استفاده از تکنیک هسته ای سن سنجی رادیوایزوتوپی در هیدرولوژی

ایمان کریمی راد[۱]، موسی حسام[۲]، علی بهرامی سامانی[۳]، عبدالمجید ایزدپناه[۴]
۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، گرگان، ایران
ikarimirad@yahoo.com
۲- استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، گرگان، ایران
mhesam@yahoo.com
۳- استادیار، پژوهشکده چرخه سوخت سازمان انرژی اتمی ایران، تهران، ایران
asamani@aeoi.org.ir
۴- استادیار، گروه فیزیک، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران
amjizadpanah@yahoo.com

چکیده

در سال های اخیر مبحث استفاده از علوم و تکنولوژی هسته‌ای در زمینه‌های مختلف، به عنوان ابزاری کارآمد، بسیار مورد توجه قرار گرفته است و تحقیقات گسترده‌ای برای بسط و توسعه کاربردهای آن، در کشورهای پیشرفته، انجام گرفته و یا در دست اقدام است. کشور ما نیز با دستیابی به فناوری چرخه کامل سوخت هسته‌ای، گام بزرگی را در راه جبران عقب ماندگی‌ها و قرار گرفتن در زمره کشورهای پیشرو در این عرصه برداشته است. ولی یکی از بخش‌هایی که به آن پرداخته نشده کاربرد رادیوایزوتوپ به عنوان یک ردیاب در مطالعه هیدرولوژی می باشد. با در نظر گرفتن نتایج حاصله از مطالعات پرشمار در بسیاری از نقاط جهان، ضرورت پرداختن به این تکنیک امری بدیهی به نظر می رسد. در این روش رادیوایزوتوپ ^{3}H جهت تعیین درصد اختلاط، زمان اقامت و سرعت جریان استفاده می شوند. با توجه به کمبود منابع و فقدان مطالعه کاربردی در داخل کشور، این مقاله مروری به بررسی این روش پرداخته و از میان تکنیک های هسته ای، کاربرد رادیوایزوتوپ طبیعی تریتیوم، که از لحاظ زیرساخت موجود در صنعت هسته‌ای ایران قابل انجام است ارائه داده است. در این تحقیق انواع مختلف مطالعاتی که بر پایه رادیوایزوتوپ تریتیوم انجام گرفته بررسی و در پایان با بیان محدودیت‌های این تکنیک ضمن ارائه راهکار، این نتیجه گرفته شده که روش سن‌سنجی رادیوایزوتوپی به علت پیچیدگی‌های موجود در سفره های آزاد آب زیرزمینی که ناشی از اختلاط گسترده آب‌های مختلف می باشد چندان توصیه نمی‌شود، در صورتی که کارایی و دقت آن در سفره‌های تحت فشار و محصور بارها به اثبات رسیده است.

واژه های کلیدی: آب زیرزمینی، سن سنجی، رادیوایزوتوپ، تریتیوم

مقدمه

ضرورت نگارش این مقاله مروری

خدمات ارزنده و بی حد و مرز علوم و فنون هسته ای بر کسی پوشیده نیست و کاربردهای آن در رابطه با تولید انرژی تمیز، سالم و ارزان و نیز در عرصه های پزشکی، صنعت و کشاورزی به طوری قابل ملاحظه ای گسترش یافته است. تولید انرژی هسته ای با فعالیت حدود ۴۴۰ نیروگاه هسته ای و تولید ۱۶ درصد برق جهان، کاربرد رادیوایزوتوپ ها در شناسایی و درمان بسیاری از بیماری ها، بالا بردن کیفیت محصولات کشاورزی و استفاده از آن در صنایع گوناگون، که تنها بخشی از کاربردهای علوم و فنون هسته ای است، بشریت را به راهی هدایت می کند که بدون داشتن این نعمت الهی نخواهد توانست حتی قدمی در راه پیشرفت گام بردارد.

کاربرد رادیوایزوتوپ به عنوان یک ردیاب به وسیله کارهای اولیه یک دانشمند مجاری به نام پروفسور جورج هوسی[1] مطرح شد. وی مفهوم ردیاب را در بسیاری از زمینه ها به کار برد، که شامل علم پزشکی و زیست شناسی می شد و بر اساس همین فعالیت جایزه نوبل به وی تعلق گرفت. در این کاربردها، یا رادیوایزوتوپ ها به طور محکم به یک ماده می چسبند و یا خود به طور طبیعی جزئی از ماده ردیابی شونده ای هستند که مسیر آن در سیستم (یک محفظه واکنش، یک گیاه یا حتی یک گونه زنده) مورد مطالعه قرار می گیرد (Evans and Muramatsu, 1977).

در ادامه به کاربرد رادیوایزوتوپ ها در زمینه های گوناگون همچون بهداشت و سلامتی، شیمی،کشاورزی، صنعت و هیدرولوژی خواهیم پرداخت. در زمینه بهداشت و سلامتی، علاوه بر درمان عملی گسترده سرطان با تابش (پرتودرمانی) که معمولا با استفاده از رادیوایزوتوپ ^{198}Au انجام می شود، تابش رادیواکتیو، در روش های تشخیصی عکس برداری عضو وابسته (سینتگرافی)، درمان رادیونوکلیدی بیماری های بدخیم و خوش خیم (رادیوداروها) و تخمین مقادیر بسیار کم هورمون های حیاتی در سیال های بدن به وسیله ایمن سنجی رادیویی (RIA)[2]، مورد استفاده قرار گرفته است (Tölgyessy and Kyrs, 1989). استریلیزاسیون تابشی محصولات پزشکی (با استفاده از ^{60}Co) نیز در بهبود ایمنی و اطمینان از عملیات ضدعفونی و جلوگیری از امکان آلودگی در بیمارستان و دیگر مراکز بهداشتی، کمک زیادی نموده است (Friedlander et al., 1981). کاربردهای ردیاب ها در تحقیقات شیمیایی شامل بررسی مکانیزم واکنش ها، سنیتیک، فرآیندهای تبادل و کاربردهای تجزیه ای (آنالیتیکی) همچون تیتراسیون رادیومتری، پیش بینی انحلال پذیری محصول، آنالیز رقت ایزوتوپ و اتورادیوگرافی می باشد (قنادی مراغه، ۱۳۸۵).

