المجلد 8، العدد 4، 2014. ص ص. -

المجلة الأردنية للفيزياء

ARTICLE

تحديد تراكيز الرادون واليورانيوم ونظائر مشعة أخرى في أنواع مختلفة من المياه الطبيعية في محافظة نينوى

سعيد حسن سعيد* وصباح يوسف حسن**

* قسم الفيزياء، كلية التربية للعلوم الصرفة، جامعة الموصل، الموصل، العراق.

** قسم الأشعة، المعهد التقني، الموصل، العراق.

Received on: 24/3/2015; *Accepted on: 23/7/2015*

الملخص: جُلبت 34 عينة مياه طبيعية من مصادر مختلفة وهي مشاريع إسالة المياه، والآبار الجوفية والعيون النقية والمعدنية فضلاً عن مياه الأمطار في محافظة نينوى. اُعتمِدت تقنيتي كاشف الأثر النووي الصلب Solid State Nuclear Detectors (SSNTD's) نوع CR-39، والطيف الكامي باستعمال كاشف الجرمانيوم عالي النقاوة High Purity Germanium (HPGe) Detector، لتحديد تراكيز الرادون ^{222}Rn واليورانيوم ^{238}U ونظائر مشعة أخرى كالراديوم ^{226}Ra والبوتاسيوم ^{40}K والبزموث ^{214}Bi. أظهرت النتائج أن تراكيز الرادون في عينات المياه تراوحت بين (0.838- 1.758) Bq.L^{-1}، وأن أعلى تركيز له كانت في ماء المطر، في حين كان تركيز اليورانيوم ppb (67-142) بتقنية كاشف الأثر CR-39 وppb (73.2-138.3) بتقنية HPGe، وهذه القيم أقل من أعلى تركيز مسموح به لليورانيوم المذاب في ماء الشرب البالغ ppb 9000. أما تركيز الراديوم في العينات فقد بلغ ppb 10^{-5}*(2.29-4.8)، بينما كان تركيز البوتاسيوم Bq.L^{-1} (6.25-10.125)، وتركيز البزموث كان بحدود Bq.L^{-1} (5.179-9.446). حُسبت الجرعة السنوية المؤثرة ووجد أنها بحدود μsv.y^{-1} (4.40-9.24) في حالة تناول المياه وμsv.y^{-1} (2.3-4.82) في حالة الاستنشاق، وهذه القيم تُعَد قليلة مقارنة مع الحد الموصى به عالمياً من جانب The World Health Organization and EU Council والبالغ msv.y^{-1} 0.1 لمياه الشرب. بشكل عام، فقد ظهر تركيز الرادون في عينات المياه قيد الدراسة أقل من القيمة العليا المسموحة والبالغة BqL^{-1} 18 وأنها لا تشكل خطورة على الحياة البشرية.

Determination of Radon, Uranium and other Radioactive Isotopes Concentration in Different Types of Natural Water in Nenava Governorate

Saeed Hassan Saeed* and **Sabah Yousif Hassan****

** Physics Department, College of Education for Pure Science, Mosul University, Mosul, Iraq.*

** Radiation Department, Technical Institute, Mosul, Iraq.*

Extended Abstract

Radon (^{222}Rn) is a naturally occurring radioactive gas with a half-life of 3.82 days released from the normal decay of the elements uranium, thorium, and radium in rocks and soil. It is an invisible, colourless, odourless, and chemically inert gas and has no taste. Radon is fairly soluble in water and organic solvents that seeps up through the ground and diffuses into the air. It dissolves into ground water and surface water and can be released into the air when the water is used. Radon is also present outdoors and indoors, but it is normally found at very low levels in outdoor air and in water from rivers and lakes,

Water is represented as the most important source for life and forms up (70–75)% of total body weight. While 70% of the world's surface is covered by water, only 0.3 % of the total water

Corresponding Author: S. H. Saeed **Email**: saeed_alnaeme@yahoo.com

resources on earth is drinkable and suitable for daily use. Human race provides their water from surface water and ground water. Ground water is more radioactive than surface water since it passes through rock and soil formations, dissolves many compounds, minerals and radioactive substances. Naturally occurring radioactive material in groundwater (springs and wells) mainly comes from the uranium decay series with major members that are of concern for human health are ^{238}U and ^{234}U, ^{226}Ra, ^{222}Rn and ^{210}Pb. The Concentrations of the radionuclides may vary over a wide range and depend on the bedrock in which the aquifer is located as well the water parameters such as pH, Eh and alkalinity.

Radon decays into solid radioactive elements called radon daughters or radon progeny such as ^{218}Po, ^{214}Po, ^{214}Bi and ^{214}Pb. These daughters can attach to dust and other particles and can be breathed into the lungs. As radon and radon progeny in the air decay, they give off alpha particles, a form of high-energy radiation, when inhaled, these radioactive particles can damage the DNA inside the body's cells and also damage the cells that line the lung. Long-term exposure to radon can lead to lung cancer, the only cancer proven to be associated with inhaling radon. There has been a suggestion of increased risk of leukemia associated with radon exposure in adults and children.

The contribution to the mean effective dose equivalent from inhalation of ^{222}Rn and its short-lived decay products ^{218}Po, ^{214}Po, ^{214}Bi and ^{214}Pb estimated to be about 50% of the total effective dose equivalent from natural radiation sources. The presence of 222Rn in the environment and ground waters is associated mainly with trace amounts of uranium and its immediate parent, radium (^{226}Ra), in rocks and soil. Radon can easily lose from water when it is agitated for example, when river or other water sources flows over rocks or moved by wind.

Natural Water and Drinking water may contain varying levels of radioactivity. It is therefore important to determine the radon and the radium levels as well as other radionuclides levels in water for public health and radiation protection. This paper presents results of radon (^{222}Rn), radium (^{226}Ra), uranium (^{238}U), Bismuth (^{214}Bi) and potassium (^{40}K) concentrations in under ground water (springs and wells), surface water (from rivers and lakes), drinking water from different sources as well as the rain water in Nenava governorate in Iraq.

Thirty four (34) samples of natural waters were brought from different sources: projects of tap-water, underground wells, pure and mineral springs, as well as, rains water in Nenava governerate. Long-term technique for alpha particles emission with solid state nuclear track detector (SSNTD) CR-39 and short-term technique for gamma spectroscopy with high purity germanium detectors (HPGe) have been used to determine the concentration of radon (^{222}Rn), uranium (^{238}U) and other radioactive isotopes such as radium (^{226}Ra), bismuth (^{214}Bi) and potassium (^{40}K) in the water samples.

The solid state detector CR-39 was exposed to water samples, for 95 days within the period from 23/12/2003 to 5/4/2004, except that for rain water sample the period of exposure was from 25/1 to 30/4/2004, to measure the concentrations of radon, radium, and uranium in the water samples through alpha particles emission, while multi-channel analyzer was used to determine the concentrations of potassium and also uranium, through gamma-ray emission from these samples.

The results showed concentrations between (0.838-1.758) $Bq.L^{-1}$ for radon (^{222}Rn) with high value in rain water. Uranium (^{234}U) concentration has ranged between (67-142) ppb and (73.2-138.3) ppb using SSNTD's and HPGe techniques respectively, and these values are lower than the maximum allowed concentration of dissolved uranium in drinking water which is about 9000 ppm. Concerning of radium (^{226}Ra), its level was ranged between $(2.29\text{-}4.8)*10^{-5}$ ppb, while the concentration of potassium (^{40}K) was (6.525-10.125) $Bq.L^{-1}$ and bismuth (^{214}Bi) was (5.179 - 9.446) $Bq.L^{-1}$.

The annual effective dose of radon was calculated and it was ranged between (4.40-9.24) $\mu sv.y^{-1}$ in case of ingestion and (2.30-4.82) $\mu sv.y^{-1}$ in case of inhalation. These values are regarded less in comparison with allowed normal limit which is about 0.1 $msv.y^{-1}$ for drinking water. In general the concentrations of radon in natural waters are less than the maximum allowed limit which is about 18 $Bq.L^{-1}$, and there will be no risk on the human being life.

Keywords: Radon; Drinking water; Spring and well water; Annual effective dose, CR-39.

المقدمة

تعد الطرائق النووية والطيفية من التقنيات الحديثة في الدراسات البيئية والدراسات الجيولوجية، إذ تعطي نتائج جيدة ومهمة بسبب قدرتها على التحسس بالتراكيز المنخفضة للإشعاعات وفي تحليل ودراسة النظائر المشعة ونواتجها الإشعاعية.

إن أحد أسباب التلوث البيئي هو انتشار المواد المشعة في الترب السطحية والصخور والمياه سواء كان هذا الانتشار طبيعياً أم من جراء تلوث خارجي. فقد ازدادت مصادر التلوث الإشعاعي بسبب الحروب والتفجيرات النووية لاختبار الأسلحة النووية التي تنفذها الدول العظمى، لذلك ازدادت الدراسات والمسوحات الإشعاعية للهواء والترب والصخور والمياه والغذاء وغيرها لقياس مستوى الجرعات الإشعاعية التي يتعرض لها الإنسان، ويعد الرادون ^{222}Rn أحد مصادر التلوث الإشعاعي.

إن وجود الراديوم في منطقة ما في الطبيعة يعتمد على وجود اليورانيوم ^{238}U الذي يقدَّر وجوده في القشرة الأرضية بحدود ppm (3-4). ويعد الرادون ^{222}Rn الوليد المباشر للراديوم ^{226}Ra ($t_{1/2}$=1620 yr) في سلسلة اليورانيوم ^{238}U في الطبيعة، إذ يوجد الراديوم في الترب والصخور ومياه البحار والمحيطات ورواسبها. فجميع عناصر سلسلة انحلال الراديوم هي مواد صلبة ما عدا الرادون فهو العنصر الغازي الوحيد بينها ويتصرف بشكل مشابه للغازات الأخرى التي يستنشقها الإنسان. فالرادون هو غاز مشع عديم اللون والطعم والرائحة اكتشف من قبل F.E. Dorn عام 1900، تبلغ كثافته $9.73\ kg.m^{-3}$، ودرجة غليانه $-61.8)^oC$)، ودرجة انجماده $-71)^oC$)،

وعمره النصفي 3.825 day مما يزيد من انتشاره إلى مسافات غير قليلة في الجو على الرغم من كونه ينبعث من التربة بكميات أقل من الثورون ^{220}Rn [1] وهو ينحل باعثاً جسيمات ألفا بطاقة 5.485 MeV مما يشكل خطورة على الصحة العامة.

