استخدام تقنية تحليل أطياف أشعة كاما لقياس النشاط الإشعاعي لنماذج المياه الجوفية

A use of Gamma ray spectroscopy analysis technique to measure the radioactivity for samples of underground water

*مرتضى شاكر النافعي
**باسم عبد الحسن المياحي
*قسم الفيزياء/ كلية التربية / جامعة القادسية
**قسم الفيزياء/ كلية العلوم / جامعة الكوفة

الخلاصة :

جرى قياس النشاط الإشعاعي لنماذج المياه الجوفية باستخدام كاشف الجرمانيوم عالي النقاوة HPGe ، إذْ تم جمع نماذج المياه الجوفية من مناطق مختلفة من محافظة بابل بالاعتماد على الخارطة الإدارية للمحافظة فتم جمع عشرين نموذجا من المياه الجوفية وكانت على مرحلتين حيث جُمعت عشرة نماذج في المرحلة الأولى ومنها تم تحديد مواقع النشاط الإشعاعي وعلى ضوء ذلك جمعتُ عشرة نماذج في المرحلة الثانية. أثبت القياس و جود نشاط إشعاعي طبيعي لبعض نماذج المياه الجوفية في مناطق مختلفة من محافظة بابل مع وجود بعض نظائر سلسلة انحلال اليورانيوم – ٢٣٨(الراديوم-٢٢٦ والرصاص—٢١٤ والبزموث –٢١٤) ، وجود نظير الرصاص-٢١٢ العائد لسلسلة الثوريوم-٢٣٢ في نموذج واحد . تراوح تركيز الراديوم –٢٢٦ ما بين تحت مستوى التحسس و ١٦.٤ ± ٨.٦ بكرل\لتر في منطقة الكفل ، أماّ نظائر الرصاص – ٢١٤ والبزموث –٢١٤ فكانت تتراوح ما بين تحت مستوى التحسس و ٦.٧٢± ٢.٤ و ٩.٨ ± ٢.١ بكرل\ لتر على التوالي في منطقتي القاسم و الكفل . أماّ نظير الرصاص –٢١٢ فكان تركيزه في نموذج واحد فقط في منطقة الكفل بحدود ٣.٢ ± ١.١ بكرل\ لتر .إنّ جميع النتائج تُشير إلى أنَّ هذه التراكيز ضمن الحدود المسموح بها للاستخدامات المنزلية و الزراعية عند مقارنة نتائج القياس مع ما منشور عالميا في الوكالة الدولية للطاقة الذرية والبحوث العالمية والمحلية .

Abstract :

A measure had been of radioactivity for samples of the underground water by use the germanium detector of high purity (HPGe). Sample of underground water were collected in different region of Babylon governorate relying on the administrative map of the governorate . twenty samples of the underground water were collected for two stage where ten samples were collected in 1st step therefore determined radioactivity regions & relying on that the ten samples were collected of 2nd stage. A measure prove found natural radioactivity for some samples of underground water for different regions of Babylon governorate with found some isotopes of Uranium-238 decay series (Radium-226,Lead-214&Bismuth-214) , And the presence of Lead-212 isotope which belongs to Thorium-232 series in one sample. The concentration of the Radium-226 was found under the sensitivity level & 16.4±8.6 Bq/L in Al-Kifl region whereas the concentration of Bismuth-214 & Lead-214 have range between the sensitivity level & 6.72±2.4 & 9.8±2.1 Bq/L respectively in Al-Kifl & Al-Kasim regions . Lead-212 isotope has the concentration of 3.2±1.1 Bq/L in one sample only in Al-Kifl region. All obtained results referred to the fact that all the concentration were within the allowed limits to agricultural & domestic use at comparing the results in this work with those published by international atomic energy agency & universal researches.

المقدمة :

إن تركيز النشاط الإشعاعي الطبيعي لسلسلتي اليورانيوم والثوريوم في المياه قليل مقارنة مع الصخور والتربة ويعتمد نشاطها الإشعاعي في المياه الجوفية على نوع وطبيعة الأساس الجيولوجي والطبوغرافيا لمنطقة وجود المياه ، وان انحلال النظائر المشعة من التربة والصخور الملامسة للمكمن المائي وذوبانها في الماء يعد مصدرا رئيسيا طبيعيا للنشاط الإشعاعي للماء ، إذ وجد أن بعض آبار المياه الجوفية تحوي على تراكيز عالية لليورانيوم في بعض بلدان العالم ، مثل فلند حيث يصل إلى ٢٠٠ بكرل \ لتر ويعزى سبب ذلك إلى وجود بعض المناطق الغنية باليورانيوم[١] . إن من أهم النظائر المشعة الموجودة في المياه هو نظير الراديوم-٢٢٦ والذي يعد اخطر نظير مشع بسبب عمر نصفه الطويل ، وجوده مقترن مع ترسبات المياه الجوفية وان حركة المياه

