین دز موثر دریافتی رادن ۲۲۲ آب‌های آشامیدنی بسته بندی شده در گروه‌های مختلف سنی؛ شهر تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۱/۳۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۳/۲

### چکیده

امیر حسین محوی<sup>۱</sup>، کاووس دیندارلو<sup>۲</sup>  
و یدالله فخری<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط،  
دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی  
تهران، تهران، ایران  
<sup>۲</sup>استادیار مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی  
در ارتقاء سلامت، دانشگاه علوم پزشکی  
هرمزگان، بندرعباس، ایران  
<sup>۳</sup>مربی مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی در  
ارتقاء سلامت، دانشگاه علوم پزشکی  
هرمزگان، بندرعباس، ایران

**مقدمه و هدف:** رادن ۲۲۲ ماده رادیواکتیو طبیعی با نیمه عمر ۳/۸ روز، بی رنگ و بی بو می‌باشد. مصرف آب‌های حاوی غلظت بالای رادن ۲۲۲، باعث افزایش دز موثر دریافتی در گروه‌های مختلف سنی و به دنبال آن افزایش شیوع سرطان معده می‌گردد.

**مواد و روش‌ها:** در این مطالعه توصیفی مقطعی غلظت رادن ۲۲۲ در ۱۷ آب بسته بندی شده پر مصرف شهر تهران توسط دستگاه پرتابل رادن سنج مدل RTM1688-2 مورد اندازه گیری قرار گرفت. همچنین دز موثر دریافتی گروه‌های سنی مردان و زنان بزرگسال، کودکان و اطفال نیز توسط معادله ارائه شده UNSCEAR محاسبه گردید.

**یافته‌ها:** میانگین و دامنه غلظت رادن ۲۲۲ به ترتیب  $69/6 \pm 0/58 \text{ Bq/m}^3$  و  $458/6 \pm 5/3 \text{ Bq/m}^3$  - می‌باشد. دز موثر دریافتی گروه‌های سنی اطفال، کودکان، مردان و زنان بالغ به ترتیب  $0/009$ ،  $0/004$ ،  $0/006$ ،  $0/008 \text{ mSv/y}$  می‌باشد.

**نتیجه‌گیری:** میانگین غلظت رادن ۲۲۲ کمتر از حدود استاندارد WHO و EPA می‌باشد. همچنین غلظت رادن ۲۲۲ نسبت به بسیاری از مناطق کشور و جهان کمتر می‌باشد. ترتیب دز موثر دریافتی در گروه‌های سنی مختلف اطفال < مردان بالغ < زنان بالغ < کودکان می‌باشد. دز موثر دریافتی رادن ۲۲۲ در تمام گروه‌های سنی به ویژه اطفال و مردان بالغ ناشی کمتر از حد استاندارد  $0/1 \text{ mSv/y}$  می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** رادن ۲۲۲، دز موثر، آب‌های بسته بندی شده، گروه های سنی

نویسنده مسئول:

مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی در  
ارتقاء سلامت، دانشگاه علوم پزشکی  
هرمزگان، بندرعباس، ایران

۰۹۲۱-۶۷۳۷۲۴۵

E-mail: Ya.fakhri@gmail.com

## مقدمه

نظر پرتوگیری داخلی در درجه اول خطر نسبت به سایر پرتوها قرار دارد.<sup>۱۱</sup> مصرف آب‌های حاوی غلظت بالای رادن ۲۲۲ باعث افزایش دز موثر دریافتی و به دنبال آن بروز سرطان ریه و معده در افراد می‌شود. رهنمود سازمان بهداشت جهانی و کمیته اروپا برای رادن ۲۲۲ در آب آشامیدنی  $100 \text{ Bq/l}$  می‌باشد.<sup>۱۱</sup> همچنین حد استاندارد آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا برای رادن ۲۲۲ آب آشامیدنی  $11 \text{ Bq/l}$  می‌باشد.<sup>۱۲</sup> حداکثر دز موثر سالانه ناشی از پرتوزایی رادن ۲۲۲ در آب آشامیدنی  $0.1 \text{ mSv/y}$  می‌باشد.<sup>۱۱</sup> از این رو در این مطالعه، غلظت رادن ۲۲۲ در ۱۷ نام تجاری آب‌های بطری شده پر مصرف شهر تهران مورد اندازه گیری قرار گرفت. در نهایت دز موثر دریافتی در گروه‌های سنی اطفال، کودکان و مردان و زنان بزرگسال محاسبه و با حدود استاندارد مورد مقایسه قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

