

مجله پزشکی دانشگاه علوم پزشکی تبریز
شماره ۶۳ (پاییز ۱۳۸۳)، صفحات ۵۸-۵۴

اندازه گیری میزان اورانیم آبهای معدنی استان اردبیل

مرتضی عالیقدری: مربی گروه بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی اردبیل: نویسنده رابط
دکتر مهدی غیثی نژاد: استاد یار سازمان انرژی اتمی ایران- تهران
دکتر اشرف السادات مصباح: دانشیار گروه بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران
مهدی کریمی نژاد: مربی گروه بهداشت محیط دانشکده بهداشت و تغذیه دانشگاه علوم پزشکی تبریز
دریافت: ۸۱/۶/۱۷، بازنگری: ۸۱/۱۰/۱۱، پذیرش: ۸۱/۱۲/۱۴

چکیده

زمینه و اهداف: اورانیم یکی از مهمترین و فراوان ترین عناصر رادیواکتیو طبیعی در پوسته زمین است که اغلب منابع آبی مخصوصاً آبهای زیر زمینی و معدنی حاوی ترکیبات محلول از این ماده هستند. اهمیت بهداشتی و زیست - محیطی اورانیم طبیعی و پرتوگیری انسان در اثر مصرف آب احتمال بروز انواع سرطان ها و بیماریهای کلیوی را بالا می برد. حداکثر مقدار مجاز تعیین شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده برای اورانیم در آبهای آشامیدنی ۲۰ ppb است. آبهای معدنی بر حسب خصوصیات زمین شناسی حاوی مقادیر متفاوتی از اورانیم هستند. این مطالعه به منظور اندازه گیری غلظت اورانیم در آبهای معدنی استان اردبیل انجام گرفت که می تواند پایه ای برای مطالعات بعدی نیز باشد.

روش بررسی: پژوهش بر اساس جمع آوری اطلاعات موجود در خصوص کیفیت رادیو اکتیو آبهای معدنی، نمونه برداری از آبهای معدنی استان اردبیل (۲۰ چشمه) مطابق با روشهای استاندارد و اندازه گیری اورانیم به روش لیزر فلوریمتری انجام گرفت.

یافته ها: غلظت اورانیم در آبهای گرم معدنی سرعین (۹ چشمه) در محدوده ۰/۴۷-۰/۳۰ ppb در چشمه های گرم معدنی مشکین شهر (۵ چشمه) ۰/۹۲-۰/۴۲ و در چشمه های معدنی سردابه، گیوی، قینرجه و برجولو نیز به ترتیب برابر با ۰/۲۸، ۰/۴۳، ۰/۸ و ۰/۹۲ بود.

نتیجه گیری: غلظت اورانیم در کلیه آبهای معدنی استان اردبیل کمتر از حداکثر مجاز توصیه شده برای این عنصر در منابع آبی است.

