



دانشگاه گوارزی و منابع طبیعی گوان

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیستم، شماره ششم، ۱۳۹۲

<http://jwsc.gau.ac.ir>

تعیین سن آب زیرزمینی در سفره تحت فشار استان گلستان از طریق اندازه‌گیری تریتیوم

*ایمان کریمی‌راد^۱، موسی حسام^۲، علی بهرامی‌سامانی^۳ و عبدالمجید ایزدپناه^۴

^۱دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

^۲استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

^۳استادیار پژوهشکده چرخه سوخت سازمان انرژی اتمی ایران،

^۴استادیار گروه فیزیک، دانشگاه گلستان

تاریخ دریافت: ۹۱/۹/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۲/۱۰

چکیده

تنها منبع مطمئن و دائمی تأمین آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک و کویری به‌خصوص در صورت وقوع خشک‌سالی‌ها، منابع آب زیرزمینی می‌باشد. آب‌خوان آبرفتی استان گلستان با دارا بودن از گستره وسیع، ضخامت نسبتاً زیاد و نهشته‌های ناپیوسته، حجم عظیمی از آب را در خود ذخیره نموده است. آبنمود سفره تحت فشار در این آب‌خوان نشان‌دهنده اضافه برداشت می‌باشد. این برداشت بی‌رویه می‌تواند مشکلاتی مانند ماسه‌دهی چاه‌ها، پیشروی آب شور در نواحی شمالی دشت و نشست زمین در سطح دشت را ایجاد نماید. در این شرایط لزوم مدیریت بهینه مصرف از این آب‌خوان آشکار است. دست‌یابی به این هدف جز با شناخت دقیق وضعیت آب‌خوان امکان‌پذیر نخواهد بود. یکی از روش‌های نوین در مطالعه آب‌های زیرزمینی استفاده از رادیوایزوتوپ‌ها می‌باشد. در این مطالعه هدف تعیین سن آب زیرزمینی در سطح سفره تحت فشار استان گلستان با استفاده از رادیوایزوتوپ تریتیوم می‌باشد. نتایج این پژوهش نشان داد که تعدادی از نمونه‌های جمع‌آوری شده از سطح آب‌خوان دارای تغذیه جدید (سنی بین ۵ تا ۱۰ سال) و بقیه مخلوطی از تغذیه جدید و تغذیه قبل از سال ۱۹۵۲ (سن بالای ۶۰ سال) می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، رادیوایزوتوپ، تریتیوم، سن‌سنجی، آب‌خوان تحت فشار استان گلستان

* مسئول مکاتبه: ikarimirad@yahoo.com

مقدمه

گسترش بحران جهانی آب در نیم قرن گذشته شدیدترین تأثیر را در مناطق خشک و نیمه خشک جهان داشته است. در حقیقت، موفقیت بسیاری از طرح‌های حاضر برای توسعه اقتصادی وابسته به بهره‌برداری درست و مؤثر از منابع آب می‌باشد. با گسترش سکونت در مناطقی که آب سطحی وجود ندارد و یا مقدار آن کم است، استفاده از منابع آب زیرزمینی به‌عنوان جایگزینی مطمئن، مورد توجه قرار گرفت، به طوری که در برخی مناطق آب‌های زیرزمینی به‌عنوان تنها منبع تأمین آب محسوب می‌شوند (عسکری، ۲۰۱۰). بخش وسیعی از کشور ما در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته است. متوسط بارندگی سالیانه ایران تقریباً رقمی معادل ۲۴۰ میلی‌متر است که کمتر از یک سوم مقدار بارندگی متوسط خشکی‌های زمین می‌باشد (علیزاده، ۲۰۰۱). در سال‌های گذشته افزایش جمعیت در کشور، محدودیت منابع آب‌های سطحی و بهره‌برداری بیش از اندازه از آب‌خوان‌ها باعث وارد آمدن خسارات جبران‌ناپذیری به منابع آب زیرزمینی کشور شده است. علاوه بر افت شدید سطح آب در آب‌خوان‌ها، فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و شهری آلاینده‌های مختلفی را به آب‌خوان‌ها تحمیل می‌کنند. برای جلوگیری از ادامه افت کمی و کیفی، مدیریت بهره‌برداری و حفاظت از آب‌های زیرزمینی باید به‌عنوان یک اصل و پایه در برنامه‌ریزی‌های کشور قرار گیرد.

در آب‌خوان‌های آبرفتی استان گلستان تنها مؤلفه ورودی به سفره دوم (تحت فشار)، تغذیه جانبی بوده که در اراضی جنوبی و مخروط افکنه‌ای دشت اتفاق می‌افتد و مؤلفه‌های خروجی شامل برداشت توسط چاه‌های حفر شده در این سفره و خروجی زیرزمینی به دریای مازندران می‌باشد. میزان تغذیه آب‌خوان آبرفتی ۱۱۵۶/۸۱ میلیون مترمکعب و میزان خروجی از آن ۱۱۷۵/۱۶ میلیون مترمکعب می‌باشد. در نتیجه کسری حجم ذخیره آب‌خوان آبرفتی ۱۸/۳۵ میلیون مترمکعب است که از این میزان حدود ۸۰ درصد آن متوجه آب‌خوان عمیق می‌باشد. هیدروگراف معرف سفره آزاد دشت که برای یک دوره ۱۵ ساله تهیه شده نشان می‌دهد فشار پیژومتری در سفره تحت فشار استان به‌طور متوسط با شدت ۱/۳۳۸ متر بر سال در حال افت می‌باشد (مهندسین مشاور کنکاش عمران، ۲۰۰۹). با این برداشت بی‌رویه از آب‌خوان بروز مشکلاتی مانند ماسه‌دهی چاه‌ها، پیشروی آب شور در نواحی شمالی و نشست زمین در سطح دشت ممکن می‌باشد. در این شرایط لزوم مدیریت بهینه مصرف از این آب‌خوان آشکار است. دست‌یابی به این هدف جز با شناخت دقیق وضع موجود امکان‌پذیر نخواهد بود.

