دراسة تأثير التسميد على التربة من خلال مقارنة مؤشرات التلوث

صبا سالم محمد

قسم الفيزياء/ كلية العلوم/ جامعة الموصل

هناء إحسان حسن

قسم الفيزياء/ كلية التربية/ جامعة الموصل

(أُستلم 25 / 11 / 2013 ؛ قُبِلَ 30 / 12 / 2013)

الملخص

يهدف البحث الحالي الى مقارنة بعض مؤشرات التلوث الإشعاعي المتضمنة الجرعة الممتصة (D) ومكافئ الراديوم (Ra_{eq}) ومستوى التعرض الداخلي (H_{in}) والخارجي (H_{ex}) ودليل كاما (I_γ) في خمس عينات من التربة المسمدة مع أخرى غير مسمدة بخمسة انواع من الأسمدة العراقية المنشأ لغرض بيان تأثير التسميد على مقدار ما يسببه من زيادة التلوث الإشعاعي، اذ تم قياس تركيز العناصر المشعة ^{226}Ra و ^{232}Th و ^{40}K في تلك العينات باستخدام مطيافية أشعة كاما NaI(Tl)، اذ تم التوصل الى ان قيم مؤشرات الخطورة بدءاً بمعدل الجرعة الممتصة $0.0819 \mu Sv/h$ و $0.133 \mu Sv/h$ ومكافئ الراديوم $138.56 Bq/kg$ و $319.31 Bq/kg$ ودليل كاما 0.987 و 2.23 والخطر الداخلي 0.488 و 1.326 والخطر الخارجي 0.374 و 0.862 للتربة غير المسمدة والمسمدة على التوالي. كذلك تم إيجاد تركيز غاز الرادون ^{222}Rn باستخدام كاشف الأثر النووي CR-39 والتوصل الى معدل الانبعاث السطحي من التربة وبصورة عامة كان اقل من المعدل العالمي و الذي أوصت به UNSCEAR.

Studying the Effect of Fertilized Soil by Comparing of some Indicators of Radioactive Contamination

Saba S. Mohammed

Department of Physics/ College of Science/
University of Mosul

Hana I. Hasan

Department of Physics/ College of Education/
University of Mosul

ABSTRACT

The current research aims to compare some of the indicators of radioactive contamination, contained, absorbed dose (D), radium equivalent, (Ra_{eq}), index of external and internal radiation hazard, (H_{ex} , H_{in}), and gamma activity concentration index, (I_γ), in five soil samples unfertilized and other five fertilized with Iraqi origin fertilizers, to find the effect of fertilization on how much increases the radioactive contamination, the concentration of radioactive elements ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K in these samples estimated by using gamma ray system NaI (Tl). It has been reached that the values of indicators of the fertilized and unfertilized soil that the rate of absorbed dose $0.0819 \mu Sv / h$ and $0.133 \mu Sv/h$, radium equivalent $138.56 Bq / kg$ and $319.31 Bq / kg$, gamma activity concentration index, (I_γ) 0.987 and 2.23 , the internal radiation hazard index 0.488 and 1.326 , the external radiation hazard index 0.374 and 0.862 , respectively. The surface exaltation rate of ^{222}Rn was estimated after finding the radon concentration by using nuclear track detector CR-39, the emission from the soil surface in general was less than the recommended value by UNSCEAR.

المقدمة

تعد التربة أحد أهم عناصر البيئة التي تمد الإنسان بمصادر الغذاء ولأنها وسط ديناميكي فعندما تتلوث تصبح مصدر طويل الأمد للتلوث البيئي المؤدي إلى تلوث الغذاء والماء والهواء. تنتشر العناصر الإشعاعية الطبيعية بشكل واسع في البيئة وتعتبر المصدر الرئيسي لتعرض الإنسان للإشعاعات المؤينة ويضاف إلى ذلك التعرض الإشعاعي الناتج عن الأنشطة الإنسانية والتي من أهمها استخدام الأسمدة الفوسفاتية التي تحتوي على تراكيز مرتفعة نسبياً من العناصر المشعة والمعادن الثقيلة التي قد تؤدي إلى ارتفاع تراكيز العناصر المشعة بالتربة والبيئة المحيطة (Al-Saif, 2009). ويعتمد النشاط الإشعاعي في التربة على النشاط الإشعاعي في الصخور التي كونتها وعلى الفعاليات الكلية التي حدثت لتكوين التربة. تحتوي الأرض على العديد من المصادر المشعة التي اضمحلت مع مرور الزمن المقدر بعمر الأرض اما ما تبقى الى يومنا هذا من النويدات المشعة ذوات المنشأ الأرضي فتمتلك عمراً أكبر من عمر الأرض وهي سلاسل ^{238}U و ^{235}U و ^{232}Th بالإضافة إلى البوتاسيوم ^{40}K . يتعرض الإنسان والكائنات الحية جميعها الى الإشعاع بشكل دائم من مصدرين رئيسيين هما المصادر الطبيعية والمصادر التي صنعها الإنسان لأغراض متعددة، ويشكل تعرض الإنسان إلى المصادر الطبيعية النسبة الأساسية من التعرض مثل الأشعة الكونية (Cosmic Rays) والخلفية الإشعاعية الطبيعية وبالأخص اليورانيوم الطبيعي والأشعة الصادرة من وليداته فالبيئة المحيطة بنا كلها بصورة عامة تحتوي على نسبة ضئيلة من المواد المشعة (Guimond and Hardin, 1989). يعتمد تلوث التربة على المعلومات المتعلقة بعمليات الانتقال والتراكم بعيداً عن موقع التلوث، إذ أن حركة المواد المشعة وتراكمها أو انتقالها يعتمد على تفاعل المواد والمركبات مع الجزء الصلب من التربة ويعكس هذا التفاعل قدرة التربة على الاحتفاظ بالمواد المشعة وإعادة حركتها. كما أن الخصائص الفيزيائية والكيميائية والحيوية للجزء الصلب من التربة تحدد قدرتها على الاحتفاظ بالمواد المشعة ومن جانب آخر فأن معدل سقوط الأمطار وكمية مياه الري ونوع النباتات المزروعة وعمليات إدارة التربة تحدد الى درجة كبيرة نوع ومقدار حركة الملوثات المشعة (سلامة ومحمد، 1994).

