قياس تركيز التريتيوم بمياه الامطار المصاحبة للعواصف الرعدية في مدينة بغداد

صفاء عبد الرزاق عبد الحسين عامر عبد محمد علي حسن فالح علي عباس جاسم
وزارة العلوم والتكنولوجيا / دائرة البيئة والمياه
بغداد - العراق

الخلاصـــة

تناولت الدراسة مدى تأثير العواصف الرعدية على زيادة تركيز التريتيوم (^3H) في مياه الامطار لفترات زمنية ضمن الموسم المطري 2018-2019 حيث يعتبر من اهم النظائر البيئية المشعة المستخدمة في الدراسات الهيدرولوجية وتحديدا فـــي تقدير اعمار المياه الحديثة. اجريت القياسات باستخدام جهاز العداد الوميضي السائل. أظـهـــرت قيـم تركيـز التريتيـوم تبايـن ملحـوظ فـي قيمها، حيـث سجـلت اعلـى القيـم فـــي شهـري شبـــاط واذار لعام 2019 (8.57 و11.71 TU) على التوالي. كانت نتائج شهر كانون الأول لعام 2018 (4.48 TU) وشهر كانون الثاني لعام 2019 (3.22 TU) تعد الاقل تركيزا. يعزى سبب الارتفاع قيم تراكيز التريتيوم إلى ان النماذج اخذت من الامطار التي كانت مصحوبة بالعواصف الرعدية والارتفاع النسبي في درجات الحرارة في شهري شباط واذار اذ تراوحت بين (20 -22 م°) مقارنتةً بدرجات حرارة التي تراوحت بين (8-11 م°) في شهري كانون الاول وكانون الثاني التي كانت تخلو من العواصف الرعدية. دُرسَ توزيع العينات المطرية على الخط المطري المحلي بقياس تراكيز النظائر المستقرة (الديتريوم والاوكسجين -18) وتبين ان توزيعها ضمن الخط المطري المحلي والعالمي Local and Global Meteoric Water Line (LMWL) (GMWL) تكمن أهمية البحث في دراسة تأثير العواصف الرعدية على تركيز نظير التريتيوم في مياه الامطار كونها تعتبر من المصادر الرئيسية هذا النظير.

الكلمات المفتاحية: التريتيوم ومياه سطحية والغلاف الجوي والأشعة الكونية والعواصف الرعدية.

Measurement of Tritium Concentration in Rainwater Associated with Thunderstorms in Baghdad City

Safaa Abdulrazzaq Abdulhussein Amer Abed Mohammed Ali Hassan Falih Ali Abbas Jassem
Ministry of Science and Technology /Environment and Water Directorate
Baghdad-Iraq
E_mail: safaatech@gmail.com

Abstract

The study examined the effect of thunderstorms on increasing the concentration of Tritium (^3H) in rainwater for periods of time within the 2018-2019 rain season, as it is considered one of the most important environmental radioisotopes used in hydrological studies, specifically in estimating modern water ages. Measurements were performed with a liquid scintillation counter. The Tritium concentration values showed a noteworthy variation in their values. The highest values were recorded in February and March of 2019 (8.57 and 11.71 TU) respectively. While the results recorded during December 2018 was 4.48 TU and for January 2019 was 3.22 TU, these were the least concentration. The reason for the increase in the values of Tritium concentration is due to the fact that the samples were taken from the rain that was accompanied by thunderstorms and the relative rise in temperatures in the months of February and March of 2019, as they ranged between (20-22 ° C) compared to the temperatures that ranged between (8-11 ° C) during months December and January of 2019 respectively, and the rain was not accompanied by thunderstorms. The distribution of rain samples on the Local Meteoric Water Line was studied by measuring the concentrations of stable isotopes (Deuterium and Oxygen-18) and found that their distribution within the local and global meteoric water line (LMWL) and (GMWL). The importance of this research lies in studying the effect of thunderstorms on the concentration of an isotope Tritium in rainwater, as it is considered one of the main sources for this isotope.

Keywords: Tritium, Surface Water, Atmosphere, Cosmic Ray and Thunderstorms.