عناصری با عدد اتمی یکسان و عدد جرمی متفاوت را ایزوتوپ‌های یک عنصر گویند. تریتیوم (T یا 3H) دارای عدد جرمی سه (یک پروتون و دو نوترون) است. در ترکیب اتمی مولکول‌های آب به‌طور متوسط تنها 5×10^{-6} درصد تریتیوم وجود دارد. تریتیوم رادیواکتیو است، یعنی به مرور زمان اتم‌های آن واپاشیده شده و به 3He تبدیل می‌شود و در جریان واپاشی پرتو بتا گسیل می‌کند. ناپایداری تریتیوم این امکان را می‌دهد که با اندازه‌گیری غلظت آن در آب موردنظر سن آن، یعنی مدت زمانی که از بارش آن می‌گذرد را محاسبه نمود (رابطه ۱).

$$\ln[A_t] = -\lambda t + \ln[A_0] \quad (1)$$

که در آن t زمان بر حسب سال، $[A_t]$ غلظت تریتیوم در زمان t ، $[A_0]$ غلظت اولیه تریتیوم و λ ثابت واپاشی تریتیوم و برابر با 0.056 بر سال می‌باشد (کاظمی و همکاران، ۲۰۰۶).

غلظت تریتیوم در آب با نسبت اتم‌های آن به اتم‌های هیدروژن معمولی بیان می‌شود، به طوری که هر 10^{-18} از آن یک واحد تریتیوم (TU^1) تعریف شده است. میزان تولید طبیعی تریتیوم حدود $5 TU$ تعیین شده است. منشاء انسانی تریتیوم به آزمایش بمب‌های هسته‌ای مربوط می‌شود. معاهده‌ای بین‌المللی آزمایش سطحی بمب‌های هسته‌ای را در سال ۱۹۶۳ متوقف کرد و از آن پس غلظت تریتیوم در بارندگی روندی نزولی را طی نمود (مازور، ۲۰۰۴). این موضوع از نقطه نظر زیست‌محیطی خوشایند ولی از نظر هیدرولوژیکی نامطلوب است، زیرا غلظت تریتیوم در طبیعت دوباره به میزان طبیعی خود (حدود $5 TU$) بازگشت و اندازه‌گیری میزان آن را مشکل ساخت. ولی در چند دهه اخیر با دستیابی به تجهیزات مدرن و دقیق، شناسایی و شمارش مقادیر ایزوتوپ‌ها در مقیاس بسیار کم امکان‌پذیر شده و دانشمندان را به استفاده از این ابزار قدرتمند در شناسایی فرآیندهای هیدرولوژیکی امیدوار ساخته است. یکی از روش‌های افزایش غلظت تریتیوم در آب به منظور اندازه‌گیری مقادیر بسیار کم آن به غنی‌سازی 2 الکترولیزی موسوم است. به این معنی که هنگام الکترولیز شدن مولکول‌های آب، به‌طور عمده مولکول‌هایی که هیدروژن معمولی دارند در واکنش شرکت کرده و مولکول‌های دارای تریتیوم در آب باقیمانده و در نتیجه غلظت آن افزایش می‌یابد.

1- Tritium Unit

2- Enrichment

در هیدرولوژی آب‌های سطحی و زیرزمینی استفاده از ردیاب‌های ایزوتوپی روش با ارزشی برای مطالعات آب‌شناسی و مدیریت منابع آب محسوب می‌شود. در این روش علاوه بر منشاء یابی رسوبات که به منظور تعیین مناطق فرسایش‌پذیر انجام می‌گیرد، ایزوتوپ‌های پایدار همچون ^2H و ^{18}O و رادیوایزوتوپ‌های طبیعی همچون ^3H و ^{14}C و نیز ردیاب‌های ایزوتوپی مصنوعی جهت تعیین پارامترهای فرآیندی آب‌های زیرزمینی مانند درصد اختلاط، زمان اقامت و سرعت جریان استفاده شده‌اند (سود^۱ و همکاران، ۱۹۹۴). نشت‌یابی لوله‌های مدفون و تعیین مناطق نشت از بدنه سدها از دیگر کاربردهای ردیاب‌های رادیواکتیو است. با توجه به دستاوردهای بزرگ کشور ما در زمینه استفاده صلح‌آمیز از انرژی هسته‌ای و پیشرفت‌های پر شتاب علوم و فنون هسته‌ای در جهان و نیز توسعه این روش‌ها در عرصه‌های مختلف، ضرورت پرداختن به آن امری بدیهی به نظر می‌رسد. امید است این پژوهش به گسترش کاربردهای دانش هسته‌ای در مدیریت منابع آب کشور و شناخت بهتر خصوصیات آب‌های زیرزمینی یاری رساند.

کاربرد رادیوایزوتوپ به‌عنوان یک ردیاب به‌وسیله کارهای اولیه یک دانشمند مجاری به‌نام جورج هوسی^۲ در سال ۱۹۲۳ مطرح شد. جریبی^۳ و همکاران (۲۰۰۳) با استفاده از ایزوتوپ‌ها در دشتی در کشور تونس به‌این نتیجه دست یافتند که سفره سطحی در تمام سطح دشت تغذیه شده در حالی که سفره عمیق تنها در بخش خاصی از دشت و در بالادست جریان آب زیرزمینی تغذیه می‌شود. زین^۴ و همکاران (۲۰۰۳) براساس نتایج مطالعات ایزوتوپی نشان دادند که هیچ ارتباطی بین چشمه‌های موجود در حوضه مورد مطالعه و آب‌خوان آن وجود ندارد و آن‌ها از خارج محدوده تغذیه می‌شوند.

کاستاندا^۵ و همکاران (۲۰۰۳) آب‌خوان مورد مطالعه خود را ترکیبی از سنین مختلف از ۲۷ تا کمتر از ۱۰ سال معرفی کردند. تیندی موگایا و گای^۶ (۲۰۰۳) در منطقه‌ای شهری در اوگاندا با استفاده از تریتیوم و ^{14}C سن آب زیرزمینی را کاملاً بالا محاسبه نمودند و در نتیجه هیچ‌گونه تغذیه فعال و ارتباط بین بارش و دبی چشمه‌ها متصور نشدند.