در این مطالعه توصیفی مقطعی ۱۷ نام تجاری آب بسته بندی شده پر مصرف شهر تهران به نام‌های بیشه، پلور، زمزم، نستل، دماوند، واتسو، یخ در یخ، سورپرایز، ااتا، کریستال، سیوان، داسانی، داماش، هپ نپ، واشی، کوه‌رنگ و منوش از مغازه‌ها جمع‌آوری و برای اندازه گیری به آزمایشگاه دانشکده بهداشت منتقل شد. از هر نام تجاری سه بطری  $1/5$  لیتری انتخاب و پس از مخلوط کردن محتوای بطری‌ها دو نمونه  $500$  میلی لیتری برداشت شد.

اندازه گیری غلظت رادن ۲۲۲ توسط دستگاه رادن سنج مدل RTMI66-2 ساخت شرکت Sarad کشور آلمان انجام شد. حساسیت این دستگاه در  $150$  دقیقه اندازه‌گیری مداوم  $(6/5 \text{ counts}/(\text{min} \times \text{KBq}/\text{m}^3))$  می‌باشد.<sup>۱۳</sup> حساسیت بالا به همراه آنالیز طیف سنجی آلفا، منجر به زمان پاسخ دهی کوتاه حتی در غلظت‌های پایین می‌شود. اندازه گیری غلظت رادن ۲۲۲ نمونه‌های آب طبق دستور العمل اندازه گیری ارائه شده توسط شرکت Sarad انجام شد.<sup>۱۴</sup> جهت تعیین تاثیر دمای آب بر غلظت رادن ۲۲۲ اندازه گیری در دو نمونه  $500$  میلی لیتری در دو دمای  $5^\circ \text{C}$  و  $15^\circ \text{C}$  انجام شد. میانگین  $4$  ساعته غلظت رادن ۲۲۲ برای همه نمونه‌ها ثبت و مورد آنالیز قرار گرفت.<sup>۱۴</sup>

جهت تعیین دز موثر دریافتی سالانه ( Annual effective dose )

آب‌های بسته بندی شده (Packaged water) به دو صورت آب معدنی (Mineral water) و آب بطری شده (Bottled water) می‌باشند. آب‌های معدنی آن دسته از آب‌های بسته‌بندی شده هستند که بدون انجام تصفیه، مستقیماً از چشمه‌های آب وارد بطری می‌شود. اما آب بطری شده پس از استخراج از منبع آب، بر روی آن فرایندهای تصفیه انجام گرفته و سپس وارد بطری می‌شود.<sup>۱</sup> به منظور حفظ سلامت مصرف کنندگان، خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و رادیولوژیکی آب‌های بسته بندی شده باید مطابق با استانداردهای تعیین شده باشد. خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی این گونه آب‌ها توسط تولید کنندگان و سازمان‌های نظارتی کنترل می‌شود. اما خصوصیات رادیولوژیکی این آب‌ها کمتر مورد بررسی قرار می‌گیرد. افراد به طور مداوم از طریق استنشاق هوا و خوردن مواد غذایی در معرض مواجهه داخلی یا خارجی با مواد رادیواکتیو قرار دارند. علاوه بر این مطالعات نشان داده است که انسان از طریق مصرف آب‌های بسته‌بندی شده نیز در تماس با مواد رادیواکتیو می‌باشد.<sup>۲</sup> مصرف آب‌های بطری شده در جوامع روز به روز در حال افزایش می‌باشد بطوری که طبق آمارهای جهانی کشور ایران در رده چهاردهم از نظر مصرف آب معدنی قرار دارد.<sup>۳</sup> غلظت رادن ۲۲۲ در منابع آب زیر زمینی ۲ تا ۳ برابر بیشتر از سایر مواد رادیواکتیو می‌باشد.<sup>۴</sup> منابع آب‌های بسته‌بندی شده عمدتاً آب‌های زیر زمینی می‌باشد و به دلیل تماس آب‌های زیر زمینی با بسترهای از جنس سنگهای آذرین، غلظت مواد رادیواکتیو در این آب‌ها بالا می‌باشد. بنابراین لزوم بررسی کیفیت رادیولوژیکی آب‌های بسته بندی شده به منظور مطابقت با استانداردها اجتناب ناپذیر می‌باشد.<sup>۵</sup> اکثر مواد رادیواکتیو موجود در طبیعت ناشی از واپاشی زنجیره اورانیوم و توریم می‌باشد.<sup>۶</sup> رادن ۲۲۲ ( $\text{Radon } 222$ ) و دختران آن پولونیم ۲۱۴ و پولونیم ۲۱۸ از محصولات اصلی و نهایی واپاشی زنجیره اورانیوم می‌باشند.<sup>۷</sup> رادن ۲۲۲ یک ماده رادیواکتیو طبیعی با نیمه عمر  $3/8$  روز، بی رنگ و بی بو می‌باشد<sup>۸</sup> که با ساطع کردن پرتو آلفا در هنگام واپاشی و تولید دختران آن برای سلامتی افراد بسیار خطرناک خواهد بود.<sup>۹</sup> پرتو آلفا به دلیل قدرت یونیزاسیون بالا، از