الأسمدة

هي عبارة عن أملاح لا عضوية تتحلل في الماء تضاف إلى التربة الزراعية للحصول على محصول أوفر وأجود وتعود أهمية الأسمدة إلى أنها تمد التربة الزراعية بعناصر يحتاجها نمو النبات مثل (البوتاسيوم، النتروجين، الفسفور) وكذلك يؤدي الى حدوث تفاعلات كيميائية في التربة الزراعية ينتج عنها مواد تعوض التربة عما فقدته من عناصر نتيجة زراعتها المتكررة (Catherin, 1965)، والأسمدة الفوسفاتية هي من الأسمدة الممتازة لوجود الفسفور فيها إذ انه عنصر ضروري وحيوي لنمو وتكاثر النبات ويعتبر اليورانيوم من العناصر ذات النشاط الإشعاعي الطبيعي الذي يتواجد في التربة ومناجم الصخور الفوسفاتية وذلك لعلاقته الجيوكيميائية مع الفوسفات دائماً وحيثما وجدت مناجم الفوسفات هناك اليورانيوم و وليداته (Al-Bassam, 2007) أجريت العديد من الدراسات لقياس تراكيز العناصر المشعة الموجودة في التربة المسمدة وغير المسمدة وكذلك مكافئ الراديوم والتعرض الخارجي والداخلي. وهناك دراسات حول تراكيز العناصر المشعة في الأسمدة ومنها دراسة قام بها (الصباح، 2001) إذ درس الباحث تراكيز العناصر المشعة في عدد من الأسمدة النباتية والمتوفرة في الأسواق المحلية في مدينة الموصل باستخدام تقنية مطيافية كاما (HPGe) وأظهرت النتائج أن تركيز اليورانيوم يتراوح Bq/kg (4.533-15.44) و Bq/kg (10.43-33.95) للثوريوم والسيزيوم ^{137}Cs تراوحت القيم بين Bq/kg (1.698-5.153) والبوتاسيوم ^{40}K (26.99-83.98). كما درس (Chauhan et al., 2013) تراكيز العناصر المشعة ^{226}Ra و ^{40}K و ^{232}Th في عدد من الأسمدة ومنها سماد اليوريا وسماد NPK وكانت نتائجه لكل ^{226}Ra و ^{40}K و ^{232}Th على التوالي لسماد NPK Bq/kg 79 و Bq/kg 1024 و Bq/kg 28 و Bq/kg 37 و Bq/kg 3 و Bq/kg 202 على التوالي. كما قام الباحث (Akhtar et al., 2005) بدراسة في باكستان (البنجاب) التي تبعد 34 كم عن فيصل آباد في المنشأة النووية للبحوث الزراعية والبايولوجية لقياس تركيز العناصر المشعة في التربة القاحلة والزراعية (المسمدة) وعلى مساحة 100 هكتار باستعمال تقنية