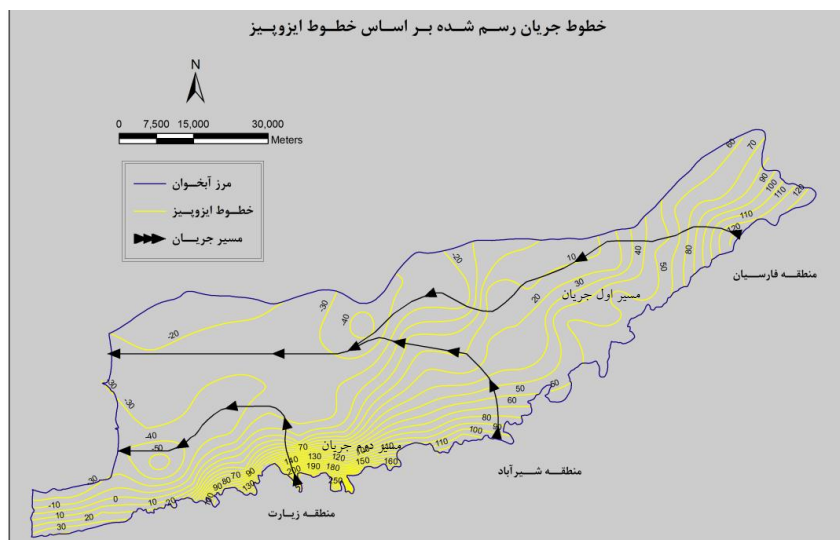
-
- 1- Sood
 - 2- George Hevesy
 - 3- Jeribi
 - 4- Zine
 - 5- Castaneda
 - 6- Tindimugaya and Gaye

پرداختن به این موضوع با توجه به عدم سابقه انجام مطالعات کاربردی در داخل کشور، ضروری به نظر می‌رسد. از این رو مطالعه حاضر ضمن اندازه‌گیری سن آب زیرزمینی و تعیین روند تجدیدشوندگی آب‌خوان مورد مطالعه دستورالعملی اجرایی جهت انجام مطالعات رادیوایزوتوپی برپایه تریتیوم را ارائه می‌دهد.

مواد و روش‌ها

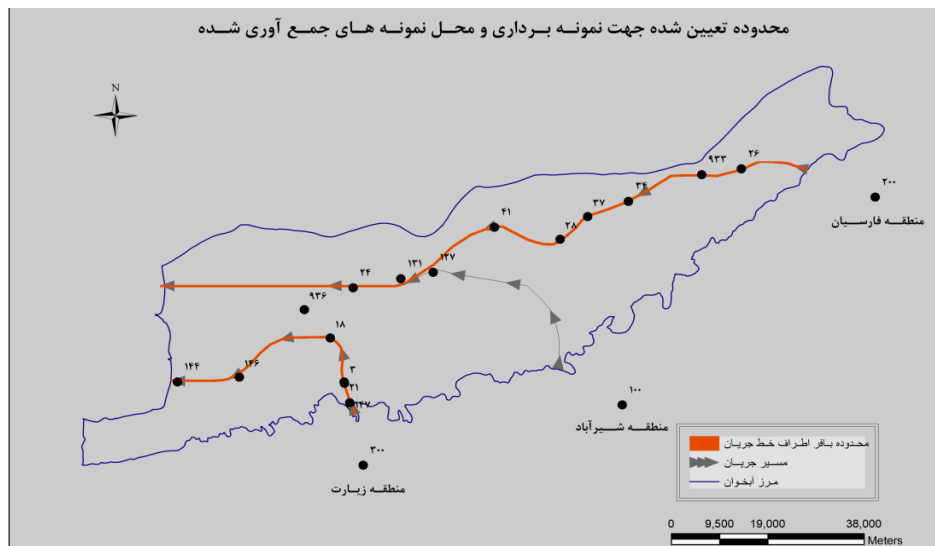
محدوده مورد مطالعه در این پژوهش طبق طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه، دارای اقلیم مرطوب معتدل، مرطوب نیمه‌معتدل و نیمه‌خشک معتدل می‌باشد. آب‌خوان‌های آبرفتی استان گلستان در حوضه رودخانه‌های قره‌سو و گرگانرود وسعتی برابر با $4101/2$ کیلومتر مربع دارد و از نظر تقسیمات کشوری به‌طور کامل در استان گلستان قرار گرفته است. این آب‌خوان به‌صورت یکپارچه و پیوسته از دریای مازندران در غرب تا کلالة در شرق به‌طول حدود 130 کیلومتر و عرض حدود 35 کیلومتر از دامنه ارتفاعات جنوبی تا دیوار اسکندر در شمال امتداد دارد. این سفره آب زیرزمینی به لحاظ وسعت و توان آبدهی دارای شرایط هیدروژئولوژیکی خوبی بوده و بخش اعظم نیازهای شرب و حدود 65 درصد از مصارف کشاورزی محدوده را تأمین می‌کند.

به‌دلیل عدم امکان مطالعه بر روی ایزوتوپ‌های پایدار و تعیین محل تغذیه هر نمونه (به‌علت موجود نبودن تجهیزات موردنیاز)، سعی شد نقاط نمونه‌برداری بر روی چند خط جریان با نقاط تغذیه مشخص که عمود بر خطوط هم‌تراز پیزومتریک (ایزوپیز) رسم شده‌اند، قرار گیرند. محل تغذیه خط جریان حوضه آبریز گرگانرود (مسیر اول) در ارتفاعات جنوبی از جمله مناطق فارسین و شیرآباد واقع شده و مسیر جریان حوضه آبریز قره‌سو (مسیر دوم) از مناطق مختلف از جمله زیارت تغذیه می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱- نقشه سه مسیر جریان رسم شده عمود بر خطوط ایزوپیز.

به دلیل قرار نگرفتن هیچ نقطه‌ای در ۴۰ کیلومتر انتهایی محدوده تعیین شده برای مسیر اول، ۳ نقطه که تا ۲ کیلومتر با خط جریان فاصله داشتند، در فهرست نقاط مورد نظر قرار گرفتند. لازم به ذکر است تمام این نمونه‌ها از چاه‌های بهره‌برداری عمیق برداشت گردید. سه نمونه باران نیز از ارتفاعات محل تغذیه سه مسیر جریان جمع‌آوری گردید. همچنین در محدوده حوضه آبریز قره‌سو یک نمونه آب زیرزمینی از چاهی کم عمق که در سفره سطحی حفر گردیده بود برداشت شد (شکل ۲ و جدول ۱). نمونه‌برداری در روزهای دوم و سوم خرداد سال ۱۳۹۰ انجام شد و در نهایت ۱۰ نمونه در مسیر اول (حوضه آبریز گرگانرود) و ۵ نمونه نیز در مسیر دوم (حوضه آبریز قره‌سو) جمع‌آوری گردید. فواصل تقریبی نقاط نمونه‌برداری از یکدیگر ۱۰ کیلومتر می‌باشد. نمونه‌ها از چاه‌هایی با مصارف کشاورزی یا شرب گرفته شد و جهت انجام آزمایش به آزمایشگاه انتقال یافت.



