

## بررسی مقدار تریتیوم ( $^3\text{H}$ ) در نزولات جوی و تعیین سن نسبی منابع آب‌های زیرزمینی در غرب کرمانشاه

حسین محمدزاده<sup>۱\*</sup> - طوبی سلیمانی ولیکندی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۱۸

### چکیده

تریتیوم تنها ایزوتوپ رادیواکتیو هیدروژن، با نیمه‌عمر حدود ۱۲/۳ سال، موجود در ملکول آب است که می‌توان از آن برای تعیین سن آب در چرخه هیدرولوژیکی استفاده نمود. هرچند که آزمایش بمب‌های هیدروژنی به مقدار زیادی تریتیوم وارد اتمسفر و سپس وارد چرخه هیدرولوژیکی نموده است، اما در حال حاضر متوسط غلظت تریتیوم موجود در بارندگی‌های دنیا به حدود ۵ TU رسیده است. غلظت تریتیوم موجود در بارندگی به طول و عرض جغرافیایی، دما، ارتفاع و میزان رطوبت نسبی نیز بستگی دارد. هرچه میزان رطوبت نسبی بیشتر و دما کمتر و یا ارتفاع بیشتر باشد از غلظت تریتیوم کاسته می‌شود. در مقیاس جهانی مقدار غلظت تریتیوم در بارندگی در نیمکره شمالی بیشتر از نیمکره جنوبی بوده و در منطقه قطبی تقریباً ۴ برابر منطقه استوایی می‌باشد. اما در بارندگی‌های کشورهای همسایه ایران، کشورهای نزدیک به دریا (در کراچی، بحرین، آنکارا و آدنا) به دلیل افزایش بخار آب در جو، مقدار تریتیوم کمتری دارند. در این مقاله، غلظت تریتیوم در بارندگی‌ها و منابع آب زیرزمینی غرب استان کرمانشاه در آزمایشگاه ایزوتوپی دانشگاه واترلو کانادا اندازه‌گیری شده و سپس با استفاده از رادیوایزوتوپ تریتیوم، سن نسبی منابع آب زیرزمینی تعیین شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که مقدار غلظت تریتیوم در بارندگی‌های غرب استان کرمانشاه حدود ۶ TU و در آب‌های زیرزمینی بسیار کمتر از این مقدار می‌باشد. با توجه به تقسیم‌بندی آب‌ها بر اساس غلظت تریتیوم، آب نزولات جوی غرب استان کرمانشاه جدید (مدرن) و آب منابع آب زیرزمینی در محدوده آب‌های اخیراً تغذیه شده و آب‌های نسبتاً قدیمی یا ساب مدرن (آب‌های تغذیه شده قبل از سال ۱۹۵۰) به دست آمد. نمودار ترکیبی مقدار هدایت الکتریکی (EC) و مقدار غلظت تریتیوم در آب‌های منطقه، نشان می‌دهد که با افزایش EC در جهت جریان، مقدار تریتیوم کاهش و سن آب زیرزمینی افزایش می‌یابد. سن منابع آب زیرزمینی در منطقه پاره به دلیل توسعه کارست و انتقال سریع آب‌های زیرزمینی، کمتر از مناطق سرپل ذهاب و روانسر می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** باران، تریتیوم، سن نسبی، منابع آب زیرزمینی، کرمانشاه، ایران

### مقدمه

محاسبه می‌گردد و زمان حرکت آب در منطقه غیراشباع را هم شامل می‌شود، به همین دلیل در مناطقی که سطح ایستابی در عمق زیاد قرار گرفته باشد باعث ایجاد خطا در محاسبات می‌گردد. سن آب زیرزمینی نشان می‌دهد منابع آب زیرزمینی از بارندگی‌های جدید تغذیه شده‌اند یا اینکه آب آبخوان در زمان‌های گذشته طی فرآیندهای آهسته نفوذ جمع شده است (۱۳).

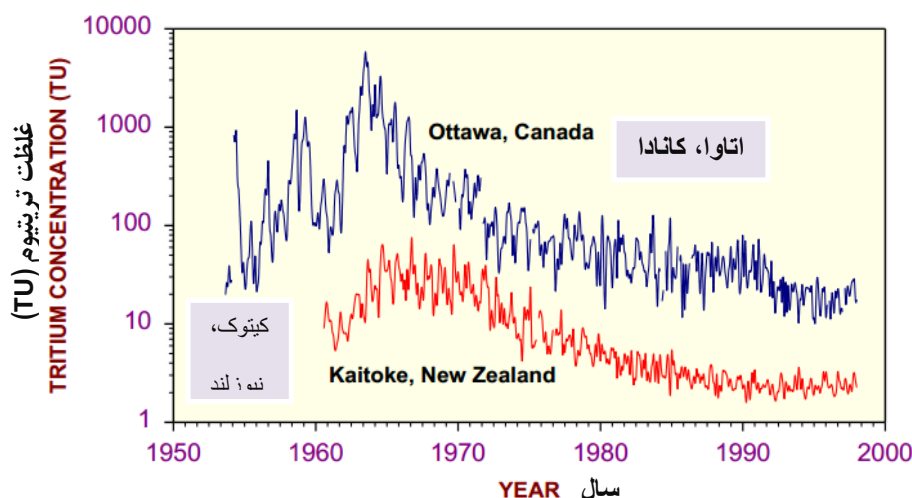
تریتیوم می‌تواند به صورت طبیعی در اثر واکنش نوترون‌های (n) اشعه کیهانی در لایه بالایی جو با ایزوتوپ ناپایدار نیتروژن ( $^{14}\text{N}$ ) تولید شود (رابطه ۱). اتم‌های تریتیوم حاصل در جو اکسید شده و به آب تریتیوم دار ( $\text{HTO}$ )<sup>۲</sup> تبدیل می‌گردند و سپس به صورت باران به سطح زمین نزول و وارد منابع آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی می‌شود.

تنها رادیوایزوتوپی که در طبیعت جزئی از ملکول آب است، تریتیوم ( $^3\text{H}$ ) می‌باشد که غلظت آن تحت تأثیر عوامل محیطی قرار نمی‌گیرد و در حرکت نسبت به آب دچار تأخیر نمی‌شود (۱۸). رادیو ایزوتوپ طبیعی تریتیوم ( $^3\text{H}$ ) کاربرد زیادی در مطالعات منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی جهت تعیین درصد اختلاط آب‌های زیرزمینی، زمان اقامت و سرعت جریان آب داشته و روش بالارزشی برای مطالعات آبشناسی و مدیریت منابع آب محسوب می‌شود (۲۰). سن‌یابی آب‌های زیرزمینی توسط تریتیوم از لحظه نزول آب باران

۱ و ۲- به ترتیب دانشیار مرکز تحقیقات آب‌های زیرزمینی و ژئوترمال (متاب)، و دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

\*- نویسنده مسئول: (Email: mohammadzadeh@um.ac.ir)

DOI: 10.22067/jsw.v32i5.71136



شکل ۱- نقطه اوج تریتیوم مصنوعی در بارش اتاوا (۶)

Figure 1- The tritium peak in Ottawa precipitations (6)

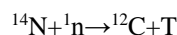
#### موقعیت منطقه

مقدار تریتیوم بارش در نقاط مختلف جهان توسط سازمان انرژی اتمی<sup>۲</sup> (IAEA) تحت عنوان شبکه جهانی ایزوتوپ بارش<sup>۳</sup> (GNIP) اندازه‌گیری می‌شود. شکل ۲ ایستگاه‌های مختلف در سطح جهان را نشان می‌دهد که برداشت ایزوتوپی در آن‌ها صورت می‌گیرد و در برخی از ایستگاه‌ها تریتیوم به صورت اختصاصی برداشت می‌شود، در ایران فقط ایستگاه تهران در شبکه جهانی ایزوتوپ بارش قرار دارد و مقدار تریتیوم آن اندازه‌گیری شده است. در این مقاله، مقدار تریتیوم در بارش‌ها در ۳ ایستگاه و همچنین منابع آبی مناطق پاوه، جوانرود، روانسر و سرپل ذهاب (در ۱۲ نقطه) در پاییز سال ۲۰۱۵ اندازه‌گیری شده است که موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری در شکل ۲ - ب و ج نشان داده شده است.