کلید واژه ها: اورانیم، آبهای معدنی، لیزرفلوریمتری، اردبیل

مقدمه

اورانیم، یکی از رادیو نوکلیدهای طبیعی پوسته زمین، دارای سه ایزوتوپ اورانیم - ۲۳۸ (۹۹/۲۷۴۵٪) با نیمه عمر 4.468×10^9 سال، اورانیم - ۲۳۵ (۰/۷۲٪) با نیمه عمر 7.03×10^8 سال و اورانیم - ۲۳۴ (۰/۰۰۵۵٪) با نیمه عمر 2.454×10^5 سال است که می تواند سبب آلودگی آبهای سطحی و زیرزمینی شود (۱). پوسته زمین به طور متوسط ۳ قسمت در میلیون اورانیم ۲۳۸ و ۰/۲ ppm اورانیم ۲۳۵ دارد (۲). اورانیم به دلیل میل ترکیبی قوی به صورت عنصر آزاد در حالت طبیعی وجود ندارد و به صورت اکسید دیده می شود. این عنصر با چهار ظرفیت اکسیداسیون سه، چهار، پنج و شش همراه است. نوع چهار و شش ظرفیتی اورانیم پایدار است. همچنین به دلیل این که اورانیم به راحتی اکسیژن می پذیرد، فرم شش ظرفیتی آن بیشتر در منابع آب یافت می شود. در pH کمتر از ۲/۵ اورانیم به صورت کاتیون $(\text{UO}_2)^+$ ، در pH ۷-۲/۵ به صورت خنثی $[\text{UO}_2(\text{CO}_3)]$ و در pH ۱۰-۷ به شکل آنیون $[\text{UO}_2(\text{CO}_3)]^{2-}$ و $[\text{UO}_2(\text{CO}_3)]^{3-}$ در آب وجود دارد. اغلب منابع آبی مخصوصاً آبهای زیرزمینی و معدنی حاوی ترکیبات محلول از این ماده هستند. آبهای معدنی در دنیا با توجه به شرایط مختلف، حاوی مقادیر متفاوتی از اورانیم گزارش شده اند (۳). اورانیم جزء رادیونوکلیدهای اولیه و دارای ۱۴ رادیو نوکلید است. این عنصر در سنگهای آذرین یا آتشفشانی بیشتر از سنگهای رسوبی است. در سنگهای فسفاتی که در کودهای کشاورزی به کار

می رود مقدار اورانیم از ۴۰۰-۸ ppm متفاوت است. این عنصر جهت رسیدن به حالت پایداری از خود اشعه های α و β ساطع می کند (شکل ۱) (۴).

این عنصر در وهله نخست به عنوان سوخت در نیروگاه های هسته ای به کار رفته و در نتیجه نشت از منابع طبیعی، خرد کردن پسماندهای معدنی، مواد منتشره از صنایع هسته ای، احتراق زغال سنگ و سایر سوختها، و از کودهای فسفاته به آب وارد می شود (۵). از منابع عمده اورانیم در آبها می توان به خاک و سنگهای گرانیتی، دگرذیسی، لیگنیت، شنهای موناژیتی و رسوب حاوی املاح فسفات اشاره کرد (۶).

اورانیم علاوه بر اهمیت پرتوزایی، از دیدگاه سمیت شیمیایی هم مطرح و بررسی می شود. اورانیم در کلیه تجمع می یابد و اولین اثر به وجود آمده در انسان و حیوان نقریباتی است. اورانیم در حیوانات آزمایشگاهی اغلب سبب صدمه زدن به لوله های پیچیده ابتدایی کلیه می شود. مطالعات کوتاه مدت و دراز مدت در خصوص سمیت شیمیایی اورانیم در دست نیست و بنابراین معیاری برای اورانیم در آبهای آشامیدنی و معدنی به دست نیامده است (۷ و ۸). اما سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده^۱ و انجمن آمریکا^۲ یی امور آبی^۳ حداکثر سطح موجود^۴ اورانیم را در آب آشامیدنی ۲۰ میکروگرم در لیتر تعیین کرده است (۸). جدیدترین MCL^۵ پیشنهادی از طرف USEPA برابر ۳۰ میکروگرم در لیتر است (۹).

1. parts per million
2. United States Environmental Protection Agency (USEPA)

3. American Water Works Association
4. Maximum containment Level (Mcl)

شکل ۱: سری واپاشی خانواده اورانیم -۲۳۸ (۴)

وجود دارد. منشأ رادیواکتیویته آنها به زمینهای بستگی دارد که آب از آنها عبور کرده است (۱۳).