مقدار دقیق آب مصرفی روزانه در گروه‌های مختلف سنی شهر تهران وجود نداشت از این رو از سرانه آب مصرفی EPA در مناطق آب و هوای گرم مرطوب (خطای آماری ۵٪) استفاده شد. آب مصرفی روزانه در گروه‌های سنی مردان بزرگسال، زنان بزرگسال، کودکان و اطفال به ترتیب ۲/۷۲۳، ۲/۱۲۹، ۰/۴۳۱ و ۰/۳۲۷ l/p-d می‌باشد<sup>۱۹</sup>. برای تعیین تفاوت دز موثر دریافتی گروه‌های مختلف سنی از آزمون T-Test توسط نرم افزار Spss ۱۶ استفاده شد. همچنین P value < 0.05 به عنوان سطح معنی دار (α=۵%) انتخاب شد.

### نتایج

میانگین و دامنه غلظت رادن ۲۲۲ در دمای ۵°C به ترتیب  $72/74 \pm 0/59$  Bq/m<sup>3</sup> و  $486/7 \pm 4/2$  Bq/m<sup>3</sup> و در دمای ۱۵°C برابر  $64/66 \pm 0/55$  Bq/m<sup>3</sup> و  $431/2 \pm 5$  Bq/m<sup>3</sup> می‌باشد. همچنین میانگین و دامنه کلی غلظت رادن ۲۲۲ برابر Bq/m<sup>3</sup>  $69/6 \pm 0/58$  و  $458/6 \pm 5/3$  Bq/m<sup>3</sup> می‌باشد (جدول ۱).

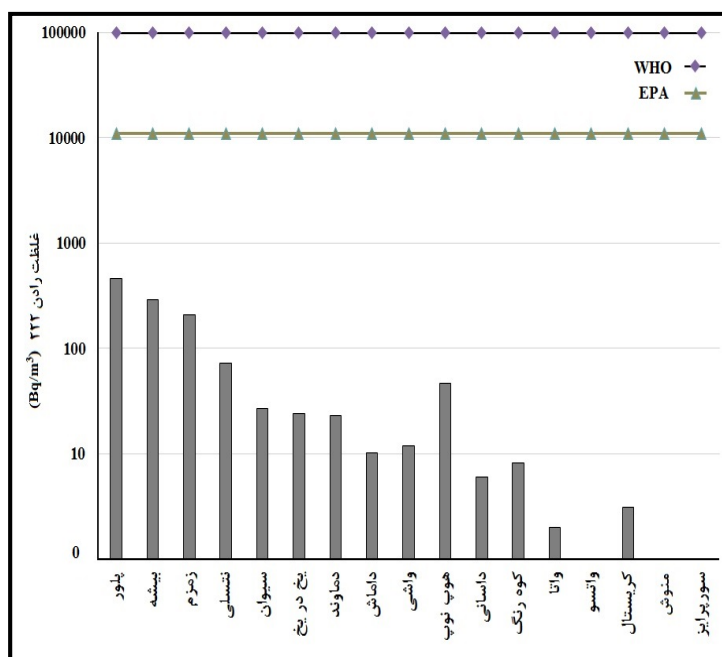
جدول ۱: غلظت رادن ۲۲۲ در نامهای تجاری آب‌های بطری شده شهر تهران (Bq/m<sup>3</sup>)

