بررسی غلظت اورانیوم در آب‌های آشامیدنی شیراز و ارزیابی دُز مؤثر آن

حسن نادری*

(دریافت ۸۲/۲/٤ پذیرش ۸۲/۷/٦)

چکیده

وجود اورانیوم در محیط زیست در نتیجه نفوذ از مواد ته نشین شده در طبیعت، پسمان‌های حاصل از حفاری، انتشار از طریق صنایع هسته‌ای، احتراق ذغال سنگ و سوخت‌های دیگر و استفاده از کودهای فسفاته که حاوی اورانیوم هستند، می باشد. بدین ترتیب اورانیوم در آب آشامیدنی حضور پیدا می کند. در این تحقیق، روش لیزر فلوریمتری با پایین‌ترین حد آشکارسازی ۰/۰۵ میکروگرم در لیتر با استفاده از یک لیزر فلوریمتر نوع **Scintrex** مدل **UA-3** به کار گرفته می شود. تعداد ۱٦ نمونه آب آشامیدنی از نواحی مختلف شیراز جمع آوری گردیدند. میانگین نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری غلظت اورانیوم مجموع آب‌های آشامیدنی شیراز برابر با ۲/۷٦۵ میکروگرم در لیتر می باشند. همچنین، میانگین دزهای مؤثر سالیانه دریافتی بزرگسالان، کودکان و نوزادان ناشی از پرتوزایی ^{238}U در آب‌های آشامیدنی در محدوده مجاز پرتوگیری می باشند.

واژه های کلیدی: آب آشامیدنی، اورانیوم، لیزر فلوریمتری، دز مؤثر.

A Survey of Uranium Concentration in Drinking Water in Shiraz and Assessment of its Related Effective Dose

Naderi, H.
Radiation and Nuclear Engineering, Engineering Department, Shiraz University

Abstract

Uranium may be found in the environment as a result of leaching from natural deposits release in mill tailings, emissions from the nuclear industry, the combustion of coal and other fuels, and the use of phosphate fertilizers that contain uranium. In this study uranium concentration in drinking water of Shiraz City was measured and its related effective dose was assessed. Uranium was measured using a laser fluormeter (Scintrex UA-3) with minimum detection limit of 0.05 μg/l.. Altogether sixteen drinking water samples from different areas of Shiraz were collected. The average results of total uranium concentration in Shiraz drinking water was found 2.765 μg/l. The average annual effective doses received by adults, children and infants from ^{238}U activity in drinking water were in the range of permissible level of exposure.

* بخش تشعشعات و مهندسی هسته‌ای، دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز

مقدمه

مواد پرتوزای طبیعی شامل عناصر اولیه‌ای هستند که در طول تشکیل پوسته زمین به وجود آمده‌اند. همچنین، مواد پرتوزای طبیعی، محصولات فروپاشی پرتوزای این عناصر اولیه و مواد پرتوزایی هستند که در اتمسفر توسط برهمکنش‌های اشعه کیهانی تشکیل شده اند. مهم‌ترین مواد پرتوزای موجود در کره خاکی عبارتند از :

پتاسیم-٤۰ ، اورانیوم -۲۳۸، توریوم -۲۳۲ و محصولات فروپاشی آنها که در آب، خاک، غذا و بدن انسان یافت می‌شوند [۲].

دو نوع از فروپاشی پرتوزا در آب آشامیدنی که دارای بالاترین احتمال خطر برای سلامتی هستند، انتشار دهنده های بتا / فوتون و آلفا می باشند. مواد پرتوزایی که در طبیعت یافت می شوند، تا حدّ بسیار بالایی انتشار دهنده آلفا هستند، ولی تعدادی از محصولات دختر آنها با نیمه عمر پایین، از خود ذرات بتا منتشر می‌سازند. مواد پرتوزایی که از خود ذرات آلفا منتشر می‌سازند، شامل رادیوم، اورانیوم و پلوتونیوم می باشند [۳].

اورانیوم عنصری است با بالاترین عدد اتمی در بین عناصری که به طور طبیعی در آبها و پوسته زمین یافت می‌شود. اورانیوم طبیعی ترکیبی از سه ایزوتوپ اورانیوم-۲۳٤، اورانیوم-۲۳۵ و اورانیوم-۲۳۸ می‌باشد که هم، پرتوهای آلفا و هم پرتوهای گاما از خود منتشر می‌سازند. اورانیوم طبیعی حاوی ۹۹/۲۷٪ اورانیوم ۲۳۸، ۰/۷۲٪ اورانیوم ۲۳۵، ۰/۰۰٦٪ اورانیوم ۲۳٤ است [٤] و [۵] (اورانیوم مجموع در برگیرنده سه ایزوتوپ مذکورمی باشد).