روشهای مختلفی برای اندازه گیری اورانیم در آبها هست که هر یک مزایا و معایب خاص خود را دارا هستند. یکی از بهترین روشها جهت اندازه گیری اورانیم در آب روش لیزر فلوریمتری (LF) است. این روش ویژگیهای لازم برای آنالیز نمونه ها از لحاظ انتخابی بودن، حساس بودن، اقتصادی بودن، صرفه جویی در زمان، اندازه گیری مقادیر خیلی پایین (بزرگتر از ۰/۰۵ ppb) و دسترسی به این روش در ایران را داراست (۱۴). روشهای دیگری از قبیل γ -Spect، α -Spect و PIXE و نظایر اینها در ایران وجود دارند که بسته به شرایط از آنها استفاده می شود (۱۵). لذا این پژوهش به منظور تعیین اورانیم در آبهای معدنی استان اردبیل به روش LF انجام گرفت.

مواد و روش ها

بر اساس هدف کلی این پژوهش، یعنی اندازه گیری اورانیم در آبهای معدنی استان اردبیل، ماهیت این مطالعه توصیفی و شیوه کار بر اساس جمع آوری اطلاعات موجود از منابع مختلف، نمونه برداری از آبهای معدنی و کار بر روی نمونه ها جهت تعیین اورانیم آنها به روش لیزر فلوریمتری بود. نمونه برداری ها در طی دو فصل تابستان و پاییز سال ۱۳۸۰ از آبهای معدنی استان اردبیل مطابق با روشهای استاندارد در ظروف پلاستیکی به حجم یک لیتر انجام شد. ابتدا pH نمونه ها اندازه گیری می شد سپس با HNO_3 یا HCL اسیدی و حداکثر در مدت ۲۴ ساعت کار آنالیز شروع می شد.

وسایل مورد نیاز

وسایل نمونه برداری شامل ظروف پلاستیکی به حجم یک لیتر و pH متر جهت کنترل pH آبها و وسایل آزمایشگاهی شامل بشر، پیپت، ماکروپیپت، هود، گیره، همزن دستی، ترازو، مزور، هیتر، کیسول گاز، برچسب پلاستیکی، pH متر، پی ست، پوآر و دستگاه لیزر فلوریمتر نوع Scintrex UA- 3

اندازه گیری و بررسی مواد رادیواکتیو، از جمله اورانیم، در آبهای زیرزمینی و معدنی که همه روزه بشر در معرض خطرات ناشی از آن قرار می گیرد نه تنها از دیدگاه علمی و تحقیقاتی امری مهم محسوب می شود بلکه جهت حفظ و ارتقای سلامت جامعه بسیار حایز اهمیت است. لذا در بسیاری از کشورها از جمله آمریکا، روسیه و فرانسه اورانیم و سایر رادیونوکلید ها به طور دوره ای در آب اندازه گرفته می شوند. نتایج بررسیهای مختلف در دنیا وجود اورانیم را در غلظت های متفاوت (۴۰-۰/۳ $\mu g/l$) در آب تعیین کرده است (۱۰). همچنین وجود آبهای معدنی در دنیا و تأثیر مواد رادیواکتیو موجود در آن در درمان بعضی از بیماریها اهمیت خاصی به تعیین سطح و کنترل این مواد بخشیده است (۱۱). استان اردبیل به خاطر تعدد آبهای معدنی گرم و سرد (۲۰ چشمه) و پراکندگی آنها، و به سبب ویژگی های زمین شناختی و گسترش تشکیلات آذرین کوه آتشفشان سبلان از جایگاه ویژه ای در کشور برخوردار بود و همه ساله پذیرای چندین هزار مسافر داخلی و خارجی است.

آبهای معدنی استان اردبیل در منطقه محصور بین کوه سبلان و سلسله جبال طالش با خصوصیات درجه حرارت و ترکیب شیمیایی متفاوت از همدیگر قرار دارند. این چشمه ها نقش مهمی را در سلامت جامعه و اقتصاد کشور به عهده دارند. به طور کلی، آبهای معدنی استان اردبیل دارای سه منشأ (سطحی، عمقی و مخلوط) هستند. تقریباً در تمام موارد آنها تحت فشار زیاد از عمق زمین به بالا منتقل می شوند و از شکافهای موجود در سطح زمین خارج می گردند (۱۲). آبهای معدنی در جاهای مختلف استان اردبیل پراکنده هستند.