در زمینه کشاورزی، رادیوایزوتوپ ها برای جهش تابش القایی[3] با هدف تولید و بهره وری بیشتر از انواع دانه ها مورد استفاده قرار گرفته اند (Rao, 1999). پژوهش بر روی جذب کود های نشان دار رادیواکتیو (اغلب ^{32}P و ^{35}S) به وسیله گیاه، مطالعه خاصیت، کمیت، زمان، روش و عمق بهینه بکارگیری کودها را امکان پذیر ساخته است (Harderson, 1990). پایش پایداری آفت کش ها در خاک، آب های زیرزمینی و محیط با به کار بردن آفت کش های نشان دار جهت مطالعه اثرات جانبی خطرناک آن ها انجام گرفته است (Arnikar, 1981). ضدعفونی نمودن مواد غذایی نیز از دیگر کاربردهای مهم فناوری هسته ای به شمار می رود (Sharma, 1998).

همچنین در هیدرولوژی آب های سطحی و زیرزمینی استفاده از ردیاب های ایزوتوپی روش با ارزشی را برای مطالعات آب شناسی و مدیریت منابع آب محسوب می شود. در این روش علاوه برزمینه منشاءیابی رسوبات که به منظور تعیین مناطق فرسایش پذیر انجام می گیرد، ایزوتوپ های پایداری همچون ^{2}H و ^{18}O و رادیوایزوتوپ هایی طبیعی موجود در

[1] Prof. George Hevesy
[2] Radio Immuno Assy
[3] Mutations

محیط همچون ^{3}H و ^{14}C و نیز ردیاب های مصنوعی جهت تعیین پارامترهای فرآیندی آب های زیرزمینی مانند درصد اختلاط، زمان اقامت و سرعت جریان استفاده شده اند (Sood et al., 1994). نشت یابی لوله های مدفون و سدها از دیگر کاربردهای ردیاب های رادیواکتیو است (Arnikar, 1990).

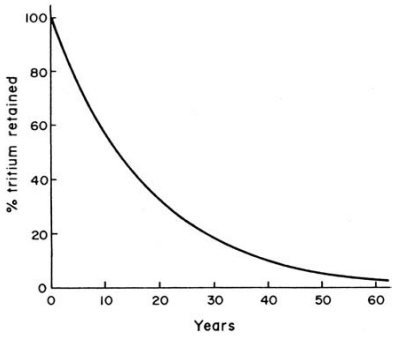
با توجه به دستاوردهای بزرگ کشور ما در زمینه استفاده صلح آمیز از انرژی هسته ای و پیشرفت های پر شتاب علوم و فنون هسته ای در جهان و نیز توسعه این روش ها در عرصه های مختلف، ضرورت پرداختن به این روش ها امری بدیهی به نظر می رسد. امید است این تحقیق به گسترش کاربردهای دانش هسته ای در مدیریت منابع آب کشور و شناخت بهتر خصوصیات آب های زیرزمینی یاری رساند.

چرخه هیدرلوژیکی چرخه ای است که با وجود مشخص بودن مراحل آن، پیچیدگی های موجود در فرآیندهایش همواره موضوع بحث متخصصان بوده است. در حقیقت، موفقیت بسیاری از طرح‌های حاضر برای توسعه اقتصادی وابسته به بهره برداری درست و موثر از منابع آب می باشد، بنابراین هیدرولوژی به دانشی با اهمیت کاربردی فراوان تبدیل شده است که جنبه‌های مختلف و اهداف گوناگونی دارد در نتیجه به کارگیری تکنیک‌های متنوعی را نیز ضروری ساخته است. هیدروشیمیست ها نیز می کوشند این اطلاعات را کشف و برای اهداف مدیریتی قابل استفاده کنند. در سالهای پس از جنگ جهانی، هیدروژئوشیمی بطور گسترده‌ای تحت تأثیر پیشرفت‌ها در علوم دیگر همچون شیمی‌فیزیک، مهندسی مواد و اقیانوس شناسی قرار گرفته است. کاربردهای هیدرولوژیکی ایزوتوپ ها در این مدت به سرعت توسعه یافته است (Edmunds, 2009). محدوده‌ی وسیعی از تکنیک‌های هسته ای قابل کاربرد در مسائل متنوع هیدرولوژیکی وجود دارد که به عنوان ابزاری تکمیلی و در برخی موارد یگانه ابزار در دسترس هیدرولوژیست در برآوردن تقاضای روزافزون آب در کشاورزی، صنعت و تامین آب جامعه شناخته می شود (Payne, 1980).

آبهای زیرزمینی سیالی پنهان هستند که تنها در چشمه ها و چاه ها قابل مشاهده اند. امروزه آکیفرها و مسیرهای جریان به کمک اطلاعات بدست آمده از گمانه زنی ها و سطح پیزومتریک چاه ها تعیین می شوند. در اهمیت روش های ایزوتوپی باید اشاره نمود که این روش قادر است علاوه بر تعیین منشا و مسیر جریانات، هیدرولیک جریان (مانند سرعت و جهت) را نیز مورد بررسی قرار دهد؛ ولی ویژگی های شیمیایی آب تنها در موارد معدودی می توانند به عنوان ردیاب محیطی موثر مورد استفاده قرار گیرند، زیرا در بیشتر موارد بین محیط و آب واکنش رخ می دهد (خلج امیرحسینی و نبی پور، ۲۰۰۷).

معرفی رادیو ایزوتوپ های ^{3}H

برای ۹۲ عنصر موجود در طبیعت بیش از ۱۰۰۰ ایزوتوپ وجود دارد. به عنوان مثال هیدروژن معمولی (H) دارای عدد جرمی یک (یک پروتون) و هیدروژن دو یا دوتریوم (D یا ^{2}H) دارای عدد جرمی دو (یک پروتون و یک نوترون) و تریتیوم (T یا ^{3}H) دارای عدد جرمی سه (یک پروتون و دو نوترون) است. بطور متوسط ۹۹/۹۸۵ درصد هیدروژن معمولی و ۰/۰۱۵ درصد دوتریوم و $۱۰^{-۱۵}$ درصد تریتیوم در ترکیب اتمی مولکول های آب وجود دارد که به آن ها نسبت فراوانی ایزوتوپ می گویند. در ضمن تریتیوم رادیواکتیو است، یعنی به مرور زمان اتم های آن واپاشیده شده و به ^{3}He تبدیل می شوند و در جریان واپاشی پرتو بتا گسیل می کنند. سرعت واپاشی به صورت قراردادی با نیمه عمر



شکل ۱ :منحنی واپاشی تریتیوم

بیان می‌شود و آن مدت زمانی است که تعداد مشخصی از اتم های یک عنصر رادیواکتیو به نصف میزان اولیه ی خود برسد (Mazor, 2004).