#### مواد و روش‌ها

برای نمونه‌برداری تریتیوم بطری‌های پلاستیکی از جنس پلی‌اتیلن استفاده شد و در هنگام نمونه‌برداری قبل از پر نمودن ظرف، ظروف کاملاً با آب چشمه شستشو داده شد. هر چند که حجم نمونه‌برداری به غلظت تریتیوم آب بستگی دارد (جدول ۱)، اما در این تحقیق ۶۰۰ میلی‌لیتر آب از هر منبع آبی نمونه‌برداری شد. پس از درج تمامی اطلاعات مورد نیاز همچون زمان نمونه‌برداری، شماره نمونه و مختصات جغرافیایی محل نمونه‌برداری و...، کلیه نمونه‌ها به منظور اندازه‌گیری مقادیر تریتیوم به آزمایشگاه ایزوتوپ‌های

مقدار تریتیوم اتمسفری بعد از معاهده صلح در سطح بارش جهانی کاهش یافته و در حال حاضر مقدار آن در آب‌های جوی حدود ثابت تقریباً ۵ TU<sup>۱</sup> و یک TU برابر با یک اتم تریتیوم در ۱۰<sup>۱۸</sup> اتم هیدروژن می‌باشد (۵).



رابطه (۱)

تریتیوم همچنین می‌تواند در اثر فعالیت‌های هسته‌ای ایجاد شود نتایج تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که در طول دو دهه‌ای که آزمایش بمب هیدروژنی انجام می‌گرفت یک افزایش ناگهانی در مقدار تریتیوم اتمسفری بخصوص در سال ۱۹۶۳ دیده می‌شود (شکل ۱) که تنها با فروپاشی کاهش پیدا می‌کند و از این داده‌ها می‌تواند برای تعیین محل تغذیه و سرعت جریان استفاده نمود (۳). به‌طور کلی در مطالعات سن سنجی رادیوایزوتوپی با استفاده از تریتیوم می‌توان با استناد به سال انفجارات هسته‌ای و اوج غلظت تریتیوم به‌طور کیفی و بدون بیان عدد دقیق سن‌یابی انجام داد. هر دو تریتیوم طبیعی و مصنوعی همراه با بارش وارد چرخه آب شده و حضور آن در آب‌های زیرزمینی گواهی بر تغذیه‌ی فعال می‌باشد (۵). مطالعات کاربرد رادیو ایزوتوپ تریتیوم در ایران بسیار محدود انجام شده است، تعیین غلظت تریتیوم و تعیین سن آب در منابع آب زیرزمینی (۲، ۳، ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۶ و ۱۹) تعیین غلظت تریتیوم در آب، (۱ و ۲۱) و برای تشخیص محل تغذیه و تخلیه آب (۳) هدف از این مقاله بررسی مقدار رادیوایزوتوپ تریتیوم (<sup>۳</sup>H) در نزولات جوی و تعیین سن نسبی منابع آب زیرزمینی غرب استان کرمانشاه می‌باشد.

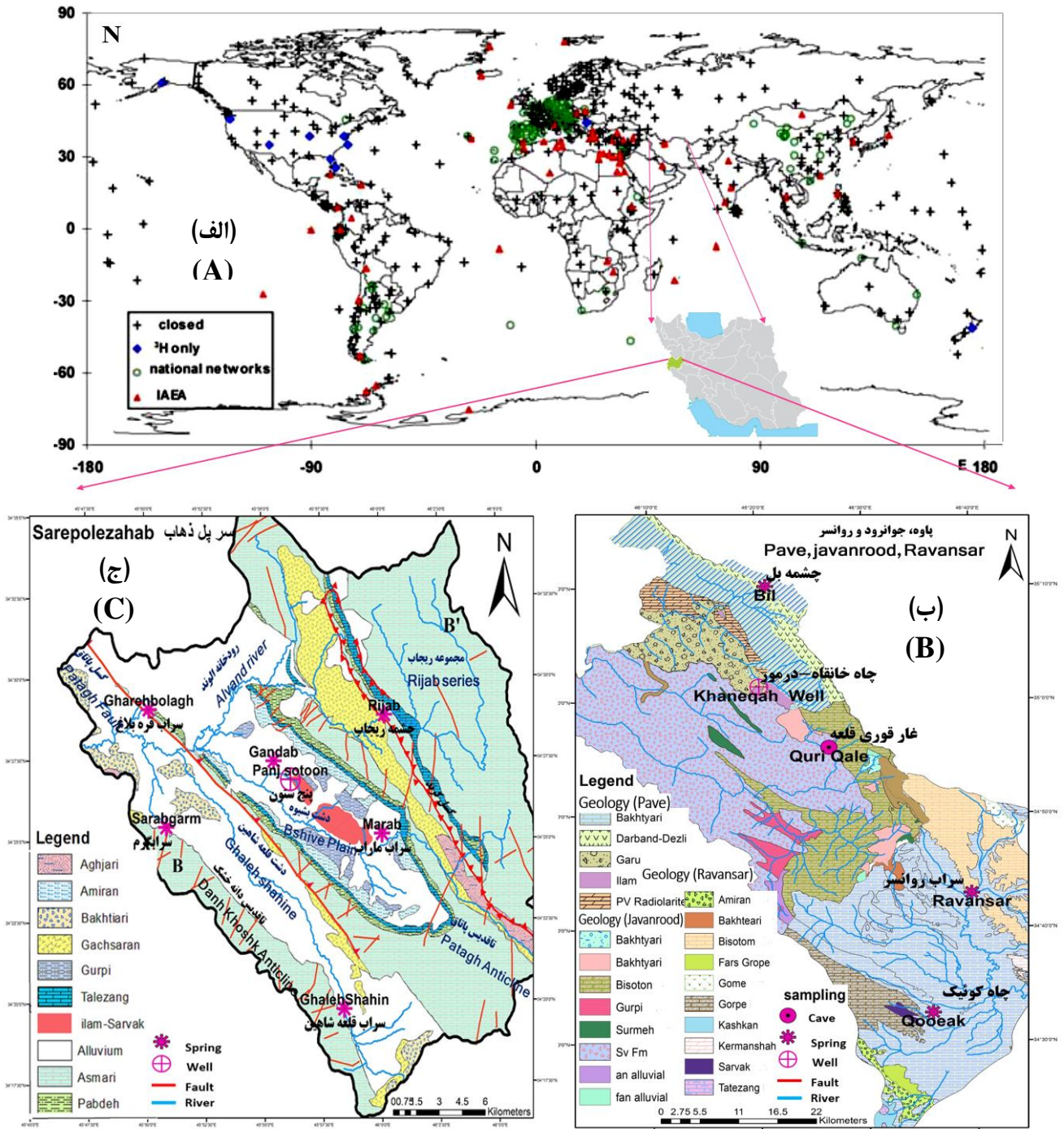
2- International atomic energy agency

3- Global network of isotopes in precipitation

1- Tritium unit

تقطیر صورت می‌گیرد و سپس تریتیوم آب تغلیظ یا غنی‌سازی می‌شود (آزمایشگاه ایزوتوپ‌های محیطی دانشگاه واترلو).

