

استخدام التقانات النظائرية للكشف عن التلوث الإشعاعي بنظير الرادون ٢٢٢ Rn- للمياه المصرفة من مصفى الدورة الى نهر دجلة

صفاء عبد الرزاق عبد الحسين / صفاة عبد محمد علي حسن فالح / اثار صالح مطيران

هيئة البحث العلمي / مركز بحوث وتكنولوجيا البيئة والمياه والطاقة المتجددة - بغداد - العراق

الخلاصة

تناولت الدراسة استخدام التقانات النظائرية الحديثة في الكشف عن التلوث الإشعاعي بنظير الرادون Rn-222. جمعت نماذج متعددة من المياه قبل دخول المصفي ومن داخل وحدات المنشأة النفطية وصولاً الى نقاط طرح المياه الى نهر دجلة ولثلاث فترات موسمية تمثلت بـ الأشهر (شباط، حزيران، تشرين الأول) من عام ٢٠٢٣. لوحظ ان هنالك تبايناً قليل ما بين نتائج قياس تركيز الرادون للعينات باختلاف مواقعها حيث تراوحت تراكيز الرادون لمياه غسل الأبراج بين (٢٧٠-٣٢٠ Bq/m³) للمواسم الثلاث، بينما كانت معدلات تراكيز الرادون لعينات مياه نهر دجلة (١١٢-١٤٨ Bq/m³) اما عينات المياه المعالجة في وحدة المعالجة الصناعية المطروحة من المصفي الى النهر اظهرت خلوها من نظير الرادون ٢٢٢. اظهرت جميع قيم الرادون-٢٢٢ في منطقة الدراسة نسباً قليلة عند مقارنتها مع مستوى التلوث الأقصى المسموح به لتركيز الرادون في الماء. لوحظ ايضا المستويات الواطنة لتراكيز الرادون في عينات مياه نهر دجلة قبل وبعد المصفي حيث لم يكون هنالك تأثير واضح بتلوث مياه النهر بالمخلفات النفطية. تم قياس محتوى الراديوم وهو المصدر الرئيسي لنظير الرادون-٢٢٢ وتبين ان منطقة الدراسة خالية من املاح الراديوم ومن عنصر الرصاص الذي ينبعث بعد انحلال الرادون.

الكلمات المفتاحية: رادون-٢٢٢، الماء المصاحب، الجرعة الفعالة والاضمحلال الاشعاعي.

Using Isotopic Techniques to Detect Radioactive Contamination with the Isotope Radon Rn-222 for Water Drained from the Dora Refinery to the Tigris River

Safaa Abdulrazzaq Abdulhussein

Amer Abed Mohammed

Ali Hassan Falih

Athar Saleh Mutairan

Scientific Research Commission / Center for Research and Technology of Environment, Water and Renewable Energy - Baghdad-Iraq

E_mail: safaatech@gmail.com

Abstract

The study dealt with the use of modern isotopic technologies in detecting radioactive contamination with the isotope of radon, Rn-222. Multiple samples of water were collected before entering the refinery and from within the units of the oil facility, all the way to the points where water was released into the Tigris River, for three seasonal periods represented by the months (February, June, October) 2023. It was noted that there was a slight discrepancy between the results of measuring the radon concentration of the samples according to their different locations, as the radon concentrations of the tower wash water ranged between (270 - 320 Bq/m³) for the three seasons, while the rates of radon concentrations for the Tigris River water samples were (112 - 148 Bq/m³). While samples of treated water in the industrial treatment unit, which is released from the refinery to the River, showed that, it was free of the isotope radon-222. All radon-222 values in the study area showed small percentages when compared with the maximum permissible pollution level of radon concentration in water. Low levels of radon concentrations were also observed in water samples of the Tigris River before and after the refinery, as there was no clear effect of contamination of the river water with oil waste. The radium content, which is the main source of the isotope radon-222, was measured and it was found that the study area is free of radium salts and lead element, which is one of the elements emitted after the dissolution of radon.