المقدمــة

تعنى الدراسات الحديثة بدراسة خصائص النظائر البيئية الطبيعية في مياه الامطار والتي تشكل اساساً للدخول الى النظم الهيدرولوجية. تقسم نظائر جزيئة المياه الى نظائر مستقرة وهي الديتريوم (^2H) والأوكسجين−18 (^{18}O) ونظائر مشعة هي التريتيوم (^3H) يمكن استعمالها كدليل لمعرفة مصادر المياه ونوعيتها وعمرها (الجبوري، 2015). النظائر المشعة تكون نواتها غير مستقرة تسعى لحالة الاستقرار عن طريق أطلاق نيوتروناتها أو طاقتها على شكل أشعة جاما اذ تصل في النهاية الى نظير ثابت مستقر. يمكن قياس تركيز (^3H) بواسطة عدد من الأجهزة كجهاز العداد الوميضي السائل (Liquid Scintillation Counter) (Stojković, 2018). النظائر المستقرة (^2H و ^{18}O) لها تركيب ذري ثابت وتتمايز بالكتلة ولها أهمية كبيرة في دراسة وتفسير العديد من الظواهر الهيدرولوجية بالاستناد على التمايز النظائري الذي تحدثه الطبيعة اثناء الدورة الهيدرولوجية للمياه (Abou Zakhem, 2007). يُنتج التريتيوم في طبقات الجو العليا للغلاف الجوي حيث يتأكسد التريتيوم المتشكل في الغلاف الجوي بشكل سريع ليكون جزيئة ماء (H_2O) ومن ثم يدخل الى دورة المياه من خلال سقوط الامطار (Stamoulis واخرون 2017). عندما يتحد جزيء التريتيوم مع الاوكسجين يتكون جزيء الماء المشع وباختلاطه بجزيئات الماء الاعتيادية في طبقات الجو يتساقط مع الامطار وفيها نسبة من الماء المشع وعندما تصل الى سطح الارض تتوغل في التربة المسامية وتختلط بالمياه الجوفية. يتراوح تركيز التريتيوم الطبيعي في مياه الامطار في العراق بين (3.2−6.9 وحدة تريتيوم TU) (Al-Paruany, 2013) هناك بعض المصادر المتسببة في زيادة تركيز التريتيوم مثل العواصف الرعدية (Martell، 1963) وهي اضطراب في الغلاف الجوي يتشكل على هيئة تفريغ كهربائي ويصاحبها عادة هطول سواقط على أشكال مختلفة. يصاحب هذه العواصف البرق الذي يمثل شرارة كهربائية كبيرة ناتجة عن انتقال الالكترونات من مكان إلى آخر، وتتحرك بسرعة كبيرة. اما الرعد المصاحب للبرق يحدث عند التسخين الشديد للهواء المحيط بمسار البرق. العواصف الرعدية قد تخترق حد التروبوبوز (Tropopause) (Eastoe واخرون 2012) وهو الحد الفاصل بين طبقة التروبوسفير والستراتوسفير (Hoinka, 1999) متسببة بهطول امطار ذات محتوى عالي من تركيز التريتيوم المتواجد في طبقة الستراتوسفير حيث تشير التقديرات إلى أن 55 ٪ من انتاج التريتيوم يكون في هذه الطبقة. قدر محتوى التريتيوم الطبيعي في بخار الماء في الستراتوسفير بحوالي ($5-9 \times 10^5$ TU) وهو بذلك يكون أكبر بعدة مراتب من حجم مستوى التريتيوم الطبيعي في هطول الأمطار المقدر ببضعة اعداد من وحدات (TU) (Fourré واخرون 2006) (Ehhalt واخرون 2002). يعتبر التريتيوم متتبع مثالي (Ideal Tracer) لندرته في الطبيعة حيث ان قلة تسربه من طبقة الستراتوسفير الى طبقة التروبوسفير وانخفاض محتوى الماء في الستراتوسفير يجعله متتبعًا عالي القيمة. يزداد تركيز التريتيوم في الامطار المصحوبة بالعواصف الرعدية يأتي نتيجة للخرق الذي يحصل في الحد الفاصل بين الطبقتين بسبب العواصف الرعدية. من الدراسات السابقة (Al-Hadithi، 2018) في مجال قياسات التريتيوم حيث أظهرت النتائج ان قيم نظائر الهيدروجين والاوكسجين في مياه نهر دجلة متطابقة مع مياه الامطار المحلية مما يشير الى ان هطول الامطار يسهم بشكل رئيسي في تغذية النهر (دحام، 2017) قام بقياس وتحديد تركيز التريتيوم في عينات مياه نهر دجلة باستخدام جهاز عداد السائل الوميضي السائل (Al-Naseri واخرون 2013) قام بالاستفادة من نتائج التحليل النظائري لمياه الأمطار

خلال عام 2011 لرسم خط المطر المحلي(LMWL) ولأول مرة في مدينة بغداد ومقارنته بخط المطر العالمي (GMWL).