متوسط غلظت اورانیوم در پوسته زمین ٤×۱۰^{-٤} است. [٦]. اورانیوم در سنگ‌های گرانیتی، زغال سنگ، صخره‌های متامورفیک[1]، شن زارهای مونازیتی،کودهای فسفاته و همچنین مواد معدنی نظیر کارنوتیت اورانوتیت[2] و سنگ معدن اورانیوم[3] یافت می‌شود [۷]. غلظت اورانیوم در صخره های فسفاته بیشتر از ۰/۱۲ میلی‌گرم بر گرم می‌تواند باشد [۸].

[1] Metamorphic
[2] Carnotit Uranotit
[3] Pitchblende

هم‌چنین، ممکن است در بعضی موارد، اورانیوم از طریق فعالیت‌های بشر نظیر حفاری معادن اورانیوم سبب آلوده شدن منابع آب آشامیدنی گردد. در تعدادی از موارد، وجود اورانیوم در رسوبات ته نشین شده در حوضچه های تصفیه مورد استفاده در حفاری معادن آشکار شده است[٤].

در یک بررسی که بین سال‌های ۱۹۸۱-۱۹۸۰ در ایالت بریتیش کلمبیا[4] کانادا که برای ۱۳ منطقه به عمل آمد، میانگین غلظت اورانیوم در آب‌های سطحی و زیرزمینی (تعداد ۵۱۹ نمونه) ٤/۰٦ میکروگرم بر لیتر گزارش شد [۹]. در بررسی دیگری که بین سال‌های ۱۹۸۷-۱۹۸٤ در مانیتوبا[5] توسط دایره حفاظت در برابر اشعه کانادا به عمل آمد، میزان تغییرات غلظت اورانیوم از کمتر از حد آشکارسازی ۵ تا ۹٦ میکروگرم بر لیتر بود و میانگین غلظت نمونه هایی که غلظت آنها از حدّ آشکارسازی بزرگ‌تر بودند(٤۵٪ نمونه‌ها) برابربا ۱٦/۱ میکروگرم بر لیتر بود [۱۰و۱۱]. اورانیوم با غلظت‌هایی در حدود ۷۰۰میکروگرم بر لیتر در تعدادی از منابع آب زیرزمینی کانادا یافت شده است [۱۲].

تمام این منابع می توانند در تماس با آبی باشند که برای مقاصد آشامیدن مورد استفاده قرار می گیرند. به این ترتیب انتظار می رود که تعدادی از منابع آب آشامیدنی حاوی مقادیری از اورانیوم باشند.

اورانیوم از طریق کودهای فسفاته و پسمان‌های فسفات حاصل از حفّاری معادن در طبیعت حضور می یابد. متوسط غلظت اورانیوم در کود در حدود ۱۰۰ میکروگرم بر لیتر می‌باشد. استفاده از کودهای فسفاته در طول بیست سال گذشته ممکن است منجر به افزایش غلظت اورانیوم در رودخانه‌های آمریکای شمالی شده باشد [٤].

خواص شیمیایی اورانیوم در آب آشامیدنی مهم‌تر از پرتوزایی آن می باشد. مطالعات نشان می دهند که غلظت‌های بالایی از اورانیوم در آب آشامیدنی می‌تواند بر کلیه‌ها تأثیر گذار باشد. التهاب کلیه ها از نخستین اثرات شیمیایی اورانیوم بر انسان و حیوان است [۱۳]. اطلاعات کمی در مورد اثرات مزمن پرتوگیری ناشی از اورانیوم موجود در محیط زیست بر انسان در دسترس است.

[4] British Columbia
[5] Manitoba

مطالعات کلینیکی در نووا اسکوتیا[1] کانادا بر روی ۳۱٤ نفر از افرادی که در معرض تابش مقادیر متغیّری از اورانیوم موجود در آب آشامیدنی (تا ۰/۷ میلی‌گرم بر لیتر) که از چاه‌های خصوصی تأمین می شد، انجام گرفت، ارتباطی میان امراض آشکار کلیوی و تابش ناشی از اورانیوم پیدا نشد [۱۱، ۱۲ و ۱۳].