Keywords: Radon-222, Associated Water, Effective Dose and Radioactive Decay.

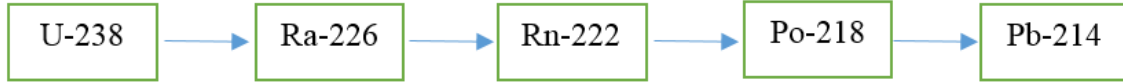
المقدمة

اليورانيوم U-238 وبالتالي الراديوم Ra-226 في التربة والصخور يجعلها من المصادر الرئيسية للرادون الذي يتميز بالقدرة على الانتشار خلال المواد الصلبة والاختلاط بالهواء ويمكن العثور عليه في الماء، وعملية تحرر الرادون تعتمد على وفرة النظير الام اليورانيوم (U-238) بالمحيط الصخري أي ان يتناسب طرديا مع تركيز اليورانيوم (Ball، 1991). متوسط ذوبان الرادون في الماء ذو علاقة عكسية مع درجة حرارته (Kochowska، 2004). هناك عاملين أساسيين في تحديد كمية الرادون المتحرر من الماء، الأول يتعلق بالموصفات الجيولوجية للطبقات الجوفية المتواجده بها مخزون الماء. والثاني فترة بقاء الماء في هذا الخزانات حيث يؤدي تخزين الماء قبل استخدامه الى خفض تراكيز الرادون به لتفككه في الماء اثناء فترة التخزين (Al-Orabi، 2012). يمكن للرادون ونواتج تفككه دخول جسم الانسان عن طريق جهاز التنفس من خلال التصاقها بذررات الغبار في الجو او من خلال جهاز الهضم والخطورة تكمن في قابلية الرئتين للإصابة بمرض السرطان كنتيجة للتعرض الى جسيمات الفا فضلا عن النويدات المشعة الناتجة من تحلل الرادون ووليداته وهي نظائر (Po-218) و (Pb-214) حيث تلتصق هذه النواتج المشعة بأغشية الجهاز التنفسية المخاطية وتستقر مما يرفع نسبة خطر الإصابة بالأمراض الصدرية والغدة الدرقية (Telahigue، 2018) و (LWRC، 1986). أجريت عدة دراسات لقياس تركيز الرادون منها دراسة (علي، 2016) لتحديد تراكيز غاز الرادون المنبعث من مخلفات إنتاج وتصفية النفط الخام في حقول النفط جنوب العراق حيث تبين ارتفاع تراكيزه في هذه الحقول نتيجة لتواجد مستويات عالية من الرادون في النفط والغاز الطبيعي. ودراسة (محمد واخرون، 2019)