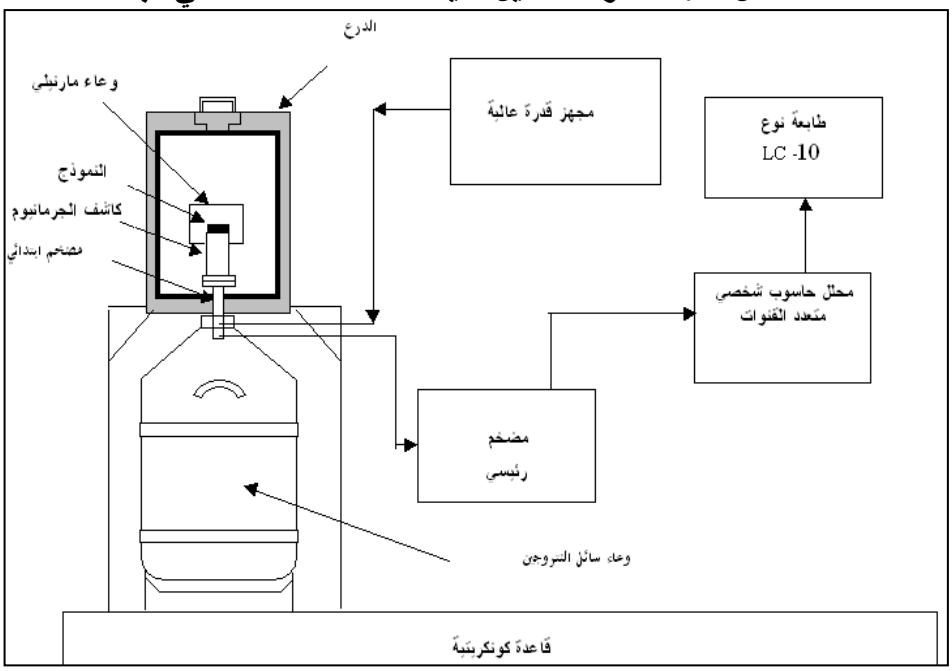
داخل المكمن الجوفي تؤدي إلى حث وتعرية الصخور والتربة الملامسة للمياه مما يؤدي إلى توليد ايونات تتحد مع جذور بعض العناصر مكونه مركبات غير ذائبة للراديوم في المياه وتترسب في الوسط [٣,٢] .

يتغير تركيز الراديوم من موقع إلى أخر ، فمثلا بلغ تركيز الراديوم في أمريكا بحدود $37x10^6$ بكرل \ لتر[٤] في حين لايتجاوز تركيزه ٤.٥ بكرل \ لتر في الدول الاسكندينافية [٥] بينما يتراوح تركيزه في بعض البلدان مثل فرنسا وبولونيا وسلوفينيا بين (٠.٠٠١-٠.٦) بكرل \ لتر[٦] .

منظومة الكشف والتحليل :

استخدم كاشف الجرمانيوم عالي النقاوة (HPGe) المبين في الشكل (١) ، حجم بلورته cm^3 ٢٠٩ وقطرة $63mm$ ، وارتفاع $67mm$. يعمل بفولتية تشغيل تبلغ ٢١٠٠ فولت وكفاءة ٤٠% وله قدرة فصل ١.٧٥ كيلو إلكترون فولت عند طاقة ١.٣٣٢ مليون إلكترون فولت العائد إلى نظير الكوبالت-٦٠ وان اقل تحسس للكاشف بحدود ٠.٥ بكرل ويحاط الكاشف بدرع من الرصاص بحجم $50x50x12cm^3$ لوقايته من الخلفية لإشعاعية ويغلف الدرع الرصاصي من الداخل بطبقة من النحاس وطبقة من الكادميوم لتوهين الأشعة السينية[٨,٧].استخدم مصدر اليوربيوم-١٥٢ القياسي لمعايرة المنظومة ، ويبرد الكاشف إلى درجة حرارة ٧٧ كلفن باستخدام النتروجين السائل .

الشكل ١ : منظومة تحليل أطياف كاما المستخدمة في البحث



الأمور التي تم مراعاتها عند القياس

١_ قياس الخلفية الإشعاعية

إنَّ حساب الخلفية الإشعاعية من الأمور التي يجبُ القيام بها و ذلك لطرحها من قيمة النشاط الإشعاعي للنموذج المدروس حتى نحصل على الصافي من النشاط الإشعاعي . وقد تم قياس الخلفية الإشعاعية باستخدام البرنامج GDR-4 وذلك بوضع وعاء مرنيلي فارغ على وجه بلورة الكاشف و لنفس المدة الزمنية لقياس النموذج ثم أعيدت هذه العملية ثلاث مرات ثم بعد ذلك اخذ المعدل لهذه القراءات.

٢_ الشكل الهندسي للنموذج

استخدم وعاء مرنيلي في قياس النشاط الإشعاعي لجميع النماذج و يجب أنْ يراعى في القياس وضع النموذج في وعاء هندسي معلوم السعة و لجميع النماذج ، وَحُسِبَتْ كفاءة الكاشف باستخدام مصادر قياسية بنفس الشكل الهندسي للنماذج المقاسة.