۱-۱- محاسبه دز مؤثر در آب آشامیدنی

دز مؤثر سالیانه ناشی از مواد پرتوزا که از مصرف آب آشامیدنی حاصل می شود، با استفاده از رابطه زیر محاسبه می گردد:

(۱)

$$\text{Annual Dose (mSv/year)} = \text{Dose Per unit intake (mSv/Bq)} \times \text{Annual water consumption (Litre/year)} \times \text{Radionuclide Concentration (Bq/L)}$$

در محاسبات مربوط به دز مؤثر فرض می شود که حجم آب مصرفی برای بزرگسالان، کودکان و نوزادان به ترتیب برابر با ۵۰۰، ۳۵۰ و ۱۵۰ لیتر در سال باشد [۱٤].

مطابق استاندارد آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا[2]، USEPA، حداکثر غلظت مجاز[3] (MCL) اورانیوم در آب آشامیدنی ۳۰میکروگرم بر لیتر می‌باشد [۱۵].

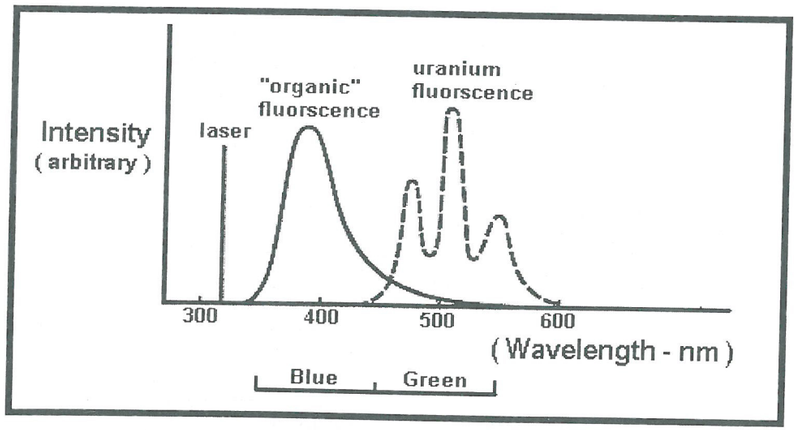
نمونه برداری

برای نمونه برداری، از ظرف‌های چهار لیتری با جنس پلی اتیلن برای نمونه گیری استفاده شد. جنس ظروف نمونه برداری باید از موادی باشد که هیچگونه آلودگی وارد نمونه‌ها ننماید (گازهایی مانند Co_2 از ظروف پلاستیکی نفوذ می کنند و باعث تغییراتی در pH نمونه می‌گردند). هم‌چنین باید ۲۰ml اسید نیتریک اضافه شود تا pH نمونه در زیر ۲ تنظیم گردد. این عمل از چسبیدن رادیونوکلئیدهای موجود در نمونه به دیواره ظرف جلوگیری می کند [۱٦].

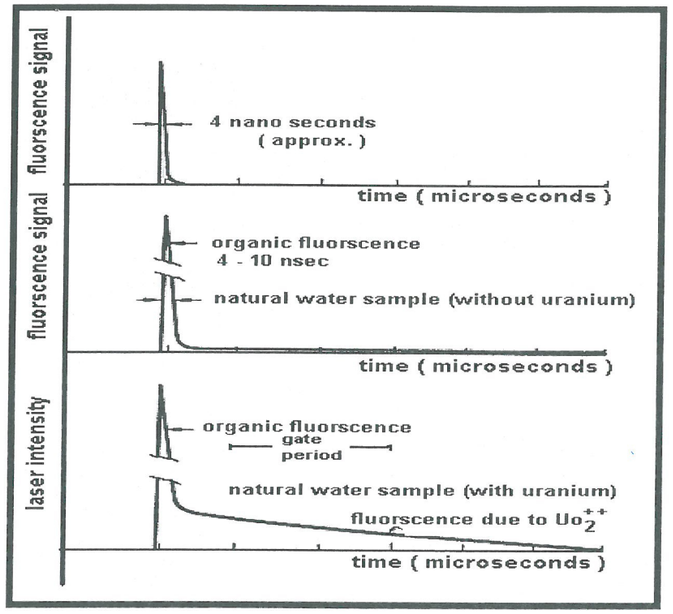
روش کار

سیستم تحلیل گر اورانیوم مدل UA-3، وسیله ای الکترواپتیکی است که برای اندازه گیری اورانیوم طبیعی محلول در آب‌ها، نظیر آب‌های سطحی حاصل از دریاچه‌ها یا رودخانه‌ها و آب‌های زیرزمینی حاصل از چشمه‌ها یا چاه‌ها مورد استفاده قرار می گیرد. اندازه‌گیری توسط دستگاه UA-3 براساس فلورسانس حاصل از کمپلکس اورانیل (Uranyl) از طریق افزودن یک معرف به نمونه در طول آنالیز می باشد.