الجرمانيوم العالي النقاوة للعناصر ^{137}Cs , ^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra وقد وجد ان تركيز ^{40}K يتراوح بين (500-610.2) Bq/kg و (3.57- ^{37}Cs 37) Bq/kg و (560.2-635) Bq/kg وتركيز ^{238}U يتراوح بين (26.23-31.6) Bq/kg و (30.3-38.7) Bq/kg وتركيز ^{232}Th و (1.98-5.15) Bq/kg و (3.63-50.6) Bq/kg و (50.6-64.0) Bq/kg في التربة غير المسمدة والتربة المسمدة على التوالي. وتشير الدراسة في هذه المنطقة إلى الخلفية الإشعاعية العالية مقارنة بالعالم وهذه الزيادة ناتجة عن استعمال الأسمدة في الزراعة. وهناك دراسة في الهند للباحث (Kant et al., 2006) لإيجاد تراكيز العناصر المشعة ^{226}Ra و ^{232}Th و ^{40}K في ترب بعض المحاصيل الغذائية والتي يستعمل فيها أنواع مختلفة من الأسمدة الفوسفاتية وعينات من التربة غير المزروعة باستعمال كاشف الأثر النووي الصلب LR-115 تبين أن تركيز هذه العناصر في التربة المسمدة هو (16.2) Bq/kg و (68.1 و 875.0) وتركيز العناصر في التربة غير المزروعة هو (9.1 و 59.4 و 668.5) Bq/kg على التوالي وان قيمة مكافئ الراديوم Ra_{eq} في التربة المسمدة $^{-1}\text{Bq.kg}$ 225.9 و قيمته في التربة غير المسمدة 193.1 Bq/kg ومقدار التعرض الداخلي للتربة المسمدة يتراوح (0.445-0.59) mSv/y والتعرض الخارجي يتراوح (0.11-0.15) mSv/y اما في التربة غير المسمدة فالتعرض الخارجي 0.45 mSv/y والتعرض الداخلي 0.11 mSv/y وتوضح نتائج هذا البحث ان تراكيز العناصر المشعة اعلاه تختلف باختلاف نوع التربة المزروعة وهذا بدوره يعتمد على كمية ونوع الأسمدة المستخدمة. كما درس (Al-Saif, 2009) تراكيز العناصر المشعة ^{226}Ra و ^{40}K في عينات من التربة المزروعة وغير المزروعة باستخدام تقنية كاشف الجرمانيوم عالي النقاوة (HPGe) تبين ان معدل تركيز ^{226}Ra في التربة المزروعة هو 28 Bq/kg و 26 Bq/kg للتربة غير المزروعة أما تركيز ^{40}K فكان 571 Bq/kg للتربة غير المزروعة و 596 Bq/kg للتربة المزروعة وان معدل الجرعة الممتصة في الهواء على بعد 1m من سطح التربة هو 55 nGy/h للتربة غير المزروعة و 62 nGy/h للتربة المزروعة ومعدل الجرعة المكافئة للتربة المزروعة هو 43 nSv/h وللتربة غير المزروعة 38 nSv/h. وقام (Saad et al., 2010) بدراسة تركيز غاز الرادون والتبخر السطحي والجرعة المكافئة السنوية لـ 45 عينة من مواد البناء وباستخدام كاشف الأثر النووي الصلب CR-39 فقد تبين تركيز غاز الرادون يتراوح (87-298) Bq/kg ومقدار التبخر السطحي يتراوح $^{-1}\text{Bq m}^{-2}\text{h}^{-1}$ (0.066-0.226) والجرعة المكافئة السنوية (7.8- $^{-1}\mu\text{Sv y}^{-1}$ 24.9). كما درس (Kadi and Al-Eryani, 2012) نوعين من معدل الانبعاث للرادون ^{222}Rn سطحي وكتلي في عينات من السماد الفوسفاتي باستخدام تقنية كاشف الأثر النووي CR-39 كانت على التوالي $^{-1}\text{Bq.m}^{-2}\text{h}^{-1}$ (0.044-0.351) و $^{-1}\text{Bq.kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ (0.023-0.180)

الجزء العملي

تقنية مطيافية أشعة كاما

استخدم في القياس منظومة قياس أشعة غاما SPECTCH UCS-20 المرتبطة مع الكاشف الوميضي NaI(Tl) ذي الأبعاد 2.5cm×3.8cm كإحدى التقنيات المخبرية وتتكون هذه المنظومة من مضخم ابتدائي ومضخم رئيس ومجهز للفولتية ومحلل متعدد القنوات وترتبط هذه المنظومة بجهاز حاسوب لغرض تشغيلها وقراءة قياساتها وتحليل النتائج، إذ تم جمع خمس عينات وبواقع كيلو غرام واحد من كل موقع من مساحة تقدر بحوالي دونم واحد من أراضي زراعية غير مسمدة ومن مواقع مختلفة لتغطية مساحة الارض ككل وبعد ذلك تم أخذ خمسة أنواع من الأسمدة المختلفة العراقية المنشأ وتسميد مواقع مختلفة من المساحة المذكورة وبعد ذلك تم تجفيف عينات التربة باستخدام فرن كهربائي بدرجة 90°C ولمدة ثمان ساعات وُطِحَت وُنُخِلَت العينات بمنخل ناعم قطره 2mm ثم خلطت بصورة جيدة للحصول على أفضل تجانس. وضعت عينات التربة المراد قياسها في وعاء مارنييلي من البلاستيك حجمه تقريبا (250 cm³) يحتوي على اسطوانة في مركزه توضع بلورة الكاشف في الاسطوانة بحيث تحيط العينة بالبلورة بالكامل مما يتيح كفاءة عالية بالقياس وأغلقت بإحكام لمدة أربعة أسابيع للوصول إلى التوازن المثالي بين الراديوم ^{226}Ra و وليداته، وقد أحيطت بلورة الكاشف الوميضي ووعاء المارنييلي بحواجز من الرصاص سمكها 5cm لتقليل الخلفية الإشعاعية.

تم معايرة المنظومة للطاقة وذلك باستخدام المصادر المشعة القياسية بطاقة (^{22}Na , 0.511 MeV, 1.622MeV,) و (^{137}Cs , 0.662MeV, ^{60}Co , 1.173MeV, 1.332MeV) وبفاعلية $1\ \mu\text{Ci}$ للمصادر الثلاثة وقت التصنيع في 1/10/1980 تم إيجاد كفاءة الكاشف الومضي للطاقات 1765keV و 609 keV المنبعثة من البزموت ^{214}Bi احد وليدات اليورانيوم ^{238}U و 2615 keV المنبعثة من الثاليوم ^{208}Tl احد وليدات الثوريوم ^{232}Th وتم ايجاد كفاءة الكاشف الومضي للطاقة 1460 keV المنبعثة من البوتاسيوم المشع ^{40}K وذلك باستخدام عينة قياسية من كلوريد البوتاسيوم KCl حيث وضعت هذه العينة في وعاء مارنيلي و حددت نسبة البوتاسيوم الطبيعي K ومن ثم البوتاسيوم المشع ^{40}K في العينة القياسية وحسبت الكفاءة لهذه الطاقة، وتم حساب كفاءة الكاشف للطاقات المذكورة أعلاه ومن ثم الحصول على منحني للكفاءة ومعايرته مع ما حصلنا عليه من كفاءة الكاشف الومضي للطاقة 1460 keV وبهذا تم تحويل كفاءة الكاشف للمصادر القياسية إلى كفاءة الكاشف باستخدام وعاء مارنيلي لكل الطاقات التي اعتمدها في الحساب (علي وآخرون، 2013).