التحليل النوعي والكمي

تم التحليل النوعي بتعيين طاقة أشعة كاما المنبعثة من النموذج المدروس و التي تم الاستدلال منها على نوع النظير الموجود في النموذج ، أماً في التحليل الكمي فتم حساب النشاط الإشعاعي بحساب المساحة تحت منحني القمة الضوئية الخاصة بأشعة كاما المشخصة للنظير المشع للاستدلال على عدد ذرات النظير الموجود في النموذج . استخدم البرنامج GDR-4 الذي يُعدُّ برنامجاً متكاملاً للتحليل النوعي و الكمي لحساب نوع ومقدار النويدات المشعة .

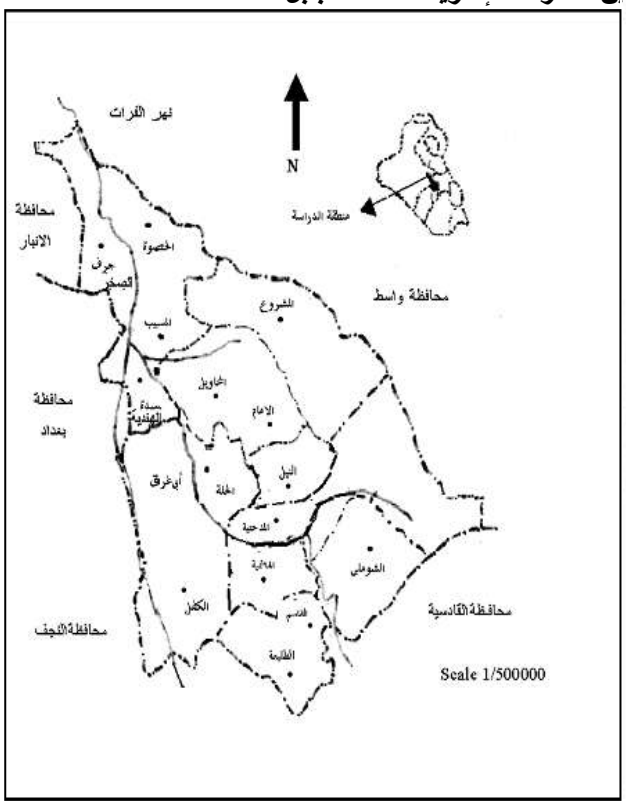
موقع منطقة الدراسة وجمع النماذج المدروسة

تقع محافظة بابل في وسط العراق وضمن منطقة السهل الرسوبي وهي محصورة بين خطي طول ٠٠ ٠٠ ٤٤ و ٠٠ ١٥ ٤٥ شرقا وبين دائرتي عرض ٠٠ ٠٤ ٣٢ و ٠٠ ٠٣ ٣٣ شمالا وترتفع ٢٧متر عن سطح الأرض وتشغل الجزء الشمالي من

منطقة الفرات الأوسط كما مبين في الشكل ٢، وتمتاز المياه الجوفية في منطقة الدراسة بأنها ذات أعماق قريبة من سطح الأرض تتراوح بين ٣.٠-٣.٥ . أما في مدينة الحلة فقد كانت تتراوح بين ١.٠-٢.٥ متر ، وبذلك تعاني مدينة الحلة من ارتفاع مناسب المياه الجوفية إلى الحد الذي تظهر فيه عند سطح الأرض في المناطق المنخفضة[٩] . وتم في هذا البحث اختيار محافظة بابل لدراسة النشاط الإشعاعي لنماذج المياه الجوفية إذّ تم جمع عشرين نموذج من المياه الجوفية وعلى مرحلتين ففي المرحلة الأولى تم جمع عشرة نماذج من مناطق محافظة بابل مع الآخذ بنظر الاعتبار التوزيع الجغرافي للمناطق بالاعتماد على الخارطة الإدارية للمحافظة كما في الشكل ٣. و شملت المرحلة الثانية جمع عشرة نماذج والتي اعتمدت على نتائج قياس النشاط الإشعاعي في المرحلة الأولى من خلال تحديد المناطق ذات النشاط الإشعاعي لجمع نماذج جديدة من تلك المناطق .

الشكل ٢ ..... الخارطة الإدارية لمحافظة بابل

الشكل ٣ ..... الخارطة الإدارية لمحافظة بابل



النتائج والمناقشة :

١_ نتائج التحاليل النوعية

تم تشخيص أربعة نظائر مشعة تعود إلى سلسلتي اليورانيوم –٢٣٨ والثوريوم –٢٣٢ ، و يبين الجدول ١ النظائر المشعة التي جرى تحسسها في المياه الجوفية .

