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]

[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،
[۲]استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،
[۳]استادیار پژوهشکده چرخه سوخت سازمان انرژی اتمی ایران،
[۴]استادیار 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 تحت‌فشار 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 به‌این هدف جز با شناخت دقیق وضعیت آب‌خوان امکان‌پذیر نخواهد بود. یکی از روش‌های نوین در مطالعه آب‌های زیرزمینی استفاده از رادیوایزوتوپ‌ها می‌باشد. دراین مطالعه هدف تعیین سن آب‌زیرزمینی در سطح سفره تحت‌فشار 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 تحت‌فشار استان گلستان

* مسئول مکاتبه: ikarimirad@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

گسترش بحران جهانی آب در نیم قرن گذشته شدیدترین تأثیر را در مناطق خشک و نیمه خشک جهان داشته است. در حقیقت، موفقیّت 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، به‌طوری‌که 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 ۲٤۰ 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. علاوه‌بر 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 ۱۱٥٦/۸۱ میلیون مترمکعب و میزان خروجی از آن ۱۱۷٥/۱٦ میلیون مترمکعب می‌باشد. در نتیجه کسری حجم ذخیره آب‌خوان آبرفتی ۱۸/۳٥ میلیون مترمکعب است که از این میزان حدود ۸۰ درصد آن متوجه آب‌خوان عمیق می‌باشد. هیدروگراف معرف سفره آزاد دشت که برای یک دوره ۱٥ ساله تهیه شده نشان می‌دهد فشار پیزومتری 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 به‌این هدف جز با شناخت دقیق وضع موجود امکان‌پذیر نخواهد بود.

Archive of SID

www.SID.ir

عناصری با عدد اتمی یکسان و عدد جرمی متفاوت را ایزوتوپ‌های یک عنصر گویند. تریتیوم (T یا ^{3}H) 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 ^{3}He 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 زمانی‌که از بارش آن می‌گذرد را محاسبه نمود (رابطه ۱).

$$\ln[A_t]= - \lambda t + \ln[A_0] \qquad (۱)$$

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 ۰/۰۵۶ بر سال می‌باشد (کاظمی و همکاران، ۲۰۰۶).

غلظت تریتیوم در آب با نسبت اتم‌های آن به اتم‌های هیدروژن معمولی بیان می‌شود، به‌طوری‌که هر 10^{-18} از آن یک واحد تریتیوم (TU[1]) تعریف شده است. میزان تولید طبیعی تریتیوم حدود TU ۵ 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 به‌میزان طبیعی خود (حدود TU ۵) 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 ازاین ابزار قدرتمند در شناسایی فرآیندهای هیدرولوژیکی امیدوار ساخته است. یکی از روش‌های افزایش غلظت تریتیوم در آب به‌منظور اندازه‌گیری مقادیر بسیار کم آن به غنی‌سازی[2] الکترولیزی موسوم است. به‌این معنی‌که هنگام الکترولیز شدن مولکول‌های آب، به‌طورعمده 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

Archive of SID
www.SID.ir

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 علاوه‌بر منشاءیابی رسوبات که به‌منظور تعیین مناطق فرسایش‌پذیر انجام می‌گیرد، ایزوتوپ‌های پایدار همچون ^{2}H و ^{18}O و رادیوایزوتوپ‌های طبیعی همچون ^{3}H 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[1] و همکاران، ۱۹۹٤). نشت‌یابی لوله‌های مدفون و تعیین مناطق نشت از بدنه سدها از دیگر کاربردهای ردیاب‌های رادیواکتیو است. باتوجه 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 به‌نظر 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[2] در سال ۱۹۲۳ مطرح شد. جریبی[3] 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 حالی‌که سفره عمیق تنها در بخش خاصی از دشت و در بالادست جریان آب زیرزمینی تغذیه می‌شود. زین[4] 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.

کستاندا[5] 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[6] (۲۰۰۳) در منطقه‌ای شهری در اوگاندا با استفاده از تریتیوم و ^{14}C سن آب‌زیرزمینی را کاملا 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

www.SID.ir

پرداختن به‌این موضوع با توجه به عدم سابقه انجام مطالعات کاربردی در داخل کشور، ضروری به‌نظر می‌رسد. از این‌رو 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.