محیطی دانشگاه واترلو ارسال شد (۱۷). برای آب‌هایی با غلظت پایین‌تر تریتیوم، ابتدا برای حذف ناخالصی‌ها و مواد آلی عملیات



شکل ۲- ایستگاه‌های نمونه‌برداری، الف) در شبکه جهانی ایزوتوپ در بارش (برگرفته از GNIP)، ب) در مناطق پاوه، جوانرود و روانسر، ج) در منطقه سرپل ذهاب

Figure 2- Sampling stations, A) in the global isotope network in precipitation (retrieved from GNIP site) B) Pavane, Javanrood, Ravansar areas and Ravansar areas, C)

جدول ۱- خلاصه‌ای از نحوه نمونه‌برداری تریتیوم برای غلظت‌های متفاوت (برگرفته از آزمایشگاه ایزوتوپ های محیطی دانشگاه واترلو)

Table 1- Summary of tritium sampling for different concentrations (retrieved from the University of Waterloo Environmental Isotope Laboratory)

حجم	تریتیوم معمولی	Direct tritium DT +/- 6.0 TU)	50 ml
نمونه‌برداری	تریتیوم غنی‌شده	Enriched tritium(ET +/- 0.8 TU)	1000 ml
Volume	غلظت بسیار پایین تریتیوم	Ultra-Low Level tritium(ULL +/- 0.05 TU)	2500 ml
تجهیزات	پمپ یا گل کش. شلنگ کاملاً مقاوم از نظر هوادهی از منبع تا بطری استفاده شود.		
Equipment	Thief sampler (bailer) or pump. Airtight hose from source to bottle is optimum set up.		
محافظت	محکم بستن درب ظرف برای جلوگیری از تبخیر و نگهداری ظروف دور از منابع رادیواکتیو.		
Preservation	Tightly sealed to prevent evaporation. Keep away from radioactive sources		
تکنیک و اصول	قرار دادن شلنگ در ته بطری و شستشوی آن با آب نمونه تا سه برابر حجم بطری و کامل پر کردن آن.		
Technique	برای حفاظت در برابر منابع رادیواکتیو، ظروف با گاز آرگون شستشو داده شوند.		
	Place hose at bottom of bottle and allow three volumes to flush, fill bottle completely.		
	Protect from all sources of radiation, flushed with Argon.		

دارای غلظت تریتیوم بیشتری است که دلیل آن بالا بودن پرتوهای کیهانی تولید شده توسط جریان نوترون (در منطقه قطبی جریان نوترون ۴ برابر بیشتر از منطقه استوایی است) بوده و در نتیجه میزان تولید بالا و غلظت آن در اتمسفر منطقه قطبی بیشتر است. همچنین مقدار تریتیوم با ارتفاع رابطه مستقیم و با دمای هوا رابطه عکس دارد به عبارتی هرچه دما بیشتر و یا ارتفاع کمتر باشد مقدار تریتیوم کمتر می‌شود و برعکس. غلظت تریتیوم در بارش‌های نزدیک ساحل به نسبت کمتر از مناطق دور از ساحل است که دلیل آن رقت بخار آب اقیانوسی است، بالا بودن مقدار تریتیوم در نزولات جوی نیمکره شمالی نسبت به نیمکره جنوبی، به دلیل تست سلاح‌های هسته‌ای می‌باشد (۶).

با توجه به داده‌های متوسط سالیانه تریتیوم، که از سایت GNIP در دسترس قرار گرفت، نمودار تغییرات مقادیر سالیانه تریتیوم در بارش‌های هر یک از ایستگاه‌های تهران و کشورهای همسایه ایران رسم شد (شکل ۴). تمامی ایستگاه‌ها افزایش ناگهانی غلظت تریتیوم در بارش سال ۱۹۶۲ را نشان می‌دهند، در ایستگاه‌های بحرین و آدنا، آنکارا و کراچی عامل اصلی کاهش مقدار غلظت تریتیوم در زمان اوج آن نسبت به تهران و کابل، نزدیکی به دریا و افزایش بخار آب در جو می‌باشند.

### تغییرات غلظت تریتیوم در بارش‌ها و منابع آبی کرمانشاه

نتایج مقادیر تریتیوم اندازه‌گیری شده در نمونه‌های برداشت شده از باران و منابع آب‌های زیرزمینی غرب استان کرمانشاه در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به داده‌های ایزوتوپی آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه (۱۷)، با استفاده از غلظت تریتیوم اندازه‌گیری شده در آب باران به‌عنوان غلظت اولیه تریتیوم ( $T_0$ ) و در نمونه آب‌های زیرزمینی به‌عنوان غلظت تریتیوم در زمان  $t$  ( $T_t$ ) و به‌کارگیری رابطه ۴، سن نسبی هر یک از منابع آبی محاسبه گردیده است (جدول ۲).

اتم رادیواکتیو تریتیوم دارای نیمه‌عمر تریتیوم برابر با ۱۲/۳۲ سال می‌باشد این به این معنی است که به‌مرور زمان اتم‌های آن دچار واپاشی شده و به هلیوم ( $^3\text{He}$ ) تبدیل می‌شود بنابراین با اندازه‌گیری هلیوم می‌تواند با استفاده از رابطه ۳ سن دقیق نمونه‌های آب را محاسبه نمود. اصولاً در موقع نمونه‌برداری برای اهداف  $^3\text{H}$  برای هلیوم نیز نمونه برداشت می‌گردد، اما در این پژوهش به دلیل اینکه اندازه‌گیری هلیوم غیرممکن و پرهزینه بود، داده‌های هلیوم اندازه‌گیری نشده است و سن آب‌های منطقه بر اساس تریتیوم اندازه‌گیری شده در نمونه‌های آب و با استفاده از رابطه ۴ محاسبه گردیده است (۶، ۹، ۱۱، ۱۴، ۱۶، ۱۹ و ۲۱).

$$\text{رابطه (۲): } ^3\text{He}_t = T_0 (1 - e^{-\lambda t})$$

$$\text{رابطه (۳): } T_t = T_0 e^{-\lambda t} \rightarrow t = -17.77 \text{ Ln } \frac{T_t}{T_0}$$

که در آن:  $T_t$ : غلظت تریتیوم اندازه‌گیری شده بعد از زمان  $t$ ؛  $T_0$ : غلظت اولیه تریتیوم در آب باران منطقه؛  $\lambda$  ثابت واپاشی برابر است با ۰/۰۵۶ برسال است. برای اندازه‌گیری تریتیوم نیازی به استاندارد مرجع نداریم چون غلظت تریتیوم به‌عنوان غلظت مطلق شناخته شده است و از واحد تریتیوم TU استفاده می‌شود (۵). داده‌های تریتیوم در سطح جهانی و منطقه‌ای از سایت سازمان بین‌المللی انرژی اتمی، بخش شبکه جهانی ایزوتوپ‌های بارندگی (GNIP) به دست آمده است.