الجدول ١ : النظائر المشعة التي جرى تحسسها في نماذج المياه الجوفية

النظائر	الطاقة(كيلو إلكترون فولت)
الراديوم – ٢٢٦	١٨٦.٤
الرصاص – ٢١٤	٢٩٥.٢، ٣٥١.٩
البزموث – ٢١٤	٦٠٩.٣١
الرصاص-٢١٢	٢٣٨.٦٣

٢_ نتائج التحاليل الكمية

بينت نتائج تحاليل المرحلة الأولى لنماذج المياه الجوفية كما في الجدول (٢) وجودَ نشاط إشعاعي في بعض نماذج المياه الجوفية في مناطق مختلفة وعلى ضوء ذلك حددت مواقع النشاط الإشعاعي لأخذ نماذج المرحلة الثانية كما في الجدول (٣). و من نتائج النشاط الإشعاعي لنماذج المياه الجوفية في المرحلتين وجد أنّ هناك بعض النماذج المقاسة التي تحوي على نشاط إشعاعي يعود إلى سلسلتي انحلال اليورانيوم-٢٣٨ و الثوريوم-٢٣٢ ، إذْ إنّ النشاط الإشعاعي لنظير الراديوم- ٢٢٦ كان يتراوح ما بين دون مستوى التحسس في نماذج عدة و ١٦.٤ ± ٨.٦ بكرل\لتر كقيمة عليا في منطقة الكفل كما مبين بالجدول ٣ . أماّ النشاط

الإشعاعي لنظائر البزموث- ٢١٤ و الرصاص -٢١٤ العائدة إلى سلسلة انحلال اليورانيوم-٢٣٨ فكانت موجودة في نماذج عديدة و تراوحت القيم ما بين دون مستوى التحسس و أعلى قيمة ٩.٨ ± ٢.١ و ٦.٧٢ ± ٢.٤ بكرل\التر في منطقة الكفل و القاسم على التوالي ، كما موضح بالجدولين ٢ ، ٣ . أمّا بالنسبة لنظير الرصاص- ٢١٢ و العائد لسلسلة انحلال الثوريوم -٢٣٢ فقد تراوح النشاط الإشعاعي له ما بين دون مستوى التحسس و ٣.٢ ± ١.١بكرل\التر أعلى قيمة له في منطقة الكفل والمبين في الجدول ٢ . نلاحظ إن هناك تباين في النشاط الإشعاعي لنماذج المياه الجوفية للنظائر باختلاف موقعها و يعزى سبب ذلك إلى اختلاف الطبيعة الجيولوجية و الطباقية لفيزيوغرافية المنطقة المدروسة ، من الجدول ٤ الذي يبين قياس النشاط الإشعاعي للراديوم –٢٢٦ في المياه الجوفية في بعض بلدان العالم وبعض مناطق القطر . نجد أنَّ النشاط الإشعاعي للراديوم-٢٢٦ ضمن التراكيز المبينة في الجدول .

الجدول ٢ : النشاط الإشعاعي لنماذج المياه الجوفية (المرحلة الأولى)

ت	الموقع	رقم النموذج	النظائر	الفعالية (بكرل \التر)	مصدر النويدة
١	مركز المدينة	١	البزموث-٢١٤	٨.٣ ± ٢	اليورانيوم-٢٣٨
		٢،٣	-	اقل من تحسس الجهاز	-
		٤	البزموث-٢١٤	٨.٠٨ ± ١.٣٨	اليورانيوم-٢٣٨
٢	الكفل	٥	الرصاص-٢١٤	٥.٣ ± ١.٦	اليورانيوم-٢٣٨
			البزموث-٢١٤	٩.٨ ± ٢.١	اليورانيوم-٢٣٨
			الرصاص-٢١٢	٣.٢± ١.١	الثوريوم-٢٣٢
٣	القاسم	٦	-	اقل من تحسس الجهاز	-
		٧	الرصاص-٢١٤	٤.٢ ± ٠.٥	اليورانيوم-٢٣٨
			البزموث-٢١٤	٣.٤ ± ٠.٧١	اليورانيوم-٢٣٨
٤	الطليعة	٨	الرصاص-٢١٤	٤.٥١ ± ١.٥	اليورانيوم-٢٣٨
			البزموث-٢١٤	٥.٤ ± ١.٦	اليورانيوم-٢٣٨
٥	سدة الهندية	٩	البزموث-٢١٤	٤.٧ ± ١.٧	اليورانيوم-٢٣٨
		١٠	-	اقل من تحسس الجهاز	-