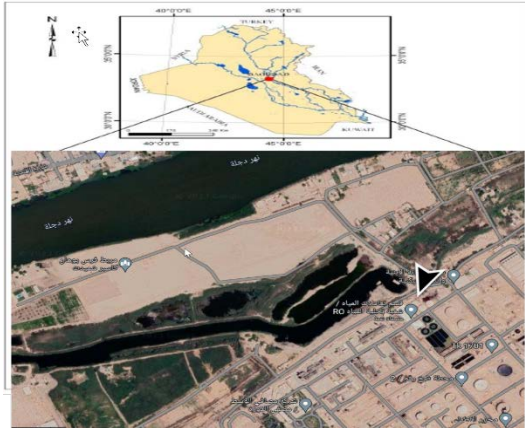
تعد صناعة النفط والغاز من الصناعات الملوثة للبيئة اشعاعيا في الدول المنتجة للنفط ويتعرض فيها العاملون لخطر التعرض للمواد المشعة الطبيعية بفعل هذه الصناعة، (Ali، 2022)، ترافق المواد المشعة النفط الخام والمترسبة على الجدران الداخلية لأنابيب النقل ومستودعات الفصل والخزن خلال عملية انتاج المشتقات النفطية وبفعل عوامل فيزيائية (مثل تغيرات درجة الحرارة والضغط) وعوامل كيميائية خلال مراحل فصل السوائل (الماء المصاحب Produced Water) (Harb، 2008). ومن هذه العناصر المشعة الرادون وهو غاز عديم اللون والطعم والرائحة مصنف ضمن الغازات النبيلة (Nobel Gasses) واهم نظير لعنصر الرادون اشعاعياً هو الرادون-Rn-222 المتولد كمرحلة وسطية في سلسلة الاضمحلال لليورانيوم الطبيعي (U-238) شكل (1) (Ayotte، 2007). تتضمن سلسلة اضمحلال اليورانيوم U-238 عناصر مشعة متعددة تشمل الراديوم Ra-226 المشع طبيعياً وعند تفككه اشعاعياً تنبعث منه جسيمات ألفا (α) فينتج نظير الرادون Rn-222 المشع طبيعياً بجسيمات الفا ايضا. تظهر الأبحاث في العقود الأخيرة إن أكثر من 70% من إجمالي الجرعة الإشعاعية السنوية التي يتلقاها الإنسان تأتي من مصادر طبيعية للإشعاعات المؤينة حيث تكون 54% منها بسبب التعرض لغاز الرادون المشع الطبيعي ومنتجاته المتحللة (Hasan، 2011). يتميز هذا النظير بعمر نصف (3.82 Days) وهو طويل نسبياً مقارنة بالنظيرين Rn-220 و Rn-219 والبالغة (0.66 و 3.92) ثانية على التوالي (Mohammed، 2023) وهذا العمر الطويل يجعله أكثر نظائر الرادون خطورة. ان وجود

في المياه الجوفية وذلك لاحتمالية تأثر المياه بالرادون سواء من مصادر طبيعية او من النشاطات الصناعية.

لتقييم المياه الجوفية والسطحية اشعاعيا باستخدام نظير الرادون - ٢٢٢ في منطقتي الرستمية والتويثة جنوب بغداد والتي اشرت ارتفاعاً في تراكيز الرادون



شكل (١) سلسلة الاضمحلال الاشعاعي لليورانيوم الطبيعي U-238.



شكل (٢) موقع محطة معالجة المياه الصناعية في مصفى الدورة.

يهدف البحث الى تحديد تراكيز نظير الرادون Rn-222 المشع في المياه المصاحبة لعملية فصل المشتقات النفطية في مصفى الدورة والمطروحة الى نهر دجلة.

المواد وطرائق العمل

منطقة الدراسة

تقع منطقة الدراسة (مصفى الدورة) في الناحية الجنوبية الشرقية لمدينة بغداد في وسط العراق بالقرب من نهر دجلة وهو مجمع صناعي متكامل يعد من أقدم مصافي النفط الكبيرة في العراق حيث افتتح في العام ١٩٥٥ وقد احتوى على العديد من الوحدات التي تراوحت من وحدات التقطير البسيطة إلى وحدات التكسير الحراري ووحدات إنتاج الدهون المعقدة. تم اجراء هذه الدراسة على المياه الصناعية الملوثة المطروحة من وحدات المصفى المختلفة قبل المعالجة في وحدة معالجة المياه الصناعية في المصفى (شكل ٢) وبعد معالجتها وطرحها في النهر. مناخ مدينة بغداد حار وجاف صيفاً وبارد ورطب في الشتاء ويمتاز بالمدى الحراري الكبير ما بين الليل والنهار والصيف والشتاء.

تقييم متوسط الجرعة الفعالة السنوية (AED)

يدخل غاز الرادون إلى جسم الإنسان من خلال الاستنشاق لأنه يتم إطلاقه من الماء إلى الهواء الداخلي. يتم تحديد الجرعات السنوية الفعالة الكلية (AED) من استنشاق غاز الرادون في الماء باستخدام وثائق لجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري، وحسب المعادلة (محمد، ٢٠١٩):

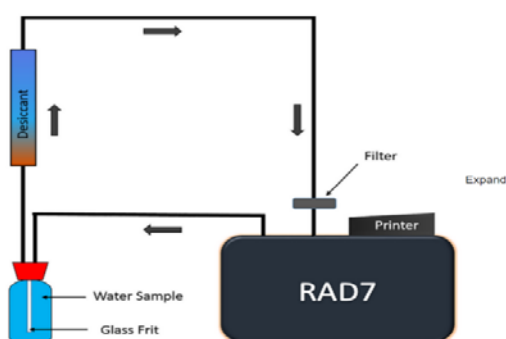
$$AED = C_W CR_W D_W \dots\dots\dots (1)$$

C_W تركيز الرادون في الماء ($Bq L^{-1}$).