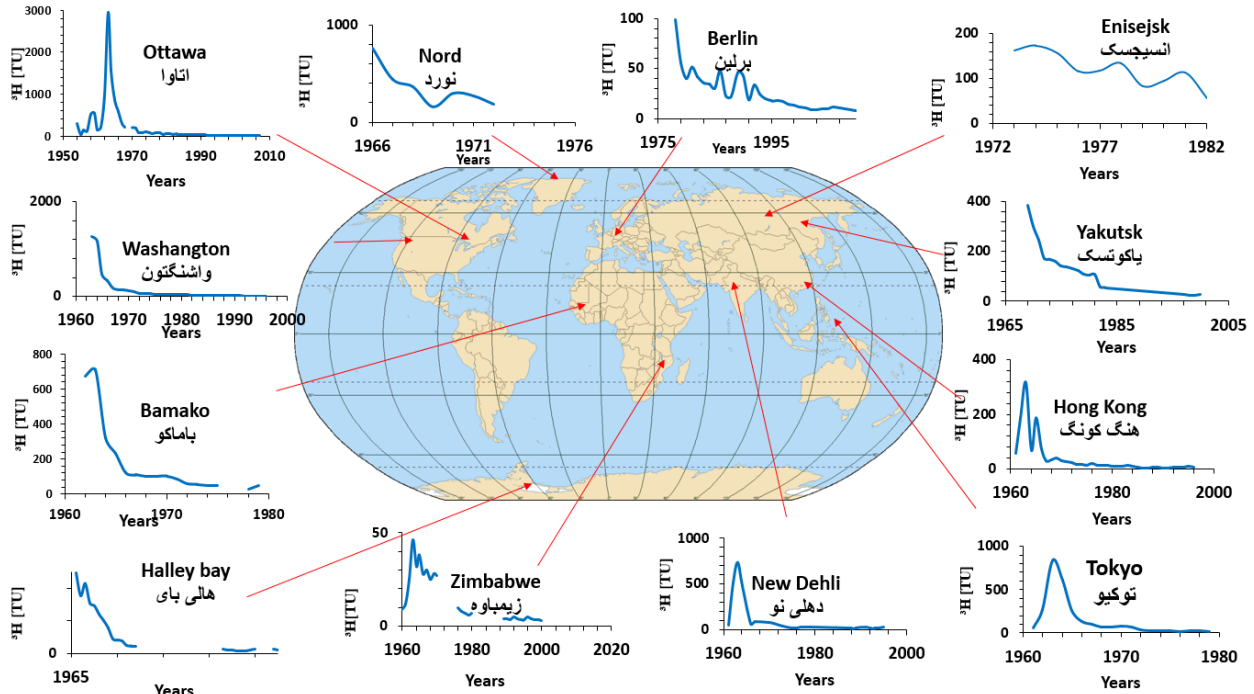
### نتایج و بحث

#### تغییرات غلظت تریتیوم در مقیاس جهانی و منطقه خاورمیانه

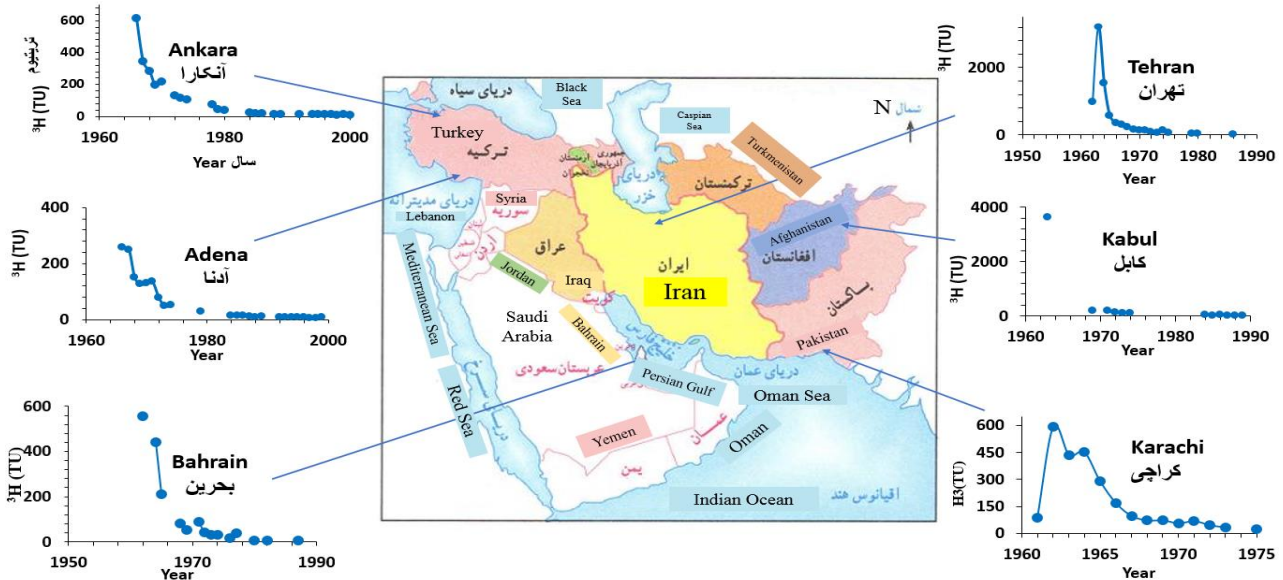
با توجه به غلظت تریتیوم در نقاط مختلف جهان، قابل دسترس در سایت GNIP و نحوه تغییرات غلظت تریتیوم در جهان (شکل ۳)، می‌توان نتیجه گرفت که بارش‌ها در عرض‌های جغرافیایی بالاتر

آب‌های زیرزمینی در سرپل ذهاب از غلظت تریتیوم آب باران همان منطقه به‌عنوان غلظت اولیه تریتیوم استفاده و محاسبات انجام گرفته است.

به‌منظور کاهش خطای محاسبات سن نسبی نمونه‌های آب زیرزمینی در منطقه، از غلظت تریتیوم نمونه آب باران همان منطقه در محاسبات استفاده شده است. به‌عبارت‌دیگر برای تعیین سن نسبی



شکل ۳- روند نوسانات تریتیوم در بارش‌های دنیا (برگرفته از GNIPI)  
Figure 3- The trend of tritium fluctuations in global rainfalls (retrieved from GNIPI site)



شکل ۴- نوسانات سالانه تغییرات تریتیوم در مهم‌ترین ایستگاه‌های هواشناسی کشورهای همسایه ایران (برگرفته از GNIPI)  
Figure 4- Annual variation of Tritium changes in the most important meteorological stations in neighboring countries of Iran (retrieved from GNIPI site)

جدول ۲- مقادیر تریتیوم ( $^3\text{H}$ ) اندازه‌گیری شده و سن نسبی محاسبه شده برای منابع مختلف در منطقه مورد مطالعه  
Table 2- Measured tritium values and calculated relative age for different sources in the study area