يهدف البحث الحالي إلى دراسة تركيز نظير التريتيوم في العينات المطرية ودراسة تأثير العواصف الرعدية على تذبذب تركيز التريتيوم وعلاقته ببعض العوامل المناخية كدرجة الحرارة ومقارنتها مع عينات من نهر دجلة.

المواد وطرائق العمل

منطقة الدراسة

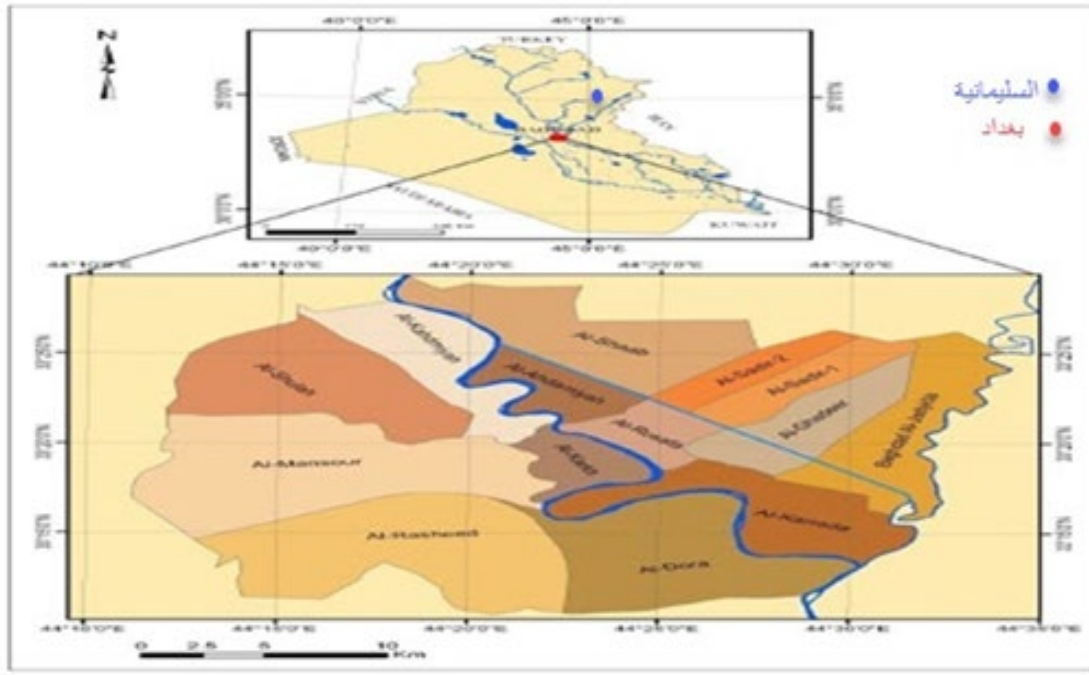
تقع مدينة بغداد جغرافيا في وسط العراق على نهر دجلة ضمن منطقة السهل الرسوبي الواقعة على خط طول يتراوح ("41.3568 '21 º44) شرقا وخط عرض يتراوح ("46.0980 '18 º33) شمالا وعلى ارتفاع (32–30 متراً) عن مستوى سطح البحر. شكل (1) يبين منطقة الدراسة حيث تمتاز تضاريس هذه المنطقة بكونها مستوية عموما وترتفع قليلاً في جزئها الغربي. مناخها حار جاف في الصيف وبارد رطب في الشتاء وتتراوح معدلات الأمطار السنوية بين 50 – 200 ملم ويمتاز بالفرق الحراري الكبير بين ساعات النهار والليل وما بين الشتاء والصيف. تعد أشهر الشتاء لا سيما (كانون الأول وكانون الثاني وشباط) أكثر شهور السنة مطرا. أما شهري الربيع (آذار ونيسان) فهما اقل مطرا ومعظمه ينتج عن الزوابع الانقلابية (الإعصارية) (شبكة الأرصاد الجوية ـ وزارة الزراعة العراقية 2019).