تریتیوم دارای نیمه عمری معادل ۱۲/۳ سال می باشد، بنابراین پس از ۱۲/۳ سال $\frac{1}{2}$ و پس از ۲۴/۶ سال تنها $\frac{1}{4}$ تعداد اولیه ی اتم های آن باقی می ماند. منحنی واپاشی تریتیوم در شکل ۱ آمده است، با استفاده از این منحنی این امکان وجود دارد تا به عنوان مثال بدانیم چند سال طول می کشد تا یک غلظت مشخص تریتیوم به ۲۰ درصد میزان اولیه ی خود برسد، جوابی که از منحنی به دست می آید ۲۹ سال است. به همین ترتیب می توان تعیین کرد که چه درصدی از یک غلظت اولیه ی تریتیوم بعد از ۲۰ سال باقی می ماند، جواب ۳۲ درصد است.

غلظت تریتیوم در آب با نسبت اتم های آن به اتم های هیدروژن معمولی بیان می شود، که هر $۱۰^{-۱۸}$ از آن یک واحد تریتیوم (TU) تعریف شده است. تریتیوم دارای دو منشاء طبیعی و انسانی است. نوترون های اشعه ی کیهانی در لایه های بالایی جو با نیتروژن واکنش داده و ^{15}N تولید می کنند که بسیار ناپایدار بوده و به کربن معمولی(^{12}C) و تریتیوم شکسته می شود:

$$^{14}N + n \rightarrow {}^{15}N \rightarrow {}^{12}C + {}^{3}H$$

اتم های تریتیوم اکسید شده و به آب تبدیل می شوند و به صورت باران وارد آب زیر زمینی می شود. میزان تولید طبیعی تریتیوم TU ۵ تعیین شده است. منشاء انسانی تریتیوم مربوط است به آزمایش بمب های هسته ای که در سال ۱۹۵۲ در نیم کره ی شمالی آغاز شد و مقادیر زیادی تریتیوم را به جو اضافه کرد. این میزان در زمان اوج خود در سال ۱۹۶۳ در آمریکا به TU ۱۰۰۰۰ در یک ماه بارندگی رسید. یک معاهده ی بین المللی آزمایش سطحی بمب های هسته ای را در سال ۱۹۶۳ متوقف کرد، از آن پس غلظت تریتیوم در بارندگی روندی نزولی را طی نمود (Mazor, 2004).

در چند دهه ی اخیر با توسعه، اختراع و دست یابی به تجهیزات مدرن و دقیق، شناسایی و شمارش مقادیر ایزوتوپ ها در مقیاس بسیار کم و ناچیز امکان پذیر شده است. ناپایداری تریتیوم این امکان را می دهد که با اندازه گیری غلظت آن در آب مورد نظر سن آن، یعنی مدت زمانی که از بارش آن می گذرد را محاسبه نمایند.

که در آن t زمان بر حسب سال، ^{3}H غلظت تریتیوم در زمان t، $^{3}H_0$ غلظت اولیه تریتیوم و λ ثابت واپاشی تریتیوم و برابر با ۰/۰۵۶ بر سال می باشد (Kazemi et al., 2006).

تولید و ورود عناصر رادیواکتیو به آب پایه و اساس مطالعات ایزوتوپی در هیدرولوژی است. داده های سن آب زیرزمینی به عنوان ابزاری برای مطالعه ی مسیرهای جریان و سرعت های افقی و عمودی جریان، تخمین نرخ تغذیه آب زیرزمینی، مطالعه ی روند آلودگی آب زیرزمینی و پیشروی آب دریا و بسیاری دیگر محسوب می شود. ولی به جرات می توان گفت مهم ترین و منحصر به فرد ترین کاربرد مقوله ی سن آب زیرزمینی قابلیت آن برای پاسخ به سوالات درباره ی تجدیدشوندگی یا بازپرسازی منابع آب زیرزمینی است که این مفاهیم نیز به نوبه خود بیانگر اعتبار مخازن آب زیرزمینی و میزان حساسیت و آسیب پذیری آن ها در برابر چالش هایی نظیر آلودگی، خشکسالی و برداشت بی رویه می باشد. همچنین می توان ادعا کرد که سن آب زیرزمینی تنها مفهوم علمی است که نشان می دهد منابع آب زیرزمینی جدیدا با بارندگی تغذیه شده اند یا این که آب استخراج شده در سفره با فرآیندهای آهسته نفوذ که در زمان های دور اتفاق افتاده جمع شده است. این کاربرد در مناطق خشک تر، جایی که بدلیل کمبود و دوره ای بودن بارش ها مساله ی تغذیه همیشه وجود دارد، بیشتر به چشم می آید (Kazemi et al., 2006).

کاربرد رادیوایزوتوپ تریتیوم در هیدرولوژی

حال به بررسی مقالاتی که در سطح جهان پیرامون کاربرد رادیوایزوتوپ تریتیوم در هیدرولوژی آب های زیرزمینی به نگارش درآمده می پردازیم. لازم به ذکر است آژانس بین المللی انرژی اتمی، نظر به اهمیت موضوع، شبکه ای از ایستگاه های هواشناسی که نمونه های بارندگی را برای اندازه گیری تریتیوم و هیدروژن و اکسیژن پایدار جمع آوری می کنند در نقاط مختلف جهان مستقر نموده است. این مقالات را می توان به صورت زیر دسته بندی نمود:

۱- تریتیوم به عنوان شاخص سن در کوتاه مدت

یکی از زمینه های کاربردی برای علم بکارگیری رادیوایزوتوپ ها در هیدرولوژی آب های زیرزمینی تعیین سن آب حتی در بازه های زمانی کوتاه مدت است. از هنگامی که تریتیوم حاصل از کارهای بشر تولید شد، این امید به وجود آمد که پالسهای تریتیوم که توسط آزمایشات مجزای اتمی ایجاد می شود راهی دقیق برای سن سنجی آب های زیرزمینی پیش پای دانشمندان قرار دهد.