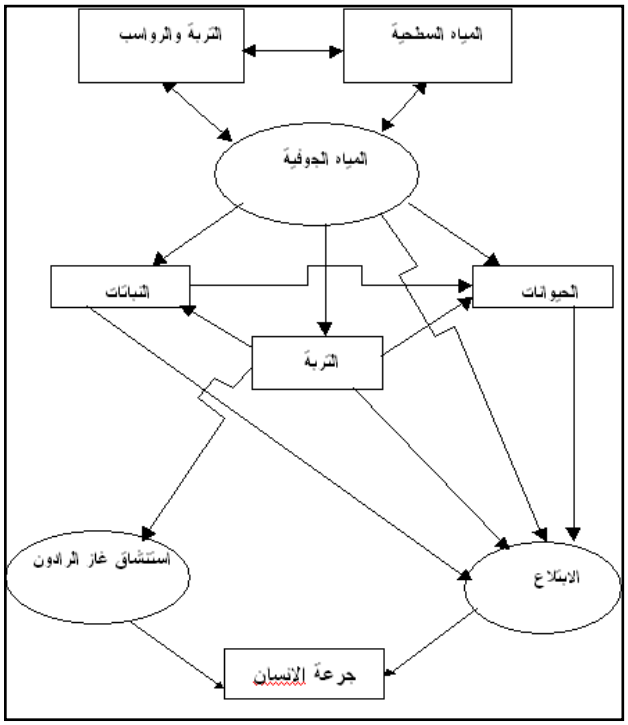
الجدول ٣ : النشاط الإشعاعي في المياه الجوفية (المرحلة الثانية)

ت	المنطقة	رقم النموذج	النظائر	الفعالية(بكرل\التر)	مصدر النويدة
١	مركز المدينة	١	الرصاص-٢١٤	٦.٧± ١.٢	اليورانيوم-٢٣٨
			البزموث-٢١٤	٥.٧± ١.٩	اليورانيوم-٢٣٨
		٢،٣	-	اقل من تحسس الجهاز	-
٢	الكفل	٤	البزموث-٢١٤	٨.٩٥± ١.١٧	اليورانيوم-٢٣٨
			الرصاص-٢١٤	٥.٨± ١.٦١	اليورانيوم-٢٣٨
			الراديوم-٢٢٦	١٦.٤ ± ٨.٦	اليورانيوم-٢٣٨
		٥	-	اقل من تحسس الجهاز	-
٣	القاسم	٦	البزموث-٢١٤	٥.٦± ١.٣	اليورانيوم-٢٣٨
			الرصاص-٢١٤	٦.٧٢ ± ٢.٤	اليورانيوم-٢٣٨
			الراديوم-٢٢٦	١٦.١± ٨.١	اليورانيوم-٢٣٨
		٧	-	اقل من تحسس الجهاز	-
٤	الطليعة	٨		اقل من تحسس الجهاز	-
٥	سدة الهندية	٩	الرصاص-٢١٤	٥.٦ ±١.٨	اليورانيوم-٢٣٨
		١٠	-	اقل من تحسس الجهاز	-

النماذج الرياضية :

بالاعتماد على مسالك التعرض الموضحة في الشكل ٤ ، استخدمت النماذج الرياضية الملائمة و ذلك لحساب النشاط الإشعاعي لنظير الراديوم –٢٢٦ في التربة والنباتات والمنتجات الحيوانية .

الشكل ٤ مسالك التعرض إلى الجرع الناتجة من استخدام المياه الجوفية



حساب النشاط الإشعاعي في التربة

إنّ استخدام المياه الملوثة بالإشعاع في ري المحاصيل الزراعية المختلفة يسبب نقل المواد المشعة من هذه المياه إلى النباتات عندما تكون بصيغتها الأيونية الذائبة و ذلك عن طريق امتصاصها من قبل جذور النباتات وبدوره سوف ينتقل إلى الإنسان نتيجة تناوله لهذه المحاصيل .

تم حساب النشاط الإشعاعي لنظير الراديوم-٢٢٦ في التربة فقط ، لخطورته الناجمة من عمر نصفه الطويل وترسبه في العظام[١٠] . يعتمد النشاط الإشعاعي للنظير المشع المنتقل إلى التربة على كمية الماء المستخدم للسقي إضافة" إلى عدد مرات السقي و كمية الماء المستخدمة . الجدول ٤ يبين حساب النشاط الإشعاعي لنظير الراديوم – ٢٢٦ في التربة والناتج من استخدام المياه الجوفية في السقي لمنطقتي الكفل والقاسم .

الجدول ٤ :النشاط الإشعاعي لنظير الراديوم-٢٢٦ في التربة

المنطقة	النشاط الإشعاعي في المياه الجوفية(بكرل\لتر)	النشاط الإشعاعي في التربة(بكرل\كغم)
الكفل	١٨	١٠
القاسم	١٦	٩

النشاط الإشعاعي في النباتات

يعتمد امتصاص النباتات للنظير المشع على عدة عوامل منها ما يتعلق بالخصائص الفيزيوكيميائية للنظير المشع و منها ما يتعلق بخصائص الوسط (التربة) الفيزيائية و الكيميائية و البيولوجية و أخرى تتعلق بنوع النباتات و فترة النمو . الجدول ٥ يوضح نتائج حساب النشاط الإشعاعي للراديوم-٢٢٦ في نباتات الخضراوات و النباتات العلفية التي حسبت باستخدام المعادلة(١)[٨،١١] .

$$Cn = An\ Cg \qquad (١)$$

إذْ أنّ :