تقنية كاشف الأثر النووي (CR-39)

استخدمنا في هذه التقنية كاشف الأثر النووي الصلب CR-39 معتمدين طريقة القياس طويلة الأمد من اجل تسجيل آثار جسيمات ألفا المنبعثة من غاز الرادون والذي ينبعث بدوره من العينات المستخدمة والذي يعد الناتج الطبيعي لانحلال اليورانيوم ^{238}U . إذ تم استخدام الكاشف CR-39 بسبك $750\ \mu\text{m}$ وتقطيعه إلى قطع بأبعاد متساوية $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ ، ليتم بعد ذلك تعريضها إلى العينات قيد الدراسة بعد ان تم تجفيفها وطحنها ونخلها وكما سبق ذكره في التقنية الاولى وتم اخذ 5 غرامات من كل عينة. وضعت العينات في حجرات التشعيع والتي هي عبارة عن أنابيب اختبار أسطوانية الشكل تعرف بحجرات الانتشار ذات قطر 2.2 cm وأغلقت تلك الحجرات بإحكام بسدادات مطاطية مع مراعاة كون المسافة بين سطح العينة و سطح السداد السفلي المثبت فيه قطعة الكاشف مساوية الى 9.5 cm لجميع العينات، ثم تركت العينات لمدة 28 يوما وذلك للوصول إلى 98% من حالة التوازن المثالي (القرني) بين الراديوم ووليداته من نظائر الرادون، وبعد انتهاء زمن التوازن رفعت السدادات بسرعة واستبدلت بأخرى مثبتت بأسفلها قطعة الكاشف CR-39 وتم إحكام غلقها باستخدام شريط لاصق تلافيا للتبادل بين غاز الرادون والمحيط الخارجي (للحفاظ على التركيز الداخلي للرادون) مع مراعاة بقاء المسافة بين سطح العينة والكاشف 9.5 cm. وبعد ذلك تركت الكواشف داخل الحجرات لمدة 60 يوماً ومن ثم رفعت الكواشف لتبدأ عملية القشط لإظهار الآثار المتكونة فيها. لقد استخدم محلول هيدروكسيد الصوديوم المائي NaOH بنقاوة 98% وبدرجة حرارة $70 \pm 1^\circ\text{C}$ ، وتركيز 6.25N في عملية إظهار الآثار المتكونة في قطع الكواشف المعرضة للعينات إذ يعد من المحاليل المفضلة في عملية إظهار الآثار في الكواشف البلاستيكية وبخاصة كواشف البولي كاربونيت مثل CR-39. استمرت عملية القشط لمدة خمسة ساعات ثم رفعت قطع الكواشف من المحلول بعد غسلها بشكل جيد بالماء المقطر و تجفيفها بورق ناعم يستعمل خصيصاً لهذا الغرض لتبدأ عملية المشاهدة المجهرية وحساب الآثار المتكونة فيها. لقد تم عد الآثار المنتظمة المتكونة عن جسيمات ألفا الساقطة على الكاشف لوحدة المساحة للوجه المعرض للعينات المستخدمة. فضلا عن ذلك فانه تم قياس الخلفية الإشعاعية للكاشف، إذ وضع في أنبوبة اختبار فارغة من العينات وأغلقت بإحكام بالطريقة نفسها ولمدة الزمنية التي حددت في حالة وجود العينات. وقد بلغت الخلفية الإشعاعية بحدود $499\ \text{Track.Cm}^{-2}$ وتم طرحها من كثافة الآثار التي حصلنا عليها في حالة وجود العينات ولجميع الحالات من اجل الحصول على الكثافة الفعلية للآثار التابعة لجسيمات ألفا المنبعثة من العينات قيد الدراسة. و جرت عملية المشاهدة المجهرية باستخدام مجهر بصري نوع (Nikon) موديل 205870 بقوة تكبير $400\times$.

الحسابات

حسابات تقنية مطيافية أشعة كاما

تم حساب تراكيز العناصر المشعة ^{226}Ra و ^{232}Th و ^{40}K في عينات التربة باستخدام العلاقة التالية: (Maqtary et al., 2008).

$$C = \frac{\sum N - \sum B}{\epsilon \cdot I \cdot T \cdot W} \quad \dots\dots\dots(1)$$

إذ أن C تمثل تركيز العنصر المشع بوحدة (Bq/kg) و $\sum N$ المساحة الكلية تحت الذروة الضوئية ولطاقة العنصر المشع و $\sum B$ الخلفية الإشعاعية تحت الذروة الضوئية ولطاقة العنصر المشع. ϵ كفاءة الكاشف الوميضي ولطاقة العنصر المشع و I شدة أشعة كاما المنبعثة من المصدر المشع و T زمن تجميع الطيف و W كتلة العينة الجافة بوحدة kg .
تم حساب معدل الجرعة الممتصة في الهواء وعلى ارتفاع متر واحد من سطح الأرض بوحدة (μSv/h) باستخدام المعادلة التالية (Mahur et al., 2008).