آبهای معدنی استان اردبیل را از لحاظ رده بندی شیمیایی به سه دسته کلی آبهای بیکربناته، آبهای کلروره و آبهای سولفاته تقسیم بندی می کنند. تقریباً اغلب آبهای معدنی دارای مواد رادیواکتیو هستند که ممکن است خصوصیات درمانی هم داشته باشند. رادیواکتیویته به دو صورت گازی مانند گازرادان با نیمه عمر کم یا به سبب وجود عناصر رادیواکتیو با نیمه عمر طولانی مانند اورانیم به صورت ترکیب در آب

D = غلظت محلول استاندارد اورانیل نیترات (۲۰۰ - ۵۰۰ ppb)
 10^{-3} = ضریب تبدیل μl به میلی لیتر (ml)

۶ = حجم نمونه برداشتی از محلول ۵۰ cc نهایی آماده شده
۱۰ = نسبت حجم نهایی نمونه به حجم اولیه

شیوه کار دستگاه اندازه گیری اورانیم

حساس ترین روش برای تعیین مقدار اورانیم موجود در نمونه ها بر تجزیه فلئوئورسانس استوار است. در این روش نمک اورانیل با $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ مخلوط و ذوب می شود. هنگامی که این ماده ذوب شد پس از سرد شدن تحت تابش UV قرار می گیرد و تشعشع فلئوئورسانس با طول موج ۶۰۰ - ۴۷۰ nm از آن ساطع می شود. شدت نور فلئوئورسانس خارج شده تابع غلظت اورانیم موجود در نمونه است. از آنجا که روش لیزر فلوریمتری روش حساسی برای اندازه گیری اورانیم شناخته شده است و در محدوده ۱۰ ppb کار می کند، می توان میزان خطا را برای تمام نمونه ها، در محدوده ۱۰ ppb ± 0.1 حساب کرد.

یافته ها

نتایج اندازه گیری غلظت اورانیم در آبهای معدنی استان اردبیل طی دو فصل مختلف به شرح زیر به دست آمد:
در منطقه سرعین که دارای ۹ چشمه معدنی گرم به نامهای قره سو، بش باجیلار، پهن لو، ژنرال، یل سویی، گاومیش گلی، گوز سویی، قهوه سویی و ساری سو است، غلظت اورانیم در محدوده ۰/۳ ppb الی ۰/۴۷ تعیین گردید. در تنها چشمه معدنی سرد سرعین (ویلا درق) غلظت اورانیم به طور متوسط ۱/۱ ppb اندازه گیری شد.
در منطقه مشکین شهر که دارای ۵ چشمه معدنی گرم به نامهای قینرجه، موئیل، ایلانلو، قوتورسویی و شابیل است غلظت اورانیم در محدوده ۰/۲۲ ppb الی ۰/۹۲ اندازه گیری شد. همچنین در آبگرم های معدنی منطقه نیر غلظت این عنصر در چشمه های قینرجه و برجلو به ترتیب ۰/۸ ppb و ۰/۹۲ تعیین گردید.
در آبگرم معدنی گیوی (خلخال) غلظت این عنصر ۰/۴۳ ppb و در آبگرم سردابه و چشمه سرد ارجستان غلظت اورانیم به ترتیب ۰/۲۸ ppb و ۰/۷۴ اندازه گیری شد. در جدول ۱ نتایج اندازه گیری اورانیم در آبهای معدنی استان اردبیل ارائه شده است.