شکل ۲- محدوده تعیین شده جهت نمونه‌برداری و محل نمونه‌های جمع‌آوری شده.

جدول ۱- مشخصات نمونه‌های جمع‌آوری شده.

ردیف	شماره نمونه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	نوع نمونه	عمق چاه	مصرف	شهرستان مربوطه	نام شهر یا روستا
۱	۳	۲۷۱۳۱۱	۴۰۸۲۶۳۸	چاه عمیق	۳۶	کشاورزی	گرگان	جعفرآبادکنار شهر
۲	۱۸	۲۶۸۵۰۴	۴۰۹۱۹۹۸	چاه عمیق	۳۸	کشاورزی	آق فلا	یامپی
۳	۲۱	۲۷۱۲۴۸	۴۰۸۲۸۹۴	چاه سطحی	۲۰	دامداری	گرگان	جعفرآبادکنار شهر
۴	۲۴	۲۷۳۰۲۸	۴۱۰۲۳۱۹	چاه عمیق	۴۰	کشاورزی	آق فلا	آق فلا
۵	۲۶	۳۴۹۵۹۲	۴۱۲۶۸۵۰	چاه عمیق	۴۲	شرب	گنبد	ایگدر سفلی
۶	۲۸	۳۱۳۸۰۲	۴۱۱۲۳۱۸	چاه عمیق	۳۲	کشاورزی	گنبد	ایمرملاسازی
۷	۳۴	۳۲۷۲۸۸	۴۱۲۰۱۷۵	چاه عمیق	۳۲	شرب	گنبد	حالی آخوند
۸	۳۷	۳۱۹۲۴۵	۴۱۱۷۰۱۰	چاه عمیق	۳۲	کشاورزی	گنبد	سلاق نوری
۹	۴۱	۳۰۰۸۷۷	۴۱۱۴۸۴۳	چاه عمیق	۳۷	کشاورزی	آق فلا	یلمه سالیان
۱۰	۱۰۰	۳۲۶۱۰۹	۴۰۷۸۱۵۸	باران	-	-	علی آباد	ایستگاه شیرآباد
۱۱	۱۲۷	۲۸۸۷۹۶	۴۱۰۵۵۰۹	چاه عمیق	۳۳	کشاورزی	آق فلا	چین سیبلی
۱۲	۱۳۱	۲۸۲۴۱۶	۴۱۰۴۲۰۴	چاه عمیق	۳۷	کشاورزی	آق فلا	سیدلر
۱۳	۱۴۴	۲۳۸۳۴۸	۴۰۸۲۹۲۰	چاه عمیق	۷۰	کشاورزی	ترکمن	نیازآباد
۱۴	۱۴۶	۲۵۰۵۷۰	۴۰۸۳۹۰۳	چاه عمیق	۵۰	کشاورزی	کردکوی	مهرکلاته
۱۵	۱۴۷	۲۷۲۳۴۳	۴۰۷۸۶۳۹	چاه عمیق	۱۶۴	شرب	گرگان	گرگان
۱۶	۲۰۰	۳۷۵۹۹۶	۴۱۲۱۰۲۰	باران	-	-	گالیکش	ایستگاه فارسیان
۱۷	۳۰۰	۲۷۴۹۷۶	۴۰۶۵۷۵۰	باران	-	-	گرگان	ایستگاه زیارت
۱۸	۹۳۳	۳۴۱۷۸۰	۴۱۲۵۶۶۵	چاه عمیق	۳۳	کشاورزی	گنبد	حاجیلر قلعه
۱۹	۹۳۶	۲۶۳۳۷۰	۴۰۹۷۸۲۶	چاه عمیق	۳۲	کشاورزی	ترکمن	حاجیلر قلعه

کلیه اندازه‌گیری‌ها بر روی نمونه‌ها در مجموعه آزمایشگاه‌های جابربن حیان پژوهشکده علوم و فنون هسته‌ای انجام گرفت. یکی از روش‌های دقیق برای اندازه‌گیری مقدار تریتیوم در غلظت‌های بسیار پایین، شمارش سوسوزن مایع (LSC)^۱ است. اساساً فرآیند سنتیلاسیون تبدیل انرژی پدیده واپاشی رادیواکتیو به فوتون‌های نور است. غلظت ۱۵-۱۰ TU به‌طور مستقیم با LSC قابل اندازه‌گیری است. برای غلظت‌های پایین‌تر تریتیوم، بعد از تقطیر جهت زدودن ناخالصی‌ها و مواد آلی، تریتیوم آب تغلیظ یا غنی‌سازی می‌شود. یک مقدار ثابت از شمارش انجام شده در هر اندازه‌گیری مربوط به محیط بوده و ارتباطی با میزان پرتوزایی نمونه ندارد. این مقدار با قرار دادن یک نمونه فاقد تریتیوم در کنار سایر نمونه‌ها و شمارش همزمان آن‌ها قابل اندازه‌گیری است. هر مقداری که توسط دستگاه به‌عنوان پرتوزایی این نمونه تعیین گردد زمینه^۲ نامیده می‌شود و به نمونه استفاده شده آب مرده^۳ می‌گویند. غنی‌سازی به روش الکترولیزی انجام می‌گیرد و در هر بار راه‌اندازی سامانه دو نمونه تغلیظ می‌شود (شکل ۳). از آن‌جا که جریان عبوری بیانگر میزان پیشرفت فرآیند الکترولیز است، باید مقدار آن در هر لحظه ثبت گردد. برای الکترولیز نمونه به حدود ۴۵۰ آمپرساعت جریان نیاز است (۲/۹۷۸ آمپرساعت برای الکترولیز هر گرم آب).



شکل ۳- دستگاه غنی‌سازی تریتیوم استفاده شده جهت تغلیظ نمونه‌ها.