$$D(\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}) = (0.462C_{\text{Ra}} + 0.604C_{\text{Th}} + 0.0417C_{\text{K}}) * 0.001 * 0.7 + C_{\text{CO}} \quad \dots\dots\dots(2)$$

إذ أن C_{Ra} و C_{Th} و C_{K} تراكيز العناصر المشعة ^{226}Ra و ^{232}Th و ^{40}K بوحدة Bq.kg⁻¹ و 0.462 و 0.604 و 0.0417 معاملات التحويل الخاصة بالعناصر أعلاه على التوالي بوحدة nGy.hr⁻¹/Bq.kg⁻¹ و 0.7 Sv/Gy معامل التحويل بين الجرعة الممتصة والجرعة المؤثرة. و C_{CO} هو حد الأشعة الكونية المساهمة في الجرعة الممتصة في العينات والذي تم حسابه من برنامج خاص بالاعتماد على موقع الدراسة وخطوط الطول والعرض والارتفاع عن مستوى سطح البحر وكان 0.0314 μSv/h . أما مؤشرات التلوث الإشعاعي للعناصر ^{226}Ra و ^{232}Th و ^{40}K فقد تم حسابها بالاعتماد على علاقات خاصة نشرت من قبل (UNSCEAR., 2000). وشملت مكافئ الراديوم Ra_{eq} و مؤشر خطورة كاما I_{γ} ومستوى الخطورة الخارجي H_{ex} ومستوى الخطورة الداخلي H_{in} وكما موضح في العلاقات التالية:

$$\text{Ra}_{\text{eq}} = C_{\text{Ra}} + 1.43C_{\text{Th}} + 0.077C_{\text{K}} \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$I_{\gamma} = \frac{C_{\text{Ra}}}{150} + \frac{C_{\text{Th}}}{100} + \frac{C_{\text{K}}}{1500} \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$H_{\text{ex}} = \frac{C_{\text{Ra}}}{370} + \frac{C_{\text{Th}}}{259} + \frac{C_{\text{K}}}{4810} \leq 1 \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$H_{\text{in}} = \frac{C_{\text{Ra}}}{185} + \frac{C_{\text{Th}}}{259} + \frac{C_{\text{K}}}{4810} \leq 1 \quad \dots\dots\dots(6)$$

حسابات تقنية كاشف الأثر النووي (CR-39)

لغرض قياس مستوى تراكيز الرادون ^{222}Rn والراديوم ^{226}Ra باستخدام تقنية كاشف الأثر النووي الصلب CR-39 لابد من تحديد ثابت الانتشار K للمنظومة المستخدمة، إذ إن ثابت الانتشار يختلف من منظومة لأخرى إذ يعتمد على الأبعاد الهندسية لحجرة الانتشار (التشيع). ولقد تم تحديد ثابت الانتشار K لحجرة الانتشار التي استخدمت في هذه الدراسة وفق العلاقة الآتية استناداً إلى الأبعاد الهندسية لحجرة الانتشار (Barillon et al., 1991).

$$K = \frac{1}{4} r(2 \cos \theta c - r / R_{\alpha}) \quad \dots\dots\dots(7)$$

إذ يمثل r نصف قطر الأنبوبة المستخدمة كحجرة انتشار ومقداره 1.1 cm و θ_c الزاوية الحرجة لكاشف CR-39 ومقدارها 35° (Durrani and Bull, 1987) و R_α مدى جسيمات ألفا في الهواء الناتجة والمنبعثة من ^{222}Rn ويساوي 4.15 cm. وعند تعويض هذه القيم في المعادلة (7) فإن قيمة ثابت الانتشار K بوحدة الطول تساوي 0.3776 cm و 0.0326 $\text{Tr.cm}^{-2}.\text{d}^{-1}/\text{Bq.m}^{-3}$.

يمكن حساب تركيز الرادون في الحيز الهوائي المحصور بين العينة والكاشف وذلك باستخدام العلاقة الآتية: (Azam et al, 1995).

$$\rho = k C_{\text{Rna}} T \quad \dots\dots\dots(8)$$

إذ أن: ρ كثافة الآثار Track/cm^2 .

ويمكن إيجاد تركيز الرادون في العينات باستخدام العلاقة الآتية (Al- Bataina et al., 1997):

$$C_{\text{Rns}} = \lambda_{\text{Rn}} C_{\text{Rna}} h T/L \quad \dots\dots\dots(9)$$

إذ أن C_{Rns} تركيز الرادون داخل العينات بوحدة Bq/m^3 و C_{Rna} تركيز الرادون في الحيز الهوائي بوحدة Bq.m^{-3} و λ_{Rn} ثابت انحلال الرادون ويساوي 0.1814 day، و h ارتفاع الحيز الهوائي ويساوي 9.5 cm و L سمك العينة وهو بحدود 1.1 cm تقريباً و T زمن التشعيع 60 يوماً.