يبعث الرادون ووليداته جسيمات ألفا المؤينة، وهو يساهم بشكل طبيعي بحدود 50% من الخلفية الإشعاعية في هواء الغرف [2]. وتخمن اللجنة العلمية لتأثيرات الأشعة الذرية التابعة للأمم المتحدة The United Nations Scientific Committee on The Effect of Atomic Radiation (UNSCEAR). بأن الرادون يساهم مع النويدات الوليدة المشعة الناتجة من انحلاله بحوالي 75% من مكافئات الجرعة المؤثرة السنوية التي يستلمها الأفراد كل على انفراد من المصادر الأرضية، وبحدود 50% من جرعاتهم من كل المصادر الطبيعية مجتمعة. وتعزى النسبة العظمى من هذه الجرعات إلى استنشاق هذه النويدات المشعة ولاسيما من هواء الدور والمباني [3].

إن مشكلة الرادون في المساكن وأماكن الإقامة الأخرى ووصوله إليها بطرائق مختلفة تظل قائمة، إذ يتسرب باستمرار من التربة والمياه الجوفية إلى أجواء المساكن، وتعد التربة ومواد البناء والماء والغاز الطبيعي من المصادر الأخرى التي ينبعث منها الرادون في المنازل [4، 5،6]. ولغاز الرادون القابلية على الانتشار والنفوذ فأنه يتسرب من التربة بطريقة الانتشار (Diffusion) من الفجوات والفتحات والشقوق الصغيرة الموجودة في

أساسات المباني [7]، ولكونه أثقل من الهواء بحدود تسع مرات فهو يميل إلى البقاء قريباً من الأرض في الطوابق الأرضية [8]. كذلك ينتقل هذا الغاز مع الماء من خلال صنابير المياه ودورة المياه في الطبيعة وفي أثناء القيام ببعض الأعمال المنزلية مثل عمليات الغسل والطبخ والتنظيف، إذ ينطلق الرادون المذاب في الماء إلى الهواء وقد يصل إلى الإنسان من خلال الاستنشاق عند الاستخدامات اليومية للماء. بصورة عامة فان مقدار الرادون المتحرر من الماء يعتمد على مقداره الموجود أصلاً في الماء، ودرجة حرارته، والمساحة السطحية المعرضة للهواء إذ يتناسب معدل انبعاث الرادون طردياً مع مقدارها [9].

تشير نتائج الدراسات التي أجريت خلال السنوات الأخيرة إلى زيادة تراكيز الرادون في العديد من المساكن إلى الحد الذي أصبح فيه الرادون يشكل مصدر خطر على الحياة البشرية، إذ أن تسرب الرادون من التربة إلى الجو تعمل على التصاق وليداته المشعة بالهواء الجوي مكوناً ما يعرف بالهباء الجوي (Aerosol). وعلى الرغم من كون المعايير الخاصة بالتعرض للرادون قد أعلنت منذ عام 1960 إلاّ أن الاهتمام بالرادون بوصفه عامل إشعاعي خطر وملوث للبيئة ذو تأثيرات صحية ضارة على الإنسان لم يأخذ مداه المطلوب إلاّ في منتصف السبعينات من القرن الماضي عندما أصبح في متناول الباحثين والمهتمين أجهزة متطورة قادرة على تحسس الرادون بتراكيز مختلفة. وبقدر تعلق الأمر بالمساكن والأبنية وغيرها فقد تم التأكيد على التصاميم التي تضمن مقاومة التقلبات المناخية، والتي من أهم خصائصها المحافظة على أجوائها الداخلية من خلال

التحكم في عمليات التهوية وخفض معدلات التعرض إلى الرادون إلى الحدود الدنيا المقبولة وفق المعايير السائدة. ولغرض الإيضاح نذكر أن معدل التهوية في أماكن الإقامة يتراوح بين (0.5-1.5) مرة تغيير هواء في الساعة أي ما يعادل (12-36) مرة باليوم [10].

لكون الرادون يشكل نسبةً لا بأس بها من الخلفية الإشعاعية التي يمكن أن يتعرض لها الإنسان أو الكائن الحي، وإنه يشكّل خطورة كبيرة على الحياة البشرية ولاسيما الإصابة بسرطان الرئة والذي يزداد في حالة تعرض الإنسان للرادون لمدة زمنية طويلة أو لتراكيز عالية منه [2].

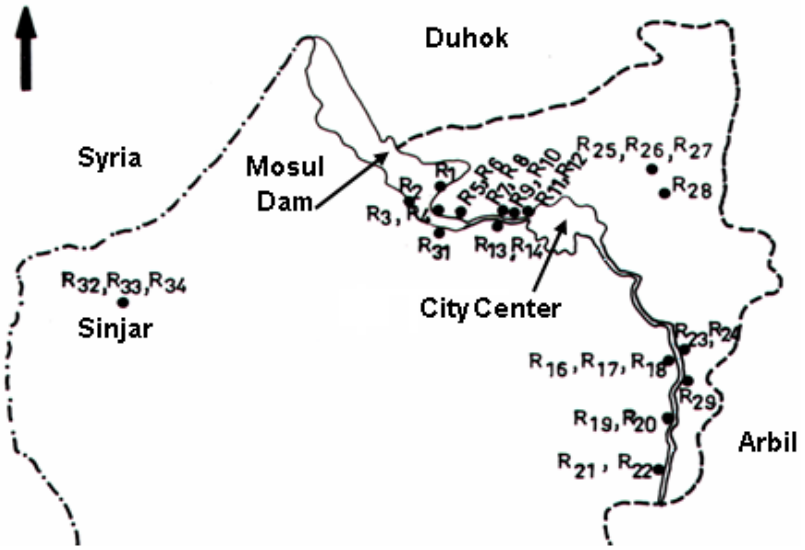
ولأهمية المياه في حياة الإنسان والكائنات الحية في جميع مجالاتها ولاسيّما في الطعام والشراب فقد هدفت هذه الدراسة إلى تحديد تراكيز الرادون ^{222}Rn وعدد من النظائر المشعة كالراديوم ^{226}Ra واليورانيوم ^{238}U والبوتاسيوم ^{40}K في المياه الطبيعية النقية والخام السطحية والجوفية من مصادر مختلفة كمشاريع الإسالة والسدود والأنهر والآبار الارتوازية والجوفية والعيون النقية والمعدنية ومياه الأمطار من مناطق مختلفة من محافظة نينوى وذلك باستخدام تقنيتي كاشف الأثر النووي الصلب CR-39 وكاشف الجرمانيوم عالي النقاوة HPGe.

طريقة العمل

جمع العينات وتحضيرها

جمعت العينات في نيسان 2004 من معظم مشاريع الإسالة لتنقية المياه، ومن سد الموصل الواقعة على نهر دجلة ومن العيون والآبار الجوفية والتي تغذي معظم الأقضية والنواحي والقصبات المهمة، ومن مركز مدينة الموصل، ومن العيون المعدنية فضلاً عن ماء المطر في محافظة نينوى. إن عينات الماء الخام التي جُلِبت من مشاريع الإسالة (التنقية) وسد الموصل أُخذت من عمق m (3-4) تحت سطح النهر في حين تراوحت معدل أعماق الآبار بحدود 180 متراً، والشكل (1) يمثل المواقع التي جلبت منها العينات.

اُستخدِمت تقنيتين لإيجاد تراكيز الرادون والنظائر المشعة الأخرى في عينات المياه المستخدمة. الأولى باستخدام كاشف الأثر النووي لتحديد تراكيز الرادون ^{222}Rn والراديوم ^{226}Ra فضلاً عن إيجاد تراكيز اليورانيوم من خلال تسجيل آثار جسيمات ألفا المنبعثة من غاز الرادون المنبعث من العينة؛ والثانية باستخدام كاشف الجرمانيوم عالي النقاوة HPGe من خلال دراسة طيف أشعة كاما المنبعثة من وليدات اليورانيوم والنظائر المشعة الأخرى لإيجاد تراكيز اليورانيوم ^{238}U أيضاً إلى جانب تركيز البوتاسيوم ^{40}K.



الشكل (1): المواقع التي جلبت منها عينات المياه

القياس والتحليل بتقنية كاشف الأثر النووي CR-39 *(SSNTD)*

قُطِّع كاشف CR-39 (250-275)µm بأبعاد cm^2 (1.2×1.2) وعُرِّضت لعينات المياه، إذ أُخِذت ثلاثة نماذج من كل عينة من العينات البالغة عددها (34) وبذلك أصبحت عدد النماذج 102 كتلة كل منها 65 g. وُزِنت العينات ثم وضعت في حجرات بلاستيكية اسطوانية الشكل مغلقة الطرفين قطرها 6.2 cm معدّة لأغراض التشعيع. فُصِل الكاشف عن العينة بحاجز في وسطه فتحة مغطى بقطعة من الأسفنج أبعادها cm^3 (3.5x3.5x0.5) لمنع وصول الثورون (^{220}Rn ($t_{1/2}=55.6\ s$) إلى الكاشف، وكذلك منع تراكم بخار الماء على وجه الكاشف في حالة حصول تبخر من العينة.

تُركت العينات لمدة 22 يوماً وذلك للوصول إلى 98% من حالة التوازن المثالي (القرني) (Secular equilibrium) بين الراديوم والرادون، وقد تم حساب هذا الزمن من علاقة التوازن للنشاط الإشعاعي:

$$A_{Rn} = A_{Ra}(1 - e^{-\lambda_{Rn} t}) \qquad (1)$$

إذ أن A_{Rn} يمثل فعالية الرادون وA_{Ra} فعالية الراديوم و$\lambda_{Rn}(=0.1814 d^{-1})$ ثابت انحلال الرادون وt هو الزمن اللازم للوصول إلى حالة التوازن.