نام تجاری	C۵ ۱۰ <sup>-۳</sup> x	C۱۵ ۱۰ <sup>-۳</sup> x	میانگین ۱۰ <sup>-۳</sup> x
پلور	۴۸۶/۷±۴/۲	۴۳۱/۲±۵	۴۵۸/۶±۵/۳
بیشه	۳۰۴/۹±۳/۳	۲۶۶±۲/۵	۲۸۵/۴±۳
زمزم	۲۱۸/۹±۲/۳	۱۹۳/۶±۱/۷	۲۰۶/۲±۲/۲
تسلی	۸۰/۶±۶/۵	۶۵±۰/۵۶	۷۲/۸±۰/۵۸
سیوان	۳۲/۵±۰/۲۵	۲۱±۰/۱۶	۲۶/۷±۰/۱۸
یخ در یخ	۲۶/۵±۰/۱۸	۲۱±۰/۱۹	۲۳/۷±۰/۸۴
دماوند	۲۴/۵±۰/۸۴	۲۱±۰/۸۲	۲۲/۷±۰/۸۶
داماش	۱۲/۷۵±۰/۸	۷/۵±۰/۷	۱۰/۱±۰/۸
واشی	۱۲/۶۵±۰/۸	۱۱±۰/۷	۱۱/۸±۰/۷
هوپ نوپ	۴۶/۹±۰/۲۷	۴۶/۶±۰/۲۶	۴۶/۷±۰/۲۶
داسانی	۶±۰/۰۵	۶±۰/۰۵	۶±۰/۰۵
کوه رنگ	۸/۱۵±۰/۰۶	۸±۰/۰۶	۸/۸±۰/۰۶
واتا	۲/۵±۰/۰۳	۱/۵±۰/۰۱۵	۲±۰/۰۱۵
واتسو	.	.	.
کریستال	۶/۱۵±۰/۰۵	.	۳/۷±۰/۰۵
منوش	۰/۸±۰/۰۰۶	.	۰/۴±۰/۰۰۷
سورپرایز	.	.	.
میانگین	۷۴/۷۲±۰/۵۹	۶۴/۶۶±۰/۵۵	۶۹/۶±۰/۵۸

(received) ناشی از نوشیدن آب حاوی رادن ۲۲۲ از معادله کمیته علمی بین المللی تاثیر تابش‌های اتمی (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) استفاده شد<sup>۱۵</sup>.

$$E = K \times G \times C \times T \times 1000 \quad \text{معادله ۱}$$

در این معادله E؛ دز موثر دریافتی سالیانه بر حسب mSv/y، K؛ ضریب تبدیل غلظت رادن ۲۲۲ به دز موثر (Sv/Bq)، G؛ آب مصرفی روزانه (l/d)، C؛ غلظت رادن ۲۲۲ (Bq/l)، T؛ دوره مصرف آب (۳۶۵ روز) و ۱۰۰۰ ضریب تبدیل Sv به mSv می‌باشد. ضریب K برای مردان و زنان بزرگسال (۶۵-۱۷ سال)، کودکان (۴-۱۴ سال) و اطفال (کمتر از ۲ سال) به ترتیب  $1.8 \times 10^{-9}$  Sv/Bq،  $2.6 \times 10^{-9}$  و  $3.5 \times 10^{-9}$  Sv/Bq (۱۶-۱۸). بسیاری از مطالعات نشان داده است مقدار آب مصرفی افراد، کمتر از ۲ لیتر در روز می‌باشد که در گروه‌های سنی مختلف متفاوت می‌باشد. آب مصرفی روزانه افراد وابسته به شرایط آب و هوایی، فعالیت فیزیکی، فرهنگ، اقتصاد و غیره می‌باشد. از آنجایی که اطلاعاتی در مورد