- 1- Liquid Scintillation Counting
- 2- Background
- 3- Dead Water

در مرحله بعد باید نمونه‌ها یکبار دیگر تقطیر شوند. سپس جهت انجام شمارش توسط دستگاه شمارش سوسوزن مایع نمونه‌های زیر را در سینی مخصوص دستگاه LSC قرار می‌دهیم:

نمونه اصلی: ۸ میلی‌لیتر از نمونه آب تقطیر شده به همراه ۱۰ میلی‌لیتر محلول سنتیلاتور High Safe

نمونه زمینه: ۸ میلی‌لیتر آب مرده به همراه ۱۰ میلی‌لیتر محلول سنتیلاتور High Safe

نمونه استاندارد: ۸ میلی‌لیتر محلول استاندارد با اکتیویته (پرتوزایی) مورد نیاز، به همراه ۱۰ میلی‌لیتر محلول سنتیلاتور High Safe.

لازم است نمونه‌ها مخلوط شوند تا هموژن گردند. مدت شمارش برای نمونه‌های تریتیوم ۵۰۰ دقیقه است.

پارامترهای دستگاهی مورد نیاز جهت اندازه‌گیری تریتیوم نمونه‌ها شامل بازده دستگاه شمارش و ضریب تغلیظ دستگاه غنی‌سازی می‌باشد. بازده دستگاه شمارش بیانگر سطح دریافت پرتو در هنگام اندازه‌گیری و ضریب تغلیظ دستگاه غنی‌سازی نشان‌دهنده میزان افزایش غلظت تریتیوم در نمونه‌ها می‌باشد. با در اختیار داشتن نتایج شمارش نمونه‌ها بازده دستگاه شمارش از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\varepsilon = \frac{\frac{N_s - N_b}{T_s - T_b}}{A \cdot V} \quad (3)$$

که در آن: ε = بازده شمارش دستگاه برای اندازه‌گیری ^3H ، N_s = تعداد شمارش برای نمونه استاندارد، T_s = زمان شمارش نمونه استاندارد (دقیقه)، N_b = تعداد شمارش برای نمونه زمینه، T_b = زمان شمارش نمونه زمینه (دقیقه)، A = پرتوزایی ^3H در نمونه استاندارد (Bq)، V = حجم نمونه آب مورد آزمایش (لیتر) است.

همچنین با استفاده از رابطه زیر می‌توان ضریب تغلیظ دستگاه غنی‌سازی را محاسبه نمود:

$$EF = \frac{\frac{N_{es} - N_b}{T_{es} - T_b}}{\frac{N_s - N_b}{T_s - T_b}} \quad (4)$$

که در آن EF = ضریب تغلیظ، N_{es} = تعداد شمارش برای نمونه استاندارد تغلیظ شده، T_{es} = زمان شمارش استاندارد تغلیظ شده (دقیقه) است.

محاسبه پرتوزایی نمونه‌ها: پس از محاسبه پارامترهای دستگاهی، پرتوزایی نمونه‌ها طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$A(^3\text{H}) = \frac{N_s \cdot N_b}{T_s \cdot T_b} \cdot \varepsilon \cdot V \cdot EF \quad (5)$$

که در آن: $A(^3\text{H})$ = پرتوزایی ^3H بر حسب تعداد واپاشی در دقیقه در هر گرم (dpm/gr)، N_s = تعداد شمارش نمونه ^3H ، T_s = زمان شمارش نمونه (دقیقه) است.

در مطالعات سن‌سنجی رادیوایزوتوپی کشور به علت عدم ثبت مقادیر تاریخی موجودی تریتیوم آب باران، سن‌یابی باید براساس سال انفجارات هسته‌ای انجام گیرد. برطبق دستورالعمل کاربرد روش‌های ردیابی در مطالعات آب‌خوان‌های آبرفتی، در حالت کلی برای مقادیر مختلف تریتیوم موجود در آب زیرزمینی می‌توان طول عمرهای مشخصی را متصور شد (جدول ۲).
ارقام این دستورالعمل برای سنجش‌های سال ۱۹۹۶ می‌باشد که با گذشت حدود ۱۶ سال از آن زمان غلظت‌ها اصلاح شده‌اند.

جدول ۲- مقادیر تریتیوم مربوط به سنین مختلف آب در روش سن‌یابی کیفی.

بازه مقادیر تریتیوم (TU)		سن آب
نواحی ساحلی	نواحی قاره‌ای	
کمتر از ۰/۳۳	کمتر از ۰/۳۳	تغذیه آب‌خوان قبل از سال ۱۹۵۲
۰/۳۳-۰/۸۲	۰/۳۳-۲	مخلوطی از تغذیه جدید و تغذیه قبل از سال ۱۹۵۲
۳/۳-۸/۲	۲-۶/۱	تغذیه جدید (بین ۵ تا ۱۰ سال)
۰/۸۲-۳/۳	۶/۱-۱۲/۲۵	تغذیه از سال ۱۹۶۳
بیشتر از ۸/۲	۱۲/۲۵-۲۰/۴	سهم عمده تغذیه مربوط به اواخر دهه ۶۰ و اوایل دهه ۷۰
-	بیشتر از ۲۰/۴	عمده تغذیه از سال ۱۹۶۳ تا ۱۹۶۹

نتایج و بحث

آب مرده موردنیاز از آزمایشگاه تریتیوم دانشگاه میامی ایالات متحده خریداری گردید. این نمونه از عمق ۱۰۰ متری زیر سطح ایستابی یک چاه تهیه شده و مقدار تریتیوم در آن پایین‌تر از حد قابل اندازه‌گیری (۰/۱ TU) است و می‌تواند به‌عنوان زمینه، برای سنجش میزان کوئنچ در هنگام آزمایش

به کار رود. همچنین به منظور تعیین ضریب تغلیظ از استاندارد با مشخصات زیر استفاده گردید: تاریخ تولید: ۲۰۰۴/۴/۲۴، اکتیویته در زمان تولید (برحسب کیلو بکرل بر گرم): ۴۰۱۲۳۰/۵ kBq/gr، زمان نمونه سازی: ۲۰۱۱/۱۲/۱.