اُستبدلت أغطية الحجرات بعد الوصول إلى حالة التوازن بسرعة بأخرى مثبت عليها قطعة الكاشف CR-39 من الداخل لبدء عملية التعريض وكان البعد بين سطح العينة والوجه المشعع للكاشف (أي ارتفاع الحيز الهوائي h) 5.6 cm للعينات جميعها، وسمك جميع عينات الماء المستخدمة كان (L= 2.2 cm) تقريباً. تُركت الكواشف داخل الحجرات لمدة تعريض 95 يوماً ثم رُفِعت بعدها وقُشِطت لمدة أربع ساعات بدرجة حرارة $(70\pm 1)^oC$ باستعمال محلول NaOH نقاوته 98% وتركيزه 24% لإظهار الآثار المتكونة فيها. قيست كثافة آثار جسيمات ألفا المسجلة في الكواشف والمنبعثة من عينات المياه وذلك باستعمال المجهر البصري الاعتيادي نوع (Reichert Neovar type 300422) نمساوي الصنع بقوة تكبير 400X. كذلك قيست الخلفية الإشعاعية للكواشف المستخدمة وكانت بمعدل Tr/cm^2 150 إذ تم طرحها للحصول على الكثافة الفعلية للآثار التابعة لجسيمات ألفا المنبعثة من العينات. إن عملية عدّ الآثار في الكواشف كُرِّرت مرتين لكل نموذج وحُسِب معدل عدد الآثار لوحدة المساحة لكل كاشف.

تم قياس تراكيز (كثافة فعالية) الرادون في الحيز الهوائي C_a بوحدة $Bq.m^{-3}$ لحجرات التعريض وذلك بحساب كثافة الآثار $\rho(Tr.cm^{-2})$ على الوجه المُعرَّض للكاشف لزمن $t(=95d)$ في دراستنا هذه وباستعمال العلاقة [11، 12].

$$C_a = \frac{C_o\ t_o\ \rho}{t\ \rho_o} \qquad (2)$$

إذ أن C_o هو تركيز الرادون لحجرة المعايرة وتساوي $90\ kBq.m^{-2}$، وt_o هو زمن معايرة الجرعة 48 hrs، وρ_o كثافة الآثار على سطح كاشف المعايرة $96768\ Tr.cm^{-3}$، مع العلم أن مقاييس الجرع (حجرة التشعيع) المستخدمة معيّرة أصلاً في مدرسة بحوث الفضاء والفيزياء في جامعة برمنگهام بالمملكة المتحدة [11].

ولحساب تركيز الرادون في العينات C_w بوحدة $(Bq.m^{-3})$ تستخدم العلاقة [11، 12]:

$$C_w = \frac{C_a\ \lambda_{Rn}\ h\ t}{L} \qquad (3)$$

كذلك يمكن إيجاد الفعالية الإشعاعية A للرادون الناتج من العينات المستخدمة بوحدات Bq تبعاً لحجم العينة في الحجرة $V\ (m^3)$ وذلك من العلاقة:

$$A_{Rn} = C_w V \qquad (4)$$

باستخدام قانون التوازن الإشعاعي المثالي يتم إيجاد عدد ذرات اليورانيوم في العينات N_U وكتلته $W_U(g)$ وتركيزه بوحدة (ppm) من المعادلات:

$$N_U\ \lambda_U = N_{Rn}\ \lambda_{Rn} \qquad (5)$$

$$W_U = \frac{N_U\ A_U}{N_{av}} \qquad (6)$$

$$C_U\ (ppm) = \frac{W_U}{W_S} \qquad (7)$$

إذ أن $\lambda_U(= 4.8833x10^{-18}\ s^{-1})$ وA_U ثابت الانحلال والعدد الكتلي لليورانيوم ^{238}U، وأن N_{av} يمثل عدد أفوكادرو ويساوي $6.022x10^{23}\ mol^{-1}$، وW_S كتلة العينات المستخدمة وتساوي 65 g. وباستخدام المعادلات نفسها في أعلاه يتم حساب تركيز الراديوم وكتلته في

العينات بدلاً من اليورانيوم بمعرفة ثابت انحلاله والذي يساوي $\lambda_{Ra}=1.3734x10^{-11}\ s^{-1}$.

لحساب معدل الانبعاث (الزفير) الكتلي للرادون بوحدات $(Bq.Kg^{-1}.d^{-1})$ C_{Rn}، لابد من حساب زمن التعرض الفعّال (Effective exposure time) t_{eff} والذي يُعطى بالعلاقة:

$$t_{eff}=\left[\ t-\lambda_{Rn}^{-1}\left(\ 1-e^{-\lambda_{Rn}t}\ \right)\ \right] \qquad (8)$$

$$C_{Rn(Bq.kg^{-1}.d^{-1})}=C_{\rho(Ra)}.\frac{\lambda_{Ra}}{\lambda_{Rn}}.\frac{1}{t_{eff}} \qquad (9)$$

وقد وُجد أن زمن التعرّض الفعّال هو 89.509 d على حسب الظروف المستخدمة، وإن $C_{\rho(Ra)}$ تمثل الفعالية الإشعاعية الكلية للراديوم.

القياسات بتقنية تحليل طيف گاما بكاشف الجرمانيوم عالي النقاوة *(HPGe)*

تُعدّ تقنية تحليل طيف أشعة گاما من التقانات المهمة والواسعة الاستخدام في الكشف عن النظائر والنوى التي تبعث أشعة گاما من حيث قدرة التحليل ودقة النتائج وإمكانية العمل في الطاقات منخفضة المستوى فضلاً عن قِصَر المدة الزمنية للقياس مقارنة بالكواشف البلاستيكية. استعملنا في دراستنا هذه محلل الأطياف متعدد القنوات (Multi Channel Analyzer) نوع CANBERRA-85، مجهّز من شركة CANBERRA ويحتوي على 4096 قناة.

تم معايرة المطياف باستخدام المصدرين القياسيين المشعين: الكوبلت ^{60}Co الذي يمتلك خطين گامِيَّين عند الطاقة keV(1332 ,1170)، والسيزيوم ^{137}Cs عند الطاقة 662 keV، وذلك للحصول على مقدار الطاقة لكل قناة (keV/Channel). كذلك وُجد أن 2.1 keV هي أحسن قدرة للفصل الطاقي لكاشف الجرمانيوم عالي النقاوة HPGe عند الخط الگامي 1332 keV لنظير ^{60}Co عند الثابت الزمني التكاملي والتفاضلي للمكبر 3µs. لقد اُستُعمِل المصدر القياسي الراديوم ^{226}Ra لتعيين كفاءة الكاشف HPGe بالاستعانة بمعادلة النشاط الإشعاعي ومعادلة حساب الكفاءة المطلقة وكما يأتي:

$$\varepsilon\,\% = \frac{Area}{A_t\ I_\gamma\ t}\ x\ 100\% \qquad (10)$$

إذ يمثل A_t النشاط الإشعاعي للنظير المشع القياسي عند تاريخ العمل، وArea هي المساحة تحت الذروة للعنصر المشع، وt زمن تجميع الطيف ويساوي 61200 s وI_γ هي النسبة المئوية لشدة أشعة گاما المنبعثة من العنصر المشع ويتم الحصول عليها من جدول النظائر [13].

ومن الملاحظ أن كفاءة الكاشف تقل بزيادة الطاقة، فقد وُجِد أن كفاءة العدّاد للبوتاسيوم ^{40}K كانت 0.222651 للخط الكامي 1462 keV وكانت 0.166455 لليورانيوم ^{238}U للخط الكامي 1765 keV الناتج من الوليد ^{214}Bi [14].

فُحِصت عينات المياه المستخدمة بوضع لتر واحد (1000 g) من كل عينة في علبة مشابهة لعلبة مارنيللي (Marinelli Beaker) وجمع الطيف الكامي لمدة 61200s لحساب النشاط الإشعاعي للعينات. وباستخدام معادلة الكفاءة في أعلاه حُسِبت فعالية البزموث ^{214}Bi من الطيف الكامي لعينات المياه المستخدمة، ومن قانون التوازن الإشعاعي المثالي بين اليورانيوم ^{238}U ووليده البزموث ^{214}Bi أمكن حساب تركيز اليورانيوم في العينات وبالطريقة نفسها كما في المعادلات (5) و(6) و(7).

النتائج والمناقشة

تركيز الرادون ^{222}Rn

الجدول (1) يوضّح رموز عينات المياه المستخدمة وتوزيعها على المناطق التي جلبت منها العينات وكذلك تركيز الرادون فيها بوحدات مختلفة باستعمال كاشف الأثر النووي CR-39. يلاحظ من الجدول (1) إن أقل قيمة لتركيز الرادون هو $0.838\ Bq.L^{-1}$ في العينة R_5 (ماء خام مشروع وانه) وأعلى قيمة له هو $1.758\ Bq.L^{-1}$ في العينة R_{30} (ماء المطر) إذ بلغ معدّل تركيزه $1.1331\ Bq.L^{-1}$ في العينات المستخدمة جميعها.

الجدول (1): مواقع العيّنات وكثافة الآثار وكثافة فعالية الرادون Rn^{222} في عيّنات المياه الطبيعية بوحدات مختلفة.