شکل ۱: مقایسه غلظت رادن ۲۲۲ نام‌های تجاری آب‌های بطری شده به رهنمود WHO و حد استاندارد EPA

جدول ۲: دز موثر دریافتی گروه‌های مختلف سنی ناشی رادن ۲۲۲ آب‌های بطری شده شهر تهران برحسب mSv/y، ( $\times 10^{-3}$ )

نام تجاری	اطفال	کودکان	زنان بالغ	مردان بالغ
پلور	۵/۹	۲/۸	۴/۴	۵/۲
بیشه	۳/۶	۱/۸	۲/۸	۳/۲
زمزم	۲/۶	۱/۳	۲	۲/۳
نتسلی	۰/۹	۰/۵	۰/۷	۰/۸
سیوان	۰/۳	۰/۲	۰/۳	۰/۳
یخ در یخ	۰/۳	۰/۱	۰/۲	۰/۳
دماوند	۰/۳	۰/۱	۰/۲	۰/۳
داماش	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱
واشی	۰/۲	۰/۱	۰/۱	۰/۱
هوپ نوپ	۰/۶	۰/۳	۰/۵	۰/۵
داسانی	۰/۱	۰	۰/۱	۰/۱
کوه رنگ	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱
واتا	۰	۰	۰	۰
واتسو	۰	۰	۰	۰
کریستال	۰/۰۵	۰	۰/۰۵	۰/۰۵
منوش	۰	۰	۰	۰
سورپرایز	۰	۰	۰	۰
میانگین	۰/۹	۰/۴	۰/۶	۰/۸

تجاری و اتا، واتسو، منوش و سورپرایز می‌باشد. دز موثر دریافتی همه گروه‌های سنی مورد مطالعه کمتر از حد استاندارد می‌باشد (شکل ۲). دز موثر دریافتی گروه‌های سنی مردان بزرگسال، زنان بزرگسال، کودکان و اطفال به دز موثر استاندارد  $0.1 \text{ mSv/y}$  به ترتیب ۹٪، ۴٪، ۶٪ و ۸٪ می‌باشد.<sup>۲۸-۲۹</sup>

با وجود بیشتر بودن ضریب تبدیل در گروه‌های سنی کودکان ( $26 \times 10^{-9} \text{ Sv/Bq}$ ) و اطفال ( $35 \times 10^{-9} \text{ Sv/Bq}$ ) نسبت به ضریب تبدیل در گروه سنی مردان و زنان بزرگسال ( $18 \times 10^{-9} \text{ Sv/Bq}$ )، به علت مصرف بیشتر آب در گروه سنی بزرگسالان (مردان بزرگسال؛  $2/7231 \text{ l/d}$  و زنان بزرگسال؛  $2/1291 \text{ l/d}$ )، دز موثر دریافتی سالانه این گروه، بیشتر از گروه سنی اطفال و کودکان می‌باشد.

از طرفی دز موثر دریافتی گروه سنی اطفال نیز، بیشتر از گروه سنی کودکان می‌باشد. دز موثر دریافتی گروه‌های مختلف سنی در شهر بندر عباس بر اساس میانگین سرانه آب مصرفی جهانی در مناطق گرم و مرطوب (خطای آماری ۵٪) مورد محاسبه قرار گرفته است. از آنجایی که بین دز موثر دریافتی گروه سنی مردان بزرگسال و زنان بزرگسال  $P \text{ value} = 0.18$  بدست آمد، می‌توان گفت اختلاف معنی دار بین میانگین دز موثر این دو گروه وجود ندارد ( $P > 0.05$ ).

میانگین سالانه دز موثر گروه‌های سنی اطفال، کودکان، زنان و مردان بالغ به ترتیب  $0.009$ ،  $0.004$ ،  $0.006$  و  $0.008 \text{ mSv/y}$  می‌باشد (جدول ۲).