CR_W مقدار الاستهلاك ($L.y^{-1}$) (كمعدل عام للاستهلاك).

D_W معامل تحويل الجرعة للرادون ($Sv Bq^{-1}$) (5×10^{-9})

عدم وجود بخار ماء مصاحب للغازات، واهم ما يميز الجهاز قابليته على تحديد طاقة جسيمة α الكترونياً حيث يقوم بتحويل اشعاع الفا مباشرة الى إشارة كهربائية وتحديد طاقة كل جسيم إلكترونيًا مما يمكن من التمييز بين نظائر الرادون و(البولونيوم Po-218، البولونيوم Po-214) التي تنتج عن طريق الإشعاع وبين نظيري الرادون والثورون وهذ التقنية تعرف بمطياف الفا الشكل (٣) يمثل مخطط عمل الجهاز (Alam, (2023, Duggal, (2013).



شكل (٣) رسم تخطيطي لكاشف الرادون RAD-7.

النتائج والمناقشة

في هذه الدراسة جمعت (٥) نماذج من المياه من مناطق مختلفة في منطقة الدراسة والتي تمثلت بـ (٢) نموذج من مياه نهر دجلة، (٣) نماذج مياه من مواقع مختلفة من داخل المصفي. تمت عملية النمذجة لثلاث فترات موسمية واجريت لهذه النماذج قياسات نظير الرادون -٢٢٢ المشع إضافة الى بعض الفحوصات الكيميائية الاخرى التي تمثلت بقياس الحامضية (pH) والاملاح المذابة الكلية (TDS) وكذلك الكربون العضوي الكلي (TOC) في مختبرات الدائرة. وكما موضح في الجدول (١).

يوضح الجدول (١) معدلات قياسات نظير الرادون -٢٢٢ لعينات المياه في منطقة الدراسة، حيث لوحظ ان هناك هنالك تبايناً قليلاً ما بين نتائج قياس تركيز نظير الرادون لعينات باختلاف مواقعها حيث تراوحت

جمع النماذج

جمعت نماذج المياه السطحية من مقتربات نهر دجلة قبل وبعد مصفى الدورة ووحدات غسل الابراج والمياه المصرفة من بقية وحدات المصفي المختلفة الى خزانات وحدة معالجة المياه الصناعية ونماذج أخرى من خزانات تجميع المياه بعد معالجتها وقبل طرحها الى نهر دجلة. جمعت النماذج داخل المصفي بواقع (٥) عينات لكل عملية نمذجة ولثلاث فترات زمنية موسمية هي الأشهر (شباط، حزيران، تشرين الاول) للعام (٢٠٢٣) لدراسة تأثير التغيرات في درجات الحرارة في منطقة الدراسة تمت عملية النمذجة وفقا للطرق القياسية باستخدام عبوات نمذجة خاصة بسعة (٥٠٠ ml) بعد ان ثبتت عليها تواريخ النمذجة ومواقعها. وحفظها في مكان بارد معد لهذا الغرض (حافطة نماذج مبردة) لتجنب فقدان تركيز الرادون في العينة نظراً لطبيعته كغاز حيث يتحرر من العينات عند ارتفاع درجات الحرارة.