رقم العيّنة	موقع العيّنة	تركيز الرادون في العيّنات C_w			
		$Bq\ m^{-3}$	$PCi\ L^{-1}$	$Bq\ L^{-1}$	$Bq\ Kg^{-1}$
R_1	سد الموصل/ يسار/ خام	1127	30.46	1.127	1.127
R_2	سد الموصل/ يمين/ خام	1036	28.0	1.036	1.036
R_3	مشروع سد الموصل / خام	993	26.838	0.993	0.993
R_4	مشروع سد الموصل/ نقي	1196	32.324	1.196	1.196
R_5	مشروع وانه/ خام	838	22.649	0.838	0.838
R_6	مشروع وانه/ نقي	1246	33.676	1.246	1.246
R_7	مشروع الأيسر الجديد/ خام	11.93	32.243	1.193	1.193
R_8	مشروع الأيسر الجديد/ نقي	1043	28.189	1.043	0.976
R_9	مشروع الرشيدية/ خام	1018	27.514	1.018	1.018
R_{10}	مشروع الرشيدية/ نقي	1170	31.622	1.170	1.170
R_{11}	مشروع الأيسر القديم/ خام	1063	28.73	1.063	1.063
R_{12}	مشروع الأيسر القديم / نقي	976	26.378	0.976	0.976
R_{13}	مشروع الأيمن الموحد/ خام	1010	27.297	1.010	1.001
R_{14}	مشروع الأيمن الموحد/ نقي	1058	28.595	1.058	1.058
R_{15}	عين كبريت (معدنية)	1485	40.135	1.485	1.485
R_{16}	حمام العليل (معدنية)	1378	37.243	1.378	1.378
R_{17}	مشروع حمام العليل/ خام	1063	28.73	1.063	1.062
R_{18}	مشروع حمام العليل/ نقي	981	26.514	0.981	0.980
R_{19}	مشروع الشورة/ خام	1029	27.811	1.029	1.029
R_{20}	مشروع الشورة/ نقي	1039	28.081	1.039	1.039
R_{21}	مشروع القيّارة/ خام	888	24	0.888	0.888
R_{22}	مشروع القيّارة/ نقي	847	22.892	0.847	0.848
R_{23}	مشروع السّلامية/ خام	1188	32.108	1.188	1.188
R_{24}	مشروع السّلامية / نقي	1401	37.865	1.401	1.400
R_{25}	بئر جوفي/ بعشيقة/ رأس العين	1015	27.432	1.015	1.015
R_{26}	بئر جوفي/ بعشيقة/مزرعة حسين صادق	1060	28.649	1.060	1.060
R_{27}	بئر جوفي/ بعشيقة/ مزرعة قس جابر	1088	29.405	1.088	1.088
R_{28}	بئر جوفي/ بعشيقة/ أبو جربوعة	1087	29.378	1.087	1.087
R_{29}	مياه معدنية/قرية المخلط/ النمرود	1288	34.812	1.288	1.288
R_{30}	ماء المطر/مركز الموصل	1758	47.514	1.758	1.758
R_{31}	مشروع آسكي موصل/خام	1035	27.973	1.035	1.035
R_{32}	عيون كولاسوتكا/ جبل سنجار	1031	27.865	1.031	1.031
R_{33}	مشروع سنجار/ نقي	1112	30.054	1.112	1.112
R_{34}	بئر جوفي/ سنجار/ حي القادسية	1115	30.135	1.115	1.115

ويمكن توضيح النتائج في أعلاه لمعدل تركيز الرادون في العينات في الجدول (2)، إذ بمقارنة معدل مستويات تراكيز الرادون لأنواع المياه المستخدمة في هذه الدراسة نجد أن مستوى تراكيز الرادون في المياه الخام والمياه النقية المأخوذة من مشاريع الإسالة وهي مياه سطحية مصدرها نهر دجلة وبحيرة سد الموصل هي متقاربة وكذلك مقاربة لمعدّلات تركيز الرادون في المياه الجوفية والعيون النقية إذ تستخدم معظم هذه المياه لأغراض الشرب والأكل والاستحمام والغسل. كما يلاحظ أن معدّل تركيز الرادون في المياه السطحية (وهي الخام والنقية) والجوفية لا تتعدى 1.067Bq.L-1 أي بفارق لا يتجاوز 5.7% فيما بينهما، وهذه نسبة قليلة تقع ضمن الخطأ في القياسات. وهذا يعني أن المياه المستخدمة من الأنهار (خام أو نقي) أو من الآبار الجوفية تحتوي على التراكيز نفسها لأن

جيولوجية مناطق العراق هي عموماً متشابهة. كما يلاحظ أن تقارب تراكيز الرادون في المياه النقية والخام يدل على أن إضافة مادتي الشّب والكلور المستخدمتين في عمليات تصفية (تنقية) المياه ليس لها تأثير محسوس على مستويات تراكيز الرادون فيهما.

بالمقابل نجد أن معدل مستوى تركيز الرادون في المياه المعدنية هي أعلى مقارنة بالمياه السطحية والجوفية بحدود 33% و26% و30% عن مستوى تركيزه في عينات المياه الخام والنقية والآبار الجوفية على التوالي في العينات، وبلغت نسبة الزيادة بحدود 29.7% بشكل عام مقارنة بمعدّل هذه العينات الثلاث المذكورة في أعلاه.

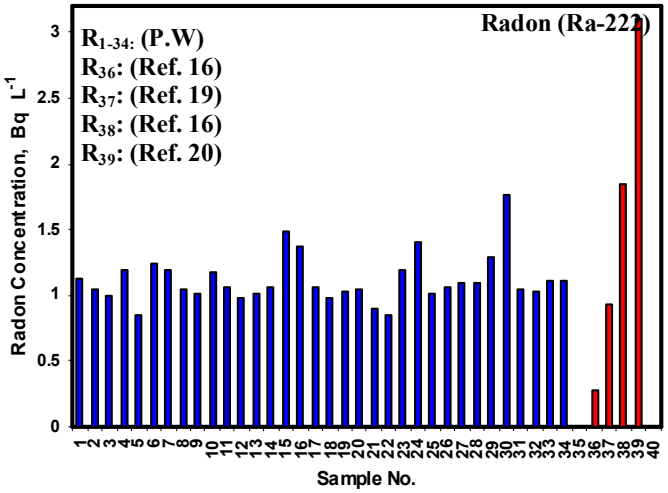
الجدول (2): تركيز الرادون ^{222}Rn في أنواع مختلفة من عيِّنات المياه الطبيعية

ت	نوع المياه	معدّل تركيز الرادون (^{222}Rn (Bq L^{-1})
1	مياه سطحية/ خام	1.037
2	مياه سطحية/ نقية	1.097
3	آبار جوفية وعيون نقية	1.066
4	مياه معدنية	1.384
5	مياه أمطار	1.758
	المياه عموماً (المعدل)	1.268

وبسبب الزيادة في تركيز الرادون في ماء المطر مقارنة ببقية العينات فإنه يفضّل تنقية مياه الأمطار قبل استخدامها لأغراض الشرب والأكل ولاسيما من قبل السكان البدو والذين يعتمدون عليها بشكل كبير في حياتهم وفي سقي حيواناتهم.

وعليه فإن النتائج التي حصلنا عليها لمستويات الرادون في عينات المياه المستخدمة عموماً هي أقل بكثير من حدود مستوى الرادون الموصى به من قبل الوكالة الأمريكية للوقاية البيئية United States Environmental Protection Agency (USEPA). وبناءاً على هذا فإنه لا توجد خطورة يُخشى منها في استخدام المواطنين لمياه الشرب النقية والخام والجوفية والأمطار في محافظة نينوى من الناحية الإشعاعية، علماً أن أعلى تركيز مسموح به للرادون في مياه الشرب والموصى به من قبل الوكالة USEPA هي بحدود $18\ Bq.L^{-1}$ [15].

وبمقارنة نتائجنا لمستويات الرادون التي حصلنا عليها في المياه الطبيعية في محافظة نينوى مع نتائج عدد من الدراسات أخرى لمستويات الرادون في المياه في مناطق مختلفة في العالم، نجد من الشكل (2) والجدول (3) أن معدل تركيز الرادون في عينات المياه في محافظة نينوى أكثر أو قريب من تركيزه في مواقع مختلفة في بعض الأحيان من بلدان العالم وأقل منها في معظم الأحيان. وقد يعزى سبب الاختلاف في ذلك إلى طبيعة مكونات الأرض ومجرى النهر فضلاً عن عمق الآبار الجوفية والمياه المعدنية.



الشكل (2): تركيز الرادون ^{222}Rn في عينات المياه الطبيعية باستخدام تقنية SSNTD's مقارنة بدراسات أخرى.

الجدول (3): مقارنة تراكيز الرادون ^{222}Rn في عيّنات المياه الطبيعية مع مياه متنوعة في مناطق مختلفة من العالم.

نوع العيّنة	موقع العيّنة والبلد	تركيزالرادون $Bq\ L^{-1}$	المعدّل $Bq\ L^{-1}$	المصدر
Cold Well Water	Al-Karak (Jorden)	1.692- 2.016	1.845	[16]
Cold Well Water	Irbid (Jorden)	3.1 - 5.7	4.5	[11]
Cold Well Water	Albany (USA)	1 – 29	14	[17]*
Cold Well Water	Scotland	3 – 35	23	[18]*
Cold Well Water	San Luis (Mexico)	1.21-8.7	3.325	[19]*
Cold Well Water	San Luis Potosi (Mexico)	0.068-9.324	3.097	[20]*
Cold Spring Water	AL-Karak (Jorden)	0.132-0.534	0.271	[16]
Cold Spring Water	Irbid (Jorden)	3.3 – 10.7	5.4	[11]
Cold Spring Water	San Luis (Mexico)	0.117-2.362	0.936	[19]*
Cold Well Water	Nenava Governorate (Iraq)	1.015-1.115	1.063	P.W
Private Ground	Co.wicklow (Ireland)	1 - 3316	-----	[21]
Drinking and Well Water	Co.wicklow (Ireland)	0-100	-----	[21]
Drinking (surface) Water–Rivers	Co.wicklow (Ireland)	1<	-----	[21]
Well Water	Chester Pennsylvania,USA	11.1-1961		[22]
Baltic Sea	Roskilde (Denmark)	0.003-0.03	-----	[23]
Well Water	Aucashat (Iraq)	0.11-0.158	-----	[24]
Well,Thermal Springs and Under Ground	Fuzhou and She-nyang (China)	0.035-101.3	7.82	[25]
Well and Spring Water	Bait-Sahem Spring and Sultani well (Jorden)	0.132-2.016	-----	[16]
Different Types of Natural Water	Yarmouk University and Rahoob (Jorden)	2.5 - 10.7	-----	[11]
Drinking Water and Hot Springs	AL-Lajoon–Qutraaneh well–Awajan well (Jorden)	3 – 116.6	-----	[26]
Drinking Water, Springs and Rivers	Shandiz, Zoshk and Abrdeh regions (Mashhad-Iran)	0.0-31.881	6.284	[27]
Drinking Water	Nenava province (Iraq)	17.4-36.1	26.37	[28]
Spring and Well Water	Lebanon	0.91- 49.6	11.4	[29]
Surface, Well and Spring Water	Transylvania region (Romania)	0.5-129.3	15.4	[30]
Natural Water	Nenava Governorate (Iraq)	0.838-1.758	1.268	P.W