Cn : النشاط الإشعاعي في النباتات(الخضراوات ، الأعلاف) (بكرل\كغم)

An : معامل انتقال الراديوم من التربة إلى النبات (٠.٠٤ للخضراوات ، ٣٦٧، للأعلاف)[٨]

Cg : النشاط الإشعاعي في التربة (بكرل\كغم)

الجدول ٥ :النشاط الإشعاعي لنظير الراديوم-٢٢٦ في النباتات

نوع النباتات	معامل الانتقال	النشاط الإشعاعي في التربة (بكرل\كغم)	النشاط الإشعاعي في النباتات(بكرل\كغم)
الخضراوات	٠.٠٤	٩	٠.٣٦
	٠.٠٤	١٠	٠.٤
النباتات العلفية	٠.٣٦٧	٩	٣,٣
	٠.٣٦٧	١٠	٣.٧

النشاط الإشعاعي في اللحوم و الحليب

يعتمد النشاط الإشعاعي للراديوم-٢٢٦ في اللحوم و الحليب على مقدار النشاط الإشعاعي للراديوم في الأعلاف و المياه التي يشربها الحيوان. وقد تم حساب النشاط الإشعاعي في الحليب و اللحم من المعادلة(٢)[٨] . يبين الجدول ٦ حساب النشاط الإشعاعي للراديوم في المنتجات الحيوانية وكما يأتي :

$$C_P=F\,(C_n\times Q_n+C_W\times Q_W) \qquad (٢)$$

إذْ إنّ :

$\mathbf{C_P}$: النشاط الإشعاعي في الحليب و اللحم بوحدات (بكرل\لتر، بكرل\كغم) على التوالي .

F : معامل الانتقال (F_m للحليب = $6x10^{-4}$ يوم\لتر، F_f للحم = $5x10^{-4}$ يوم\كغم)[٨،١١]

C_n : النشاط الإشعاعي في الأعلاف (بكرل\كغم).

Q_n : مقدار الاستهلاك اليومي من الأعلاف (٤٠ كغم\يوم)[٨]

C_W : النشاط الإشعاعي في الماء في منطقتي القاسم والكفل (١٦ بكرل\لتر ، ١٨ بكرل\لتر) على التوالي

Q_w : مقدار الاستهلاك اليومي من الماء (٦٠ لتر\يوم)[٨] .

الجدول ٦ :النشاط الإشعاعي للراديوم في الحليب واللحم

النوع	معامل الانتقال	النشاط الإشعاعي في الأعلاف(بكرل\كغم)	النشاط الإشعاعي في الماء(بكرل\لتر)	النشاط الإشعاعي في الحليب واللحم
الحليب	٦×١٠$^{-٤}$	٣,٣	١٦	٠.٦
	٦×١٠$^{-٤}$	٣.٧	١٨	٠.٧٤
اللحم	٥×١٠$^{-٤}$	٣,٣	١٦	٠.٥٥
	٥×١٠$^{-٤}$	٣.٧	١٨	٠.٦

النشاط الإشعاعي للرادون-٢٢٢ في التربة

عند استخدام المياه الجوفية للسقي فإنَّ نظير الراديوم –٢٢٦ سوف يترسب في التربة وهذا بدوره ينحل ببعث غاز الرادون – ٢٢٢ ، الجدول ٧ يبين حساب النشاط الإشعاعي للرادون –٢٢٢ والذي تم حسابه من المعادلة (٣) وكما يأتي :

$$C_{air}=C_{soil}\sqrt{\frac{d_{soil}}{D_{air}}} \qquad (٣)$$

إذ أنّ :

Cair = تركيز الرادون في الهواء (بكرل\م^{٣})

Csoil = تركيز الرادون في التربة (بكرل \ م^{٣}) . ويتم حسابها وفق المعادلة (٤) :

dsoil = ثابت الانتشار بالتربة ($0.5x10^{-4}$ م^{٢}\ثانية) [١٢] .

Dair = ثابت الانتشار في الهواء (٥ م^{٢}\ثانية) [١٢].

$$C_{soil}=Fr*\rho*C_{Ra} \qquad (٤)$$

إذ أن :

Fr= معدل الانبعاث (٠.١)[١٢]

ρ = كثافة التربة (كغم\م^{٣})

C_{Ra} = تركيز الراديوم في التربة (بكرل \ كغم) .

الجدول ٧: حساب النشاط الإشعاعي للرادون-٢٢٢ في الهواء

النشاط الإشعاعي للراديوم(بكرل\كغم)	النشاط الإشعاعي للرادون في التربة(بكرل\م٣)	النشاط الإشعاعي للرادون في الهواء(بكرل\م٣)
٩	١٦٠٠	١.٦
١٠	١٨٠٠	١.٨

حساب الجرع

يتعرض الإنسان إلى الإشعاع إمّا بتعرض خارجي و أماّ بتعرض داخلي . وحسبت الجرع الناتجة من استخدام المياه الجوفية للشرب والسقي التي تسبب تعرض داخلي عن طريق الابتلاع إضافة إلى ذلك يؤدي استنشاق غاز الرادون إلى تعرض الإنسان للمواد المشعة .