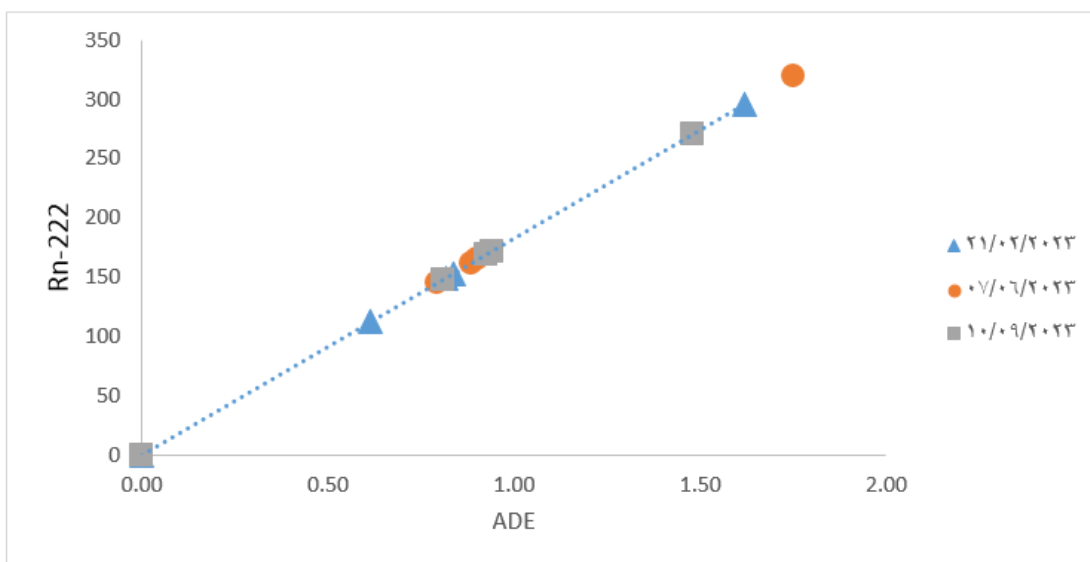
عملية القياس

أجريت القياسات المخبرية على عينات المياه التي جمعت حيث أجريت فحوصات (الدالة الحامضية pH، والتوصيلية الكهربائية EC، المواد الذائبة الكلية TDS، الكربون العضوي الكلي TOC) كما قيست تراكيز الرصاص باستخدام جهاز قياس طيف الامتصاص الذري Atomic Absorption Spectrometer داخل مختبرات مركز بحوث المياه. استخدمت تقنية جهاز كاشف الرادون السريع RAD (Durridag Company) (7) وهو جهاز الكتروني سريع يستخدم لقياس تركيز نظير الرادون ٢٢٢ في الهواء والتربة والماء ذو دقة عالية ومدى واسع مخصص لقياس التراكيز والحصول على قراءات ضمن حدود ساعة من اخذ العينة بعد ان تم التأكد من

الى النهر حيث تشمل عمليات المعالجة مراحل متعددة تشمل الترشيح والتبلور والتعقيم وينتج عن ذلك تحرر الغاز كونه مشع ينحل بفترات زمنية قصيرة. اظهرت جميع قيم نظير الرادون -٢٢٢ في منطقة الدراسة نسباً قليلة عند مقارنتها مع مستوى التلوث الأقصى المسموح به لتركيز نظير الرادون في الماء وهو 11.1 Bq/L (11.1 Bq/m^3) الذي اقترحتة وكالة حماية البيئة الأمريكية ((USEPA, USEPA. (2012).

تراكيز نظير الرادون لمياه غسل الابراج بين (٢٧٠ - 320 Bq/m^3) للمواسم الثلاث على التوالي (شباط، حزيران وتشيرين الاول)، بينما كانت معدلات تراكيز نظير الرادون لعينات مياه نهر دجلة (١١٢ - ١٤٨ Bq/m^3) بينما اظهرت عينات المياه المعالجة في وحدة المعالجة الصناعية والتي يتم طرحها من المصفي الى نهر دجلة خلوها من نظير الرادون - ٢٢٢. وهذا يعزى الى فترة الاستبقاء التي تتعرض لها المياه داخل وحدات المعالجة لأغراض إزالة ملوثاتها داخل وحدات المعالجة وتحسين جودتها قبل طرحها جدول (١) معدلات قياس نظير الرادون-٢٢٢ وبعض القياسات الكيميائية الأخرى.