جمع النماذج

جمعت نماذج مياه الامطار لفترات زمنية متعددة خلال فترة الموسم المطري 2018 ـ 2019 الممتد للفترة من شهر تشرين الأول 2018 وينتهي في شهر أيار 2019 بواقع 6 عينات لمدينة بغداد من خلال منظومة جمع مياه الامطار الموجودة في موقع وزارة العلوم والتكنولوجيا/ دائرة البيئة والمياه للأشهر (كانون الأول من عام 2018 وكانون الثاني وشباط واذار من عام 2019)، فضلاً عن جمع 2 عينة من المنطقة الشمالية (محافظة السليمانية) الواقعة على خط طول يتراوح ("45.43389 '26 º45) شرقا وخط عرض يتراوح ("35.55194 '33 º35) شمالا لشهري (كانون الثاني وشباط من العام 2019) لدراسة تأثير الارتفاع عن مستوى سطح البحر على تراكيز قيم التريتيوم واخذ 2 عينة من مياه نهر دجلة في مدينة بغداد (مياه سطحية) لشهري (كانون الثاني ونيسان من العام 2019). حفظت هذه النماذج في عبوات نمذجة خاصة بسعة 50 مل للنظائر المستقرة (^{2}H و^{18}O) وسعة 500 مل لنظير التريتيوم (^{3}H) بعد ان ثبتت عليها تواريخ النمذجة والظروف الجوية المرافقة لعملية النمذجة في مكان بارد معد لهذا الغرض (حافظة نماذج مبردة) في مختبر النظائر البيئية/ دائرة البيئة والمياه/ وزارة العلوم والتكنولوجيا.

عملية القياس

تمثلت طريقة تحضير النماذج بأجراء عملية تركيز واثراء التريتيوم في عينات المياه (اغناء التريتيوم) باستخدام خلايا التحليل الكهربائي لاختزال عينة الماء والوصول الى مستوى قابل للقياس باستخدام جهاز العداد الوميضي السائل (Liquid Scintillation Counter) من نوع (Tri-carb3180). اذ حللت العينة بحجم 20 مل إلى 250 مل كهربائياً في وسط مبرد ووفق طريقة عمل معتمدة من قبل الوكالة الدولية للطاقة الذرية. ان مبدأ عمل الجهاز يعتمد قياس الومضات الضوئية الناجمة عن تفاعل جسيمات بيتا مع الوسط الحاوي للعينة المقاسة. عندما تحرر جسيمات بيتا تصطدم مع جزيئات مادة كرستالية خاصة تسمى (Scintillation Cocktail) علماً ان هذا الجهاز يتميز بمستوى عالي من العزل الاشعاعي وهذا يوفر خلفية اشعاعية متدنية جدا مما يوفر دقة في قياس التركيز الواطئ لعناصر التريتيوم والكاربون المشع 14 وهذه التقنية متوفرة في الجهاز.



شكل (1) منطقة الدراسة الحالية المتمثلة بمدينة بغداد. المصدر (Ali، 2012)

تكون نواة التريتيوم غير مستقرة وهي تسعى لحالة الاستقرار عن طريق أطلاق نيوتروناتها على شكل دقائق بيتا بحيث تصل في النهاية الى نظير الهيليوم المستقر كما موضح في المعادلة (1) (Canadian Nuclear Safety Commission, 2014):

$$^{3}_{1}H \xrightarrow{\beta-} {}^{3}_{2}He \quad \text{..... (1)}$$

$^{3}_{1}H$= التريتيوم

$\xrightarrow{\beta-}$ = طاقة بيتا

$^{3}_{2}He$= هيليوم

من اهم مصادر تكوين التريتيوم في البيئة هي الاشعة الكونية (Cosmic Ray) حيث يتشكل التريتيوم الطبيعي في طبقات الغلاف الجوي العليا نتيجة لتفاعل نيترونات الاشعة الكونية السريعة مع نتروجين الهواء المحيط بالكرة الأرضية وينتج من 0.1 الى 0.2 $sec.cm^2/atom$ (Masarik و Beeri 2009). تنتج هذه التفاعلات جسيمات نووية مثل النيوترونات والبروتونات والتي يمكن أن تتفاعل بعد ذلك مع الذرات الأخرى في الغلاف الجوي. أحد هذه التفاعلات هو إصابة نيوترون بنواة نيتروجين 14− مما يؤدي إلى تكوين ذرة كربون 12− وذرة تريتيوم (Panye, 1983)