* تراكيز الرادون هذه مستخلصة من المرجع (16)، وقد تم تحويله من وحدة $Bq.m^{-3}$ إلى $Bq.L^{-1}$

P. W: البحث الحالي present work

تركيز الراديوم ^{226}Ra

من التوازن الإشعاعي بين الرادون ^{222}Rn واليورانيوم ^{238}U والراديوم ^{226}Ra فقد تم حساب تركيز الراديوم في عينات المياه إذ يعّد النواة الأم للرادون ^{222}Rn. والجدول (4) يوضّح الفعالية الإشعاعية للراديوم وتركيزه ومعدّل الانبعاث (الزفير) الكتلي للرادون. ويمكن توضيح هذه النتائج على أساس معدل تركيز الراديوم في العينات للأنواع المختلفة من المياه في الجدول (5). إذ بمقارنة مستويات تراكيز الراديوم، نجد أن معدل مستوى تركيزه في المياه النقية والخام (المياه السطحية) متقاربة جداً ومقاربة لمياه الآبار الجوفية. فقد بلغ معدّل مستوى الراديوم في هذه المياه بحدود 2.88×10^{-5}ppb، وإن معدّل تركيز الراديوم في عينات المياه المعدنية تزيد بنسبة 31% عن معدّل تركيزه في المياه السطحية والجوفية. وقد يعزى هذا إلى احتواء العينات على بعض المعادن التي قد يدخل في

تركيبها اليورانيوم أو الراديوم أو أن يكون مصادر هذه العينات من مناطق عميقة تحت سطح الأرض مروراً بالصخور أثناء جريانها. كما نجد أن معدّل تركيز الراديوم في عينة ماء المطر تزيد أيضاً بنسبة 66.7% عن معدّل تركيزه في المياه السطحية والجوفية، وقد يعزى هذا إلى ما ذكرناه سابقاً. وتجدر الإشارة هنا إلى أن فعالية الراديوم تزداد تقريباً بزيادة العمق عن سطح الأرض وهذا قد يفسر زيادة نسبة الراديوم في عينات المياه المأخوذة من أعماق كبيرة تحت سطح الأرض [31].

كذلك يلاحظ من الجدول (4) نفسه أن الانبعاث (الزفير) الكتلي للرادون يتغير بين $(0.61\text{-}1.27)*10^{-7}$ $Bq.kg^{-1}.d^{-1}$ وبمعدّل تركيز $0.806\times10^{-7}Bq.kg^{-1}.d^{-1}$ للمياه المستخدمة، إذ أن معدّل الانبعاث (الزفير) الكتلي يعتمد على كتلة العينة وزمن التعرض فضلاً عن كتلة اليورانيوم في العينة.

الجدول (4): الفعّالية الإشعاعية للراديوم وتركيزه في المياه الطبيعية ومعدل الانبعاث (الزفير) الكتلي للرادون

رقم العيِّنة	^{226}Ra تركيز الراديوم C_{Ra} x10^{-5} (ppb)	معدل الانبعاث (الزفير) الكتلي للرادون ^{222}Rn C_{Rn}x10^{-7} ($Bq\ Kg^{-1}\ d^{-1}$)	رقم العيِّنة	تركيز الراديوم ^{226}Ra C_{Ra} x10^{-5} (ppb)	معدل الانبعاث (الزفير) الكتلي للرادون ^{222}Rn C_{Rn} x10^{-7} ($Bq\ Kg^{-1}\ d^{-1}$)
R_1	3.08	0.82	R_{18}	2.68	0.71
R_2	2.83	0.75	R_{19}	2.81	0.74
R_3	2.71	0.72	R_{20}	2.84	0.75
R_4	3.27	0.87	R_{21}	2.43	0.64
R_5	2.29	0.61	R_{22}	2.32	0.61
R_6	3.40	0.9	R_{23}	3.25	0.86
R_7	3.26	0.86	R_{24}	3.83	1.01
R_8	2.85	0.75	R_{25}	2.77	0.73
R_9	2.78	0.74	R_{26}	2.30	0.77
R_{10}	3.2	0.85	R_{27}	2.97	0.79
R_{11}	2.91	0.77	R_{28}	2.97	0.79
R_{12}	2.67	0.71	R_{29}	3.52	0.93
R_{13}	2.76	0.73	R_{30}	4.80	1.27
R_{14}	2.89	0.77	R_{31}	2.83	0.75
R_{15}	4.06	1.08	R_{32}	2.82	0.75
R_{16}	3.77	1.0	R_{33}	3.04	0.8
R_{17}	2.9	0.77	R_{34}	3.05	0.81

الجدول (5): تركيز الراديوم ^{226}Ra في أنواع مختلفة من عيِّنات المياه الطبيعية

ت	نوع المياه	معدّل تركيز الراديوم ^{226}Ra ($Bq\ L^{-1}$) $\times10^{-5}$
1	مياه سطحية/ خام	2.83
2	مياه سطحية/ نقية	2.99
3	آبار جوفية وعيون نقية	2.813
4	مياه معدنية	3.78
5	مياه أمطار	4.8
	المياه عموماً (المعدل)	3.4

تركيز اليورانيوم ^{238}U

وفيما يخص تركيز اليورانيوم ^{238}U في عينات المياه المستخدمة فهو موضح في الجدول (6) والشكل (3). وكما ذكرنا فقد تم تحديده باستخدام تقنيتي كواشف الأثر النووي الصلبة SSNTD's وطيف أشعة گاما باستخدام كاشف الجرمانيوم عالي النقاوة HPGe باعتماد الخط الكامي للبزموث ^{214}Bi للطيف والذي يظهر عند الطاقة 1765 keV.

يلاحظ من الجدول (6) أن أقل قيمة لتركيز اليورانيوم كانت 67ppb و78.7 ppb في العينة R_5 (ماء خام مشروع وانه) باستخدام تقنيتي SSNTD و HPGeعلى التوالي، فيما بلغت أعلى قيمة له بحدود 138.3 ppb و142 ppb في العينة R_{30} (ماء المطر) باستخدام تقنيتي SSNTD و HPGeعلى التوالي. وبمقارنة نتائج التقنيتين في الجدول (6) في أعلاه، نجد أن معدّلات تراكيز اليورانيوم للأنواع المختلفة من المياه المستخدمة متقاربة وتكاد تكون متطابقة وكما يظهر من الشكل (3) أيضاً، ولهذا تم إيجاد معدّل تركيز اليورانيوم في المياه للطريقتين كما في الجدول (6). وهذا يؤكد إمكانية استعمال كواشف الأثر النووي الصلبة بشكل متميز في تحديد تراكيز اليورانيوم حتى وإن كانت بمستويات منخفضة.

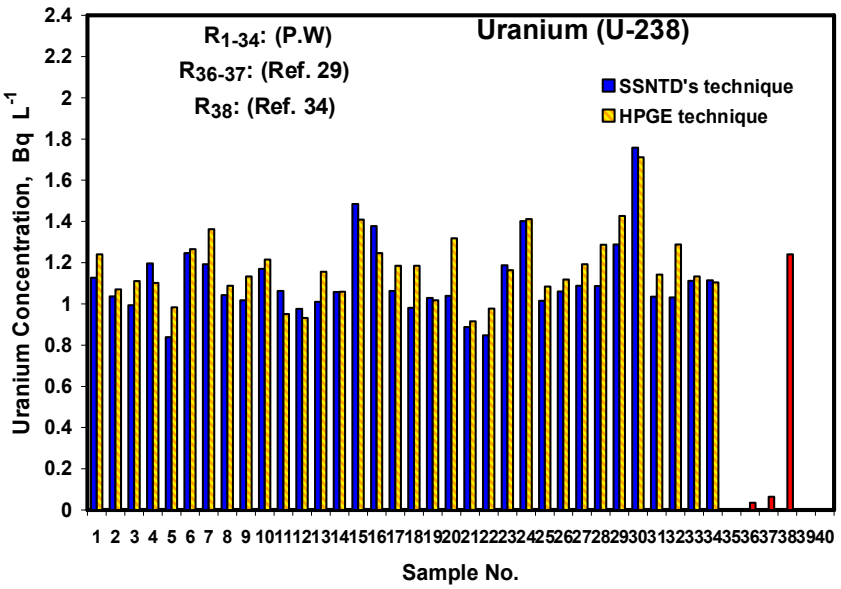
ويمكن تلخيص معدّلات تراكيز اليورانيوم في المياه المستعملة بتقنيتي SSNTD وHPGe ومعدّلهما في الجدول (7)، إذ يلاحظ أن الفرق بين التقنيتين هو %(8-1.7) وأنه لا يزيد عن %2.2 للمياه عموماً. وبمقارنة معدلات تراكيز اليورانيوم في هذه العينات للمياه المختلفة مع بعضها، نجد أن معدل تركيز اليورانيوم في ماء المطر أعلى من معدل تركيزه في المياه المعدنية والآبار الجوفية والعيون النقية والمياه النقية والخام على الترتيب بنسبة %27 و%65.5 و%60.8 و%70 بتقنية كواشف الأثر النووي SSNTD وأعلى بنسبة %26 و%49 و%49 و%55 بتقنية كاشف الجرمانيوم عالي النقاوة HPGe علماً أن أعلى تركيز مسموح به لليورانيوم المذاب في مياه الشرب هو 9000 ppb [32].

بمقارنة النتائج التي حصلنا عليها مع نتائج باحثين آخرين لعينات من المياه في مناطق مختلفة من العالم نجد أن نتائجنا تقع ضمن حدود المستويات التي حصل عليها Abu-Murad *et al.* [31] في مياه سد وادي العرب في الأردن وهي بين $Bq.L^{-1}$(1.24-4.15) وبمعدّل 2.79 $Bq.L^{-1}$، إذ يمكن القول أن الطبيعة التكوينية الجيولوجية لهذه المناطق قد تكون متقاربة لكون الأردن احد الدول المجاورة للعراق.