بحث و نتیجه گیری

نتایج اندازه گیری اورانیم در آبهای معدنی استان اردبیل نشان می دهد که غلظت اورانیم در این چشمه ها در محدوده ۱/۱ - ۰/۲۸ ppb قرار می گیرد. به طور کلی، می توان گفت که غلظت اورانیم در آبهای معدنی استان کمتر از ۱ ppb است. این میزان با توجه به رهنمودهای ارائه شده توسط سازمانها و مراکز بین المللی (WHO، USEPA و AWWA) که حداکثر میزان مجاز این عنصر را در آبهای زیر زمینی و معدنی ۲۰ - ۱۰ ppb تعیین کرده از لحاظ مسایل زیست - محیطی و بهداشتی مقبولیت دارد. همچنین غلظت اورانیم طبیعی در آبهای معدنی کشورهای مختلف دنیا که با روشهای مختلف اندازه گیری شده حاکی از نتایج زیر است:

- ۱- استرالیا (در آبهای معدنی سرد ۱ - ۶/۷ ppb و در آبهای معدنی گرم ۱ - ۶/۱ ppb)
- ۲- یوگسلاوی (در آبهای معدنی گرم ۲/۷ - ۰/۲)

مواد شیمیایی مورد نیاز

اسید نیتریک، اسید کلریدریک، آب مقطر، $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ، سود، محلول استاندارد اورانیل نیترات و محلول فلوران.

مراحل اندازه گیری اورانیم (۱۶)

- ۱- تنظیم pH نمونه ها با HNO_3 یا HCl یک مولار بین ۲-۱ تا از چسبیدن اورانیم به دیواره ظروف نمونه برداری جلوگیری شود (محلول به خوبی به هم زده می شود)
- ۲- برداشتن ۵ cc از نمونه و ریختن در داخل بشر ۵۰ cc
- ۳- افزودن ۱ تا ۲ گرم پودر $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ به نمونه ها جهت از بین بردن مواد آلی (هنگام تبخیر و سوزا ندن نمونه ها)
- ۴- افزودن ۱۵ cc آب مقطر به هر نمونه
- ۵- ذوب و تبخیر نمونه ها زیر هود (تبخیر اسید تولیدی و حذف مواد آلی)
- ۶- کالیبره کردن pH متر با محلولهای اسیدی با بافرهای pH ۴، ۷ و ۱۲
- ۷- تنظیم pH نمونه ها با NaOH ده و یک نرمال و رساندن pH به ۱۱ (خشی کردن اسید ها) و کاهش pH با اسید نیتریک ۱۰٪ بین ۳-۴ جهت ادامه کار
- ۸- رساندن حجم نمونه ها به ۵۰ cc با آب مقطر جهت تکمیل مرحله اول آماده سازی نمونه ها
- ۹- ساخت محلول استاندارد اورانیل نیترات ۱۰۰۰ ppm در اسید نیتریک ۰/۵ (حل ۰/۲۱۱ گرم پودر $2.6\text{H}_2\text{O} \cdot (\text{NO}_3)_2 \text{UO}$ در ۱۰۰ میلی لیتر اسید نیتریک ۰/۵)
- ۱۰- تهیه محلول استاندارد اورانیل نیترات ۱۰ ppm از محلول مادر ۱۰۰۰ ppm استاندارد اورانیل نیترات
- ۱۱- تهیه محلول استاندارد ۲۰۰-۵۰۰ ppb اورانیل نیترات از محلول ۱۰ ppm (D در فرمول)
- ۱۲- روشن کردن و تنظیم دستگاه لیزر فلوریمتری و کالیبره کردن آن با دو استاندارد ۲۰ و ۲۰۰ ppb از محلول اورانیل نیترات (کالیبراسیون خارجی)
- ۱۳- برداشتن ۶ cc از نمونه و ریختن آن در داخل کووت مخصوص دستگاه و صفر نمودن آن در درجه پایین
- ۱۴- افزودن ۰/۷ cc محلول فلوران (Fluran) به نمونه ها. این محلول یک ترکیب شیمیایی فسفات است (عامل افزایش دهنده فلئوئورسانس) تا pH نمونه ها به ۷ برسد (بیشترین شدت فلئوئورسانس در pH خشی است) و هم زدن محلول و گذاشتن در داخل دستگاه و یادداشت عدد خوانده شده (A در فرمول)
- ۱۵- افزودن ۵۰ - ۲۰ ماکرو لیتر به نمونه ها (C در فرمول) از محلول استاندارد اورانیل نیترات ۲۰۰ - ۵۰۰ ppb (کالیبراسیون داخلی)، هم زدن محلول و یادداشت نتیجه (B در فرمول) و کنترل pH
- ۱۶- استفاده از فرمول زیر جهت محاسبه نهایی غلظت اورانیم در نمونه ها