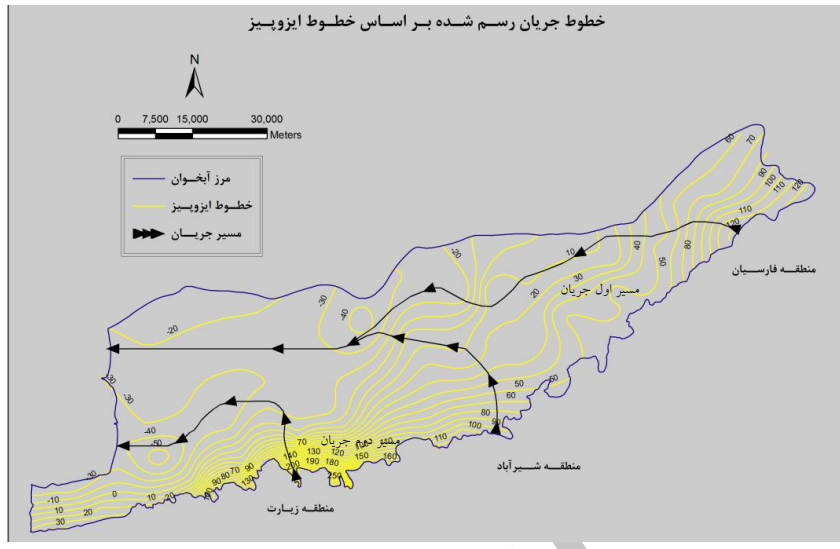
مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه دراین 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 ٤١٠١/٢ 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 کلاله در شرق به‌طول حدود ۱۳۰ کیلومتر و عرض حدود ۳۵ 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 ٦٥ 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 هم تراز پیزومتریک (ایزوپیز) رسم شده‌اند، قرار گیرند. محل تغذیه خط جریان حوضه آبریز گرگانرود (مسیر اول) در ارتفاعات جنوبی از جمله مناطق فارسیان و شیرآباد واقع شده و مسیر جریان حوضه آبریز قره‌سو (مسیر دوم) از مناطق مختلف از جمله زیارت تغذیه می‌شود (شکل ۱).

Archive of SID

www.SID.ir

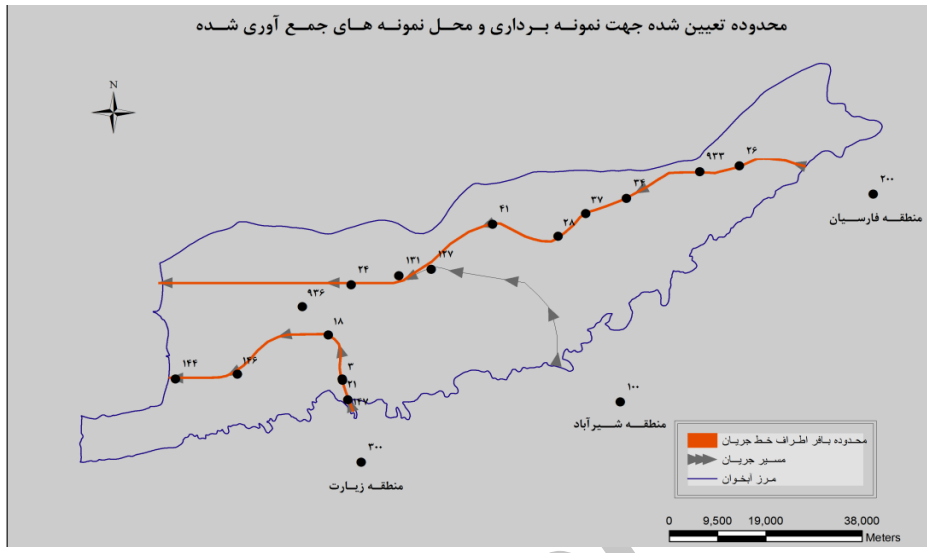


شکل ۱- نقشه سه مسیر جریان رسم شده عمود بر خطوط ایزوپیز.