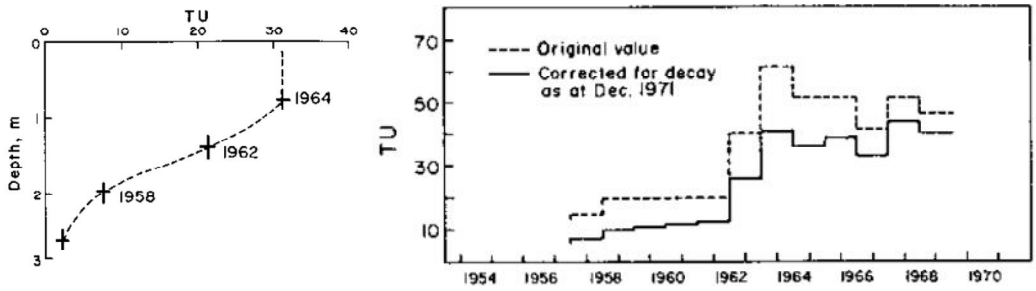
۲- غلظت ها و سری های زمانی تریتیوم بینشی از محل های تغذیه سفره در اختیار می گذارد

موقعیت نواحی تغذیه در هیدرولوژی اهمیت خاصی دارد که در این مورد می توان به نواحی که برای حفظ کیفیت آب زیرزمینی محافظت می شوند اشاره کرد. از آنجا که شهرنشینی، کشاورزی و تقریبا هر فعالیت انسانی دیگر می تواند باعث تغییر در کیفیت آب تغذیه کننده شود و کنترل این موارد دارای بار مالی است، با افزایش شکایات بهره برداران روبرو می شویم که هیدرولوژیست با نظرات کارشناسی درباره هویت نواحی تغذیه فعال به این موارد پاسخ می دهد. همچنین با شناخت نواحی تغذیه کننده سفره می توان به انجام اقدامات اصلاحی جهت افزایش ورودی آبخوان دست زد. از مقالاتی که در این زمینه وجود دارد می توان به مطالعه ناچیاپان و همکاران (۲۰۰۳) اشاره کرد که با داشتن مقادیر تریتیوم نقشه همسن را تهیه کردند و با ترکیب آن با تجزیه و تحلیل های هیدروشیمیایی مناطق تغذیه سفره را جهت اتخاذ راهبردهایی برای افزایش مقدار تغذیه تعیین نمودند (Nachiappan et al., 2003).

۳- کاربرد تریتیوم در نیمرخ های خاکی به منظور ارزیابی سرعت نفوذ

افراد بسیاری غلظت تریتیوم را در نیمرخ های رطوبت خاک اندازه گیری کرده اند. نمونه ها در اکثر موارد توسط مته دستی جمع آوری گردیده اند. نمونه نیمرخ ها به دقت بسته بندی شده تا از خشک شدن یا تبادل با تریتیوم موجود در هوا جلوگیری شود. در آزمایشگاه، رطوبت خاک با عمل تقطیر گرفته شده، نمونه وزن می شود و سپس غلظت تریتیوم آن اندازه گیری می گردد. شکل ۲ چنین نیمرخی را از جنوب آفریقا به همراه منحنی تریتیوم- بارندگی ارائه می دهد. نیمرخ در تاریخ دسامبر ۱۹۷۱ گرفته شده و منحنی تریتیوم– بارندگی (خط چین سمت راست شکل ۲) برای واپاشی رادیواکتیو تا آن زمان تصحیح شده است (خط پررنگ سمت راست شکل ۲). خط تصحیح شده برای بارندگی سال ۱۹۵۸، TU ۷ تریتیوم و سپس افزایش به بیش از TU ۲۰ در فصل بارندگی سال ۱۹۶۲ و بیش از TU ۳۰ در سال ۱۹۶۴ را نشان می دهد. این مقادیر برای تعیین زمان تغذیه نقاط مشخص شده روی خط رادیواکتیو– عمق در شکل ۲ بکار رفته است. مقدار رطوبت و غلظت سال ۱۹۵۸ در سال ۱۹۷۱ در عمق حدود m ۲ مشاهده می گردد. آب در حال نفوذ m ۲ در طول ۱۳ سال حرکت کرده (از ۱۹۵۸ تا ۱۹۷۱) و سرعت نفوذ متوسط در حد $\frac{\text{متر}}{\text{سال}}$ ۰/۱۵ نشان می دهد. غلظت تریتیوم سال ۱۹۶۲ پس از ۹ = ۱۹۶۲ – ۱۹۷۱ سال در عمق m ۱/۴ متر مشاهده شد که سرعت نفوذ $\frac{\text{متر}}{\text{سال}}$ ۰/۱۶ را نشان می دهد. جبهه غلظتی تریتیوم سال ۱۹۶۴ در عمق m ۰/۸ مشاهده گردید که سرعت نفوذ $\frac{\text{متر}}{\text{سال}}$ ۰/۱۱ را نشان می دهد. در محاسبه سرعت

نفوذ همان طور که دیده می شود ممکن است تغییراتی به علت تفاوت در ویژگی های خاک یا به علت تغییرات در رژیم بارندگی سالانه اتفاق افتد (Bredenkamp et al., 1974).



شکل ۲ : منحنی تریتیوم- بارندگی و نیمرخ رطوبتی خاک از جنوب آفریقا

۴- کاربرد نیمرخهای تریتیوم در تخمین میزان تغذیه

تغذیه، به آب اضافه شده به سیستم آب زیرزمینی در منطقه ی اشباع اطلاق می شود. بنابراین تغذیه تعادلی است که بین مقدار آبی که به داخل زمین نفوذ می یابد و مقداری که طی تبخیروتعرق از دست می رود برقرار می شود. در تامین منابع آب مورد نیاز همواره کمیت و کیفیت تواما مورد توجه قرار می گیرند. بنابراین آب باید در یک نرخ قابل قبول و منطقی پمپ شود که سطح ایستابی در محل پمپاژ افت نکند و آب با یک نرخ ماندگار از سنگ های میزبان آب به داخل چاه جریان یابد. هنگامی که آب در شبکه زیرزمینی ذخیره شد ایزوتوپ های رادیواکتیو تریتیوم و ^{14}C متلاشی می شوند و غلظت باقیمانده عمر آب را نشان می دهد. آب های جوان بطور پیوسته جایگزین می شوند که باعث قابلیت توسعه برداشت با برقراری جریان ماندگار آب می شود. در مقابل توانایی پمپاژ آب های مسن، همانند معادن، محدود است. بر این اساس آگاهی از سن آب برای مدیریت آب های زیرزمینی بسیار مهم است.