[1] Nova Scotia
[2] United States Environmental Protection Agency
[3] Maximum Concentration Level



شکل ۱- شدت و طول موج فلورسانس حاصل از اورانیوم و ماده آلی [۱۷]



شکل ۲- زمان حیات فلورسانس اورانیوم و ماده آلی [۱۷]

بیشتر آب‌های سطحی هنگامی که در معرض تابش لیزر نیتروژن با طول موج ۳۷۳ نانومتر قرار می گیرند، فلورسانس آبی رنگ شدیدی از خود نشان می دهند که احتمالاً حداکثر شدّت آن در حدود ٤۰۰ انگستروم می‌باشد (شکل ۱). این طول موج تابشی توسط فیلتر سبز رنگی از فلورسانس حاصل از اورانیوم جدا می شود، ولی طول موج بلندتری انتقال داده می شود که می تواند به عنوان یک مزاحم مهم پدیدار گردد. این مزاحم را می توان با استفاده از اختلاف در "زمان‌های حیات[1] فلورسانس اورانیل و فلورسانس ترکیبات آلی در محلول، تا اندازه قابل ملاحظه‌ای کاهش داد.

ماده فلورسانس، تحت شرایط تحریک مداوم و پیوسته، لومینساس پیوسته ای از خود منتشر می سازد. اگر این تحریک به طور ناگهانی خاتمه یابد، خاصیت لومینسانسی فوراً از بین نمی رود بلکه در طول مدت زمان محدودی فروپاشی می نماید؛ فلورسانس بیشتر مولکول‌های آلی به سرعت فروپاشی می نمایند و زمان‌های حیات" به ندرت از چند نانو ثانیه تجاوز می کند. در مقابل، فلورسانس رقیق شده یون اورانیل تمایل به زمان نسبتاً بلند با زمان‌های حیات چند ده میکرو ثانیه می باشد (شکل۲).

برای انجام آزمایش، به ۵۰ml از نمونه آب مقدار ۲gr پودر $K_2S_2O_8$ اضافه نموده و نمونه را تا تشکیل شدن رسوب خشک سفید رنگ در ته بشر حرارت می دهیم. سپس بشر را بر روی چراغ بونزن گرفته تا هر گونه ماده آلی موجود در رسوب از طریق تبخیر از آن خارج گردد. بدین ترتیب رسوب هموژنی در ته بشر تشکیل می گردد. با اضافه نمودن ٤۰ml آب مقطر مجدداً این رسوب را با کمی حرارت حل می کنیم (مرحله رقیق سازی). با اضافه نمودن چند قطره محلول هیدروکسید ۱۰ نرمال، pH محلول را به ۱۱-۱۰ می رسانیم. pH محلول را به کمک نمایشگر دیجیتال pH تنظیم می کنیم. حال محلول ۱۰٪ اسید نیتریک[2] را افزوده تا زمانی که pH محلول به ۴-۳ برسد.

[1] Lifetimes"
[2] HNO_3

تهیّه محلول استاندارد

۱۰۰µl از محلول ۱۰ppm نیترات اورانیل (Uranyl nitrate – $UO_2(NO_3)_2.6H_20$) را به ۱ ml اسید نیتریک ۰/۰۵٪ اضافه کرده سپس این حجم را به ۱۰ml می‌رسانیم. به عبارتی محلول را از ۱۰ppm به ۱۰۰ppb رسانیده ایم.

شکل ۳ عملکرد سیستم تحلیل گر اورانیوم UA-3 را به طور طرح وار نشان می‌دهد.

رابطه‌ای که برای محاسبه میزان غلظت اورانیوم موجود در آب مورد استفاده قرار می گیرد، به صورت زیر می‌باشد :

$$U = \frac{D_1}{D_2 - D_1} \times \frac{V_1}{V_2} \times C \frac{1}{V_{spl}} \qquad (۲)$$

که در آن:

U میزان غلظت اورانیوم موجود در آب برحسب ppb

D_1 عدد قرائت شده توسط نمایشگر دستگاه در اثر برخورد نور لیزر با نمونه

D_2 عدد قرائت شده از نمایشگر دستگاه در اثر برخورد نور لیزر با نمونه حاوی محلول استاندارد