إن معدل التبخر السطحي هو عدد ذرات الرادون المغادرة من سطح المادة على وحدة المساحة السطحية على وحدة الزمن ويمكن حسابه من المعادلة الآتية (Rehman, 2005) بوحدة $(\text{Bq.m}^{-2}.\text{hr}^{-1})$.

$$E_R (\text{Bq.m}^{-2}.\text{h}^{-1}) = \frac{C_{\text{Rn}} (C_0 a + \lambda_{\text{Rn}} V_a)}{a \left(1 - e^{-\left(\frac{C_0 a}{V_a} + \lambda_{\text{Rn}} \right) T.24} \right)} \quad \dots\dots\dots(10)$$

إذ أن: C_0 حد التصحيح للانتشار الراجع (m.s^{-1}) و C_{Rn} تركيز الرادون في الهواء .

$$C_0 = \lambda_{\text{Rn}} L \quad \dots\dots\dots(11)$$

a المساحة السطحية للعينة (m^2) .

L سمك العينة (m) و V_a حجم الحيز الهوائي m^3 .

$$V_a = \pi r^2 \quad \dots\dots\dots(12)$$

وهناك معادلة أخرى لحساب معدل التبخر السطحي (Nain et al., 2006)

$$E_N (\text{Bq.m}^{-2}.\text{h}^{-1}) = \frac{C_{\text{Rn}} T.24 V_a \lambda_{\text{Rn}}}{a.24(T+1/\lambda_{\text{Rn}}(e^{-\lambda_{\text{Rn}}T}-1))} \quad \dots\dots\dots(13)$$

وإن محتوى الراديوم الفعال C_{Ra} في العينة هو مقدار ما تحتويه العينة فعلياً من عنصر الراديوم الذي ينحل إلى الرادون ويحسب بوحدة Bq.kg^{-1} من العلاقة الآتية (Rehman, 2005):

$$C_{RaR} = \frac{E_R}{\rho_s \lambda_{Rn} E L} \quad \dots\dots\dots(14)$$

إذ أن $\rho_s = W_s / V_s$

ρ_s كثافة العينة kg/m^3 . E معامل انبعاث الرادون 0.3 (Rehman, 2005).

E_R معدل التبخر السطحي و L سمك العينة و W_s كتلة العينة.

النتائج والمناقشة

يبين الجدول (1) أرقام العينات وكتلتها وتركيز العناصر المشعة ^{226}Ra و ^{40}K و ^{232}Th في عينات التربة والتي تم تحديدها باستخدام منظومة قياس أشعة غاما SPECTCH UCS-20 المرتبطة مع الكاشف الوميضي NaI(Tl). وجد أن تركيز العناصر المشعة الثلاثة في التربة غير المسمدة لكل من الراديوم ^{226}Ra يتراوح بين Bq/kg (42.22-60.44) وبمعدل Bq/kg 50.196 أما البوتاسيوم ^{40}K يتراوح بين Bq/kg (179.98- 475.29) وبمعدل Bq/kg 297.15 والثوريوم ^{232}Th (43.06- 68.90) Bq/kg وبمعدل Bq/kg 55.63. استخدمت هذه التراكيز في حساب معدل الجرعة الممتصة (D) في الهواء، إذ تراوحت بين $\mu Sv/h$ (0.0748- 0.0923) وبمعدل $\mu Sv/h$ 0.0819 إن معدل التراكيز للعناصر المشعة في التربة غير المسمدة و الجرعة الممتصة لا تشكل خطورة لأنها تقع ضمن القيم المسموح بها عالميا (UNSCEAR, 2000) وكما موضحة في الجدول (1). وبمقارنة هذه التراكيز مع ما أوجده الباحث (Akhtar et al., 2005) في باكستان حيث وجد أن تركيز ^{40}K يتراوح بين Bq/kg (500-610.2) و Bq/kg (560.2-635) وتركيز ^{238}U يتراوح بين Bq/kg (26.23-31.6) و Bq/kg (30.3- 38.7) وتركيز ^{137}Cs Bq/kg (3.57-3.63) و Bq/kg (1.98-5.15) و ^{232}Th Bq/kg (50.6- 55.3) و Bq/kg (50.6- 64.0) في التربة غير المسمدة والتربة المسمدة على التوالي. كما وجد الباحثان (and Boucenna, 2011) (Boukhenfouf) من خلال دراسة في الجزائر تراكيز العناصر المشعة الراديوم ^{226}Ra و البوتاسيوم ^{40}K و الثوريوم ^{232}Th في التربة المسمدة بسماد NPK والتربة غير المسمدة فكانت التراكيز في التربة المسمدة Bq/kg 134.7 و Bq/kg 1164 و Bq/kg 131.8 على التوالي، أما في التربة غير المسمدة كانت Bq/kg 47.01 و Bq/kg 329 و Bq/kg 43 على التوالي. وكانت وان تركيز الراديوم ^{226}Ra في التربة المسمدة بسماد السوبر فوسفات الثلاثي T.S.P كان Bq/kg 212.21 ويبدو حوالي أربعة أضعاف تركيزه في التربة غير المسمدة وان نسبة الفرق بين التركيز حوال 76% وهذا يدل على إن سمد السوبر فوسفات يحتوي على مقدار لا يستهان به من اليورانيوم ^{238}U وبما ان الراديوم ^{226}Ra هو أحد وليداته وبما أنه قابل للذوبان في الماء فمن الواضح ان تركيزه في التربة المسمدة يبدو أكبر مما هو عليه في التربة غير المسمدة (Ritcey,1990). أما تركيز البوتاسيوم ^{40}K فقد كان Bq/kg 620.33 وقد أرتفع بشكل واضح في التربة المسمدة بسماد NPK وذلك لاحتواء السماد على نسبة من البوتاسيوم تقدر 23%. أما أعلى تركيز الثوريوم ^{232}Th فقد كان Bq/kg 83.54 في التربة المسمدة بسماد NP+ فقط. ربما يعود الارتفاع لاحتواء السماد على نسبة من النفط ومن المعروف ان النفط يحتوي على نسب غير قليلة من العناصر المشعة (IAEA, 2001). وكان معدل الجرعة الممتصة D يتراوح بين $\mu Sv/h$ (0.1128-0.1385) وبمعدل $\mu Sv/h$ (0.133) كما مبين في الجدول رقم (1). والشكل (1) و (2) يبين علاقة تراكيز العناصر المشعة قيد الدراسة للتربة غير المسمدة والتربة المسمدة في العينات المدروسة على التوالي.