قابلیت استفاده از داده های نیمرخ تریتیوم را می توان با استفاده از یک مثال توضیح داد. در نیمرخ رطوبتی خاک ترنگوال و بارندگی در پرگوریای آفریقای جنوبی مشخص شد که جبهه تریتیومی سالهای ۱۹۵۸ و ۱۹۶۲ و ۱۹۶۴ در طول ۱۰ سال ۳ m نزول کرده و محتوای رطوبتی متوسط وزنی ٪ ۱۲ حجمی است. این اطلاعات را می توان برای محاسبه مقدار تغذیه متوسط سالانه بکار برد. مقدار آب تغذیه شده معادل در خارج از ۳ m نیمرخ خاک ۰/۳۶ m = ۰/۱۲× ۳ است. متوسط تغذیه سالانه ۰/۰۳۶ m =$\frac{0/36}{10}$ یا ۳۶ $\frac{mm}{سال}$ است. در ادامه این مثال اگر متوسط سالانه بارندگی ۶۵۰ $\frac{mm}{سال}$ باشد، آنگاه درصد متوسط تغذیه $\frac{36\times100}{650}=5/5$ ٪ است.

علاوه بر این ما و همکاران (۲۰۰۹) کویر گبی را مورد مطالعه قرار دادند و دریافتند سن تقریبی آب های زیرزمینی در آن بر پایه مقادیر ایزوتوپ ها تقریبا ۲۲۰۰ تا ۳۵۰۰ سال است و در نتیجه منابع آب غیر تجدید شونده هستند (Jinzhu Ma et al., 2009). تیندی موگایا و گای (۲۰۰۳) در منطقه ای شهری در اوگاندا با استفاده از تریتیوم و ^{14}C سن آب زیرزمینی را کاملا بالا محاسبه نمودند و در نتیجه هیچ گونه تغذیه ی فعال و ارتباطی بین بارش و دبی چشمه ها متصور نشدند (Tindimugaya and Gaye, 2003).

گالسال و همکاران (۲۰۰۱) نیز در تحقیقی تجدید شوندگی آب زیرزمینی را در بازه ای از ۰/۰۳ تا ۳ درصد حجم آبخوان در هر سال تعیین نمود (Le Gal La Salle et al., 2001). مطالعه ای ایزوتوپیک در حوزه ای در نیجر بوسیله ی روییدی و

همکاران (۲۰۰۳) نشان داد که نرخ تغذیه بین ۵۰ تا ۲۰۰ میلی متر بر سال است (Rueedi et al., 2003). در ضمن آن ها اعلام کردند بیان نرخ دقیق تغذیه بدلیل مشخص نبودن بسیاری پارامترها در این حوزه بسیار مشکل است.

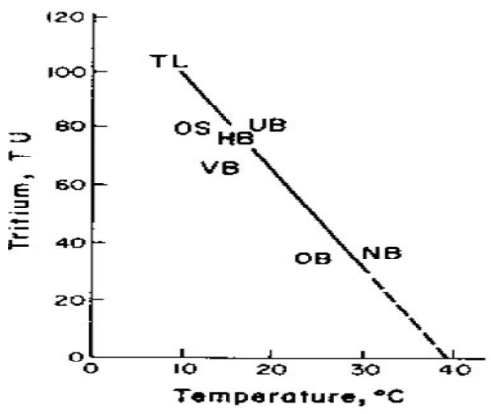
بورونینا و همکاران (۲۰۰۵) با مطالعه بر روی غلظت ایزوتوپ های موجود در آب در قبرس نرخ تغذیه را ۱۳۰-۱۰۰ میلی متر در سال برآورد نمودند (Boronina et al., 2005). کستاندا و همکاران (۲۰۰۳) نیز آبخوان مورد مطالعه ی خود را ترکیبی از سنین مختلف از ۲۷ تا کمتر از ۱۰ سال معرفی کردند (Castaneda et al., 2003). پلاتابدمار و آراگواس (۲۰۰۳) در نتیجه تحقیقی ایزوتوپی در حوزه ای واقع در اسپانیای مرکزی متوسط نرخ تغذیه را ۳۲/۲ میلی متر بر سال بدست آوردند که این معادل ۲۴۴/۷ میلیون متر مکعب در سال در حوزه مذکور است (Plata-Bedmar and Araguas-Araguas, 2003). آن ها همچنین با توجه به توزیع مکانی تغذیه اظهار داشتند ۹۶ در صد تغذیه ی آبخوان در ۴۶ درصد از سطح آن صورت می گیرد. همین طور اوزیارت و بایاری (۲۰۰۳) نرخ تخلیه را از سفره ای کارستی و با استفاده از رادیوایزوتوپ تریتیوم، ۳۱/۵ مترمکعب بر ثانیه برآورد کردند (Ozyurt and Bayari, 2003).

۵- نقش ویژه تریتیوم در ردیابی ترکیب آب قدیمی و آب تازه

در سال های اخیر افزایش مطالعات موردی در مورد انواع مختلف اختلاط آب های زیرزمینی مشهود است. هنگامی که آب زیرزمینی شیرین با مقادیر مختلف آب زیرزمینی شور مخلوط می شود، شرایط برای هیدروشیمیست ها جالب توجه و سخت می شود. نخستین کار یافتن ویژگی های اجزای انتهایی آب مخلوط شده و منشا شان است. سپس این امکان وجود دارد با ارائه راه حلی مناسب، تدبیری صحیح برای تامین آب مورد نیاز با کمیت و کیفیت بهتر ارائه نمود.

دخالت بشر در رژیم آب های زیرزمینی به طور وسیعی در نواحی آلوده موثر است و کیفیت را از چند راه تحت تاثیر قرار می دهد که از آن جمله، تجاوز آب های زیرزمینی شور در نتیجه افت سطح ایستابی در سیستم های نامحصور و کاهش فشار آب در سیستم های محصور که خود ناشی از پمپاژ زیاد آب از چاه های ساحلی می باشد، کاهش تغذیه محلی به علت شهرسازی و آب بندی کردن زمین و تشکیل رواناب در خیابان ها، آلودگی ناشی از آبیاری، صنعت، فاضلاب و غیره را می توان برشمرد. بنابراین یکی از عوامل متداول در زوال آب ها، اختلاط آب های طبیعی با کیفیت های مختلف با یکدیگر و یا اختلاط آب های آلوده و غیر آلوده است.