V_1 حجم محلول استاندارد بر حسب cc

V_2 حجم نمونه بر حسب cc

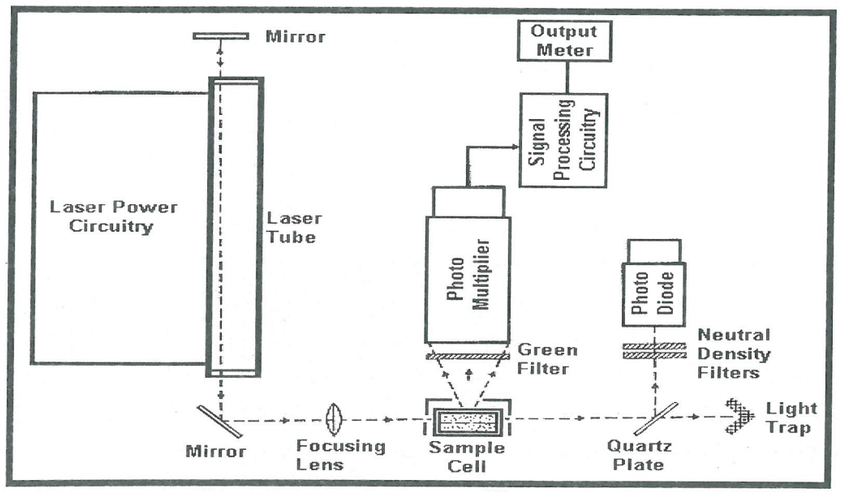
C غلظت محلول استاندارد بر حسب ppb

V_{spl} حجم نمونه آب که عمل رقیق سازی بر روی آن انجام گرفته.

نتایج

غلظت اورانیوم مجموع

جدول ۱ و شکل ٤ به ترتیب نتایج و نمودار تغییرات غلظت اورانیوم مجموع را، در آب‌های آشامیدنی شیراز نشان می دهند. میانگین غلظت اورانیوم مجموع در آب‌های آشامیدنی شیراز برابر با ۲/۷٦۵ میکروگرم بر لیتر می باشد.



شکل ۳- عملکرد سیستم تحلیل گر اورانیوم UA-3 به طور طرح وار

جدول ۱- میزان غلظت اورانیوم مجموع در آب‌های آشامیدنی شهر شیراز [۱]

کد نمونه	منطقه نمونه برداری	تاریخ نمونه برداری	موقعیت جغرافیایی	pH آب	غلظت اورانیوم مجموع (µg/l)
۱	دامنه سبزپوشان[1] چاه (۱)	16.3.80 11:15	29°32′12 N 52°27′37 E	7.20	3.300 ± 0.49
۲	منطقه محمدی[2] چاه (۲)	16.3.80 11:58	29°38′00 N 52°26′12 E	7.40	2.018 ± 0.30
۳	منطقه محمدی چاه (۳)	16.3.80 12:05	29°38′00 N 52°26′12 E	7.40	1.721 ± 0.25
٤	منطقه دراک[3] چاه (۲)	16.3.80 12:34	29°38′08 N 52°27′23 E	7.25	2.774 ± 0.41
۵	منطقه دراک چاه (٤)	16.3.80 12:45	29°38′48 N 52°27′11 E	7.10	3.300 ± 0.49
٦	منطقه دراک چاه (۹)	16.3.80 13:14	29°39′20 N 52°26′50 E	7.70	1.576 ± 0.23
۷	محوطه تصفیه خانه چاه (۳۰۵)	16.3.80 17.03	29°37′52 N 52°31′03 E	7.28	3.185 ± 0.47
۸	باغ کیف چاه (۳۱۰)	16.3.80 17:15	29°37′45 N 52°30′54 E	6.88	2.348 ± 0.35
۹	بیمارستان نمازی[4] چاه (۳۰٤)	16.3.80 17:46	29°37′48 N 52°30′52 E	6.90	3.177 ± 0.47
۱۰	بیمارستان نمازی چاه (۳۰۳)	16.3.80 18:00	29°37′48 N 52°30′52 E	6.80	2.774 ± 0.41
۱۱	بیمارستان نمازی چاه (۳۰۲)	16.3.80 18:10	29°37′54 N 52°31′06 E	6.80	3.300 ± 0.49
۱۲	تعاونی مصرف چاه (۳۱۹)	16.3.80 18:17	29°37′47 N 52°30′20 E	6.72	3.300 ± 0.49
۱۳	تعاونی مصرف چاه (۳۲۲)	16.3.80 18:27	29°37′43 N 52°30′15 E	6.71	3.104 ± 0.46
۱٤	عفیف آباد چاه (۳۲۵)	16.3.80 18:56	29°37′36 N 52°30′10 E	6.82	3.300 ± 0.49
۱۵	(باغ خرمالو) چاه (۳۱۸)	16.3.80 18:46	29°37′44 N 52°30′27 E	6.71	2.430 ± 0.36
۱٦	آبیاری – قدمگاه چاه (۳۳٤)	16.3.80 19:08	29°36′47 N 52°30′25 E	6.90	2.633 ± 0.39