با استفاده از رابطه واپاشی تریتیوم، اکتیویته استاندارد در زمان نمونه سازی ۲۶۲۳۹۹/۸ kBq/gr با معادل ۱۵۹۸۸۵۹۹/۸ dpm/gr محاسبه گردید. از این استاندارد مقدار ۲۰ میلی گرم برداشته و به حجم ۲۰۰ میلی لیتر رسانده شد. از نمونه حاصل ۴۸۰ میلی گرم جدا کرده و مجدداً به حجم ۲۰۰ میلی لیتر رسید. در نتیجه اکتیویته نمونه ساخته شده ۳/۸۳۷ dpm/gr می باشد. ۱۷۵ میلی لیتر از نمونه ساخته شده نیز به غنی سازی اختصاص داده شد. نتایج شمارش این نمونه ها نیز در جدول زیر آورده شده است.

جدول ۳- میزان اکتیویته اندازه گیری شده تریتیوم در نمونه آب مرده و نمونه های استاندارد.

خطا	اکتیویته (cpm ^۱)	وزن (گرم)	نمونه
۱/۱۱۹	۱۴۴/۰۵۹	۸	نمونه استاندارد تغلیظ شده
۰/۵۲۳	۳۲/۴۴۷	۸	نمونه استاندارد اولیه
۰/۱۸۷	۱۲/۵	۸	آب مرده

لازم به ذکر است واحد cpm ذکر شده در جدول ۳ بیانگر تعداد شمارش در دقیقه با استفاده از مقدار اکتیویته نمونه استاندارد تغلیظ نشده در جدول ۳ و نیز میزان اکتیویته واقعی (dpm/gr) نمونه استاندارد در زمان انجام آزمایش که برابر ۳/۸۳۷ به دست آمد، بازده دستگاه شمارش سوسوزن مایع (LSC) از طریق رابطه ۲ محاسبه و مقدار ۶۵ درصد را نتیجه داده است. ضریب تغلیظ نیز با در اختیار داشتن مقادیر اکتیویته تریتیوم قبل و بعد از انجام عملیات تغلیظ و با استفاده از رابطه ۳ برابر ۶/۶ محاسبه گردید. این به معنای آن است که سیستم تغلیظ به کار رفته توانسته اکتیویته تریتیوم را که نشان دهنده غلظت آن در نمونه آب می باشد، تا ۶/۶ برابر افزایش دهد. به عبارت دیگر غنی سازی الکترولیزی به روش انجام شده در این پژوهش قادر خواهد بود مقادیر تریتیوم زیر ۱ TU را قابل اندازه گیری نماید که این خود به معنی قابلیت استفاده از تریتیوم در مطالعات هیدرولوژیکی در بازه زمانی حدود ۵۰ سال می باشد.

پس از شمارش اولیه نمونه‌ها، همان‌طور که پیش‌بینی می‌شد، مشخص گردید هیچ مقدار قابل اندازه‌گیری از تریتیوم در نمونه‌ها موجود نبوده و انجام عملیات غنی‌سازی روی نمونه‌ها ضروری است. پس از انجام فرآیند غنی‌سازی بر روی نمونه‌ها شمارش مجدد به‌وسیله دستگاه LSC انجام گرفت. در ادامه با استفاده از فرمول محاسبه پرتوزایی در نمونه (رابطه ۵)، اکتیویته واقعی (dpm) نمونه‌ها را قبل از تغلیظ محاسبه و با توجه به مقادیر جدول ۲ سن آب زیرزمینی در نقاط موردنظر تعیین گردید (جدول ۴). براین اساس نمونه‌های شماره ۳، ۱۸، ۲۱، ۲۸، ۳۷، ۱۰۰، ۱۴۶، ۱۴۷، ۳۰۰ و ۹۳۶ تغذیه جدید و دارای سنی بین ۵ تا ۱۰ سال می‌باشند. بقیه نمونه‌ها مخلوطی از تغذیه جدید و تغذیه قبل از سال ۱۹۵۲ می‌باشند. در شکل ۴ پراکنش نمونه‌ها براساس سن آن‌ها نشان داده شده است.

جدول ۴- میزان اکتیویته واقعی تریتیوم و سن آب زیرزمینی در نقاط نمونه‌برداری.