$$^{14}N+{}^{1}n \rightarrow {}^{12}C+T \quad \text{..... (2)}$$

^{14}N = نتروجين

^{1}n= نيوترون

^{12}C= 12 كاربون

T= ^{3}H = تريتيوم

النتائج والمناقشة

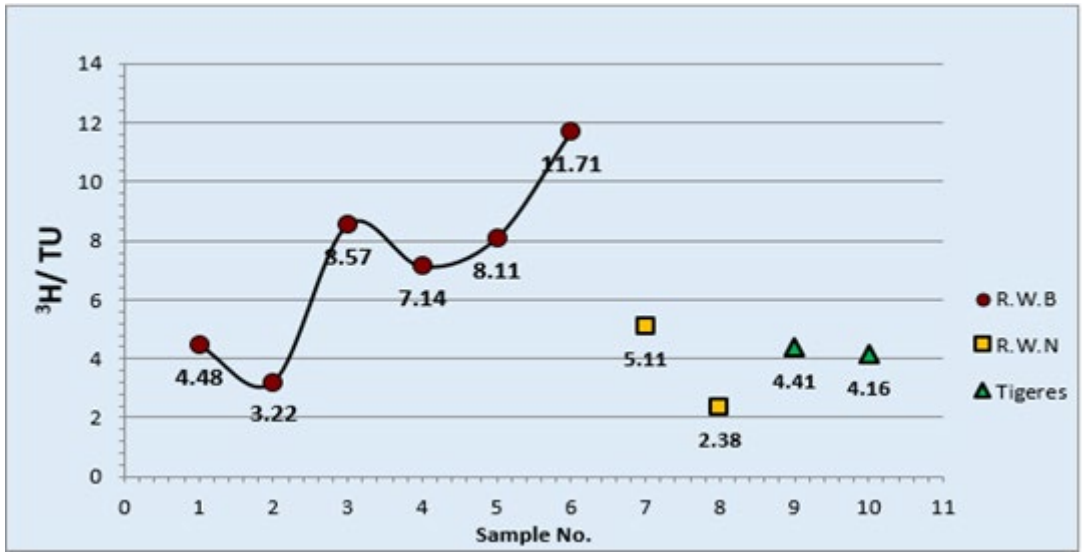
أجريت على عينات ماء المطر التي جمعت القياسات النظائرية الخاصة بالنظائر المستقرة والمشعة (^{3}H و ^{2}H و ^{18}O) والقياسات المختبرية مثل (الدالة الحامضية pH والتوصيلية الكهربائية EC). أظهرت قيم تركيز التريتيوم للعينات المطرية المبينة في جدول (1) الى وجود تباين ملحوظ في قيمه حيث كانت اعلى قيم في كل من شهري شباط واذار\2019 للموسم المطري (8.57 و11.71) TU على التوالي. بينما كانت نتائج تركيز التريتيوم اقل في شهري كانون الأول\ 2018 وكانون الثاني\ 2019 (3.22 و4.48) TU على التوالي. يعزى سبب ارتفاع تركيز التريتيوم