## بحث

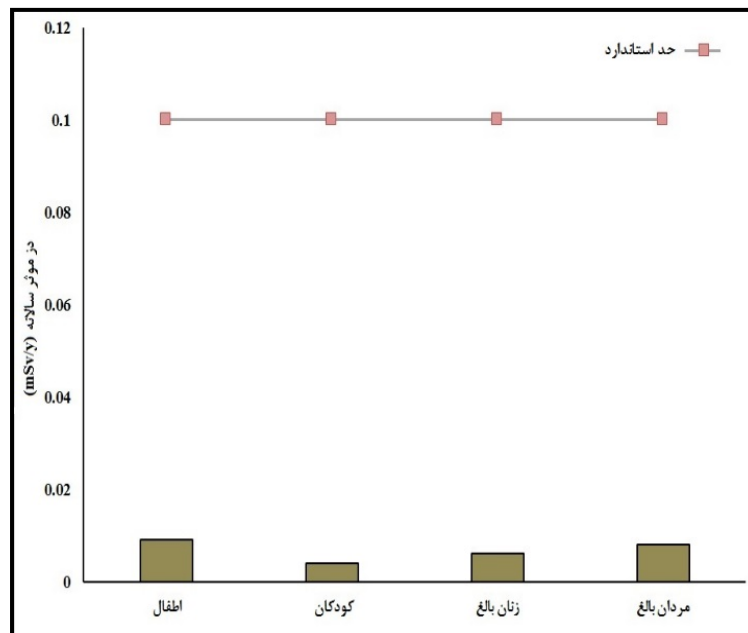
تفاوت غلظت رادن ۲۲۲ در نامهای تجاری آب‌های بطری شده می‌تواند ناشی از تفاوت در منبع آب (سطحی یا زیر زمینی)، فرآیند تولید، مدت زمان ماند و دمای آب باشد<sup>۲۰-۲۱</sup>. میانگین غلظت رادن ۲۲۲ همه نامهای تجاری آب‌های بطری شده کمتر از حدود استاندارد WHO و EPA می‌باشد (شکل ۱).

دامنه غلظت رادن ۲۲۲ آب‌های بطری شده شهر تهران نسبت به مطالعات مشابه در ایران و جهان بسیار کمتر است (جدول ۳). همان گونه که گفته شد، این تفاوت غلظت رادن ۲۲۲ می‌تواند به علت تفاوت در منبع آب، دمای آب، پردازش آب و مدت ذخیره‌سازی باشد.<sup>۲۱</sup>

ترتیب دز موثر دریافتی در گروه‌های سنی مختلف؛ اطفال < مردان بالغ < زنان بالغ < کودکان می‌باشد. بیشترین دز موثر دریافتی مربوط به نام تجاری پلور و کمترین مربوط به نام‌های

جدول ۳: مقایسه غلظت رادن ۲۲۲ آب‌های بطری شده شهر تهران با نتایج مناطق ایران و جهان

منبع	کشور	غلظت $^{222}\text{Rn}$ (Bq/l)	نوع آب
۲۲	عربستان سعودی	۰/۸۹-۳۵/۴۴	زیر زمینی (چاه)
۲۳	برزیل	۰/۹۵-۳۶	زیر زمینی (چاه)
۲۴	ترکیه	۰/۷-۳۱/۷	زیر زمینی (چاه)
۲۵	ترکیه	۰/۹۱-۱۲/۵۸	آب لوله کشی
۲۶	صربستان	۰/۹۱-۱۴۶۳	آب‌های بطری شده
۲۷	ایران (تهران)	۳/۷	آب لوله کشی
۲۷	ایران (نیشابور)	۱۷/۹۹	آب لوله کشی
۲۷	ایران (مشهد)	۱۶/۲۳	آب لوله کشی
۲۷	ایران (رامسر)	۳/۴	آب لوله کشی
	ایران (تهران)	۰/۰۶۹	آب بطری شده
	این مطالعه		



شکل ۲: مقایسه دز موثر دریافتی گروه‌های مختلف سنی با حد استاندارد

میانگین غلظت رادن ۲۲۲ همه نام‌های تجاری آب‌های بطری شده، کمتر از حدود استاندارد WHO و EPA می‌باشد. بیشترین و کمترین دز موثر دریافتی به ترتیب مربوط به گروه سنی مردان اطفال و کودکان می‌باشد. گروه سنی اطفال نسبت به کودکان دز موثر بیشتری را دریافت می‌کنند. دز موثر دریافتی سالانه ناشی از رادن ۲۲۲ آب‌های بطری شده پر مصرف شهر تهران در همه گروه‌های سنی پایین‌تر از حد استاندارد ۰/۱ mSv/y می‌باشد از این رو نیازی به حذف رادن ۲۲۲ از آب‌های بطری شده نمی‌باشد.