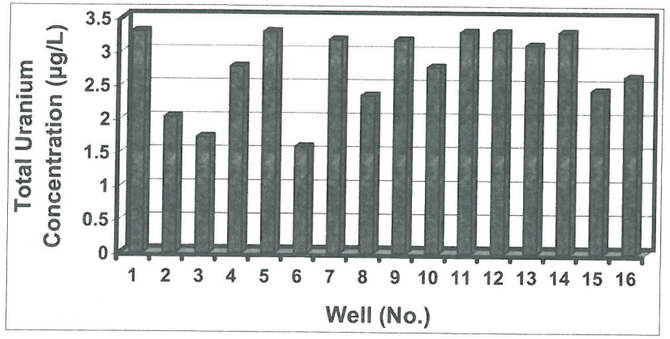
۱- دامنه سبزپوشان دارای چهار حلقه چاه می باشد که به دلیل نزدیک بودن فاصله چاه‌ها به همدیگر، چاه شماره ۱ برای نمونه گیری انتخاب شد. جنس بستر خاک از نوع آهکی و سختی آب در حدود ۵۰۰ ppm می باشد.

۲- منطقه محمدی (پشت کارخانه سیمان) دارای سه حلقه چاه می باشد که چاه شماره (۲) و (۳) برای آنالیز انتخاب شدند (فاصله این دو حلقه چاه نسبت به چاه شماره (۱) بیشتر است). سختی آب این منطقه در حدود ۲۰۰ppm می‌باشد.

۳-منطقه دراک دارای یازده حلقه چاه می باشد (چاه شماره ۱۱ خارج از رده است). چاه‌های شماره (۲)، (٤) و (۹) برای نمونه برداری انتخاب گردیدند. سختی آب این منطقه در حدود ۵۰۰ppm می باشد.

٤- محوطه بیمارستان نمازی دارای چهار حلقه چاه می باشد که چاه‌های شماره (۳۰۲)، (۳۰۳) و (۳۰٤) نمونه برداری شدند.

با توجه به تحقیقات به عمل آمده از سازمان آب و فاضلاب شیراز، بستر خاک مناطق سبز پوشان و دراک، آهکی و مناطق عفیف آباد و بیمارستان نمازی، آبرفتی (مناطق داخلی شهر) می باشد. ارتفاع چاه‌ها از سطح دریا ۱۳۵٤ متر است [۱]



شکل ٤- نمودار تغییرات غلظت اورانیوم مجموع در آب‌های آشامیدنی شیراز [۱]

دز مؤثر دریافتی

میانگین دز مؤثر سالیانه دریافتی ناشی از پرتوزایی ایزوتوپ ^{238}U در آب‌های آشامیدنی شیراز برای بزرگسالان، کودکان و نوزادان به ترتیب برابر با ۰/۷۶۲ µSv/year، ۰/۸۰۶µSv/yaer و۰/۶۱۰µSv/year خواهد بود. جدول ۲ و شکل ۵ به ترتیب نتایج و نمودار تغییرات دز مؤثر سالیانه دریافتی بزرگسالان، کودکان و نوزادان ناشی از پرتوزایی ایزوتوپ ^{238}U در آب‌های آشامیدنی شیراز را نشان می دهند. لازم به ذکر است که دزهای مؤثر مذکور بدون درنظر گرفتن فاکتور وزنی جمعیّت[1] محاسبه گردیده اند [۱].

بحث

همان طور که در قسمت‌های قبلی ذکر گردید، اورانیوم می‌تواند از طریق کودهای فسفاته، آب دریا و حفاری معادن وارد منابع تأمین آب شده و سبب آلودگی (شیمیایی) آنها گردد. به این ترتیب، پایین بودن میزان غلظت اورانیوم مجموع در آب‌های آشامیدنی شیراز حاکی از آن است که اولاً، فعالیت‌های انسانی نظیر حفاری معادن در اطراف این منابع وجود ندارد و ثانیاً، بستر خاک این منابع از جنس گرانیت، زغال سنگ، مونازیت و ... نمی‌باشد(با توجه به تحقیقات به عمل آمده از سازمان آب و فاضلاب شیراز، بستر خاک مناطق سبز پوشان و دراک، آهکی و مناطق عفیف آباد و بیمارستان نمازی، آبرفتی می‌باشد). ثالثاً، از آنجا که شیراز و به طور کلی استان فارس یکی از مراکز مهم کشاورزی در کشور می‌باشد استفاده از کودهای فسفاته سبب افزایش غلظت اورانیوم آب‌های آشامیدنی نگردیده است. این مطلب با توجه به نتیجه بدست آمده از چاه شماره (۳۰۵) که مربوط به آب سد درودزن[1] بوده به وضوح دیده می شود. به بیان دیگر، میزان اورانیوم مجموع موجود در آب و خاک منطقه طبیعی می باشد.