في شهري شباط واذار\2019 إلى ان النماذج اخذت من الامطار التي كانت مصحوبة بالعواصف الرعدية التي تخترق الحد الفاصل بين طبقتي التروبوسفير والستراتوسفير الغنية بتركيز التريتيوم وبالتالي يساهم هذا في زيادة تركيزه في مياه الامطار. بالإضافة إلى ان نماذج الامطار اخذت في شهري شباط واذار\2019 حيث بالارتفاع النسبي في درجات الحرارة التي تراوحت بين 20 – 22 م° وهذا عامل اخر يزيد من تركيز التريتيوم في النماذج المطرية. اذ ان درجات الحرارة عالية تسبب اغناء لنظير التريتيوم مقارنة بنظائر الهيدروجين الاخرى في جزئية الماء. وعلى العكس من ذلك كانت نتائج قيم تركيز التريتيوم لشهري كانون الأول\2018 وكانون الثاني\ 2019 اقل مقارنةً مع شهري شباط واذار\ 2019 بسبب الانخفاض الواضح في درجات الحرارة حيث تراوحت بين 8–11م° وكانت الامطار غير مصحوبة بالعواصف الرعدية. وكما هو موضح في الشكلين (2 و3). تراوح معدل قيم التريتيوم في المياه السطحية (نهر دجله) خلال موسم الدراسة 2018–2019 ما بين 4.16–4.41 TU حيث لم يكن هنالك اختلاف ملحوظ عن الدراسات السابقة والتي تشير الى ان معدل التريتيوم في نهر دجلة يتراوح بين 5–6 TU (Al-Hadithi، 2018) مما يدل على ان العينات المطرية الرعدية (الغنية بالتريتيوم) لم يكن لها تأثير واضح على تركيز التريتيوم في مياه نهر دجلة باعتبار ان الامطار هي المصدر الرئيسي للتريتيوم في المياه السطحية. ويعزى السبب الى ان كمية الامطار المصحوبة بالعواصف الرعدية والغنية بتراكيز التريتيوم كانت قليلة.

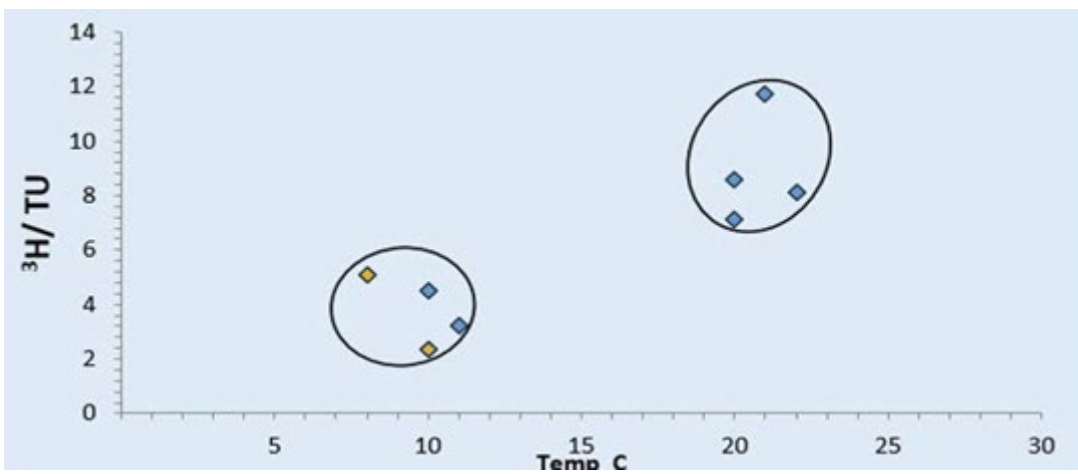
جدول (1) الفحوصات النظائرية والفيزيائية لعينات الامطار والمياه السطحية خلال الدراسة الحالية

No.	Sample	H^3 TU	$\delta\ ^2H$ (‰)	$\delta\ ^{18}O$ (‰)	T °C	H %	P mm	Ec µs/m	pH
1	R.W.B* 17-12-18	4.48	28.73	2.07	10	86	15.23	152.4	7.05
2	R.W.B 28-01-19	3.22	-25.07	-4.4	11	83	34.50	214.0	6.90
3	R.W.B 01-02-19	8.57	-16.92	-3.22	20	51	2.24	82.1	7.51
4	R.W.B 08-03-19	7.14	-2.26	-1.93	20	31	20.00	106.2	7.18
5	R.W.B 15-03-19	8.11	15.58	-1.35	22	55	21.23	91.9	7.12
6	R.W.B 26-03-19	11.71	4.21	-2.68	21	66	22.1	105.5	5.73
7	R.W.N** 10-1-19	5.11	-95.44	-13.38	8	44	-	118.8	6.33
8	R.W.N 02-02-19	2.38	-34.84	-5.79	10	50	-	156.9	6.60
9	Tigres 15-01-19	4.41	-34.11	-6.73	10	54	-	1021	7.60
10	Tigres 15-04-19	4.16	-36.03	-6.46	27	29	-	1041	7.63