پارامترهای آب های مخلوط شده روی خطوط مستقیم قرار می گیرند ولی در اکثر مواقع این خطوط دارای همبستگی مثبت هستند. برای مثال در ترکیب آب گرم عمیق با آب سرد کم عمق در اکثر موارد آب عمیق غلظت یونی بیشتری دارد و بنابراین آب عمیق در کلیه ی پارامترها مقدار بیشتری دارد. برای بدست آوردن یک همبستگی منفی ما باید پارامتری پیدا کنیم که در یک آب بیشتر و در دیگری صفر یا کمتر باشد. تریتیوم چنین پارامتری می باشد در شکل۳ مقادیر تریتیوم چشمه ها و چاه های والز واقع در سوئیس نشان داده شده و با برون یابی برای مقدار صفر تریتیوم مقدار حد بالای دمای $39^{\circ}C$ به عنوان عضو انتهایی (یعنی جزئی از این آب مخلوط شده که عمیق تر بوده و سن بالایی دارد) بدست آمده است (Vuataz, 1982).



شکل۳: مقادیر تریتیوم چشمه ها و چاه های مختلف

نتیجه گیری

در جمع بندی همه بخش های فوق می توان گفت با تمام قابلیت ها و امتیازاتی که روش سن سنجی ایزوتوپی نسبت به بقیه روش ها دارد دارای محدودیت هایی نیز هست که علم به آن ها و انجام سنجش های کمکی که جهت رفع این محدودیت ها به کار می روند، ضروری است و ما را در استفاده درست از این ابزار کارا و نیرومند موفق می سازد. در مورد اولین کاربرد ذکر شده باید گفت برخلاف تصور معلوم شد که مقادیر تریتیوم وارد شده در بارندگی کاملا تابع زمان و مکان می باشد و علاوه بر این، اختلاط پیچیده ای که در هر سفره بین آب تغذیه شده در هر سال با سال قبل اتفاق می افتد، مشخص نیست. بنابراین در این دسته از مقالات که تعیین عمر دقیق ،تنها با استفاده از غلظت تریتیوم به جای مانده و بدون آشنایی با خصوصیات سفره، هدف است مقادیر حاصل با خطای بسیار همراه بوده و منجر به درک درستی از سفره نمی شود. هر چند سن سنجی نیمه کمی، با استفاده از اصول زیر، ممکن بوده و بسیار آموزنده است :

- آب با مقدار تریتیوم صفر (در عمل کمتر از ۰/۵ TU) متعلق به زمانی قبل از ۱۹۵۲ است.
- آب با مقدار غلظت تریتیوم قابل توجه متعلق به زمانی بعد از ۱۹۵۲ است.

همچنین در زمینه تعیین محل تغذیه نیز همین مشکلات وجود دارد ولی در مثالی که ذکر شد، سفره تحت فشار و بدون اختلاط بوده و به تبع آن با آن مسائل مواجه نیستیم. در مقالاتی که به ارزیابی سرعت نفوذ می پردازد وجود یک جبهه تریتیومی مشخص که معمولا مربوط به سال های وقوع آزمایشات هسته ای است ضروری می باشد که از آن می توان به عنوان یک محدودیت در این روش یاد کرد، چراکه آخرین آزمایشات هسته ای مربوط به سال ۱۹۶۳ می باشد که با گذشت حدود ۵۰ سال از آن یافتن پالس های ناشی از آن در ناحیه غیراشباع در بسیاری از موارد ممکن نیست.

در ارتباط با برآورد میزان تغذیه سفره تنها مقالاتی که در آن ها از مقادیر تریتیوم ناحیه اشباع استفاده شده، نتایج دقیق و مناسبی در برداشته اند، زیرا به علت زمان سیر طولانی تر آب نسبت به ناحیه غیراشباع، هنوز هم در بسیاری از سفره ها در این ناحیه امکان وجود آب های تغذیه شده در زمان آزمایشات هسته ای وجود دارد. در مطالعات دیگر مانند آنچه توسط ما و همکاران و نیز تیندی موگایا و گای انجام گرفته است، به یک برآورد نیمه کمی بسنده شده و به هیچ مقدار دقیق عددی اشاره نشده است. همچنین در مواردی، مانند تحقیقات گالسال و همکاران و روییدی و همکاران، که بازه هایی را به عنوان برآورد ارائه داده اند، ممکن است دقت پایین باشد. البته این موضوع با در نظر داشتن دقت بسیار کمتر روش های مرسوم خللی به اعتبار روش رادیوایزوتوپی وارد نمی کند.

دیگر کاربرد بحث شده ردیابی ترکیب آب های مختلف است. این گونه مقالات در مناطقی انجام گرفته اند که احتمال اختلاط یک منبع تازه با منبعی قدیمی وجود داشته و این خود به عنوان محدودیت اصلی این روش مطرح است به این معنی که این روش در مواردی که آب های مخلوط شده هردو جدید و یا هردو قدیمی باشند کارایی ندارد.

علاوه بر محدودیت هایی که برای هر روش ذکر شد استفاده از تریتیوم به طور کلی محدودیت هایی دارد که عبارتند از:

۱- این روش بر اساس اندازه گیری غلظت تریتیوم باقی مانده در نمونه است ولی غلظت تریتیوم اولیه از غلظت تریتیوم موجود در اتمسفر محلی ثبت شده گرفته می شود، این غلظت به طور چشمگیری از سالی به سال بعد تغییر می کند. عدم اطمینان از غلظت تریتیوم اولیه مربوط به یک نمونه آب زیرزمینی مورد مطالعه به قدری بزرگ است که این روش را می توان تنها یک روش نیمه کمی دانست.

۲- الگوهای ترکیب آب تازه اضافه شده به سفره و آب زیرزمینی قدیمی تر پیچیده بوده و به زحمت قابل تشخیص است و تخصیص غلظت خاصی به تریتیوم اولیه را مشکل می سازد.

۳- غلظت تریتیوم در اتمسفر و در بارندگی تقریباً به مقدار طبیعی اولیه آن بازگشته و غلظت های تریتیوم در آب زیرزمینی نیز به طور قابل توجهی کاهش یافته است. این موضوع خبر خوبی از نقطه نظر محیط زیستی است ولی نه برای محققین آب، چراکه مقادیر اندک باقیمانده که با افزایش سن آب کمتر هم می شود دیگر قابل اندازه گیری نخواهند بود.