منطقه Region	محل نمونه Sampling point	EC ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	Tritium %	تریتیوم (TU)	سن Age	سن نسبی Relative age
باران Rain	پاوه			5.8		آب جدید (۵ تا ۱۰) سال Modern (5 to 10 Yr)
	روانسر			5.3		
	پل ذهاب			5.7		
پاوه Paveh	چشمه بل (Bil Sp)	161.8	53	3.1	11	مخلوطی از آب نسبتاً قدیمی و آب جدیداً تغذیه شده (Mixture between submodern and recent recharge)
	چاه خانقاه - درمور (Khaneqah deep well)	377	63	3.7	7.8	
روانسر Ravansar	غار قوری قلعه (Quri Qale cave)	281.5	62	3.6	7.8	مخلوطی از آب نسبتاً قدیمی و آب جدیداً تغذیه شده (Mixture between submodern and recent recharge)
	سراب روانسر (Ravansar Sp)	283.1	37.7	2.0	17.2	
	چاه کوئیک (Qoeeak well)	401	15	<0.8	33.4	
سر پل ذهاب Sarpolezahab	چاه پنج ستون (PanjSotoon well)	711	14	<0.8	34.7	مخلوطی از آب قدیمی و جدیداً تغذیه شده (Mixture between submodern and recent recharge)
	سراب گرم (Sarabgarm Sp)	449	14	<0.8	22.5	
	چشمه گنداب (Gandab Sp)	1546	14.0	<0.8	34.8	
	سراب قلعه شاهین (Ghaleh Shahin Sp)	358	17.5	1.0	30.9	
	سراب قره‌بلاغ (Gharehbolagh Sp)	528	38.5	2.0	16.8	
	چشمه ریجاب (Rijab Sp)	316	28.0	1.6	22.5	
	سراب ماراب (Marab Sp)	333	19.0	1.1	29.1	

قدیمی و آب‌های جدید را نشان می‌دهند.

از روی منحنی واپاشی و با استفاده از رابطه ۴، نیز می‌توان سن نمونه‌های آب را محاسبه کرد. به عنوان مثال در منطقه پل ذهاب با استفاده از مقدار تریتیوم اندازه‌گیری شده در آب باران ( $T_0$ ) که برابر  $5/7$  TU و مقدار تریتیوم اندازه‌گیری شده در آب سراب قلعه شاهین ( $T_t$ ) که برابر  $1$  TU است، درصد تریتیوم باقیمانده حدود  $17/5\%$  به دست می‌آید که با پلات کردن روی شکل ۶ سن آب سراب قلعه شاهین حدوداً ۳۱ سال به دست می‌آید که با سن محاسبه شده از طریق رابطه ۴ همخوانی دارد. سن نسبی محاسبه شده از هر دو طریق برای تمامی نمونه‌های آب در جدول ۳ ارائه شده است.

$$\text{رابطه (۴): } \%T = \frac{T_t \times 100}{T_0} \text{ باقیمانده}$$

نمودار مقایسه‌ای بین غلظت تریتیوم و سن آب (شکل ۸)، نشان می‌دهد که هر چه میزان غلظت تریتیوم در نمونه‌های آب بالا باشد، آب نمونه دارای سن کمتری است. بیشترین سن آب مربوط به

با توجه به تقسیم‌بندی سن آب‌ها بر اساس غلظت تریتیوم (جدول ۳) و همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، سن آب باران در هر سه منطقه مطالعاتی حدود ۵ - ۱۰ سال (آب جدید) به دست آمده است. همچنین سن نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در دو رنج آب‌های نسبتاً قدیمی یا ساب مدرن<sup>۱</sup> (تغذیه قبل از ۱۹۵۲) و مخلوطی از آب‌های نسبتاً قدیمی و آب‌های جدید<sup>۲</sup> (ترکیبی از آب نسبتاً قدیم و آبی که اخیراً تغذیه شده) تقسیم‌بندی شده‌اند. آب‌های زیرزمینی در ایستگاه‌های چاه کوئیک منطقه روانسر، چاه پنج ستون، سراب گرم و چشمه گنداب منطقه پل ذهاب آب‌های نسبتاً قدیمی و ایستگاه‌های نمونه‌برداری در چشمه بل، چاه خانقاه، غار قوری قلعه منطقه پاوه و سراب روانسر و سراب قلعه شاهین، سراب قره‌بلاغ، چاه ریجاب، سراب ماراب منطقه پل ذهاب مخلوطی از آب‌های نسبتاً

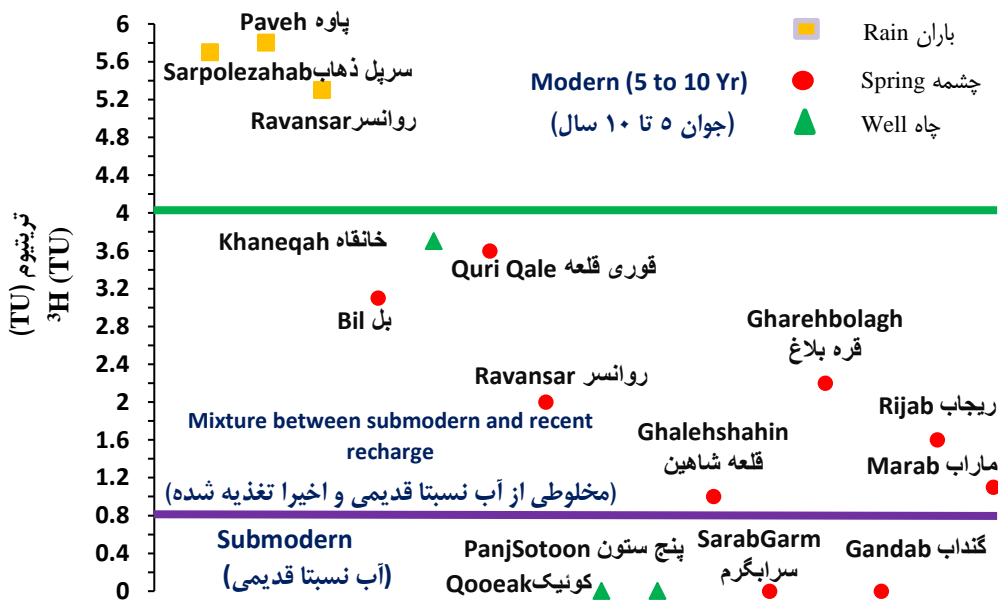
1- Sub modern water  
2- Modern water

ایستگاه‌های چشمه گنداب، سراب گرم و چاه پنج ستون در منطقه پل ذهاب و جوان‌ترین آب مربوط به غار قوری قلعه و چاه خانقاه- درمور در منطقه پاوه است. آب‌های زیرزمینی در منطقه پاوه به دلیل عبور از مناطق کارستی جوان‌تر از مناطق دیگر است. گسل پاتاق انتقال‌دهنده آب به سراب قره‌بلاغ است که دلیل اصلی سن کم سراب قره‌بلاغ در منطقه سرپل ذهاب می‌باشد.

جدول ۳- تقسیم بندی سن آب‌ها بر اساس غلظت تریتیوم برای مناطق قاره‌ای (۷)

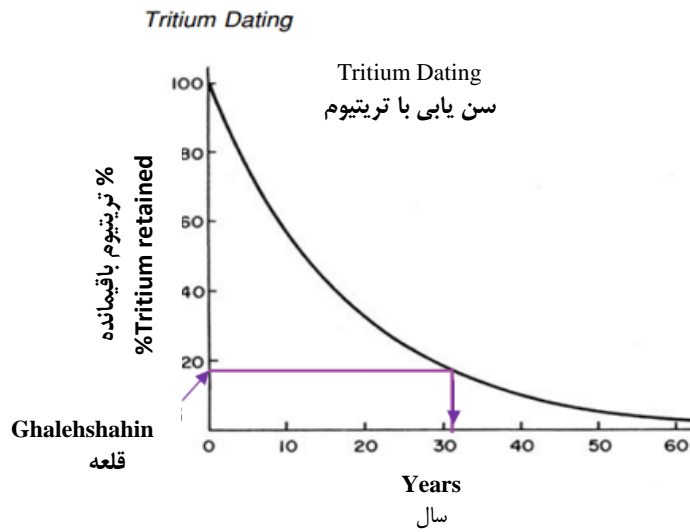
Table 3- Dividing the age of water based on tritium concentration for continental regions (7)