به‌دلیل قرار نگرفتن هیچ نقطه‌ای در ٤٠ کیلومتر انتهایی محدوده تعیین شده برای مسیر اول، ۳ نقطه که تا ۲ کیلومتر با خط جریان فاصله داشتند، در فهرست نقاط موردنظر 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.

www.SID.ir



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	٤٠٨٢٦٣٨	چاه عمیق	۳٦	کشاورزی	گرگان	جعفرآبادکنارشهر
۲	۱۸	۲٦٨٥٠٤	٤٠٩١٩٩٨	چاه عمیق	۳۸	کشاورزی	آق قلا	یامپی
۳	۲۱	۲۷۱۲٤۸	٤٠٨٢٨٩٤	چاه سطحی	۲۰	دامداری	گرگان	جعفرآبادکنارشهر
٤	۲٤	۲۷۳۰۲۸	٤١٠٢٣١٩	چاه عمیق	٤٠	کشاورزی	آق قلا	آق قلا
٥	۲٦	۳٤٩٥٩۲	٤١٢٦٨٥٠	چاه عمیق	٤۲	شرب	گنبد	ایگدر سفلی
٦	۲۸	۳۱۳۸۰۲	٤١١٢٣١٨	چاه عمیق	۳۲	کشاورزی	گنبد	ایمرملاساری
۷	۳٤	۳۲۷۲۸۸	٤١٢٠١٧٥	چاه عمیق	۳۲	شرب	گنبد	حالی آخوند
۸	۳۷	۳۱۹۲٤٥	٤١١٧٠١٠	چاه عمیق	۳۲	کشاورزی	گنبد	سلاق نوری
۹	٤۱	۳۰۰۸۷۷	٤١١٤٨٤۳	چاه عمیق	۳۷	کشاورزی	آق قلا	یلمه سالیان
۱۰	۱۰۰	۳۲٦۱۰۹	٤٠٧٨١٥٨	باران	–	–	علی آباد	ایستگاه شیرآباد
۱۱	۱۲۷	۲۸۸۷۹٦	٤١٠٥٥٠٩	چاه عمیق	۳۳	کشاورزی	آق قلا	چین سیبلی
۱۲	۱۳۱	۲۸۲٤۱٦	٤١٠٤۲٠٤	چاه عمیق	۳۷	کشاورزی	آق قلا	سیدلر
۱۳	۱٤٤	۲۳۸۳٤۸	٤٠٨۲٩۲٠	چاه عمیق	۷٠	کشاورزی	ترکمن	نیازآباد
۱٤	۱٤٦	۲٥٠٥۷٠	٤٠٨۳٩٠۳	چاه عمیق	٥٠	کشاورزی	کردکوی	مهترکلاته
۱٥	۱٤۷	۲۷۲۳٤۳	٤٠٧٨٦۳٩	چاه عمیق	١٦٤	شرب	گرگان	گرگان
۱٦	۲۰۰	۳۷٥۹۹٦	٤١۲١٠۲٠	باران	–	–	گالیکش	ایستگاه فارسیان
۱۷	۳۰۰	۲۷٤۹۷٦	٤٠٦٥۷٥٠	باران	–	–	گرگان	ایستگاه زیارت
۱۸	۹۳۳	۳٤۱۷۸٠	٤١۲٥٦٦٥	چاه عمیق	۳۳	کشاورزی	گنبد	حاجیلر قلعه
۱۹	۹۳٦	۲٦۳۳۷٠	٤٠٩۷۸۲٦	چاه عمیق	۳۲	کشاورزی	ترکمن	

Archive of SID
www.SID.ir

کلیه اندازه‌گیری‌ها بر روی نمونه‌ها در مجموعه آزمایشگاه‌های جابربن‌حیان پژوهشکده علوم و فنون هسته‌ای انجام گرفت. یکی از روش‌های دقیق برای اندازه‌گیری مقدار تریتیوم در غلظت‌های بسیار پایین، شمارش سوسوزن مایع (LSC)[1] است. اساساً فرآیند سنتیلاسیون تبدیل انرژی پدیده واپاشی رادیواکتیو به فوتون‌های نور است. غلظت TU ۱۵-۱۰ 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[2] نامیده می‌شود و به نمونه استفاده شده آب مرده[3] 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 ٤٥٠ 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

Archive of SID

www.SID.ir

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 به‌همراه ۱۰ میلی‌لیتر محلول سنتیلاتور High Safe

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

نمونه استاندارد: ۸ میلی‌لیتر محلول استاندارد با اکتیویته (پرتوزایی) موردنیاز، به‌همراه ۱۰ میلی‌لیتر محلول سنتیلاتور High Safe.