No.	Sample Name	Rn (Bq/m^3)	AED $\mu\text{Sv.y}^{-1}$	PH	Ec $\mu\text{s/cm}$	TDS ppm	TOC mg/L	Date
1	نهر دجلة قرب محطة الدورة	149	0.82	7.3	780	351	48	21-2-2023
2	دخول المصفي	153	0.84	7.1	820	369	52	
3	مياه غسل الابراج	296	1.62	7.5	2230	1003.5	55	
4	خروج المصفي بعد المعالجة	BDL	0	7	1630	733.5	10.3	
5	نهر دجلة بعد المصفي	112	0.61	7.1	890	400.5	22	7-6-2023
6	نهر دجلة قرب محطة الدورة	165	0.90	7.3	920	414	41	
7	دخول المصفي	162	0.89	7.1	935	420.75	48	
8	مياه غسل الابراج	320	1.75	7.5	2920	1314	65	
9	خروج المصفي بعد المعالجة	BDL	0	7	1542	693.9	7.2	9-10-2023
10	نهر دجلة بعد المصفي	145	0.79	7.1	890	400.5	18	
11	نهر دجلة قرب محطة الدورة	169	0.93	7.3	920	414	35	
12	دخول المصفي	172	0.94	7.1	935	420.75	42	
13	مياه غسل الابراج	270	1.48	7.5	2720	1224	59	9-10-2023
14	خروج المصفي بعد المعالجة	BDL	0	7	1342	603.9	6.2	
15	نهر دجلة بعد المصفي	148	0.81	7.1	790	355.5	15	



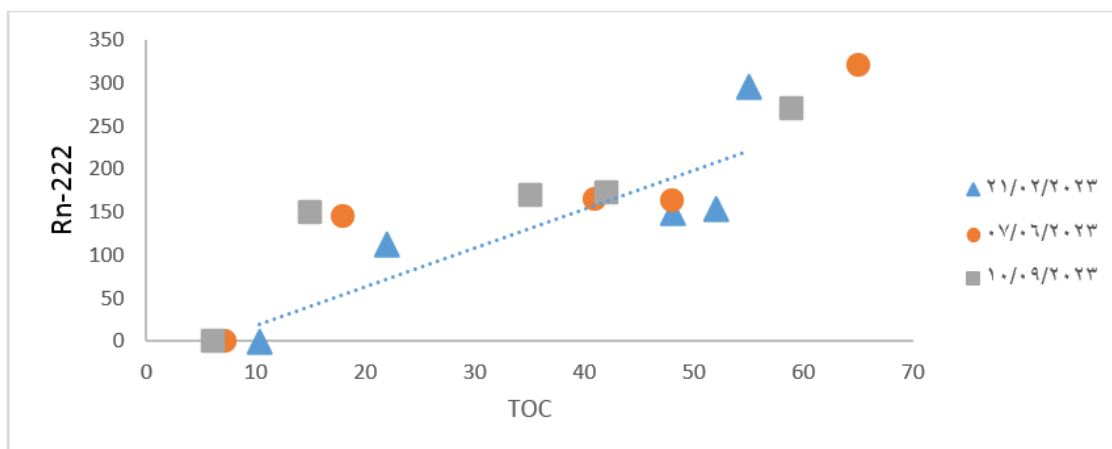
شكل (٤) العلاقة بين الجرعة الفعالة السنوية (AED) وتراكيز نظير الرادون Rn-222.

وجد أن الجرعة الفعالة السنوية الإجمالية من جميع المواقع في المنطقة المدروسة متقاربة وضمن الحدود المسموح بها ٠.١ [WHO.2008] (mSv.y-1) ولا يوجد اي تأثير اشعاعي يتعرض له العاملون في المصفي.