أما الدراسة التي أجراها Singh *et al.* [33] لقياس مستويات اليورانيوم في المياه في بعض المدن الهندية فقد وجدوا أن متوسط تركيزه بلغ 0.062 $Bq.L^{-1}$في مياه المعالجة (النقية) لشبكات الإسالة و0.064 $Bq.L^{-1}$ في المياه غير المعالجة (الخام) والمأخوذة من المحطات اليدوية والنافورية، فيما بلغ 0.035 $Bq.L^{-1}$ في مياه النهر الذي لم يتم معالجته. ويلاحظ أن هذه القيم هي أقل من مستوى اليورانيوم التي حصلنا عليها في دراستنا للمياه المأخوذة من شبكات الإسالة (الخام والنقي) بحدود 16 مرة، وهذا الفرق كبير وقد يعزى إلى اختلاف الطبيعة الجيولوجية لمكونات الأرض في العراق والهند وكذلك تعتمد على نوعية الأراضي التي تمر فيها مجرى الأنهر والمياه في الهند عما عليه في العراق. كما نلاحظ من هذه الدراسة أن الفرق قليل أو معدوم بين مستويات اليورانيوم بين المياه المُعالَجة (النقية) وغير المُعالَجة (الخام) المأخوذة من شبكات الإسالة، وهذا يتوافق بشكل كبير مع النتيجة التي حصلنا عليها. فقد حصلنا على توافق كبير بين مستويات اليورانيوم في المياه النقية (المُعالَجة) المأخوذة من شبكات الإسالة وبين المياه الخام (غير المُعالَجة) المأخوذة من شبكات الإسالة وبحيرة سد الموصل إذ أن مصدرهما واحد هو نهر دجلة. وهذه النتيجة تتوافق مع نتيجة دراسة Singh *et al.* [33] في أعلاه لهذه الحالة وتؤكد عدم تأثير المعالجة الكيميائية بالشّب والكلور على مستوى اليورانيوم في هذه المياه

الجدول (6): مقارنة بين تراكيز اليورانيوم ^{238}U في المياه الطبيعية بتقنيتي كاشف الأثر النووي SSNTD وكاشف الجرمانيوم عالي النقاوة HPGe

رقم العيّنة	تركيز اليورانيوم ^{238}U						تركيز البوتاسيوم في العيّنات C_K (Bq L^{-1})
	تقنية كاشف الأثر النووي SSNTD's		تقنية كاشف الجرمانيوم عالي النقاوةHPGe		معدّل التقنيتين		
	Bq L^{-1}	ppb	Bq L^{-1}	ppb	Bq L^{-1}	ppb	
R_1	1.127	91 ± 2.5	1.24	100.1 ± 12	1.184	95.55	9.043 ± 0.217
R_2	1.036	83 ± 2.4	1.070	85.7 ± 13	1.053	84.35	7.4`29 ± 0.26
R_3	0.993	80 ± 2.4	1.111	89.5 ± 14	1.052	84.75	9.112 ± 0.264
R_4	1.196	96 ± 2.6	1.102	88.5 ± 17	1.149	92.25	8.798 ± 0.273
R_5	0.838	67 ± 2.1	0.984	78.7 ± 14	0.911	72.85	9.006 ± 0.351
R_6	1.246	100 ± 2.6	1.266	101.6 ± 20	1.256	100.8	8.181 ± 0.352
R_7	1.193	96 ± 2.6	1.362	109.6 ±16	1.278	102.8	9.381 ± 0.272
R_8	1.043	84 ± 2.4	1.088	87.6 ± 22	1.066	85.8	9.739 ± 0.477
R_9	1.018	82 ± 2.4	1.133	91.3 ± 17	1.076	86.65	7.802 ± 0.281
R_{10}	1.170	94 ± 2.6	1.215	97.6 ± 21	1.193	95.8	8.969 ± 0.323
R_{11}	1.063	86 ± 2.4	0.951	76.9 ± 15	1.007	81.45	8.941 ± 0.250
R_{12}	0.976	79 ± 2.3	0.932	75.4 ± 20	0.954	77.2	6.525 ± 0.307
R_{13}	1.010	81 ± 2.4	1.156	92.8 ± 15	1.083	86.9	9.722 ± 0.486
R_{14}	1.058	85 ± 2.4	1.059	85.1 ± 16	1.059	85.05	9.799 ± 0.314
R_{15}	1.485	120 ± 2.9	1.409	113.9 ± 18	1.447	116.95	10.125± 0.324
R_{16}	1.378	111 ± 2.8	1.246	100.4 ± 18	1.312	105.7	8.807 ± 0.308
R_{17}	1.063	85 ± 2.4	1.185	94.8 ± 16	1.124	89.9	8.934 ± 0.286
R_{18}	0.981	79 ± 2.3	1.185	94.8 ± 16	1.083	87.2	8.308 ± 0.324
R_{19}	1.029	83 ± 2.4	1.017	81.3 ± 10	1.023	82.5	9.229 ± 0.286
R_{20}	1.039	84 ± 2.4	1.318	106.5 ± 16	1.089	95.25	6.819 ± 0.259
R_{21}	0.888	71 ± 2.2	0.916	73.2 ± 17	0.902	72.1	9.035 ± 0.316
R_{22}	0.847	68 ± 2.2	0.977	78.4 ± 14	0.912	73.2	8.295 ± 0.357
R_{23}	1.188	96 ± 2.6	1.163	93.9 ± 18	1.176	94.95	8.562 ± 0.265
R_{24}	1.401	113±2.8	1.412	114 ± 29	1.406	113.5	8.192 ± 0.336
R_{25}	1.015	82 ± 2.4	1.084	87.5 ± 14	1.05	84.75	8.993 ± 0.243
R_{26}	1.060	85 ± 2.4	1.118	89.7 ± 14	1.089	87.35	9.057 ± 0.299
R_{27}	1.088	88 ± 2.5	1.192	96.4 ± 13	1.14	92.2	9.364 ± 0.225
R_{28}	1.087	87 ± 2.5	1.287	102.9 ± 13	1.187	94.95	9.235 ± 0.212
R_{29}	1.288	104±2.7	1.427	115.2 ± 13	1.358	109.6	9.354 ± 0.206
R_{30}	1.758	142±3.1	1.711	138.3 ± 19	1.735	140.15	8.482 ± 0.280
R_{31}	1.035	83±2.4	1.142	91.7 ± 13	1.088	87.35	7.217 ± 0.253
R_{32}	1.031	83 ± 2.4	1.288	103.7 ± 16	1.16	93.35	8.919 ± 0.268
R_{33}	1.112	89 ± 2.5	1.133	90.7 ± 15	1.123	89.85	9.041 ± 0.262
R_{34}	1.115	90 ± 2.5	1.104	89.1 ± 14	1.11	89.55	8.280 ± 0.331



الشكل (3): مقارنة بين تراكيز اليورانيوم ^{238}U في عينات المياه الطبيعية باستخدام تقنيتي SSNTD وHPGe إلى جانب دراسات أخرى.

الجدول (7): معدلات تراكيز اليورانيوم^{238}U في الأنواع المختلفة من المياه الطبيعية في محافظة نينوى باستخدام تقنيتي SSNTD's وHPGe

ت	نوع المياه	تركيز اليورانيوم^{238}U (ppb)			نسبة الفرق بين التقنيتين (ppb)
		SSNTD's	HPGe	المعدل	
1	مياه سطحية/ خام	83.4	89.25	86.33	7%
2	مياه سطحية/نقية	88.3	92.7	90.5	5%
3	آبار جوفية وعيون نقية	85.8	92.72	89.26	8%
4	مياه معدنية	111.7	109.8	110.75	1.7%
5	مياه أمطار	142	138.3	140.15	2.7%
	المياه عموماً (المعدل)	102.24	104.55	103.4	2.2%

تركيز البوتاسيوم ^{40}K والبزموث ^{214}Bi

تم تحديد تراكيز البوتاسوم ^{40}K والبزموث ^{214}Bi في عينات المياه الطبيعية قيد الدراسة في محافظة نينوى، باستخدام تقنية كاشف الجرمانيوم العالي النقاوة HPGe من خلال دراسة الطيف الكامي للبوتاسيوم ^{40}K عند الطاقة 1462 keV بـ (0.762keV/channel) والبزموث ^{214}Bi الطاقة 2536 keV بـ (1.3119 keV/channel) وكما موضح في الجدول (8).

يلاحظ من الجدول أن قيم تراكيز البوتاسيوم ^{40}K كانت متقاربة في معظم العينات وبلغت اقل قيمة $6.525 Bq.L^{-1}$ في العينة R_{12} (ماء مشروع الايسر القديم/نقي) واعلى قيمة $10.125 Bq.L^{-1}$ في العينة R_{15} (ماء عين كبريت المعدني)، كذلك ظهرت قيم تراكيز البزموث ^{214}Bi متقاربة في معظم العينات وكانت اقل قيمة بحدود $5.179 Bq.L^{-1}$ في العينة R_{20} (ماء مشروع الشورة/نقي) وأعلى قيمة 9.446 في العينة R_{15} أيضا (ماء عين كبريت المعدني).

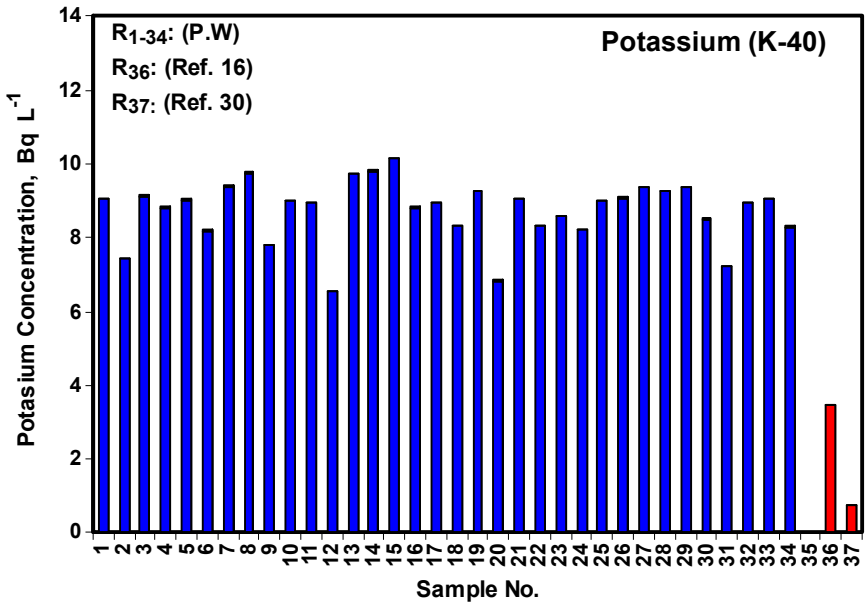
الجدول (8): تركيزالبوتاسيوم ^{40}K والبزموث ^{214}Bi وفعاليتهما الإشعاعية في عيِّنات المياه الطبيعية بتقنية HPGe.