الجدول 1: أرقام وأسماء العينات وكتلتها وتراكيز كل من الراديوم ^{226}Ra و البوتاسيوم ^{40}K و الثوريوم ^{232}Th والجرعة الممتصة في عينات التربة غير المسمدة والمسمدة والمقاسة بتقنية كاشف NaI(Tl) .

أرقام العينات	أسماء العينات	الكتلة g	تراكيز العناصر المشعة Bg/kg			الجرعة الممتصة D μSv/h
			²²⁶ Ra	⁴⁰ K	²³² Th	
التربة غير المسمدة						
1	تربة غير مسمدة موقع 1	250.0	47.22	475.29	68.90	2370.09
2	تربة غير مسمدة موقع 2	250.0	50.27	248.57	68.90	0.08674
3	تربة غير مسمدة موقع 3	250.0	50.81	272.16	43.06	0.07668
4	تربة غير مسمدة موقع 4	250.0	42.22	309.73	49.09	0.07485
5	تربة غير مسمدة موقع 5	250.0	60.444	179.98	48.23	0.07929
Average ± STD			50.196±6.66	297.15±11.02	55.63±12.32	0.0819±0.007
(UNSCEAR, 2000)			17-60	140-850	11-64	0.1314
التربة المسمدة						
6	تربة مسمدة بسماد NPK عراقي *	250.0	131.41	620.33	72.35	590.122
7	تربة مسمدة بسماد MAPعراقي *	250.0	111.10	479.23	68.04	0.1128
8	تربة مسمدة بسماد TSP عراقي *	250.0	212.21	345.55	60.28	13830.
9	تربة مسمدة بسماد (NP +نפט) عراقي *	250.0	190.63	350.35	5483.	3850.1
10	تربة مسمدة بسماد NP عراقي *	250.0	173.98	364.33	63.73	0.1279
Average ± STD			163.9±41.8	412.7±83.0	80.0±31.6	20.133±0.0

سماد (بوتاسيوم ، فسفور ، نيتروجين) *NPK

سماد سوبر فوسفات الثلاثي *TSP

سماد فوسفات الأمونيوم الأحادية *MAP

سماد (فسفور ، نيتروجين) * NP

الشكل 1: تراكيز العناصر المشعة في التربة غير المسمدة ولمواقع مختلفة

الشكل 2: تراكيز العناصر المشعة في التربة المسمدة وبأنواع مختلفة من الأسمدة

يبين الجدول (2) مقارنة بين قيم مكافئ الراديوم R_{eq} ودليل I_γ ومستوى الخطورة الخارجي H_{ex} ومستوى الخطورة الداخلي H_{in} لأشعة H_{in} كما بين التربة غير المسمدة والتربة المسمدة مع الحدود المسموح بها عالمياً، وتبين أن قيمة مكافئ الراديوم للتربة غير المسمدة كان بمعدل 138.56 Bq/kg وهو أقل من الحد المسموح به عالمياً أما بالنسبة للتربة المسمدة فقد كان معدل القيم 319.31 Bq/kg وهو مقارب لما أوصت به (UNSCEAR, 2000) والبالغة 370 Bq/kg أما دليل I_γ والخطر الخارجي والداخلي فإن قيمهم في التربة غير المسمدة أقل من واحد ماعدا في العينة رقم 1 فقد كان دليل I_γ 1.32 وربما يعود السبب الى محتواها المرتفع قليلاً من البوتاسيوم ^{40}K ، أما في التربة المسمدة فيبدو أن دليل I_γ مرتفع نسبياً وذلك بسبب احتواء الأسمدة المختلفة على نسب تعد مرتفعة من الراديوم ^{226}Ra والتي تؤثر على النتيجة النهائية لدليل I_γ . أما الخطر الخارجي H_{ex} فإن قيمه بصورة عامة في التربة غير المسمدة والمسمدة أقل من واحد ماعدا في العينة رقم (10) وبالنسبة للخطر الداخلي H_{in} فإن قيمه في عينات التربة غير المسمدة أقل من واحد ومن الواضح أن قيمه في التربة المسمدة تجاوزت الواحد وكانت بمعدل 1.326 وهذا يعني أن الأسمدة قد أضافت نسبة غير قليلة من العناصر المشعة وخاصة اليورانيوم و وليداته وكذلك البوتاسيوم ^{40}K .