* R.W.B = Rain water Baghdad
** R.W.N= Rain water north



شكل (2) تباين قيم تركيز التريتيوم في العينات المطرية والسطحية لعينات مدينة بغداد● والسليمانية■ ونهر دجلة▲

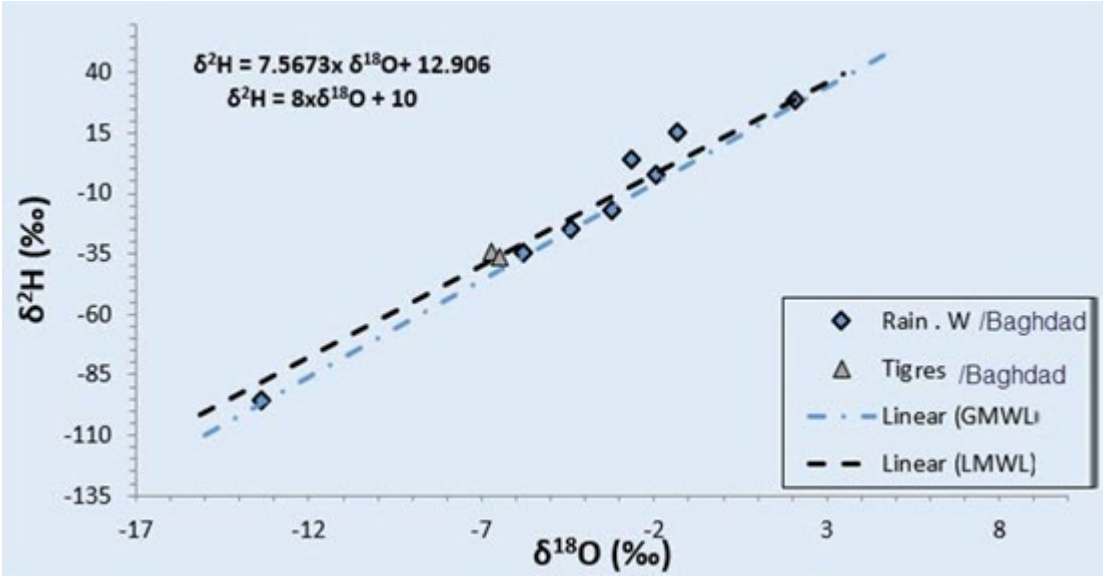


شكل (3) العلاقة بين التريتيوم ودرجات الحرارة لعينات مدينتي بغداد ■ والسليمانية ■

اخذت عينتين من المنطقة الشمالية (السليمانية التي يبلغ ارتفاعها عن سطح البحر 882 م) لغرض دراسة تأثير الارتفاع عن مستوى سطح البحر على قيم التريتيوم في العينات المطرية وأشارت النتائج الى عدم وجود اي تأثير حيث كانت قيم التريتيوم ضمن قيم مياه الامطار بغداد ونهر دجلة.

توزيع العينات المطرية على الخط المطري المحلي Local Meteoric Water Line (LMWL)

تقاس تراكيز النظائر المستقرة (^{18}O و^{2}H) بالألف (‰) حيث تراوحت قيم تركيز الديتريوم (^{2}H) للعينات المطرية للفترة من شهر كانون الأول 2018 إلى شهر اذار 2019 وعددها (8) عينات من (-95.44‰) الى (28.73‰) والاوكسجين -18 من (-13.38‰) الى (2.07‰) حيث يتبين من العلاقة بين الديتريوم والأوكسجين-18 ان العينات المطرية توزعت ضمن الخط المطري المحلي (LMWL) والخط المطري العالمي (GMWL) وكما موضح في الشكل (4). هذا التوزيع مؤشر على ان عملية جمع العينات المطرية كانت ضمن المواصفات القياسية المتبعة لدى الوكالة الدولية للطاقة الذرية International Atomic Energy Agency (IAEA) في جمع العينات المطرية.