رقم العيِّنة	تركيز البوتاسيوم ^{40}K C_K (Bq L^{-1})	تركيز البزموث ^{214}Bi C_{Bi} (Bq L^{-1})	رقم العيِّنة	تركيز البوتاسيوم ^{40}K C_K (Bq L^{-1})	تركيز البزموث ^{214}Bi C_{Bi} (Bq L^{-1})
R_1	9.043 ± 0.217	7.551 ± 0.498	R_{18}	8.308 ± 0.324	5.480 ± 0.405
R_2	7.429 ± 0.26	6.376 ± 0.516	R_{19}	9.229 ± 0.286	6.628 ± 0.411
R_3	9.112 ± 0.264	6.671 ± 0.581	R_{20}	6.819 ± 0.259	5.179 ± 0.528
R_4	8.798 ± 0.273	7.324 ± 0.558	R_{21}	9.035 ± 0.316	6.526 ± 0.522
R_5	9.006 ± 0.351	7.986 ± 0.631	R_{22}	8.295 ± 0.357	6.113 ± 0.495
R_6	8.181 ± 0.352	7.288 ± 0.663	R_{23}	8.562 ± 0.265	7.803 ± 0.515
R_7	9.381 ± 0.272	7.819 ± 0.516	R_{24}	8.192 ± 0.336	5.818 ± 0.564
R_8	9.739 ± 0.477	7.089 ± 0.744	R_{25}	8.993 ± 0.243	7.857 ± 0.519
R_9	7.802 ± 0.281	6.472 ± 0.602	R_{26}	9.057 ± 0.299	6.419 ± 0.629
R_{10}	8.969 ± 0.323	6.746 ± 0.573	R_{27}	9.364 ± 0.225	8.099 ± 0.462
R_{11}	8.941 ± 0.250	7.691 ± 0.499	R_{28}	9.235 ± 0.212	8.029 ± 0.473
R_{12}	6.525 ± 0.307	5.614 ± 0.73	R_{29}	9.354 ± 0.206	7.964 ± 0.454
R_{13}	9.722 ± 0.486	8.200 ± 0.902	R_{30}	8.482 ± 0.280	8.158 ± 0.498
R_{14}	9.799 ± 0.314	5.855 ± 0.556	R_{31}	7.217 ± 0.253	7.283 ± 0.459
R_{15}	10.125± 0.324	9.446 ± 0.680	R_{32}	8.919 ± 0.268	8.195 ± 0.557
R_{16}	8.807 ± 0.308	6.875 ± 0.612	R_{33}	9.041 ± 0.262	7.862 ± 0.550
R_{17}	8.934 ± 0.286	7.127 ± 0.691	R_{34}	8.280 ± 0.331	7.406 ± 0.963

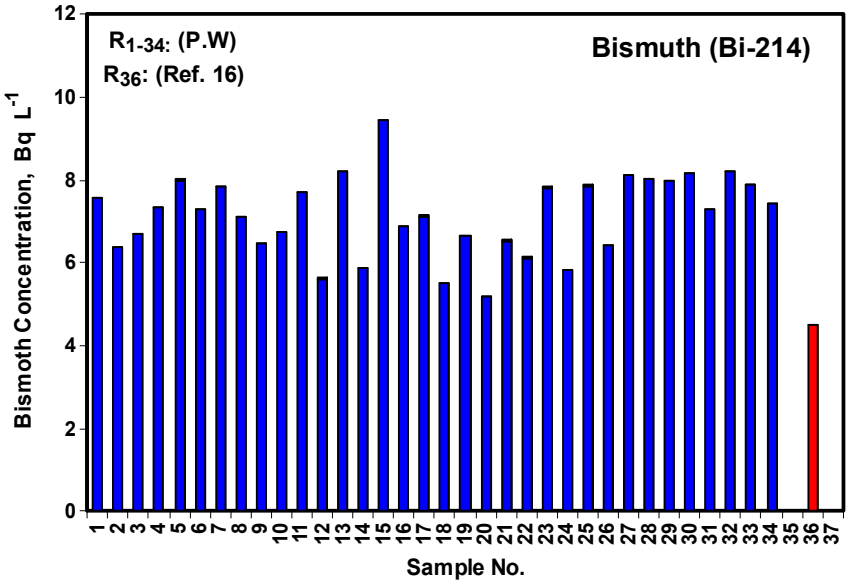
ويمكن ملاحظة هذا بوضوح في الشكلين (4) و(5) واللذان يُوضِّحان تراكيز البوتاسيوم ^{40}K والبزموث ^{214}Bi للأنواع المختلفة من المياه التي تم الحصول عليها في هذه الدراسة ودراسات أخرى. وتجدر الإشارة هنا أن دراسة Abu-Murad *et al.* [31] في الأردن للنشاط الإشعاعي الطبيعي لمياه سطحية من سد وادي العرب أظهرت أن تراكيز البوتاسيوم ^{40}K يساوي (1.17-5.73) $Bq.L^{-1}$ وبمعدّل 3.45 $Bq.L^{-1}$، وهذه القيمة هي أقل من القيمة التي حصلنا عليها للمياه الطبيعية في نينوى بحدود 2.5 مرة، وان تراكيز البزموث كانت (1.11–7.9) $Bq.L^{-1}$ بمعدل 4.5 $Bq.L^{-1}$ وهي بحدود نصف القيمة التي حصلنا عليها في المياه الطبيعية لمحافظة نينوى.

وعليه يمكن القول أن نسبة البوتاسيوم تبقى ثابتة تقريباً في هذه المياه عموماً السطحية منها والعميقة، إذ يمكن أن نستنتج أنّ كثافة الفعالية الإشعاعية للبوتاسيوم ^{40}K لا تتغير مع العمق وهذا ما توصل إليه Abu-Murad *et al.* [31] وأكّده، من أن الفعالية الإشعاعية للبوتاسيوم ^{40}K تبقى ثابتة مع زيادة العمق تحت سطح الأرض.

يمكن تلخيص معدلات تراكيز البوتاسيوم ^{40}K والبزموث ^{214}Bi في الأنواع المختلفة من هذه المياه في الجدول (9). اذ يلاحظ من الجدول ان معدلات تراكيز البوتاسيوم في المياه المعدنية كانت اكثر بقليل مما في الانواع الاخرى من المياه، ومهما يكن فقد كان معدّل تركيزالبوتاسيوم في المياه المستعملة عموماً بحدود 8.684 $Bq.L^{-1}$. أما معدلات تراكيز البزموث^{214}Bi في المياه المستعملة فقد كانت في المياه المعدنية ومياه المطر اكثر بقليل مقارنة بمعدلاته في الأنواع الأخرى من المياه. وبشكل عام فقد كان معدل تركيز البزموث في المياه المستعملة عموما بحدود 7.511 $Bq.L^{-1}$.



الشكل (4): تركيز البوتاسيوم ^{40}K في عينات المياه الطبيعية بتقنية HPGe مقارنة بدراسات أخرى.



الشكل (5): تركيز البزموث ^{214}Bi في عينات المياه الطبيعية بتقنية HPGe مقارنة بدراسات أخرى.

الجدول (9): تركيز البوتاسيوم ^{40}K في أنواع مختلفة من عيِّنات المياه الطبيعية.

ت	نوع المياه	معدّل تركيز البوتاسيوم ^{40}K (Bq L^{-1})	معدّل تركيز البزموث ^{214}Bi (Bq L^{-1})
1	مياه سطحية/ خام	8.724	7.241
2	مياه سطحية/ نقية	8.424	6.397
3	آبار جوفية وعيون نقية	8.975	7.668
4	مياه معدنية	9.429	8.095
5	مياه أمطار	8.482	8.158
	المياه عموماً (المعدل)	8.684	7.512

الجرعة السنوية المؤثرة

يلاحظ من الجدول (10) أن أقل قيمة للجرعة السنوية المؤثرة (Annual Effective Dose) في حالة تناول لتر واحد من الماء في اليوم بلغت أعلى قيمة لها $9.24\ \mu sv.y^{-1}$ في العينة R_{30} (ماء المطر)، وأقل قيمة لها $4.4\ \mu sv.y^{-1}$ في العينة R_5 (ماء خام من مشروع وانه)، فيما بلغت لحالة الاستنشاق بحدود $4.82\mu sv.y^{-1}$ بوصفها أعلى قيمة و$2.30\ \mu sv.y^{-1}$ بوصفها أقل قيمة في العينات نفسها R_{30} وR_5 على التوالي. أما معدّل الجرعة السنوية المؤثرة من المياه قيد الدراسة عموماً في محافظة نينوى فقد بلغ $6.5\ \mu sv.y^{-1}$ في حالة التناول و$3.25\ \mu sv.y^{-1}$ في حالة الاستنشاق والذي هو أقل من الحدود الطبيعية البالغة $(2\text{-}20)\ msv.y^{-1}$ [31].

ونُذكّر في هذا المجال أنه تم اعتماد طريقة المقارنة مع نتائج المرجع [26] في حساب الجرعة السنوية المؤثرة للرادون، فقد وجد أن كل $116.6\ Bq.L^{-1}$ من تركيز الرادون يعادل جرعة سنوية مؤثرة مقدارها $\mu sv.y^{-1}$ 612.9 في حالة التناول، و$320\mu sv.y^{-1}$ في حالة الاستنشاق على أساس أن الفرد يتناول أو يستنشق لتراً واحداً من الماء في اليوم الواحد. من هذه المقارنة يمكن الحصول على معامل التحويل (Conversion Factor) والذي يساوي $14.4*10^{-3}\ \mu sv.y.Bq^{-1}$ في حالة التناول و$2.8*10^{-3}\ \mu sv.y.Bq^{-1}.m^{-3}$ في حالة الاستنشاق.