$$\text{فرمول} \quad \frac{A}{B-A} \times \frac{C \times 10^3}{6} \times D \times 10$$

A = عدد نشان داده شده بعد از اضافه کردن محلول فلوران به نمونه ها
B = عدد نشان داده شده بعد از اضافه کردن محلول استاندارد اورانیل نیترات ۲۰۰ - ۵۰۰ ppb
C = میکرو لیتر حجم اضافه شده به نمونه از محلول استاندارد اورانیل نیترات ۲۰۰ - ۵۰۰ ppb

۳- چین (در آبهای معدنی گرم ۱ ppb - ۰/۱)

این نتایج با توجه به خصوصیات شیمیایی پوسته زمین، غلظت اورانیم در سنگها و خاکها، روش اندازه گیری و نظایر اینها ارایه شده است (۱۷).

جدول ۱: نتایج اندازه گیری اورانیم در آبهای معدنی استان اردبیل (سال ۱۳۸۰)

نام چشمه	محل	غلظت اورانیم (ppb)
قره سو	سرعین	۰/۳۶
بش باجیلار	سرعین	۰/۳۷
پهن لو	سرعین	۰/۴۷
ژنرال	سرعین	۰/۳۷
یل سویی	سرعین	۰/۳۰
گاومیش گلی	سرعین	۰/۳۵
گوزسویی	سرعین	۰/۳۵
قهوه سویی	سرعین	۰/۳۳
ساری سو	سرعین	۰/۳۵
ویلادرق	۳ کیلومتری سرعین	۱/۱
ارجستان	روستای ارجستان	۰/۷۴
سردابه	روستای وکیل آباد	۰/۲۸
گیوی	روستای نی احمد	۰/۴۳
قینرجه	حومه مشکین شهر	۰/۴۲
موئیل	حومه مشکین شهر	۰/۴۶
ایلاندر	حومه مشکین شهر	۰/۶۷
قوتورسویی	حومه مشکین شهر	۰/۹۲
شاییل	حومه مشکین شهر	۰/۸
قینرجه نیر	حومه نیر	۰/۸
برجلو	حومه نیر	۰/۹۲

۰/۲۸ ppb و برجلونیر از نوع کلروره سدیک و بی کربناته کلسیک معادل ۰/۹۳ ppb بود. البته باید برای تمام نمونه ها میزان خطایی برابر با ± 0.15 ppb در نظر گرفت.

نظر به اینکه آبهای معدنی نقش مهمی در سلامت و اقتصاد جامعه به عهده دارند برای استفاده بهینه از این چشمه ها مخصوصاً جهت درمان و به منظور محافظت افراد جامعه در برابر پرتوهای طبیعی موارد زیر پیشنهاد می شود:

- ۱- تهیه شناسنامه پرتوهای آبهای معدنی کشور مخصوصاً غلظت اورانیم و رادیوم
- ۲- برآورد و محاسبه مقدار مواد رادیو اکتیو دریافتی بدن در نتیجه استفاده از آبهای معدنی
- ۳- برنامه ریزی جهت استفاده بهینه از آبهای معدنی از قبیل روشهای درمان، نحوه و مدت زمان استفاده، موارد عدم استعمال و
- ۴- اندازه گیری این عنصر در آبهای آشامیدنی کشور