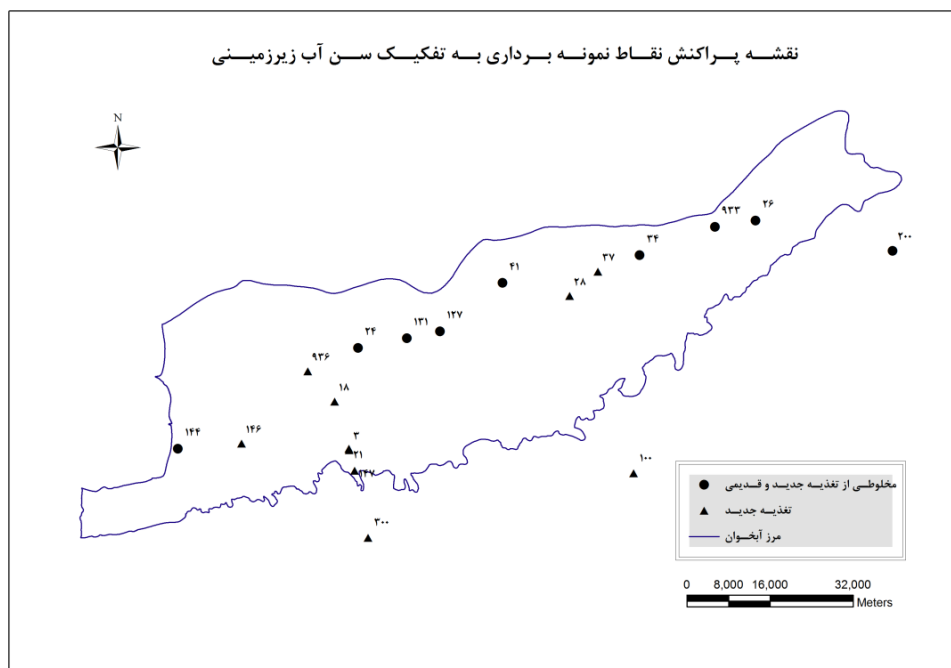
شماره نمونه	اکتیویته واقعی تریتیوم (dpm/gr)	اکتیویته واقعی تریتیوم (TU)	سن نمونه
۳	۲/۵۴۱۰۲۵	۲/۳۳۰۸۹۷	تغذیه جدید (بین ۵ تا ۱۰ سال)
۱۸	۲/۵۸۶۶۶۹	۲/۳۷۲۵۸۲	تغذیه جدید (بین ۵ تا ۱۰ سال)
۲۱	۲/۲۲۶۱۹	۲/۰۴۲۰۹۷	تغذیه جدید (بین ۵ تا ۱۰ سال)
۲۴	۱/۸۶۹۷۰۳	۱/۷۱۵۰۸۹	مخلوطی از تغذیه جدید و تغذیه قبل از سال ۱۹۵۲
۲۶	۱/۳۰۸۳۱۴	۱/۲۰۰۱۲۴	مخلوطی از تغذیه جدید و تغذیه قبل از سال ۱۹۵۲
۲۸	۲/۳۷۸۶۲	۲/۱۸۱۲۲۶	تغذیه جدید (بین ۵ تا ۱۰ سال)
۳۴	۰/۹۸۱۱۹۹	۰/۹۰۰۰۵۹	مخلوطی از تغذیه جدید و تغذیه قبل از سال ۱۹۵۲
۳۷	۲/۷۴۹۵۱۶	۲/۵۲۲۱۴۶	تغذیه جدید (بین ۵ تا ۱۰ سال)
۴۱	۱/۸۷۴۴۵۸	۱/۷۱۹۴۵۱	مخلوطی از تغذیه جدید و تغذیه قبل از سال ۱۹۵۲
۱۰۰	۲/۶۲۸۳۵۳	۲/۴۱۱۰۰۳	تغذیه جدید (بین ۵ تا ۱۰ سال)
۱۲۷	۱/۲۴۳۶۴۹	۱/۱۴۰۸۰۷	مخلوطی از تغذیه جدید و تغذیه قبل از سال ۱۹۵۲
۱۳۱	۱/۹۸۶۲۲۸	۱/۸۲۱۹۷۸	مخلوطی از تغذیه جدید و تغذیه قبل از سال ۱۹۵۲
۱۴۴	۱/۴۱۶۹۹۳	۱/۲۹۹۸۱۵	مخلوطی از تغذیه جدید و تغذیه قبل از سال ۱۹۵۲
۱۴۶	۲/۸۹۹۷	۲/۶۵۹۹۱۱	تغذیه جدید (بین ۵ تا ۱۰ سال)
۱۴۷	۲/۷۰۹۲۹۳	۲/۴۸۵۲۵	تغذیه جدید (بین ۵ تا ۱۰ سال)
۲۰۰	۱/۵۲۵۸۱۷	۱/۳۹۹۶۴۱	مخلوطی از تغذیه جدید و تغذیه قبل از سال ۱۹۵۲
۳۰۰	۲/۵۱۵۷۶۶	۲/۳۰۷۷۲۷	تغذیه جدید (بین ۵ تا ۱۰ سال)
۹۳۳	۱/۸۷۵۵۹۵	۱/۷۲۰۴۹۴	مخلوطی از تغذیه جدید و تغذیه قبل از سال ۱۹۵۲
۹۳۶	۲/۹۴۷۶۲۲	۲/۷۰۳۸۷۱	تغذیه جدید (بین ۵ تا ۱۰ سال)

این پژوهش گذشته از نتایج به دست آمده در رابطه با آب‌خوان مورد مطالعه، می‌تواند به عنوان دستورالعملی کاربردی جهت استفاده پژوهش‌گران کشور به منظور اندازه‌گیری غلظت بسیار پایین تریتیوم در نمونه‌های آب‌زیرزمینی با توجه به امکانات داخلی ارائه گردد و عرصه‌ای جدید را در مطالعات هیدرولوژیک، بهداشتی و بسیاری زمینه‌های دیگر پیش روی پژوهش‌گران قرار دهد.

با توجه به مطالب گفته شده روش غنی‌سازی الکترولیزی راهکاری مناسب جهت افزایش غلظت در نمونه‌های طبیعی که مقادیر بسیار کمی تریتیوم دارند می‌باشد. با این روش می‌توان غلظت تریتیوم را به حدی رساند که با روش LSC قابل اندازه‌گیری باشد. با توجه به ضریب تغلیظ به دست آمده، این روش قادر خواهد بود مقادیر تریتیوم زیر 1 TU را قابل اندازه‌گیری نماید که این خود به معنی قابلیت استفاده از تریتیوم طبیعی موجود در آب‌های زیرزمینی در مطالعات هیدرولوژیکی در بازه زمانی حدود ۵۰ سال می‌باشد.

نمونه‌های مربوط به حوضه قره‌سو همگی دارای سن پایین و تغذیه جدید می‌باشند، به جز نمونه ۱۴۴ که علاوه بر وجود آب قدیمی ذخیره شده در این منطقه، با توجه به نزدیکی به دریا (فاصله ۲ کیلومتری)، می‌تواند نشان‌دهنده اختلاط با آب دریا باشد.

در محدوده حوضه قره‌سو روند تغییرات کاهشی میزان تریتیوم از محل تغذیه (ارتفاعات) به سمت دشت در دو نمونه اول (نمونه‌های شماره ۱۴۷ و ۳) برقرار است ولی در نمونه‌های ۱۸ و ۱۴۶ این روند معکوس شده است. احتمالاً میزان تریتیوم نمونه ۱۴۶ به علت پیوستن جریان‌های تغذیه شده از ارتفاعات جنوبی منطقه به خط جریان مورد بررسی (مسیر دوم) افزایش یافته است. در مورد نمونه ۱۸ تنها علت احتمالی پایین بودن سن، ارتباط زیرزمینی با بخشی از آب‌خوان که در حوضه گرگانرود واقع شده می‌باشد.



شکل ۴- نقشه پراکنش نقاط نمونه برداری به تفکیک سن آب زیرزمینی.

در میان نمونه‌های برداشت شده در حوضه آبریز گرگانرود، نمونه‌های ۲۸، ۳۷ و ۹۳۶ تغذیه جدید دارند. احتمالی که در مورد این نمونه‌ها وجود دارد پیوستن جریان‌های تغذیه شده از ارتفاعات جنوبی منطقه به خط جریان مورد بررسی (مسیر اول) می‌باشد. زیرا این جریان‌ها مسیر کوتاه‌تری را پیموده و در نتیجه احتمالاً سن کمتری نیز دارند و باعث کاهش سن متوسط در این ناحیه شده‌اند.