اجريت بعض القياسات الفيزيائية والكيميائية لعينات المياه لمنطقة الدراسة وذلك لتقييم نوعية المياه وكذلك تحديد علاقتها مع نظير الرادون -٢٢٢، حيث قيست الدالة الحامضية (pH) وتراوحت معدلاتها (٧-٧.٥) وهي ضمن الحدود المسموح بها (٦.٥ و ٨.٥) كما تراوحت قيم التوصيلية الكهربائية (EC 780-2920 $\mu\text{S}/\text{cm}$) وهي أيضا ضمن القيم المسموح بها عالميا ماعدا قيم عينات مياه غسل الابراج التي اظهرت قيم اعلى من القيم المسموح بها، بينما تراوحت معدلات قياسات الكربون العضوي الكلي (TOC) بين (٦٥ -6.2 mg/L) وهي ضمن المستويات المسموح بها ومن دراسة العلاقة بين الكربون العضوي الكلي (TOC) مع قيم نظير الرادون -٢٢٢ تبين عدم وجود علاقة خطية

ويعزى سبب ذلك الى ان مياه نهر دجلة المستخدمة في المصفي تتميز بانخفاض مستويات نظير الرادون -٢٢٢ مقارنة بالمياه مصاحبة لإنتاج النفط (Produced Water) التي يكون فيها تراكيز نظير الرادون عالية جدا. ونلاحظ كذلك المستويات الواطئة لتراكيز نظير الرادون في عينات مياه نهر دجلة قبل وبعد المصفي حيث لم يكن هنالك تأثير واضح بتلوث مياه النهر بالمخلفات النفطية. لغرض قياس محتوى غاز الراديوم وهو المصدر الرئيسي لنظير الرادون -٢٢٢ تركت النماذج لمدة ٣٠ يوما في مكان مغلق وبارد وقد تبين عدم وجود نظير غاز الرادون وهذا يدل ان عينات مياه في منطقة الدراسة خالية من املاح الراديوم. وكذلك اظهرت جميع العينات في منطقة الدراسة خلوها من عنصر الرصاص الذي يعتبر أحد العناصر المنبعثة بعد انحلال نظير الرادون وهذا بدوره يعزز انخفاض مستويات نظير الرادون في عينات المياه لمنطقة الدراسة. حسبت الجرعة الفعالة السنوية للمواسم الثلاث وتراوحت قيمها ٠.٦١ - ١.٧٥

شكل (٥) اي لم يكن هنالك تأثير واضح للمركبات العضوية على زيادة تركيز نظير الرادون.



شكل (٥) العلاقة بين الكربون العضوي الكلي (TOC) وتراكيز الرادون Rn-222.

المؤثرة السنوية باستعمال كاشف الاثر النووي-CR

39.مجلة النهريين للعلوم، ١٥(٢)، ص٦-٩.

كاظم، انعام هاني وحسن، إشراق محمد، (٢٠١٦). قياس ودراسة تراكيز غاز الرادون المشع في عينات منتخبة من المياه في ناحية القاسم/العراق. مجلة جامعة بابل، ٢٤، (٦)، ص ١٦٠١-١٦٠٩.

محمد، عامر عبد ; فالج، علي حسن ; جاسم، علي عباس وعبد الحسين، صفاء عبد الرزاق. (٢٠١٩). تقييم المياه الجوفية والسطحية اشعاعياً باستخدام نظير الرادون -٢٢٢ في منطقتي الرستمية والتويثة جنوب شرق مدينة بغداد. المجلة العراقية للعلوم والتكنولوجيا، ١٠(٣).

Alam, M. S.; Siraz, M. M.; AM, J.; Das, S. C.; Bradley, D. A.; Khandaker, M. U., and Yeasmin, S. (2023). A Study on Measuring the 222Rn in the Buriganga River and Tap Water of the Megacity Dhaka. PloS one, 18(5), e0286267.

Ali, M. A. (2022). Determination of the Radon Concentration of Gas 222Rn Emitted From Sludge Samples Located

الاستنتاجات

١- أظهرت قيم تركيز نظير الرادون-٢٢٢ للعينات في منطقة الدراسة تباين نسبي حيث كانت النماذج داخل منشآت المصفاة والمتجمعة في وحدات التجميع في وحدة معالجة المياه الصناعية اعلى القيم في حين نماذج المياه في وحدات طرح المياه الى النهر اقل القيم.