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

پارامترهای دستگاهی موردنیاز 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 به‌دست می‌آید:

$$\varepsilon = \frac{\frac{N_s}{T_s} - \frac{N_b}{T_b}}{A.V} \qquad (۳)$$

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:

$$EF = \frac{\frac{N_{es}}{T_{es}} - \frac{N_b}{T_b}}{\frac{N_s}{T_s} - \frac{N_b}{T_b}} \qquad (٤)$$

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

www.SID.ir

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

$$A(^3H) = \frac{\frac{N_S}{T_S} - \frac{N_b}{T_b}}{\varepsilon.V.EF} \qquad (۵)$$

که در آن: $A(^3H)$= پرتوزایی ^3H بر حسب تعداد واپاشی در دقیقه در هر گرم (dpm^1/gr)، N_S= تعداد شمارش نمونه ^3H، T_S= زمان شمارش نمونه (دقیقه) است.

در مطالعات سن‌سنجی رادیوایزوتوپی کشور به‌علت 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 ۱۹۹٦ می‌باشد که با گذشت حدود ١٦ سال از آن زمان غلظت‌ها اصلاح شده‌اند.

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

سن آب	بازه مقادیر تریتیوم (TU)	
	نواحی قاره‌ای	نواحی ساحلی
تغذیه آب‌خوان قبل از سال ۱۹۵۲	کمتر از ۰/۳۳	کمتر از ۰/۳۳
مخلوطی از تغذیه جدید و تغذیه قبل از سال ۱۹۵۲	۰/۳۳-۲	۰/۳۳-۰/۸۲
تغذیه جدید (بین ۵ تا ۱۰ سال)	۲-٦/۱	۳/۳-۸/۲
تغذیه از سال ۱۹٦۳	٦/۱-۱۲/۲۵	۰/۸۲-۳/۳
سهم عمده تغذیه مربوط به اواخر دهه ٦۰ و اوایل دهه ۷۰	۱۲/۲۵-۲۰/٤	بیشتر از ۸/۲
عمده تغذیه از سال ۱۹٦۳ تا ۱۹٦۹	بیشتر از ۲۰/٤	-

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

1- Disintegrations Per Minute

Archive of SID
www.SID.ir

به‌کار رود. همچنین به‌منظور تعیین ضریب تغلیظ از استانداردی با مشخصات زیر استفاده گردید: تاریخ تولید: ۲۰۰٤/٤/۲٤، اکتیویته در زمان تولید (برحسب کیلو بکرل بر گرم): ٤۰۱۲۳۰/۵ kBq/gr، زمان نمونه‌سازی: ۲۰۱۱/۱۲/۱.

با استفاده از رابطه واپاشی تریتیوم، اکتیویته استاندارد در زمان نمونه‌سازی ۲٦۲۳۹۹/۸ kBq/gr معادل ۱۵۹۸۸۵۹۹/۸ dpm/gr محاسبه گردید. از این استاندارد مقدار ۲۰ میلی‌گرم برداشته و به حجم ۲۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. از نمونه حاصل ٤۸۰ میلی‌گرم جدا کرده و مجدداً به حجم ۲۰۰ میلی‌لیتر رسید. در نتیجه اکتیویته نمونه ساخته شده ۳/۸۳۷ dpm/gr می‌باشد. ۱۷۵ میلی‌لیتر از نمونه ساخته شده نیز به غنی‌سازی اختصاص داده شد. نتایج شمارش این نمونه‌ها نیز در جدول زیر آورده شده است.

جدول ۳- میزان اکتیویته اندازه‌گیری شده تریتیوم در نمونه آب مرده و نمونه‌های استاندارد.