غلظت تریتیوم (TU) Concentration of tritium	توصیف سن Age description
<0.8	آب نسبتاً قدیمی- تغذیه‌شده قبل از سال 1952 (Submodern – recharged prior to 1952)
0.8 to 4	مخلوطی از آب نسبتاً قدیمی و آب جدیداً تغذیه‌شده (Mixture between submodern and recent recharge)
5 to 15	آب جدید > 5 تا 10 سال (Modern)
15 to 30	اندکی تریتیوم مربوط به بمب هسته‌ای وجود دارد ≈ 1950 تا 1963 (Some “bomb” $^3\text{H}$ present)
>30	بخش قابل توجهی از آب در دهه‌های 1960s یا 1970s تغذیه‌شده است (Considerable component of recharge from 1960s or 1970s)
>50	آبی که عمدتاً در دهه 1960s تغذیه‌شده است (Dominantly the 1960s recharge)

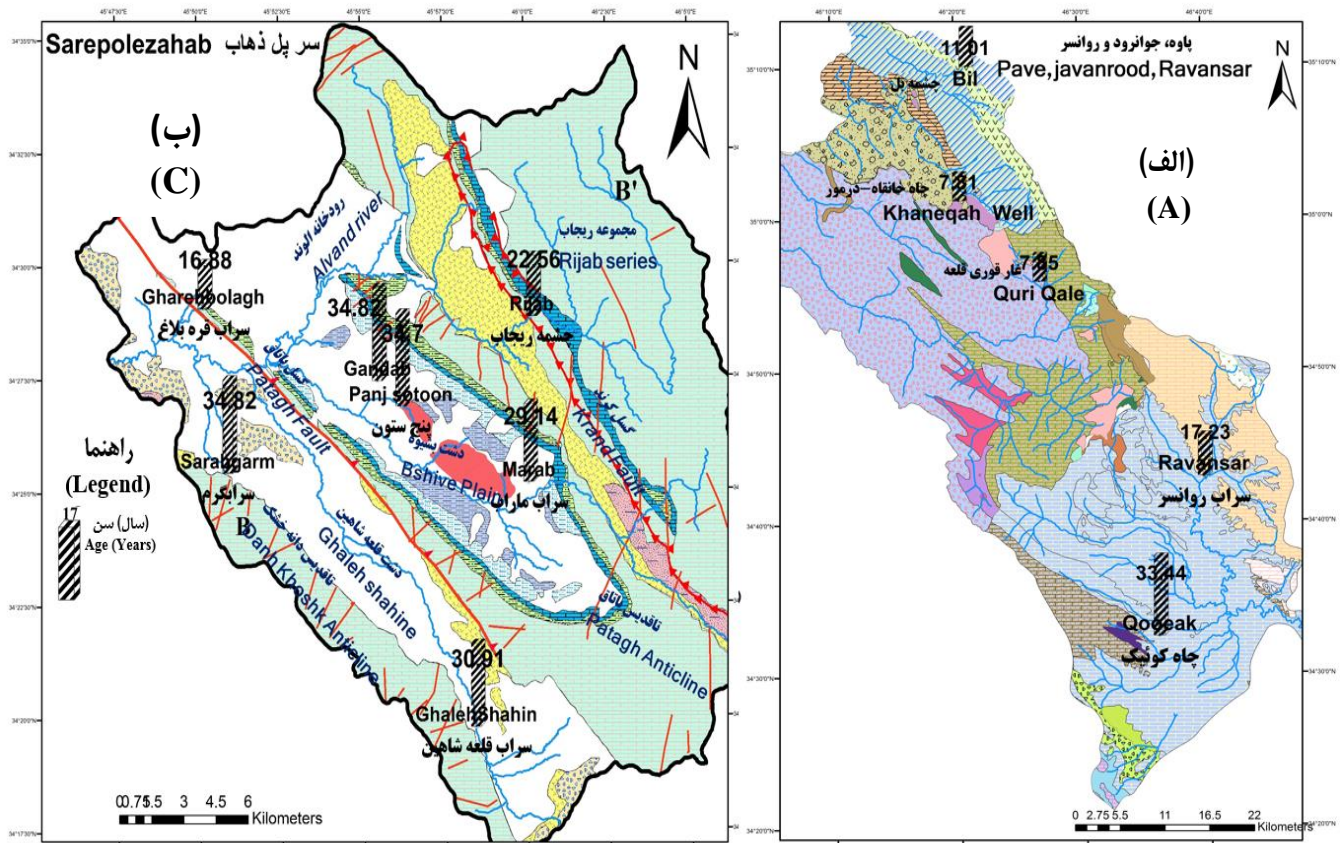


شکل ۵- طبقه‌بندی سن آب‌های باران و آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه

Figure 5- Age classification of rainwater and groundwater in the studied area

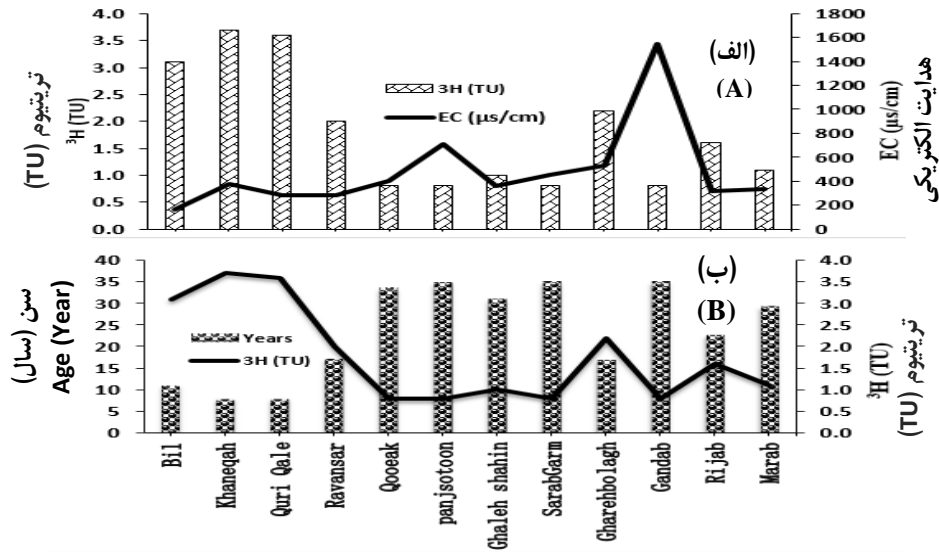


شکل ۶- منحنی واپاشی تریتیوم برای تعیین سن نمونه آب (۱۵)  
Figure 6- Tritium decay curve to determine the water sample age (15)



شکل ۷- سن نمونه‌های آب در هر یک از منابع آبی منطقه مورد مطالعه (الف) در مناطق پاوه، جوانرود و روانسر، (ب) در منطقه سرپل ذهاب  
Figure 7- Age of water samples in each of the water resources of the study area, A) in Pavah, Javanrood and Ravansar areas, B) In the Sarpulezahab area





شکل ۸- الف) تغییرات هدایت الکتریکی و غلظت تریتیوم و ب) رابطه بین سن آب و غلظت تریتیوم در منابع آبی مختلف  
 Figure 8- A) Variations of electrical conductivity and tritium concentrations and B) The relationship between age of water and the amount of tritium in different water sources

۱۵۴۶  $\mu\text{s}/\text{cm}$  می‌باشد. با توجه به سن محاسبه شده برای این سه ایستگاه به ترتیب ۲۹/۱۴ و ۳۴/۷۵ و برای چشمه گنداب ۳۴/۸۴ سال می‌توان نتیجه گرفت که آب از سمت چشمه مارب (منطقه تغذیه) به سمت چشمه گنداب (منطقه تخلیه) حرکت می‌کند. چشمه سولفور گنداب مقدار EC بالاتری را نسبت به ایستگاه‌های دیگر نشان می‌دهد که EC بالای این چشمه به دلیل رسوب گوگرد و ترکیبات آلی است که آب چشمه با آن در تماس است.