در مورد محدودیت نخست باید گفت با گذشت حدود ۵۰ سال از پایان آزمایشات هسته ای غلظت تریتیوم در اتمسفر به میزان طبیعی خود بازگشته و دیگر نوسان چندانی ندارد و در بسیاری از مطالعات می توان، با توجه به خصوصیات سفره، غلظت اولیه یکسان و برابر با مقدار طبیعی را برای تمام نمونه ها لحاظ نمود. در مورد دوم نیز پیشنهاد می شود مطالعات با این روش تنها به سفره های تحت فشار که محل تغذیه تقریبا مشخصی داشته و در طول مسیر حرکت اختلاطی در آن ها صورت نمی گیرد محدود شود. درباره آخرین محدودیت نیز که همان مقدار ناچیز تریتیوم در نمونه ها است، روش هایی جهت تغلیظ یا غنی سازی نمونه ها توسعه یافته اند که غلظت را با نسبت مشخصی افزایش می دهند تا جایی که با روش های دقیق قابل اندازه گیری باشند. از جمله این روش ها غنی سازی با الکترولیز است.

به منظور افزایش دقت این روش، سنجش هایی تکمیلی توسط محققان مختلف توصیه شده که از آن جمله اندازه گیری محصول واپاشی (^3He) به عنوان جانشین برای غلظت تریتیوم اولیه است. ^3He (هلیوم تریتیوژنیک) مشتق شده از تریتیوم، هنگامی که تریتیوم موجود در آب زیرزمینی متلاشی می شود در آب تجمع می یابد. بنابراین نسبت $\frac{^3H}{^3He}$ با گذشت زمان کاهش می یابد. برای سادگی محاسبات هر دو نسبت یعنی $\frac{^3H}{H}10^{-18}$ و $\frac{^3He}{H}10^{-18}$ برحسب TR (نسبت تریتیوم) بیان می شوند.

اصولاً عمر آب زیرزمینی با اندازه گیری غلظت تریتیوم باقی مانده در نمونه، غلظت ^3He انباشته شده در نمونه و دانستن نیمه عمر تریتیوم که ۱۲/۳ سال است محاسبه می شود. این روش سن سنجی بر فرضیات زیر استوار است:

۱- مقدار ^3He می تواند بر اساس پیش زمینه ای از مقدار هلیوم اتمسفری موجود در هر آب زیرزمینی مشخص شود.

۲- ^3He در نمونه ثابت نگه داشته شده یا میزان افت ناشی از انتشار معلوم است.

۳- تعداد ^3He اضافه نمی شود (برای مثال از مواد سفره زیرزمینی) یا اگر اضافه شود قابل تشخیص است.

روش سن سنجی آب زیرزمینی با تریتیوم-^3He هنوز در مرحله تحقیقاتی قرار دارد. با این وجود تعداد محققانی که از این روش استفاده می کنند در حال افزایش است و به نظر می رسد این روش ردیابی جبهه تریتیومی ۱۹۶۰ را گسترش خواهد داد به طوری که بتواند توسط نسل بعدی هیدرولوژیستها مورد استفاده قرار گیرد چراکه حتی اگر تریتیوم موجود در آب زیرزمینی قابل اندازه گیری نباشد وجود ^3He مقدار تغذیه آب زیرزمینی بعد از سال ۱۹۵۲ را نشان خواهد داد.

پیشنهادات

با توجه به مطالب گفته شده و با در نظر گرفتن تمام ابعاد موضوع استفاده از رادیوایزوتوپ ^3H در هیدرولوژی می توان به فواید بسیار آن پی برد، تا جایی که ضرورت روی آوردن به آن واضح و غیرقابل انکار است. البته باید در نظر داشت که این روش برای تعیین سن در کوتاه مدت (کمتر از یک سال) مناسب نیست. همچنین کاربرد تریتیوم در ناحیه غیر اشباع به علت رطوبت اندک موجود در این بخش نیاز به حجم نمونه بالایی دارد، این موضوع زمانی که عمق مورد نظر جهت نمونه برداری زیاد می شود، روند کار را با مشکلات بسیاری روبه رو می کند. با در نظر گرفتن شرایط فوق و محدودیت هایی که عنوان گردید، روش ها و راهکارهایی را به منظور رفع آن اتخاذ می کنیم. از جمله این اقدامات آن است که محققان با استفاده توام از ^3H و ^{14}C و نیز انجام سنجش تکمیلی ^3He از بروز خطای بزرگ ، به دلیل عدم قطعیت غلظت اولیه تریتیوم، جلوگیری کنند و نیز به وسیله سیستم های مختلف تغلیظ موجود امکان اندازه گیری غلظت های پایین از این عناصر را

فراهم آورند. در پایان باید گفت روی هم رفته روش سن سنجی رادیوایزوتوپی به علت پیچیدگی های موجود در سفره های آزاد آب زیرزمینی که ناشی از اختلاط گسترده آب های مختلف می باشد چندان توصیه نمی شود در صورتی که کارایی و دقت آن در سفره های تحت فشار و محصور بارها به اثبات رسیده است.

منابع

۱- خلج امیرحسینی، ی. و م. نبی پور. ۱۳۸۵. کاربرد ردیاب ها در مطالعات منابع آب، موسسه تحقیقات آب، ص ۷.

۲- قنادی مراغه، م.، ۱۳۸۴. مبانی رادیوشیمی، موسسه فرهنگی انتشاراتی آیه، ص ۳۳۵ و ۳۳۶ و ۳۸۵ و ۳۸۶.