١_الجرعة السنوية الناجمة من شرب المياه الجوفية

تستخدم المياه الجوفية في محافظة بابل في اغلب الأحيان للسقي ، و في بعض المناطق التي لا يتواجد فيها محطات تصفية للمياه أو عندما تشح المياه السطحية ،فإنها تستخدم للشرب و الاستخدامات الإنسانية الأخرى وقد تم حساب الجرعة المؤثرة السنوية نتيجة استهلاك لترين ماء كمعدل يومي يحتوي على الراديوم ووليداته باستعمال المعادلة (٥)[١١] لحساب الجرعة ، إذّ يبين الجدول ٨ الجرعة الناتجة من شرب المياه الجوفية ،عند قياس الجرعة الناجمة من شرب المياه الجوفية وجد إنها أعلى من الحد المسموح به الذي هو ١ ملي سيفرت [١١] ، لذا يفضل عدم شرب المياه الجوفية إلا بعد أن تتم عليها المعالجة المطلوبة . وإذا استخدمت للشرب مباشرة فيجب أن لا يكون استخدامها للشرب على مدار السنة.

$$Hp = Cp \times Ip \times DCF \qquad (٥)$$

إذْ إنّ :

Hp : الجرعة المؤثرة (سيفرت\سنة) .

Cp : تركيز الراديوم بوحدات (بكرل\لتر) .

Ip : مقدار الاستهلاك (٢ لتر\يوم) [١٣] .

DCF : معامل تحويل الجرعة بوحدات (سيفرت\بكرل) [١١] .

الجدول ٨ : الجرعة الناتجة من استهلاك المياه الجوفية(سيفرت\سنة)

النظائر	تركيز الراديوم في الماء(بكرل\لتر)	معامل تحويل الجرعة(سيفرت\سنة)	الجرعة المؤثرة (سيفرت\سنة)
الراديوم-٢٢٦	١٨	٢.٨×١٠^{-٧}	٣.٧×١٠^{-٣}
البزموث-٢١٤	٩.٨	$١,١\times١٠^{-١٠}$	٠.٠٧٩×١٠^{-٦}
الرصاص-٢١٤	٦.٧	١.٤×١٠^{-١٠}	٠.٦٨×١٠^{-٦}

٢_الجرعة الناتجة من استهلاك الخضراوات

تعتمد الجرعة الناتجة من استهلاك الخضراوات على مقدار الاستهلاك السنوي للخضراوات و على تركيز النظير المشع في الخضراوات وبحسب الجرعة الإشعاعية الناجمة عن تناول هذه الخضراوات من المعادلة (٥) .يبين الجدول ١٠ الجرعة الناجمة من استهلاك الخضراوات .

إذْ إنّ

Ip : مقدار الاستهلاك السنوي (٩٠ كغم\سنة) [٨]

Cp : النشاط الإشعاعي في الخضراوات بوحدات (بكرل\كغم)

الجدول ١٠ : الجرعة لنظير الراديوم الناتجة من الخضراوات (سيفرت\سنة)

النشاط الإشعاعي في الخضراوات (بكرل\كغم)	معامل تحويل الجرعة (سيفرت\سنة)	الجرعة المؤثرة (سفرت\سنة)
٠.٣٦	٢.٨×١٠^{-٧}	٠.٨٩×١٠^{-٥}
٠.٤	٢.٨×١٠^{-٧}	١.٠٨×١٠^{-٥}

٣_الجرعة الناتجة من استهلاك الحليب و اللحم

تعتمد الجرعة الناتجة من استهلاك الحليب و اللحم على مقدار الاستهلاك السنوي ومقدار النشاط الإشعاعي في الحليب و اللحم ، استخدم معدل استهلاك الشخص العراقي من الحليب و اللحم المستخلص من مسوحات منظمة الغذاء العالمية (FAO)[١٤] .
الجدول ١١ يوضح حساب الجرعة الناتجة من تناول الحليب و اللحم باستخدام المعادلة (٥).
إذْ إنّ
Ip : مقدار الاستهلاك السنوي من اللحم والحليب (١٣ كغم\يوم ، ١٥٠ لتر\يوم) على التوالي[١٤] .
Cp : النشاط الإشعاعي في اللحم والحليب (بكرل\كغم، بكرل\لتر) على التوالي .