### نتیجه‌گیری

به طور کلی با در نظر گرفتن عوامل مختلف می‌توان نتیجه گرفت که عرض جغرافیایی بالا، افزایش ارتفاع و کاهش دما، فاصله از آب‌های ساحلی به افزایش تولید تریتیوم طبیعی کمک می‌کند. ایستگاه‌های اطراف ایران همچون بحرین و آدنا و آنکارا و کراچی به دلیل نزدیکی به ساحل دارای غلظت تریتیوم کمتری در بارش می‌باشند. سن نمونه‌های نزولات جوی منطقه کرمانشاه حدود ۵-۱۰ سال و سن آب‌های زیرزمینی منطقه کرمانشاه در دو محدوده ساب مدرن (تغذیه قبل از سال ۱۹۵۰) و ساب مدرن و مدرن (مخلوطی از تغذیه جدید و تغذیه قبل از سال ۱۹۵۰) می‌باشد. آب‌های زیرزمینی در ایستگاه‌های چاه کوئیک منطقه روانسر، چاه پنج ستون، سراب گرم و چشمه گنداب منطقه پل ذهاب ساب مدرن و ایستگاه‌های نمونه‌برداری در چشمه بل، چاه خانقاه، غار قوری قلعه منطقه پاوه و سراب روانسر و سراب قلعه شاهین، سراب قره‌بلاغ، چاه ریجاب، سراب مارب منطقه پل ذهاب مخلوطی از آب ساب مدرن و آب مدرن را نشان می‌دهند. در حالت کلی می‌توان نتیجه گرفت که آب‌های

یکی از راه‌های مؤثر برای پی بردن به سن نسبی آب‌های زیرزمینی، بررسی رابطه بین غلظت تریتیوم و مقدار هدایت الکتریکی (EC) می‌باشد. تریتیوم و EC دارای رابطه معکوس با یکدیگر می‌باشند به عبارت دیگر در جهت جریان و با افزایش EC در منطقه مقدار تریتیوم کاهش و سن آب افزایش می‌یابد (شکل ۸- الف). به عبارت دیگر، اگر تریتیوم کم و EC بالا باشد نشان دهنده تعادل قوی بین آب و سنگ بوده و در نتیجه زمان ماندگاری آب طولانی است. به عنوان مثال در منطقه دشت قلعه شاهین، سرپل ذهاب که آب‌های زیرزمینی از سراب قلعه شاهین به طرف سرابگرم جریان دارد (۱۷). تریتیوم اندازه‌گیری شده در سراب قلعه شاهین ۱ TU و در سراب گرم کمتر از ۰/۸ TU می‌باشد و مقدار هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شده در سراب قلعه شاهین ۳۵۸  $\mu\text{s}/\text{cm}$  و در سراب گرم ۴۴۹  $\mu\text{s}/\text{cm}$  می‌باشد، که بیانگر بالاتر بودن سن آب سرابگرم (به ترتیب ۳۰/۹۱ و ۳۴/۸۲ سال برای چشمه‌های سراب قلعه شاهین و سراب گرم است) و ارتباط آب این دو چشمه باهم می‌باشد.

به دلیل وجود سازندهای نفوذ ناپذیر در اطراف دشت بشیوه ارتباط هیدرولیکی مهمی بین آبخوان ابرفتی دشت بشیوه و دشت قلعه شاهین وجود ندارد (۱۷). در دشت بشیوه چاه پنج ستون بین چشمه ماراب و چشمه گنداب قرار دارد، نتایج به دست آمده (جدول ۳) نشان می‌دهد که تریتیوم اندازه‌گیری شده در چشمه ماراب ۱/۱ TU و در چاه پنج ستون و چشمه گنداب کمتر از ۰/۸ TU می‌باشد و مقدار هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شده در چشمه‌های ماراب، چاه پنج ستون، چشمه گنداب به ترتیب ۳۳۳  $\mu\text{s}/\text{cm}$  و ۷۱۱  $\mu\text{s}/\text{cm}$

## سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد، آزمایشگاه ایزوتوپ های محیطی دانشگاه واترلو-کانادا و شرکت آب منطقه ای کرمانشاه (کد CN:KSHW-92123 و کد ملی ۷۵۹۷-۱۳۱۸۴۳) انجام شده است، لذا بر خود لازم می دانیم از پرسنل این ارگان ها کمال تشکر و قدردانی را داشته باشیم. همچنین از زحمات بی شائبه جناب آقای مهندس اسکندری و جناب آقای مهندس الطافی پور در طی انجام عملیات صحرایی کمال سپاسگزاری را داریم.

زیرزمینی منطقه پاره جوان تر و آبهای زیرزمینی منطقه پل ذهاب قدیمی تر بوده است. باتوجه به نوآور بودن مطالعات تریتیوم در منابع آب زیرزمینی در کشور بسیار محدود می باشد. تنها تحقیقی که در استان گلستان انجام شده است، نشان می دهد که سن آبخوان آبرفتی حوضه آبریز قره سو (کمتر از ۱۰ سال) بسیار جوانتر از آبهای زیرزمینی مناطق مورد مطالعه در استان کرمانشاه می باشد. بررسی توامان مقادیر EC و سن نسبی آبها نیز نشان می دهد که در دشت قلعه شاهین منطقه سر پل ذهاب، آب از سمت سراب قلعه شاهین (محل تغذیه) بطرف سراب گرم (محل تخلیه) جریان می یابد و در دشت بشیوه آب از سمت چشمه ماراب (منطقه تغذیه) به سمت چشمه گنداب (منطقه تخلیه) حرکت می کند.