٢- أظهرت القياسات خلو المياه المطروحة من المصفاة مباشرة الى النهر من نظير الرادون -٢٢٢

٣- فترة استبقاء المياه في وحدة المعالجة الصناعية وتعرضها للهواء تساهم في تقليل تراكيز نظير الرادون-٢٢٢ وكلما زادت هذه الفترة زادت عملية تبخر غاز الرادون من المياه المتجمعة.

٤- قيم كلاً من التوصيلية والذالة الحامضية والكربون الكلي العضوي كانت ضمن الحدود المسموح بها.

المصادر

حيدر، لينا مجيد; توفيق، ندى فاضل ومهدي، خالد هادي، (٢٠١٢). قياس تراكيز الرادون في المياه السطحية والجوفية لذراع دجلة والثرثار وحساب الجرعة

- Kochowska**, E.; Mazur, J.; Kozak, K., and Janik, M. (2004). Radon in Well Waters in the Kraków Area. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 40(3), 207-212.
- LWRC**. (Land and Water Resources Center.) (1986). *Radon in Water and Air –Health, Risk, and Control Measures*, Orono, ME: Univ. of Maine.
- Mohammed**, A. A.; Nadaand, K. B.; Falih, A. H., and Jassem, A. A. (2023, August). Determination of Radon Radiation Concentration in Groundwater for Some Wells of Baghdad City. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1222, No. 1, p. 012036). IOP Publishing.
- Telahigue**, F.; Agoubi, B.; Souid, F., and Kharroubi, A. (2018). Groundwater Chemistry and Radon-222 Distribution in Jerba Island, Tunisia. *Journal of Environmental Radioactivity*, 182, 74-84.
- UNSCEAR** (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation). (2000). *Sources and Effects of Ionizing Radiation. Report to the General Assembly with scientific annexes*, 1.
- USEPA**, United States Environmental Protection Agency, “Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories. EPA 822-S-12-001 Office of Water U.S.,” Environmental Protection Agency Washington, DC., 2012.
- in the Radioactive Waste Collection Warehouse in Khader Al-Maa South of Basra City–Iraq. *Journal of Petroleum Research and Studies*, Issue 34-part 2, Pages E256-E269.
- Al-Orabi**, S. F., and Chahboune, N. A. (2012). Radon in Water. *Libyan Agriculture Research Center Journal International*, 3, 1273-1284.
- Ayotte**, J. D.; Flanagan, S. M. and Morrow, W. S. (2007). Occurrence of Uranium and 222Radon in Glacial and Bedrock Aquifers in the Northern United States, 1993-2003 (p. 84). US Department of the Interior, US Geological Survey.
- Ball**, T. K.; Cameron, D. G.; Colman, T. B., and Roberts, P. D. (1991). Behavior of Radon in the Geological Environment: a Review. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 24(2), 169-182.
- Duggal**, V.; Mehra, R., and Rani, A. (2013). Determination of 222Rn Level in Groundwater Using a RAD7 Detector in the Bathinda District of Punjab, India. *Radiation Protection Dosimetry*, 156(2), 239-245.
- Harb**, S.; Abbady, A.; El-Kamel, A. H.; Abd El-Mageed, A. I., and Rashed, W. (2008). Concentration of U-238, U-235, Ra-226, Th-232 and K-40 for Some Granite Samples in Eastern Desert of Egypt. *Proceedings of the 3rd Environmental Physics Conference*, 19-23 Feb. 2008, Aswan, Egypt.
- Hasan**, A. K.; Subber, A. R., and Shaltakh, A. R. (2011). Measurement of Radon Concentration in Soil Gas Using RAD7 in the Environs of Al-Najaf Al-Ashraf City-Iraq. *Advances in Applied Science Research*, 2(5), 273-278.