نمونه	وزن (گرم)	اکتیویته (cpm[1])	خطا
نمونه استاندارد تغلیظ شده	۸	۱٤٤/۰۵۹	۱/۱۱۹
نمونه استاندارد اولیه	۸	۳۲/٤٤۷	۰/۵۲۳
آب مرده	۸	۱۲/۵	۰/۱۸۷

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 به‌دست آمد، بازده دستگاه شمارش سوسوزن مایع (LSC) از طریق رابطه ۲ محاسبه و مقدار ٦۵ 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 ٦/٦ محاسبه گردید. این به معنای آن است که سیستم تغلیظ به‌کار رفته توانسته اکتیویته تریتیوم را که نشان‌دهنده غلظت آن در نمونه آب می‌باشد، تا ٦/٦ برابر افزایش دهد. به‌عبارت دیگر غنی‌سازی الکترولیزی به‌روش انجام شده در این پژوهش قادر خواهد بود مقادیر تریتیوم زیر TU ۱ را قابل اندازه‌گیری نماید که این خود به معنی قابلیت استفاده از تریتیوم در مطالعات هیدرولوژیکی در بازه زمانی حدود ۵۰ سال می‌باشد.

1- Count per Minute

www.SID.ir

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 ٤). براین اساس نمونه‌های شماره ۳، ۱۸، ۲۱، ۲۸، ۳۷، ۱۰۰، ۱٤٦، ۱٤۷، ۳۰۰ و ۹۳٦ 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 ٤ پراکنش نمونه‌ها براساس سن آن‌ها نشان داده شده است.

جدول ٤- 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	۲/٥٤۱۰۲٥	۲/۳۳۰۸۹۷	تغذیه جدید (بین ۵ تا ۱۰ سال)
۱۸	۲/٥۸٦٤٦۹	۲/۳۷۲٥۸۲	تغذیه جدید (بین ۵ تا ۱۰ سال)
۲۱	۲/۲۲٦۱۹	۲/۰٤۲۰۹۷	تغذیه جدید (بین ۵ تا ۱۰ سال)
۲٤	۱/۸٦۹۷۰۳	۱/۷۱٥۰۸۹	مخلوطی از تغذیه جدید و تغذیه قبل از سال ۱۹۵۲
۲٦	۱/۳۰۸۳۱٤	۱/۲۰۰۱۲٤	مخلوطی از تغذیه جدید و تغذیه قبل از سال ۱۹۵۲
۲۸	۲/۳۷۷۸٦۲	۲/۱۸۱۲۲٦	تغذیه جدید (بین ۵ تا ۱۰ سال)
۳٤	۰/۹۸۱۱۹۹	۰/۹۰۰۰٥۹	مخلوطی از تغذیه جدید و تغذیه قبل از سال ۱۹۵۲
۳۷	۲/۷٤۹٥۱٦	۲/٥۲۲۱٤٦	تغذیه جدید (بین ۵ تا ۱۰ سال)
٤۱	۱/۸۷٤٤٥۸	۱/۷۱۹٤٥۱	مخلوطی از تغذیه جدید و تغذیه قبل از سال ۱۹۵۲
۱۰۰	۲/٦۲۸۳٥۳	۲/٤۱۱۰۰۳	تغذیه جدید (بین ۵ تا ۱۰ سال)
۱۲۷	۱/۲٤۳٦٤۹	۱/۱٤۰۸۰۷	مخلوطی از تغذیه جدید و تغذیه قبل از سال ۱۹۵۲
۱۳۱	۱/۹۸٦۲۲۸	۱/۸۲۱۹۷۸	مخلوطی از تغذیه جدید و تغذیه قبل از سال ۱۹۵۲
۱٤٤	۱/٤۱٦۹۹۳	۱/۲۹۹۸۱٥	مخلوطی از تغذیه جدید و تغذیه قبل از سال ۱۹۵۲
۱٤٦	۲/۸۹۹۷	۲/٦٥۹۹۱۱	تغذیه جدید (بین ۵ تا ۱۰ سال)
۱٤۷	۲/۷۰۹۲۹۳	۲/٤۸٥۲٥	تغذیه جدید (بین ۵ تا ۱۰ سال)
۲۰۰	۱/٥۲٥۸۱۷	۱/۳۹۹٦٤۱	مخلوطی از تغذیه جدید و تغذیه قبل از سال ۱۹۵۲
۳۰۰	۲/٥۱٥۷٦٦	۲/۳۰۷۷۲۷	تغذیه جدید (بین ۵ تا ۱۰ سال)
۹۳۳	۱/۸۷٥٥۹٥	۱/۷۲۰٤۹٤	مخلوطی از تغذیه جدید و تغذیه قبل از سال ۱۹۵۲
۹۳٦	۲/۹٤۷٦۲۲	۲/۷۰۳۸۷۱	تغذیه جدید (بین ۵ تا ۱۰ سال)