به طوری که از رابطه محاسبه دز مؤثر در آب آشامیدنی پیداست، حداکثر مقدار مجاز دز در آب آشامیدنی هنگامی است که پرتوزایی ایزوتوپ یا رادیونوکلئید مورد نظر حداکثر مقدار مجاز خود را دارا باشد. با توجه به این که تمامی غلظت‌های اندازه گیری شده در این پژوهش کمتر از مقدار مجاز می‌باشند، بنابراین، دزهای مؤثر محاسبه شده مربوط به سه گروه بزرگسال، کودک و نوزاد نیز در محدوده مجاز می باشند.

به طور خلاصه می توان گفت که تمامی مقادیر اندازه گیری شده اعم از غلظت‌ها و دزهای مؤثر در محدوده مجاز بوده و تهدیدی برای سلامتی مردم این شهر وجود ندارد [۱].

[1]- سد درودزن در اطراف شیراز واقع شده و زمین‌های کشاورزی زیادی در اطراف آن وجود دارد.

[1] Unweighted Effective Dose

جدول ۲- دز مؤثر سالیانه دریافتی ناشی از پرتوزایی ^{238}U در آب‌های آشامیدنی شیراز [۱]

کد نمونه	دز مؤثر سالیانه(µSv/year)		
	بزرگسالان	کودکان	نوزادان
۱	۰/۹۱۰و۰/۰۱۱	۰/۰۱۲ و ۰/۲۹۲	۰/۰۰۹ و ۰/۲۲۰
۲	۰/۰۰۷ و ۰/۵۵۶	۰/۰۰۷ و ۰/۵۸۸	۰/۰۰۵ و ۰/۴۴۵
۳	۰/۰۰۶ و ۰/۴۷۴	۰/۰۰۶ و ۰/۵۰۲	۰/۰۰۴ و ۰/۳۸۰
٤	۰/۰۰۹ و ۰/۷۶۵	۰/۰۱۰ و ۰/۸۱۰	۰/۰۰۷ و ۰/۶۱۲
٥	۰/۰۱۱ و ۰/۹۱۰	۰/۰۱۲ و ۰/۲۹۲	۰/۰۰۹ و ۰/۲۲۰
٦	۰/۰۰۵ و ۰/۴۳۴	۰/۰۰۵ و ۰/۴۶۰	۰/۰۰۴ و ۰/۳۴۸
۷	۰/۰۱۰ و ۰/۸۷۸	۰/۰۱۱ و ۰/۹۲۹	۰/۰۰۸ و ۰/۷۰۲
۸	۰/۰۰۸ و ۰/۶۴۷	۰/۰۰۸ و ۰/۶۸۵	۰/۰۰۶ و ۰/۵۱۸
۹	۰/۰۱۰ و ۰/۸۷۶	۰/۰۱۱ و ۰/۹۲۷	۰/۰۰۸ و ۰/۷۰۱
۱۰	۰/۰۰۹ و ۰/۷۶۵	۰/۰۱۰ و ۰/۸۱۰	۰/۰۰۷ و ۰/۶۱۲
۱۱	۰/۰۱۱ و ۰/۹۱۰	۰/۰۱۲ و ۰/۲۹۲	۰/۰۰۹ و ۰/۲۲۰
۱۲	۰/۰۱۱ و ۰/۹۱۰	۰/۰۱۲ و ۰/۲۹۲	۰/۰۰۹ و ۰/۲۲۰
۱۳	۰/۰۱۰ و ۰/۸۵۶	۰/۰۱۱ و ۰/۹۰۵	۰/۰۰۸ و ۰/۶۸۵
۱٤	۰/۰۱۱ و ۰/۹۱۰	۰/۰۱۲ و ۰/۲۹۲	۰/۰۰۹ و ۰/۲۲۰
۱٥	۰/۰۰۸ و ۰/۶۷۰	۰/۰۰۸ و ۰/۷۰۹	۰/۰۰۶ و ۰/۵۳۶
۱٦	۰/۰۰۹ و ۰/۷۲۶	۰/۰۰۹ و ۰/۷۶۸	۰/۰۰۷ و ۰/۵۸۱
متوسط	۰/۰۰۹ و ۰/۷۶۲	۰/۰۰۹ و ۰/۸۰۶	۰/۰۰۷ و ۰/۶۱۰