الجدول (10): تركيز الرادون Rn^{222} في عيّنات المياه الطبيعية والجرعة السنوية المؤثّرة للرادون

رقم العيّنة	تركيز الرادون في العيّنات C_W (Bq L^{-1})	الجرعة السنوية المؤثّرة للرادون لحالة التناول D_{eff} ($\mu sv\ y^{-1}$)	الجرعة السنوية المؤثّرة للرادون لحالة الاستنشاق D_{eff} ($\mu sv\ y^{-1}$)	رقم العيّنة	تركيز الرادون في العيّنات C_W (Bq L^{-1})	الجرعة السنوية المؤثّرة للرادون لحالة التناول D_{eff} ($\mu sv\ y^{-1}$)	الجرعة السنوية المؤثّرة للرادون لحالةالاستنشاق D_{eff} ($\mu sv\ y^{-1}$)
R_1	1.127	5.92	3.09	R_{18}	0.981	5.16	2.69
R_2	1.036	5.45	2.84	R_{19}	1.029	5.41	2.82
R_3	0.993	5.22	2.73	R_{20}	1.039	5.46	2.85
R_4	1.196	6.29	3.28	R_{21}	0.888	4.67	3.44
R_5	0.838	4.40	2.30	R_{22}	0.847	4.45	2.32
R_6	1.246	6.55	3.42	R_{23}	1.188	6.24	3.26
R_7	1.193	6.27	3.27	R_{24}	1.401	7.36	3.84
R_8	1.043	5.48	2.86	R_{25}	1.015	5.33	2.79
R_9	1.018	5.35	2.79	R_{26}	1.060	5.57	2.91
R_{10}	1.170	6.15	3.21	R_{27}	1.088	5.27	2.99
R_{11}	1.063	5.59	2.92	R_{28}	1.087	5.71	2.98
R_{12}	0.976	5.13	2.68	R_{29}	1.288	6.77	3.53
R_{13}	1.010	5.31	2.77	R_{30}	1.758	9.24	4.82
R_{14}	1.058	5.56	2.90	R_{31}	1.035	5.44	2.84
R_{15}	1.485	7.81	4.08	R_{32}	1.031	5.42	2.83
R_{16}	1.378	7.24	3.78	R_{33}	1.112	5.84	3.05
R_{17}	1.063	5.59	2.92	R_{34}	1.115	5.86	3.06

الاستنتاجات

إن تراكيز الرادون ^{222}Rn في عينات المياه الطبيعية من مصادر متنوعة في محافظة نينوى بلغت $Bq.L^{-1}$ (0.838 - 1.758) بمعدل $1.133\ Bq.L^{-1}$، باستثناء ماء المطر إذ بلغ تركيز الرادون فيه أعلى مستوىً له، فان قيم الفعالية تزداد غالباً مع العمق الذي تتواجد المياه فيه، وإن هذه التراكيز ظهرت أقل من المستوى المسموح به من قبل الوكالة الدولية للطاقة الذرية والبالغ $18\ Bq.L^{-1}$.

أظهرت استخدام تقنيتي كاشف الأثر النووي الصلب SSNTD وطيف گاما بكاشف الجرمانيوم عالي النقاوة HPGe لإيجاد تراكيز اليورانيوم نتائج تكاد تكون متطابقة، وهذه تؤكد الكفاءة الجيدة للكواشف النووية الصلبة، فضلاً عن إمكانية استخدامها للمستويات المنخفضة من الإشعاع. لقد ظهرت تراكيز اليورانيوم ^{238}U في عينات المياه بشكل عام أقل من أعلى تركيز مسموح به لليورانيوم المذاب في ماء الشرب والبالغ 9000 ppb بحدود 90 مرة. كذلك فان تراكيز الراديوم ^{226}Ra قد تباينت بين ppb $x10^{-5}$ (2.29- 4.80) والبوتاسيوم ^{40}K $Bq.L^{-1}$ (6.525-10.125)، والبزموث ^{214}Bi بين $Bq.L^{-1}$ (5.179-9.446)، وهذه القيم هي أقل من القيم المسموحة أيضاً. وبسبب قلة ذوبانية الثوريوم ^{232}Th في المياه فإنها قد تجعل تراكيزه قليلة جداً فيها مقارنة باليورانيوم، لذا لم نتمكن من حسابها.

ولانخفاض مستوى تراكيز الرادون في المياه في هذه الدراسة، نجد أن الجرعة السنوية المؤثرة قليلة أيضاً وتساوي $\mu sv.y^{-1}$ (4.40-9.24) في حالة التناول و$\mu sv.y^{-1}$ (2.30-4.82) في حالة الاستنشاق مقارنة بالحد الطبيعي المسموح به والبالغ $msv.y^{-1}$ (2-20).

إن نتائج هذه الدراسة فيما يخص تراكيز الرادون^{222}Rn والنظائر المشعة الأخرى كالراديوم ^{226}Ra واليورانيوم ^{238}U والبوتاسيوم ^{40}K في المياه الطبيعية السطحية منها والعميقة في محافظة نينوى في العراق، نجد بشكل عام أنَ القيم التي حصلنا عليها هي أقل من المستويات المسموحة التي حددتها الوكالة الدولية للطاقة الذرية والوكالة الأمريكية للبيئة (USEPA) مما يعطي مؤشراً على عدم وجود خطورة أو تلوث إشعاعي في المياه في محافظة نينوى.

المراجـع

[1] Fews, A.P. and Henshaw, D.L., Phy. Meth. Biol., 28(5) (1983) 459.

[2] Information sheet, United Kingdom National Radiation Protection Board (2002). http://*www.nrpb.org*.

[3] Nikeizic, D., Biaxeras, C. and Kostic, D., Nucl. Inst. and Meth. in Phys. Research, A373 (1996) 290.

[4] Kemski, J., Klingel, R., Siehl, A. and Valdivia-Manchego, M., Environ.Geol., 56 (2009) 1269.

[5] Cinelli, G., Tondeur, F. and Dehandschutter, B., Environ. Earth Sci., 62 (2011) 809.

[6] Borgoni, R., Tritto, V., Bigliotto, C. and De Bartolo, D., Int. J. Environ. Res. Public Health, 8 (2011) 1420.

[7] Jonsson, G., Radiat. Meas., 25(1-4) (1995) 537.

[8] Jonsson, G., Radiat. Meas., 28(1-6) (1997) 695.

[9] الجنابي، موسى ومحمد، وهاب أحمد، "مصادر الإشعاع والجرع الإشعاعية"، (منشورات منظمة الطاقة الذرية العراقية، 1990).

[10] Wise Uranium Project, Uranium Radiation Properties. Vienna, May 26 (2002),

[11] Al-Bataina, B.A., Ismail, A.M., Kullab, M.K., Abumurad, K.M. and Mustafa, H., Radiat. Meas., 28(1-6) (1997) 591.

[12] Cross, F.T., Harley, N.H. and Hofmann, W., Heath Physics, 48 (1985) 649.

[13] Richard, B.F. and Chu, F., Eight Edition: CD-ROM, Editor, Coral M. Baglin, Editor, (Lawrence Berkely National Laboratory University of California, 1999).

[14] البارودي، هناء إحسان حسن، أطروحة دكتوراه، قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة الموصل (2004).

[15] EPA. United State Environmental Protection Agency. Washington, DC: Environmental Protection Agency, EPA 520/1-88-025. (1988).

[16] Al-Bataina, B.A., Tarawneh, S. and Lataifeh, S.M., Abhath Al-Yarmouk, Basic Sci. & Eng., 12(1) (2003) 221.

[17] Michael, E.K., Micheal K.K. and Robert, E.D., Health physics, 70 (1996) 358.

[18] Al-Doorie, F.N., Heaton, B. and Martin, C.J., J. Environ. Radioactivity, 18 (1993) 163.

[19] Segovia, N., and Bulbulian, S., Revista, Mexican De Fisica, 38 (1992) 242.

[20] Espinosa, G., Golzarri, J.J. and Cotes, A., Nucl. Tracks Radiat. Meas., 19 (1991) 305.

[21] Ryan, T.p., Sequeira, S., Mekittrick, L. and Colan, P.A., Radiological Protection Institute of Ireland (2003).

[22] Senior, L.A.,Water-Resources Investigation Report (1998) 98.

[23] Andersen, C.E., Proceeding Nordic Society For Radiation Protection 12th Ordinary Meeting Skagen (DK), Aug. (1999) 105.

[24] Tawfiq, N.F., Al-Saji, A.W. and Kadim, K.A., Fourth Symposium on Use of Nuclear Techniques in Environmental Studies, 13-15 Sep. (2004).

[25] Ren, T., Shang, B., Yu, Y. and Guo, H., Laboratory of Industrial Hygiene, Ministry of Public Health, China (1994).

[26] Al-Kazwini, A.T. and Hasan, M.A., J. Radiol. Port., 23 (2003) 439.

[27] Binesh, A., Mohammadi, S., Mawlavi, A.A. and Parvaresh, P., Environmental Research Journal, 5(1) (2011) 1.

[28] Najam, L.A., Tawfiq, N.F. and Younis, E.M., American Journal of Modern Physics, 3(6) (2014) 257.

[29] Abdallaha, S.M., Habibb, R.R., Nuwayhida, R.Y., Chatilac, M. and Katuld, G., Radiat. Meas., 42 (2007) 298.

[30] Cosma, C., Moldovan, M., Dicu, T. and Kovacs, T., Radiat. Meas., 43(8) (2008) 1423.

[31] Abu-Murad, K.M., Diabat, A.E. and Gharaiba, S.H., Abhath Al-Yarmouk, Basic Sci. & Eng., 12(1) (2003)13.

[32] سعيد، قصي رشيد، الوقاية من الإشعاع والتلوث، منشورات الطاقة الذرية العراقية (1986).

[33] Singh, P., Rana, N.P.S., Azam, A., Naqvi, A.H. and Srivastava, D.S., Radiat. Meas., 26(5) (1996) 683.

[34] Botezatu, E. and Clain, L., J. of Hyg. and Pub. Health, 44 (1-2) (1994) 19.