Archive of SID

www.SID.ir

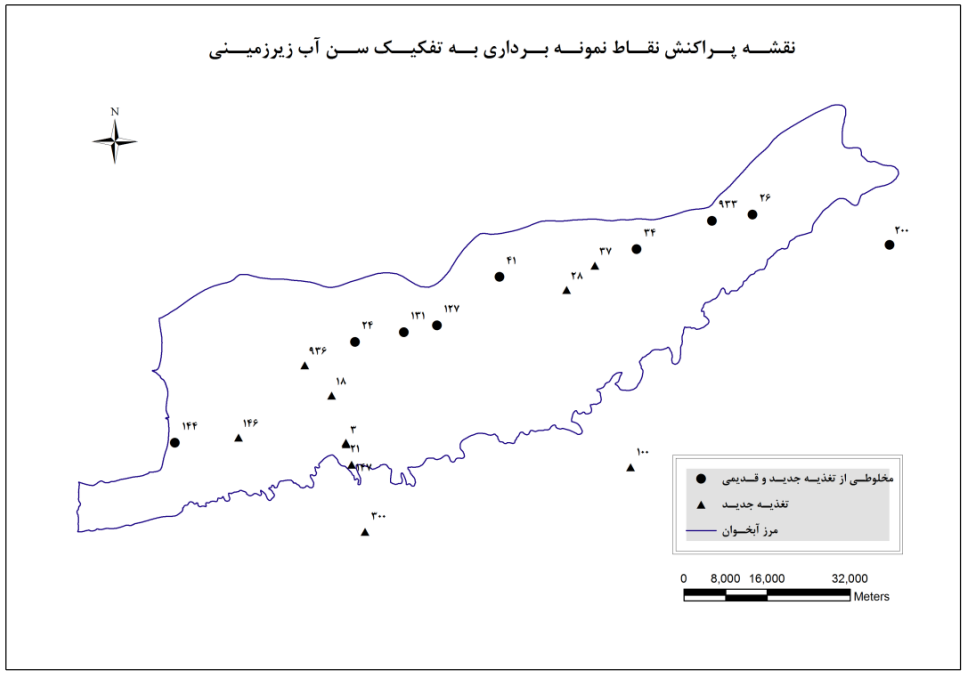
این پژوهش گذشته از نتایج به‌دست آمده در رابطه با آب‌خوان مورد مطالعه، می‌تواند به‌عنوان دستورالعملی کاربردی جهت استفاده پژوهش‌گران کشور به‌منظور اندازه‌گیری غلظت بسیار پایین تریتیوم در نمونه‌های آب‌زیرزمینی با توجه به امکانات داخلی ارائه گردد و عرصه‌ای جدید را در مطالعات هیدرولوژیک، بهداشتی و بسیاری 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 به‌دست آمده، این روش قادر خواهد بود مقادیر تریتیوم زیر ۱ 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، به‌جز نمونه ١٤٤ که علاوه‌بر 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 ١٤٧ و ٣) برقرار است ولی در نمونه‌های ١٨ و ١٤٦ این روند معکوس شده است. احتمالاً میزان تریتیوم نمونه ١٤٦ به‌علت پیوستن جریان‌های تغذیه شده از ارتفاعات جنوبی منطقه به خط جریان مورد بررسی (مسیر دوم) افزایش یافته است. در مورد نمونه ١٨ تنها علت احتمالی پایین بودن سن، ارتباط زیرزمینی با بخشی از آب‌خوان که در حوضه گرگانرود واقع شده می‌باشد.

www.SID.ir



شکل ٤- نقشه پراکنش نقاط نمونه‌برداری به تفکیک سن آب زیرزمینی.

در میان نمونه‌های برداشت شده در حوضه آبریز گرگانرود، نمونه‌های ۲۸، ۳۷ و ۹۳٦ 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 بازپرسازی می‌شود. در نتیجه به‌سرعت 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.

Archive
www.SID.ir

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 به‌این 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.

Archive of SID

www.SID.ir

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.

Archive of SID

www.SID.ir

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 Rad[1], M. Hesam[2], A. Bahrami Samani[3] and A.M. Izadpanah[4]**

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

Archive of SID

www.SID.ir