## منابع

- 1- Aghamohammadi M. 2011. Determination of the concentration of tritium in heavy water, master's thesis. Arak University. (In Persian)
- 2- Al Charideh A.R., and Abou Zakhem B. 2010. Distribution of tritium and stable isotopes in precipitation in Syria. Hydrological Sciences Journal.
- 3- Bayan M. 2010. Application of environmental isotopes technique in ground water recharge within mullusa carbonate aquifer-west Iraq. Iraqi Journal of Desert Studies Special Issue of 1<sup>st</sup> Scientific Conference, ISSN: 1994-7801.
- 4- Blavoux B., and Dazy J., and Sarrot Reynauld J. 1982. Informmation about the origin of thermomineral waters and gas by means of environmental isotopes in Azerbaijan, Iran, and Southeast France. Journal of Hydrology, 56:23-38.
- 5- Clark I.D., and Fritz P. 1997. Environmental Isotopes in Hydrogeology. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.
- 6- Clark I. 2015. Groundwater Geochemistry and Isotopes. CRC Press. Taylor & Francis Group, New York.
- 7- Craig H., and Lal D. 1960. The Production rate of natural tritium. Scripps Institution of Oceanography, University of California, La Jolla.
- 8- Geyh M. 2000. Environmental isotopes in the hydrological cycle. Principles and Applications: International Hydrological Programme. Technical Documents in Hydrology, 39, Vol. IV.
- 9- Harms P., Visser A., and Moran J. 2016. Distribution of tritium in precipitation and surface water in California. Journal of Hydrology, 534: 63-72.
- 10- IAEA/WMO 2006. Global Network of Isotopes in Precipitation. The GNIP Database. <http://www.iaea.org/water>.
- 11- Kazemi G.A., Lehr J.H. and Perrochet P. 2006. Ground water Age. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.
- 12- Karimirad I., Hesam M., Bahrami Samani A., and Ezadpanah A. 2013. Dating of groundwater in aquifer of Golestan Province using tritium meagermant. Water and Soil Conservation, 20(6): 199-183. (In Persian with English abstract)
- 13- Karimirad I., Hesam M., Bahrami Samani A., and Ezadpanah, A., and Moghadasi N. 2016. Radioisotope technique of groundwater dating using tritium enrichment. Journal of Water and Sustainable Development, 4(1): 99-106. (In Persian with English abstract)
- 14- Kralik M., Benischke R., Wyhlidal S., and Philippitsch R. 2017. First water-isotope-map ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$ ,  $^3\text{H}$ ) of Austria: Applications, Extremes and Trends: Procedia Earth and Planetary Science, 17: 924- 927.
- 15- Mazar E. 2004. Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology Third Edition. Marcel Dekker, New York.
- 16- Michelsen N., Reshid M., Siebert C., Schulz S., Knoller K., Weise S.M., and Schuth C. 2015. Isotopic and chemical composition of precipitation in Riyadh, Saudi Arabia. Chemical Geology, 413: 51-62.
- 17- Mohammadzade H. 2016. Providing isotopic ( $^{18}\text{O}$  and  $^2\text{H}$ ) maps and the meteoric water line ( $^{18}\text{O}$  vs.  $^2\text{H}$ ) for Kermanshah Province (W of Iran) and determining the origin and residence time of Alluvial/Karstic groundwater using Geochemical/Isotopic tracers (project # KSHW-92123).
- 18- Morgenstern U., Daughney C. J., Leonard G., Gordon D., Donath F. M., and Reeves R. 2014. Using groundwater age to understand sources and dynamics of nutrient contamination through the catchment into Lake Rotorua, New Zealand. Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 11(8): 9907-9960.
- 19- Sogut A., and Hawash G.H. 2011. Groundwater evaluation by using environmental isotopes in the northeast

- missan governorate, South of Iraq. Latest Trends in Energy, Environment and Development.
- 20- Sood D.D., Manohar S.B., and Reddy A.V.R. 1994. Experimentals in Radiochemistry. Eds, Iancas Publication, Mumbai.
- 21- Tadoros C.V., Hughes C., Carwford J., Hollins S., and Chisari R. 2014. Tritium in Australian precipitation: A 50 years record. Journal of Hydrology, 513: 262–273.

## Investigating the amount of Tritium ( $^3\text{H}$ ) in Precipitations and Determining the Relative Age of Groundwater Resources in West of Kermanshah

H. Mohammadzadeh <sup>1\*</sup> - T. Soleymani Vlikandi <sup>2</sup>

Received: 23-04-2018

Accepted: 09-09-2018

**Introduction:** Tritium is the only radioactive isotope of hydrogen, with a half-life of about 12.3 years, in water molecule which can be used to determine the age of water in a hydrological cycle. Although hydrogen bomb tests entered a lot of tritium into the atmosphere and then into the hydrological cycle, but at the moment the average amount of tritium concentration in global precipitations is reaching to about 5 TU. The purpose of this paper is to investigate the tritium concentrations in precipitations of the Middle East countries and to determine the tritium concentration in Iran precipitation (especially in precipitations of the west of Kermanshah province) and to determine the relative age of groundwater resources in Paveh, Javanrood, Ravansar and Sarpule Zahab areas using tritium radioisotope.

**Materials and Methods:** The required tritium data for the Iran and neighbors and for the global precipitations were retrieved from the Global Networks of Isotopes in Precipitation (GNIP) site of the International Atomic Energy Agency (IAEA). To measure the amount of tritium in Kermanshah precipitations, samples were collected from three rain stations, three wells and from nine springs in Paveh, Javanrood, Ravansar and Sarpule zahab areas during fall 2015 and 600 ml in 600 ml water polyethylene containers, all water samples were analysed at Waterloo University Isotope Laboratory.

**Results and Discussion:** The amount of tritium concentration in precipitations depends on latitude, longitude, temperature, altitude and the vapor mass. The higher amount of vapor and the lower temperature or the higher altitude, decreases the concentration of tritium. In areas such as Karachi, Bahrain and Adena, due to its proximity to the sea and the higher amount of vapor in the atmosphere, the tritium concentration in precipitation is low. In this paper, the tritium concentration in precipitation and groundwater resources of the west of Kermanshah province was measured at the University of Waterloo-Environmental Isotope Laboratory (UW-EIL). Then the average relative age of groundwater was determined. Results indicate that the tritium concentration in precipitation of the west of Kermanshah is about 6.0 TU and it is much lower in groundwater resources. Based on water age division using tritium concentration, the water of precipitations in the west of Kermanshah is modern and the water of groundwater resources are mixture of modern (recently recharge water) and sub modern water (the waters fed before 1950). By determining the amount of electrical conductivity (EC) and the concentration of tritium in the waters of the region, it is concluded that in the direction of flow, with increasing EC and decreasing the amount of tritium, the water age increases. By examining the EC and the relative age of the waters, it can be concluded that in the Sarpule Zahab area, in Ghaleh Shahin plain, groundwater recharge to the alluvial aquifer in Qaleh Shaheen spring area and then it flow in the direction toward Sarabgarm spring. However, in Boshive plain, the groundwater flow from Marab spring towards the Gandab spring. Tritium has a correlation with the air temperature. The higher the temperature, the more the concentration of tritium in the abundant water resources, and the older age for the water sample. In the study area, the average annual air temperature in the Paveh, Javanrood and Ravansar areas are about 15.1, 15.0 and 14.9 degrees Celsius, respectively, and it is about 19.9 degrees Celsius for Sarpule Zahab area. The average concentration of tritium in Pave and Javrrood is about 3.4 TU, however, in Ravansar and Sarpule Zahab areas are about 1.4 TU and 1.1 TU, respectively Therefore, it is evident that the relative age of groundwater is younger in the Paveh region and it is the oldest in Sarpule Zahab region.

**Conclusions:** The concentration of tritium is associated with the age of water. The lower the amount of tritium is the oldness of the water. The geology and rocks are affected by the movement of water, which is why the age of groundwater resources in the Paveh region due to the development of karst and the rapid transfer of groundwater is less than the Sarpule Zahab and Ravansar areas. On a global scale, the concentration of tritium in

1 and 2- Associate Professor, Groundwater and Geothermal Research Center (GRC) and M.Sc. Student Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad

(\*- Corresponding Atuhor Email: mohammadzadeh@um.ac.ir)

the northern hemisphere's precipitations is much higher than that of in the southern hemisphere, and in the polar regions' precipitations it is approximately 4 times of the tropical region's precipitations. By investigating the concentration of tritium in the rain of neighboring countries of Iran it is concluded that the proximity to the sea and the increase of water vapor in the atmosphere have reduced the amount of tritium concentration.

**Keywords:** Age measurement, Iran, Groundwater resources, Kermanshah province, Rain, Tritium