شكل (4) العلاقة بين الديتريوم والاوكسجين 18 في مياه الامطار لمدينة بغداد ومياه نهر دجلة ضمن مدينة بغداد ايضاً

الاستنتاجات

أظهرت قيم تركيز التريتيوم للعينات المطرية تباين ملحوظ في قيمها، اذ كانت الاعلى في شهري شباط واذار\ 2019 بينما كانت نتائج شهري كانون الأول\ 2018 وكانون الثاني\ 2019 الأقل في مدينة بغداد. كانت لدرجات الحرارة تأثير واضح في ارتفاع تركيز التريتيوم. ولم يلاحظ تأثير واضح في تركيز التريتيوم في مياه نهر دجلة باعتبار ان الامطار هي المصدر الرئيسي للتريتيوم في المياه السطحية. ان العينات المطرية المدروسة توزعت ضمن الخط المطري المحلي (LMWL) والخط المطري العالمي (GMWL).

المصادر

الجبوري، ثاير حبيب عبد الله وراغب محمود حسن الجبوري، (2015). تحديد عمر المياه الجوفية في ناحية المنصورية. مجلة ديالى للبحوث الإنسانية. 67، 1-16.

شبكة الأرصاد الجوية (وزارة الزراعة العراقية) تم الاطلاع عليه في (1 أيار 2019). رابط الموقع https://agromet.gov.iq

دحام، هادي كريم وامل ناجي وادي، (2017). قياس تركيز التريتيوم في عينات مياه نهر دجلة باستخدام جهاز عداد السائل الوميضي. مجلة كلية التربية الأساسية. 23، 115-116.

Abou Zakhem, B., and Hafez, R. (2007). Chemical and Isotopic Composition of Precipitations in Syria. AECS-G\RSS, (729).

Al-Paruany, K. B. (2013). Hydrochemical and Isotopic Study of Water Resources Between Haditha Dam and Site of Al-Baghdadi Dam Ph. D. Thesis College of Science University of Baghdad Baghdad, Iraq.

Al-Hadithi, M. S. (2018). Determination of Groundwater and Surface Water Interaction in Baghdad City Using Isotopes Technique. Iraqi Bulletin of Geology and Mining, 14(2), 109-120.

Ali, S. M. (2012). Hydrological Environmental Assessment of Baghdad Area, Ph.D. Thesis, University of Baghdad, College of Science. 245p.

AL-naseri, S. K.; Al-abidin, H. A. Z.; Falih, A. H., and Al-Kinani, S. A. A. (2013). Determination of the Meteoric Water Line Using Stable Isotopes in

Precipitations at Several Locations in Baghdad. Iraqi Journal of Science and Technology, 4(1), 36-42.

Canadian Nuclear Safety Commission (2014). Investigation of the Environmental Fate of Tritium in the Atmosphere. Report.

Eastoe, C. J.; Watts, C. J.; Ploughe, M., and Wright, W. E. (2012). Future Use of Tritium in Mapping Pre-bomb Groundwater Volumes. Groundwater, 50(1), 87-93.

Ehhalt, D. H.; Rohrer, F.; Schauffler, S., and Pollock, W. (2002). Tritiated Water Vapor in the Stratosphere: Vertical Profiles and Residence Time. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 107(D24), ACH-8.

Fourré, E.; Jean-Baptiste, P.; Dapoigny, A.; Baumier, D.; Petit, J. R., and Jouzel, J. (2006). Past and Recent Tritium Levels in Arctic and Antarctic Polar Caps. Earth and Planetary Science Letters, 245(1-2), 56-64.

Hoinka, K. P. (1999). Temperature, Humidity, and Wind at the Global Tropopause. Monthly Weather Review, 127(10), 2248-2265.

Martell, E. A. (1963). On the Inventory of Artificial Tritium and its Occurrence in Atmospheric Methane. Journal of Geophysical Research, 68(13), 3759-3770.

Masarik, J., & Beer, J. (2009). An Updated Simulation of Particle Fluxes and Cosmogenic Nuclide Production in the Earth's Atmosphere. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 114(D11).

Panye, B.R. (1983). Introduction: Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology, Technical Reports Series n° 91, IAEA, Vienna, pp 1-18.

Stamoulis, K. C.; Ioannides, K. G.; Papachristodoulou, C. A., and Alexandropoulou, S. (2017). A Study of Tritium Concentrations in Air Humidity Following a Rainfall. HNPS Proceedings, 69-72.

Stojković, I.; Todorović, N.; Nikolov, J.; Krajcar Bronić, I.; Barešić, J., and Kozmidic Luburić, U. (2018). Methodology of Tritium Determination in Aqueous Samples by Liquid Scintillation Counting Techniques. In book: Tritium, Advances in research and applications (99-156).