### سپاسگزاری

نویسندگان از گروه مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی تهران که تامین کننده دستگاه اندازه‌گیری رادن سنج مدل RTM1688-2 بودند تشکر و قدردانی می‌کنند.

همچنین  $P = 0/22$  نیز نشان می‌دهد اختلاف معنی داری بین میانگین دز موثر دریافتی گروه‌های سنی کودکان و اطفال وجود ندارد.  $P = 0/003$  بین میانگین دز موثر دریافتی کودکان با مردان بزرگسال و  $P \text{ value} = 0/018$  کودکان با زنان بزرگسال نشان داد، اختلاف معنی دار بین میانگین دز موثر دریافتی کودکان با مردان و زنان بزرگسال وجود دارد. همچنین  $P \text{ value} = 0/005$  بین میانگین دز موثر اطفال با مردان بزرگسال و  $P \text{ value} = 0/021$  بین اطفال با زنان بزرگسال نشان داد، اختلاف معنی دار بین میانگین دز موثر دریافتی اطفال با دز موثر دریافتی مردان و زنان بزرگسال وجود دارد. این تفاوت معنی دار بین گروه سنی کودکان و اطفال با گروه سنی مردان و زنان بزرگسال ناشی از مصرف پایین‌تر آب آشامیدنی می‌باشد.

### نتیجه‌گیری

### References

- Bharath J, Mosodeen M, Motilal S, Sandy S, Sharma S, Tessaro T, et al. Microbial quality of domestic and imported brands of bottled water in Trinidad. International Journal of Food Microbiology. 2003;81(1):53-62.
- M. Rožmaric, Rogic M, Benedik L, M. Štrok. Natural radionuclides in bottled drinking waters produced in Croatia and their contribution to radiation dose. Science of the Total Environment. 2012;437:53-60.