3. Arnikar, H.J. 1981. Isotopes in the Atomic Age. Wiley Eastern Ltd., New Dehli, India, p.128.
4. Arnikar, H.J. 1990. Essentials of Nuclear Chemistry. 3rd Ed., John Wiley, p. 219.
5. Boronina A., W. Balderer, P. Renard & W. Stichler. 2005. Study of stable isotopes in the Kouris catchment (Cyprus) for the description of the regional groundwater flow. Journal of Hydrology, Elsevier B.V., p. 214-226.
6. Bredenkamp, D.B., J.M. Schutte & G.J. Du Toit. 1974. Recharge of a dolomitic aquifer as determined from tritium profiles. In: Isotope Techniques in Groundwater Hydrology 1974. IAEA, Vienna, 1: 73–96.
7. Castaneda S., T. Garcia, L. Fernandez, L. Ascano, H. Maspinas, E. Calonzo, J. Diaz, R. Cabanag & E. Regalaldo. 2003. Isotope Techniques Application in Understanding the Recharge Process of the Davao City Aquifers. International Symposium of Isotope Hydrology and Integrated Water Resources Management,IAEA, p. 317.
8. Edmunds W.M. 2009. Geochemistry's vital contribution to solving water resource problems. Journal of Applied Geochemistry, p. 1058-1073.
9. Evans, E.A. & M. Muramatsu. 1977. Radiotracer Techniques and Applications. Marcel Dekker, New York, p. 273.
10. Friedlander, G., J.W. Kennedy, E.S. Macias & J.M. Miller. 1981. Nuclear and Radiochemistry. 3rd Ed., John Wiley & Sons Inc., New York, p. 68.
11. Harderson, G. 1990. Use of Nuclear Techniques in Soil Plant Relationships. Training Course Series No. 2, IAEA, Vienna, p. 170.
12. Jinzhu Ma, Zhenyu, Ding, W. Mike Edmunds, J.B. Gates & T. Huang. 2009. Limits to recharge of groundwater from Tibetan plateau to the Gobi desert, implications for water management in the mountain front. Journal of Hydrology, Elsevier B.V., p. 128-141.
13. Kazemi, G.A., J.H. Lehr & P. Perrochet. 2006. Groundwater Age. John Wiley & Sons, p. 51-164.
14. Le Gal La Salle, C., C. Marlin, C. Leduc, J.D. Taupin, M. Massault & G. Favreau. 2001. Renewal rate estimation of groundwater based on radioactive tracers (^{3}H , ^{14}C) in an unconfined aquifer in a semi-arid area: Iullemeden Basin, Niger. Journal of Hydrology, Elsevier B.V., p. 145-156.
15. Mazor, E. 2004. Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology Third Edition. Marcel Dekker, Inc., p. 97-113, 181-270.
16. Nachiappan R.M.P., M. Someshwar Rao, B. Kumar, S.V. Navada, Y. Satyanarayana. 2003. Chemical and Isotopic Techniques for Development of Groundwater Management Strategies in a Coastal Aquifer: Krishna River Delta, South India. International Symposium of Isotope Hydrology and Integrated Water Resources Management, IAEA, p. 42-45.
17. Ozyurt N.N. & C.S. Bayari. 2003. Unsteady State Lumped Parameter Modeling of ^{3}H and CFCs Transport: Analyses of Groundwater Residence Time Distribution in a Mountainous Karstic

Aquifer. International Symposium of Isotope Hydrology and Integrated Water Resources Management, IAEA, p. 50-51.
18. Payne, B.R. 1980. Isotope Hydrology in Latin America. IAEA Bulletin, 18(3/4): 37-41.
19. Plata-Bedmar A. & L.J. Araguas-Araguas. 2003. Evaluation of Modern Recharge in the Los Arenales Detritic Aquifer, Central Spain. International Symposium of Isotope Hydrology and Integrated Water Resources Management, IAEA, p. 40-41.
20. Rao, P.S. 1999. Guest Editor "Nuclear Agriculture and Biotechnology". IANCAS Bulletin, 15(1): 17-19.
21. Rueedi J., R. Purtschert, M.S. Brennwald, M. Hofer & R. Kipfer. 2003. Estimating Amount and Spatial Distribution of Ground-water Recharge in the Jullemeden Basin (Niger) Based on 3H, 3He and CFC-11 Measurements. International Symposium of Isotope Hydrology and Integrated Water Resources Management, IAEA, p. 25-27.
22. Sharma, A.K. 1998. Guest Editor "Preservation of food by Ionising Radiation". IANCAS, 14(1): 28-29.
23. Sood, D.D., S.B. Manohar & A.V.R. Reddy. 1994. Experimentals in Radiochemistry. Eds, IANCAS Publication, Mumbai, p. 25.
24. Tindimugaya C., C.B. Gaye. 2003. Use of Isotopes in the Management of Kisoro Town Water Supply, Uganda. International Symposium of Isotope Hydrology and Integrated Water Resources Management, IAEA, p. 233-234.
25. Tölgyessy, J. & M. Kyrs. 1989. Radioanalytical Chemistry. Vol. 1 and 2, Ellis Howard Ltd., England, p. 171.
26. Vuataz, F.D. 1982. Hydrologie. ge´ochimie et ge´othermie des eaux thermales de Suisse et des regions Alpines limitrophes. Mate´riaux pour la ge´ologie de la Suisse hydrologie No. 29. Kummerly & Frey Georgraphischer Verlag, Berne, p. 17.

The Application of Nuclear Technique of Radio isotopic Dating in Hydrology

Iman Karimirad
M. Sc. Student of Water Engineering Department of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources; ikarimirad@yahoo.com
Musa Hesam
Assistant Professor of Water Engineering Department of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources; mhesam@yahoo.com
Ali Bahrami Samani
Assistant Professor of Nuclear Fuel cycle of Atomic Energy Organization of Iran; asamani@aeoi.org.ir
Abdolmajid Izadpanah
Assistant Professor of Physics Department of Golestan University; amjizadpanah@yahoo.com

Abstract

In recent years the topic of using of nuclear science and technology in various fields, as an efficient tool, has attracted attention and extensive research for developing applications in advanced countries, have been done or is ongoing. In our country with regard to achieving the full nuclear fuel cycle technology, great strides to compensate backwardness and exposure among the leading countries in this field has taken. However, there are still some aspects that haven't been issued; one of them is application of radioisotopes as a tracer in hydrological studies. Considering the results of numerous studies in many parts of the world, the need to address this technique seems to be trivial. In this method radioisotopes of ^{3}H is used to determine the water cycle parameters such as the percentage of mixing, residence time and flow rate. Due to lack of applied research within the country, this paper is to review the method and among nuclear techniques, use of natural radioisotope of tritium, in terms of existing infrastructure of Iran's nuclear industry, has selected. In this research, various studies were based on radioisotope data are checked, the limitations of this technique expressed, and the solutions offered. It was concluded that Radioisotopic dating techniques is not recommended in the free aquifers, Due to the wide complexity caused by the mixing of the water. While the efficiency and accuracy in confined aquifers has been proved repeatedly.

Keywords: Groundwater, Dating, Radioisotope, Tritium