در منطقه سرعین که شامل ۱۰ آب معدنی است (بغیر همه از آب معدنی ویلادرق که در فاصله ۳ کیلومتری سرعین قرار گرفته است)، همگی آب معدنی ها از نوع گرم هستند. از آنجا که تشکیلات زمین شناختی این منطقه (بغیر از ویلادرق) تقریباً یکسان است (زمینهای آبرفتی در مجاورت سنگهای آذرین خروجی از فعالیت آتشفشانی سبلان) و تمامی این آبها از لحاظ شیمیایی جزو آبهای بیکربناته سدیک و کلروره کلسیک هستند، انتظار می رود که میزان اورانیم طبیعی در این چشمه ها در محدوده مشخصی قرار گیرد و نتایج حاکی از آن است که غلظت این عنصر در محدوده $0.47 - 0.3$ ppb قرار دارد.

در آب معدنی ویلادرق و ارجستان که از دسته آبهای بیکربناته کلسیک سرد با pH اسیدی (۵/۴ - ۵/۱) هستند، میزان اورانیم به ترتیب ۱/۱ و ۰/۷۴ (کمتر از حداکثر مجاز) است. از این دو آب معدنی برای شرب هم استفاده می شود. میزان اورانیم در آبگرم های معدنی منطقه مشکین شهر (قوتورسویی، شاییل، قینرجه، ایلاندر و موئیل) که در دامنه کوه سبلان قرار گرفته اند در محدوده $0.92 - 0.42$ ppb به دست آمد. کمترین و بیشترین میزان اورانیم به ترتیب در آبگرم های معدنی سردابه، از نوع سولفات کلسیک گوگردی معادل

References

- American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater. 1995; 19th ed. Washington, Dc. Section 7500-U. 7-41
- Betcher R, Gascoyne M, Brown D. Uranium in groundwaters of southeastern Manitoba, Canada Can J Earth Sci 1988; 25:2089-2091
- Zhang Z, Clifford D. Exhausting and regenerating resin for uranium removal. J AWWA 1994; 86:239-240
- Hess C. The occurrence of radioactivity in public water supplies in the United States. J Health Physics. 48, 1985; 555-575
۵. سازمان بهداشت جهانی. رهنمودهای کیفیت آب آشامیدنی. مترجمین: نبی زاده ر، فائزی د. جلد اول (توصیه ها). موسسه علمی - فرهنگی نص. ۱۳۷۵: ۶۶
- Aieta E. Radionuclides in drinking water. J. AWWA. 1987; 79(4): 144-147
- Domingo J. Chemical toxicity of uranium. Toxicol Ecotoxicol News 1995; 2(3):74-78
- U.S.EPA. Occurrence and exposure assessment for uranium in public drinking water supplies. EPA Contract No. 1990; 68-03-3514
- EPA. National primary drinking water regulations – EPA'S Drinking Water Standards. <http://www.epa.gov/safe water/mol.html>. 2000.
- Lowry J. Radionuclides in drinking water. J AWWA. 1988; 50-70
- Cheng Y, Lin J, Hao, X. Trace uranium determination in beverages and mineral water using fission track techniques. Nucl tracks Radiat Meas. 1993; 22(1-4): 853
۱۲. شکوری ب، پیوند ی. نظری بر وضعیت اکولوژیکی استان اردبیل، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی اردبیل. ۱۳۷۸. صص ۴۴ تا ۴۷
۱۳. غفوری م. شناخت آب معدنی و چشمه های معدنی ایران. مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران. ۱۳۶۶. صص ۳۱۷ تا ۳۷۵
- Ghods A, Veselsky J. The determination of uranium in environmental samples using laser fluorimetry. Proceeding of an International Conference Ramsar. 1990; 585-586
- Guo S. Uranium determination and radon measurement by a nuclear track technique. Proceeding of an International Conference Ramsar. 1990; 569-575
- Robbins J. Analytical procedures for UA-3 uranium analysis. Section G-10. 1989
- Mishra U. Exposures due to high natural radiation background and radioactive springs around the world. Proceeding of an International Conference Ramsar. 1990; 33 and 436