3. Kiliari T, Pashalidis I. Determination of aquatic radon by liquid scintillation counting and airborne radon monitoring system. *Radiation Measurements*. 2008;43(8):1463-6.
4. Forte M, Rusconi R, Cazzaniga MT, Sgorbati G. The measurement of radioactivity in Italian drinking waters. *Microchemical Journal*. 2006;85 98–102.
5. Rangela JD, H. Lopez del Rio, Garcia FM, Torresal LQ, Villalbab M, Sujob LC, et al. Radioactivity in bottled waters sold in Mexico. *Applied Radiation and Isotopes*. 2002;56:931-6.
6. Baeza A, Salas A, Legarda F. Determining factors in the elimination of uranium and radium from groundwaters during a standard potabilization process. *Science of The Total Environment*. 2008;406(1–2):24-34.
7. Oner F, Yalim H, Akkurt A, Orbay M. The measurements of radon concentrations in drinking water and the Yeşilirmak River water in the area of Amasya in Turkey. *Radiation protection dosimetry*. 2009;133(4):223-6.
8. Colmenero Sujo L, Montero Cabrera M, Villalba L, Rentería Villalobos M, Torres Moye E, García León M, et al. Uranium-238 and thorium-232 series concentrations in soil, radon-222 indoor and drinking water concentrations and dose assessment in the city of Aldama, Chihuahua, Mexico. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2004;77(2):205-19.
9. Nagaraja K, Prasad BSN, Madhava MS, Chandrashekara MS, Paramesh L, Sannappa J, et al. Radon and its short-lived progeny: variations near the ground. *Radiation Measurements*. 2003;36(1–6):413-7.
10. Hamanaka S, Shizuma K, Wen X-q, Iwatani K, Hasai H. Radon concentration measurement in water by means of  $\alpha$  liquid-scintillation spectrometry with a PERALS spectrometer. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. 1998;410(2):314-8.
11. Somlai K, Tokonami S, Ishikawa T, Vancsura P, Gáspár M, Jobbágy V, et al. 222Rn concentrations of water in the Balaton Highland and in the southern part of Hungary, and the assessment of the resulting dose. *Radiation Measurements* 2007:491 – 5.
12. Somlai K, Tokonami S, Ishikawa T, Vancsura P, Gáspár M, Jobbágy V, et al. 222Rn concentrations of water in the Balaton Highland and in the southern part of Hungary, and the assessment of the resulting dose. *Radiation Measurements*. 2007:491 – 5.
13. Ursulean I, COREȚCHI L, CHIRUȚĂ I, Virlan S, editors. Estimation of indoor radon concentrations in the air of residential houses & mines in the republic of Moldava. Paper presented at the First East European Radon Symposium–FERAS; 2012.
14. GmbH S. Application Note AN-003\_EN: Measurement of the Radon concentration of water samples June 2007. Available from: www.sarad.de.
15. Somlai J, G. Horváth, Kanya'r B, Kova'cs T, Bodrogi E, Ka'va'si N. Concentration of 226Ra in Hungarian bottled mineral water. *Journal of Environmental Radioactivity* 2002;62:235-40.
16. Somlai K, Tokonami S, Ishikawa T, Vancsura P, Gáspár M, Jobbágy V, et al. 222Rn concentrations of water in the Balaton Highland and in the southern part of Hungary, and the assessment of the resulting dose. *Radiation Measurements* 2007;42: 491 – 5.
17. Binesh A, Mohammadi S, Mowlavi A, Parvaresh P. Evaluation of the radiation dose from radon ingestion and inhalation in drinking water. *Int J Water Resour Environ Eng*. 2010;2(7):174-8.
18. Radiation UNSCotEoA. Effects of ionizing radiation: UNSCEAR 2006 Report to the General Assembly, with scientific annexes: United Nations Publications; 2009.
19. Agency EP. Estimated Per Capita Water Ingestion and Body Weight in the United States—An Update. October, 2004. p. 40-5.
20. Ali N, Khan E, Akhter P, Khan F, Waheed A. Estimation of mean annual effective dose through radon concentration in the water and indoor air of Islamabad and Murree. *Radiation protection dosimetry*. 2010;141(2):183-91.
21. Ishikawa T, Tokonami S, Yoshinaga S, Narazaki Y. Airborne and waterborne radon concentrations in areas with use of groundwater supplies. *Journal of radioanalytical and nuclear chemistry*. 2005;267(1):85-8.
22. Alabdula'aly AI. Occurrence of radon in the central region groundwater of Saudi Arabia. *Journal of Environmental Radioactivity*. 1999;44(1):85-95.
23. Marques AL, dos Santos W, Geraldo LP. Direct measurements of radon activity in water from various natural sources using nuclear track detectors. *Applied Radiation and Isotopes*. 2004;60(6):801-4.
24. Yalim HA, Sandıkcıoğlu A, Ünal R, Orhun Ö. Measurements of radon concentrations in well waters near the Akşehir fault zone in Afyonkarahisar, Turkey. *Radiation Measurements*. 2007;42(3):505-8.
25. Tarım UA, Gurler O, Akkaya G, Kilic N, Yalcin S, Kaynak G, et al. Evaluation of radon concentration in well and tap waters in Bursa, Turkey. *Radiation protection dosimetry*. 2012;150(2):207-12.
26. Todorovic N, JovanaNikolov, SofijaForkapic, IstvanBikit, DusanMrdja, MiodragKrmr, et al. Public exposure to radon in drinking water in SERBIA. *Applied Radiation and Isotopes*. 2012;70:543.
27. Mowlavi AA, Shahbahrani A, Binesh A. Dose evaluation and measurement of radon concentration in some drinking water sources of the Ramsar region in Iran. *Isotopes in environmental and Health Studies*. 2009;45(3):269-72.

28. Risica S, Grande S. Council Directive 98/83/EC on the quality of water intended for human consumption: calculation of derived activity concentrations: Istituto Superiore di Sanità Roma; 2000.
29. Somlai K, Tokonami S, Ishikaw T, Vancsur P, Gáspár M, Jobbágy V, et al.  $^{222}\text{Rn}$  concentrations of water in the Balaton Highland and in the southern part of Hungary, and the assessment of the resulting dose. Radiation Measurements. 2007;42:491-5.