الجدول ١١ : الجرعة الإشعاعية لنظير الراديوم الناتجة من استهلاك اللحم والحليب (سيفرت\سنة)

النوع	النشاط الإشعاعي في اللحم والحليب	معامل تحويل الجرعة (سيفرت\سنة)	الجرعة المؤثرة (سيفرت\سنة)
اللحم	٠.٥	٢.٨×١٠^{-٧}	٠.١٩×١٠^{-٥}
	٠.٦	٢.٨×١٠^{-٧}	٠.٢٢×١٠^{-٥}
الحليب	٠.٧	٢.٨×١٠^{-٧}	٢.٧٤×١٠^{-٥}
	٠.٧٤	٢.٨×١٠^{-٧}	٣.٠٩×١٠^{-٥}

٤_الجرعة الناتجة من الاستنشاق

تعتمد الجرعة الناتجة من استنشاق غاز الرادون على معدل استهلاك الهواء وهذا يعتمد على مدة البقاء خارج المنزل ، و تم حساب الجرعه الإشعاعية الناتجة من استنشاق غاز الرادون -٢٢٢ بالاعتماد على النشاط الإشعاعي للرادون في الهواء. حسبت جرعة الاستنشاق لغاز الرادون –٢٢٢ من المعادلة (٥). الجدول ١٢ يبين الجرعة الناتجة من استنشاق غاز الرادون .
Ip: مقدار الاستهلاك الهواء خارج المنزل (١٦٠٠م٣ \سنة)[١٥].
DCF: معامل تحويل غاز الرادون بوحدات (سيفرت\سنة)[١١] .

الجدول ١٢ : الجرعة الناجمة من استنشاق غاز الرادون-٢٢٢ (سيفرت\سنة)

النشاط الإشعاعي للرادون-٢٢٢ في الهواء(بكرل\م^{٣})	معامل تحويل غاز الرادون (سيفرت\سنة)	الجرعة المؤثرة (سيفرت\سنة)
١.٦	١.٣×١٠^{-٩}	٠.٠٣٣٣×١٠^{-٦}
١.٨	١.٣×١٠^{-٩}	٠.٠٣٧٤×١٠^{-٦}

يستنتج من الجداول (١٠- ١٢) أن الجرع الناتجة من استهلاك المنتوجات الحيوانية (الحليب واللحم) والخضراوات وكذلك الجرعة الناتجة من استنشاق غاز الرادون هي ضمن الحدود المسموح به الذي يساوي ١ ملي سيفرت\سنة [١١] .

الاستنتاجات :

١_من خلال قياس النشاط الإشعاعي للمياه الجوفية لمحافظة بابل وجد أنّ بعض الآبار تحتوي على نشاط إشعاعي يعود إلى سلسلة انحلال اليورانيوم -٢٣٨ و الثور يوم – ٢٣٢ و بنسب مرتفعة لذا يجب عدم استخدام هذه الآبار للشرب .
٢_وجد أنَّ الجرعة الناتجة من استهلاك المياه الجوفية أعلى من الحد المسموح به ، لذا يفضل عدم شرب المياه مباشرة من البئر و خاصة في مناطق الكفل والقاسم .
٣_من خلال حساب معدلات الجرع الناجمة من الحليب و اللحم و النباتات وجد أنهّا ضمن الحدود المسموح بها بحسب المحددات المنشورة في وكالة الطاقة الذرية الدولية ، لذا يمكن استخدام مياه الآبار للسقي .

المصادر :

١_معروف ، بهاء الدين حسين ، الوقاية من الأشعة المؤبنة ، منشورات الطاقة الذرية العراقية ،(١٩٨٩).
٢_العطية ، موسى ، مجلة الذرة و التنمية ،١١،٢،(١٩٩٩) .
3- N.Yanase and K.Sekine , Mate . Rese . Soci. Symp-Proc., **353**,1235 , (1995) .
_عبد الفتاح ، احمد طاهر ، وقائع الندوة العربية للتلوث ، أثار و طرق الوقاية منه في العالم العربي ، القاهرة ،(١٩٧٢).
5- The Radiation Protection Authorities in Denmark , Finland Iceland , Norway and Sweden , Naturally Occurring Radioactivity in, the Nordic Countries Recommendation , (2000) .
6- E. Ethman and T.Yasseen , Envi . Inte ., **22**,59 , (1996).
7- J.Hollander , Nucl , Inst. & Meth ., **43**,65,(1966).

8- IAEA , The Environmental Behaviour of Radium , Vienna , Technical Reports Series ,**1** , 310,(1990) .
٩_العاني ، ثائر محمد ، دراسة جيوكيميائية و هيدروكيميائية و رسوبية مناطق سباخ وسط و جنوب العراق ، أطروحة ماجستير ، جامعة بغداد ،(١٩٨٦).
10- A. Farmer , Managing Environmental Pollution , 1st ed. , New Fetter Lance , London , (1997) .
11- IAEA, International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for The Safety of Radiation Sources, Vienna, Safety Series , (1996) .
12- UNSCEAR , Sources and Effects of Ionizing Radiation ., New York , United Nation , (1988) .
13- W.Chruscielewski and Kaminski Jour. of Occu . Medi. & Envi . Heal. , **12**,229 , (1999) .
14- FAO , Review of Food Consumption Surveys , Recommendations , Africa , 2 , (1977) .
15- UNSCEAR , Sources and Effects of Ionizing Radiation , New York , United Nation , (1993) .