شکل ٥- نمودار تغییرات دز مؤثر سالیانه دریافتی بزرگسالان، کودکان و نوزادان ناشی از پرتوزایی ^{238}U در آب‌های آشامیدنی شیراز [۱]

مراجع

۱- نادری، ح.، (۱۳۸۰). "بررسی میزان پرتوزایی مواد پرتوزا در آب‌های آشامیدنی شیراز و محاسبه دز موثر حاصل از این مواد"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز، دانشکده مهندسی، بخش مهندسی هسته‌ای، http://sqs.shirazu.ac.ir/

2- Bennet, B. G., (1997). "*Exposures to Natural Radiation Worldwide*", in : Proceeding of the 14th International Conference on High Levels of Natural Radiation, Beijing, China, pp: 15-23. Elsvier Sciences B. V.,

3- WHO, (1993). "*Radiological Aspects*", Guidelines for Drinking Water Quality Recommendations, Second Edition, Vol. 1., http://www.who.int/water sanitation health/GDWQ/chemicals/uraniumsum.

4- Conthern, C. R. Lappenbusch., W.L. (1983). "*Occurrence of Uranium in Drinking Water in the U.S.*", Health Physics, Vol. 45, No. 1, pp: 89-99.

5- Lide, D. R., (1992-93). "*Handbook of Chemistry and Physics*", CRC Press, Boca Raton, FL, http://www. who. int/water sanitation health/GDWQ/chemicals/uraniumsum.

6- Hursh, J. B. and Spoor, N. L., (1973). "*Uranium, Plutonium, Transplutonic Elements*", Edited by H. C. Hodge, J.S. Standard and J. V. Hursh, New York Springer : Verilag.

7- Section on Uranium from the Canadian Radiation Protection Bureau (1978,1980). "*Guidelines for Canadian Drinking Water Quality*", Supporting Documentation, Health and Welfare, Ottawa, Canada.

8- Rossier, C. E., Smith, Z. A., Bolch, W. F., (1979). "*Uranium and Radium^{226} in Florida Phosphate Matetrials*", Health Physics, 37, pp: 269-277.

9- Province of British Columbi, B.C. Ministry of Energy, Mines and Petroleum Resources and B.C. Ministry of Health, (1980-1981). "*Variation in Uranium and Radioactivity Levels in Surface and Ground Water at Selected Sites in British Columbia*", Victoria.

10- Meyerhof, D., (1989). "*Radionuclide Analyses of Community Well-Waters in Manitoba*", Letter to D. Racon, Manitoba Department of Environment, from D. Meyerhof, Bureau of Radiation Protection, Environmental Radiation Hazards Division, Health Canada.

11- Moss, M.A., (1985). "*Choronic Low Level Uranium Exposure Via Drinking Water*", Clinical Investigations in Nova Scotia, M.Sc. Thesis, Dalhousie University, Halifax.

12- Moss, M.A., McCurdy, R.F., Dooley, K.C ., Givner, M.L., Dymond, L.C., Slayter, J.M., and Courneya, M.M., (1983). "*Uranium in Drinking Water*", Report on Clinical Studies in Nova Scotia In : Chemical Toxicology and Clinical Chemistry of Metals, S.S. Brown and J. Savory (eds). Academic Press, London, pp: 149-152.

13- Hursh JB, Spoor NL, (1973). "*Data on Man. In : Hodge HC et al., eds*", Handbook of Experimental Pharmacology, Vol. 36, Uranium, Plutonium, Transplutonic Elements, Berlin, Springer-Verlag, pp: 197-240. http://www.who. Int/water sanitation health/GDWQ/chemicals/uraniumfull.htm.

14- UNSCEAR, (2000). "*Sources and Effects of Lonizing Radiation*", United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, New York.

15- USEPA, (1999). "*Public Drinking Water System Programs*", Environmental Protection Agency, Office of Ground Water and Drinking Water, http://www.epa.gov/safewater/pws/pwss.html.

16- Smithson, G., (1990). "*Sampling and Selection of Analytical Methods for Radium*", In: The International Behavior of Radium, Vienna: IAEA: Technical Report Series, 310: pp: 257-271.