در مجموع آبخوان آبرفتی استان گلستان در محدوده حوضه آبریز قره‌سو بسیار جوان بوده و در مدت کمتر از ۱۰ سال تجدید و بازپس‌سازی می‌شود. در نتیجه به سرعت تحت تأثیر تغییرات کمی و کیفی قرار می‌گیرد. این تغییرات می‌توانند شامل خشک‌سالی، برداشت بی‌رویه و یا نشر آلودگی در آبخوان باشد. البته این حساسیت باعث می‌شود که آبخوان پس از رفع عامل تغییر کمی یا کیفی نیز به همان سرعت احیا شود، به شرط آن‌که ظرفیت نگهداشت آن به‌دلیلی مانند نشست زمین کاهش پیدا نکرده باشد. بنابراین می‌توان گفت در این بخش از آبخوان فاصله زمانی بین خشک‌سالی هواشناسی و خشک‌سالی هیدروژئولوژیکی نسبتاً کم است.

عدم وجود آب‌های ذخیره شده قدیمی در آب‌خوان آبرفتی استان گلستان و در محدوده حوضه آبریز قره‌سو امکان برنامه‌ریزی برای تمام آب موجود در آب‌خوان را فراهم می‌آورد. زیرا اگر شرایط آب و هوایی تغییر خاصی نداشته باشد می‌توان از تجدیدپذیری کل حجم آب‌خوان در کوتاه‌مدت مطمئن بود.

در محدوده واقع در حوضه آبریز گرگانرود ذخائر آب قدیمی وجود دارد که از تأثیر تغییرات کمی و کیفی به‌وجود آمده در آب‌خوان می‌کاهد و در نتیجه درجه اطمینان به این آب‌خوان را بالا می‌برد. ولی از سوی دیگر باید در بهره‌برداری از این بخش سفره، برنامه‌ریزی‌ها را تا حد امکان به حجم تجدید شونده آب‌خوان (آب‌های جوان) معطوف نمود. چراکه با اتمام ذخائر آب قدیمی ضمن از بین رفتن اطمینان کنونی به آب‌خوان، آب تجدید شونده باقیمانده پاسخگوی نیازهای تعریف شده نخواهد بود. با شرایط حاکم بر این بخش آب‌خوان، سیاست‌های محدودکننده برداشت تأثیرگذار می‌باشد.

منابع

1. Alizade, A. 2001. Principles of Applied Hydrology. Ferdowsy University of Mashhad, 815p. (In Persian)
2. Askari, M. 2010. Modeling of Groundwater Pollution Dispersion, Case Study: Qazvin Plain. Thesis for Degree of M.Sc, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 240p. (In Persian)
3. Castaneda S., Garcia T., Fernandez L., Ascano L., Maspinas H., Calonzo E., Diaz J., Cabanag R., and Regalaldo E. 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, 317p.
4. Jeribi, L., Zouari, K., Michelit, J.L., and Gaye, C.B. 2003. Contribution of Environmental Isotopes to the Study of Recharge and Dynamics of the Multilayered Aquifer System of Zeroud Basin (Kairouan Plain, Central Tunisia), International Symposium of Isotope Hydrology and Integrated Water Resources Management, IAEA, 31-33p.
5. Kakash Omran Consultind Engineers, 2009. Updating of Integrated Studies of Water Resources in Gharasoo and Gorganrood Basins Report. Water Resources Fundamentals Researches Institute 10: 17-29, 40p. (In Persian)
6. Kazemi, G.A., Lehr, J.H., and Perrochet, P. 2006. Groundwater Age. John Wiley and Sons, 51-164p.
7. Mazor, E. 2004. Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology Third Edition. Marcel Dekker, Inc., 97-113, 181-270p.

- 8.Sood, D.D., Manohar, S.B., and Reddy, A.V.R. 1994. Experimentals in Radiochemistry. Eds, IANCAS Publication, Mumbai.
- 9.Tindimugaya, C., Gaye, C.B. 2003. Use of Isotopes in the Management of Kisoro Town Water Supply, Uganda, International Symposium of Isotope Hydrology and Integrated Water Resources Management, IAEA, 233-234p.
- 10.Zine, N., Zerouali, A., Taleb, M., Latifa, L., Qurtobi, M., IBN Majah, M., Marah, H., Safsaf, N., Gaye, C.B., Aggarwal, P., Krimissa, M., and Michelot, J.L. 2003. Origin and Residence Times of the Groundwater in the Multilayered Aquifer of Tadla (Morocco), International Symposium of Isotope Hydrology and Integrated Water Resources Management, IAEA, 37-39p.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 20(6), 2013
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Dating of groundwater in confined aquifer of Golestan Province using Tritium measurement

***I. Karimi Rad¹, M. Hesam², A. Bahrami Samani³ and
A.M. Izadpanah⁴**

¹M.Sc. Student, Dept. of Water Engineering, Dept. of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ²Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ³Assistant Prof., Dept. of Nuclear Fuel cycle of Atomic Energy Organization of Iran, ⁴Assistant Prof., of Physics, of Golestan University

Received: 11/19/2012; Accepted: 03/12/2013

Abstract

The groundwater is the most reliable and permanent source of water in arid and semi-arid regions, especially in the event of droughts. Alluvial aquifer of Golestan province having a wide area, relatively large thickness of sediments and non continuous deposits, has a large volume of water. Confined aquifer hydrograph reveals excessive consumption. This misuse can cause sand problems of wells, the salty water in the northern part of the plain and subsidence. In this situation, the necessity of the optimal management of this aquifer is obvious. For this purpose, aquifer characteristics should be known. Radioisotope dating is one of the newest methods in the field of groundwater developed based on the nuclear sciences. This study aimed to determine the age of groundwater in the confined aquifer of Golestan province using tritium radioisotope. This quantity, in turn, can be used as a tool to study flow paths, the horizontal and vertical flow rate, estimation of aquifer recharge rate, tracing of groundwater contamination, characterization of seawater intrusions and so on. This study showed that some samples collected from the aquifer have a new recharge (age 5 to 10 years) and the rest are a mix of new and before 1952 recharge (age 60 years).

Keywords: Groudwater, Radioisotope, Tritium, Dating, Golestan province confined aquifer.

* Corresponding author; Email: ikarimirad@yahoo.com