الجدول 2: مقارنة بين قيم مكافئ الراديوم Ra_{eq} ودليل كاما I_γ ومستوى الخطر الخارجي H_{ex} ومستوى الخطر الداخلي H_{in} لأشعة كاما في عينات التربة غير المسمدة والمسمدة

الخطر الداخلي H_{in}	الخطر الخارجي H_{ex}	دليل كاما I_γ	مكافئ الراديوم Ra_{eq} (Bq/kg)	أرقام العينات
التربة غير المسمدة				
0.6200	0.9246	1.3207	182.35	1
0.5894	0.4535	1.1899	167.94	2
0.4975	0.3601	0.9528	133.35	3
0.4821	0.3680	0.9788	136.27	4
0.55038	0.3870	1.0053	143.28	5
0.488±0.112	0.374±0.0891	0.987±0.242	±0.331138.56	Average ± STD
التربة المسمدة				
1.118	0.7634	2.0131	282.63	6
21.17	0.7659	42.00	283.52	7
1.452	0.8782	2.248	325.03	8
1.2623	0.7921	2.040	293.18	9
1.6287	1.1135	2.8652	412.20	10
1.326±0.211	0.862±0.147	2.23±0.366	319.31±54.70	Average ± STD
≤1	≤1	≤1	370	Worldwide Limited

الجدول (3) يوضح نتائج تقنية كاشف الأثر النووي CR-39 ومن الواضح قيمة تراكيز غاز الرادون في الهواء العينة تراوحت بين 10^3Bq.m^{-3} (1.568- 2.263) في التربة غير المسمدة، أما في التربة المسمدة تراوحت بين (3.027- $4.420 \times 10^3 \text{Bq.m}^{-3}$) ويبدو ان تركيز الرادون في الهواء التربة المسمدة حوالي ضعف قيمته في التربة غير المسمدة. ومن خلال معرفتنا لتركيز الرادون في هواء العينة يمكن التوصل الى معدل الانبعاث السطحي للرادون ^{222}Rn وقد تم حسابه من خلال معادلتين للباحثين (Rehman, 2005)، (Nain *et al.*, 2006) من العلاقتين 10 و 13 ، تبدو قيم التبخر السطحي بصورة عامة أقل من المعدل العالمي للتبخر السطحي والبالغ $(Bq.m^{-2}.h^{-1})$ 57.6 (UNSCEAR , 2000)، اذ انه يعتمد على مقدار ما يتبخر من سطح العينة فقط وحيث ان معدل النسب بين E_R و E_N في التربة الغير مسمدة هو 1.005 وفي التربة المسمدة كان 1.037 وهذا يعني ان نتائج المعادلتين متقاربتين جداً. أما تراكيز الراديوم في العينات بوحدة $\text{CRas (Bq.kg}^{-1})$ فقد تم حسابه باستخدام المعادلات (8،10) وكانت اعلى قيمة لتراكيز الراديوم في عينات التربة غير المسمدة تعود الى العينة 5 بينما أعلى قيمة لتركيز الراديوم في عينات التربة المسمدة تعود إلى العينة 8 (تربة مسمدة بسماد TSP). وبمقارنة نتائج تركيز الراديوم ^{226}Ra في العينات وباستخدام التقنيتين (مطيافية أشعة كاما وكاشف الأثر النووي CR-39) تبين أن النسبة المئوية في التربة

الغير مسمدة والمسمدة تراوحت بين (32%-3.5%). والأشكال (3) و(4) و(5) توضح العلاقة بين (R_{eq} و D) و (R_{eq} و I_{γ}) و (R_{eq} و H_{in}) للتربة غير المسمدة وتبين ان العلاقة بينهما طردية وان درجة الملائمة $R^2 \approx 1$. والأشكال (6) و(7) و(8) توضح العلاقة بين (R_{eq} و I_{γ}) و (R_{eq} و D) و (R_{eq} و H_{in}) للتربة المسمدة ومن الملاحظ أيضا أنها طردية ودرجة ملائمتها $R^2 \approx 1$ وهذا يعني ان مؤشرات التلوث بصورة عامة أساسها تراكيز العناصر المشعة ضمن العلاقات وان أي منها ممكن أن يعطي فكرة واضحة عن التلوث الإشعاعي إذ ما زادت قيمتها عن القيم المسموح بها.

الجدول 3: ارقام العينات وكثافة الاثار ρ (Tr/cm²) وتركيز الرادون Rn^{222} في الهواء C_{Rna} (Bq.m⁻³) ومعدل التبخر السطحي E ($Bq.m^{-2}.h^{-1}$) وتركيز الراديوم في العينات $CRas$ (Bq/kg)

Sample No.	ρ (Tr/cm ²)	تركيز الرادون في الهواء ²²² Rn C_{Rna} $Bq.m^{-3}$ $\times 10^3$	Radon Surface Exhalation Rate E $(Bq.m^{-2}.h^{-1})$		E_R / E_N	CRas (Eq. 10)
			E_N (Eq. 13)	E_R (Eq. 10)		
التربة غير المسمدة						
1	3067	1.568	1.239	1.244	1.003	41.702
2	3697	1.890	1.494	1.500	1.003	50.269
3	3604	1.842	1.456	1.462	1.003	49.004
4	3399	1.640	1.297	1.302	1.003	43.636
5	4501	2.263	1.786	1.813	1.015	60.771
التربة المسمدة						
6	6612	3.380	2.672	2.836	1.061	95.041
7	5921	3.027	2.393	2.425	1.013	81.275
8	8647	4.420	3.495	3.708	1.061	124.29
9	8106	4.144	3.276	3.508	1.070	117.57
10	8393	4.290	3.392	3.567	1.051	119.55
World Average Exhalation Rate = 57.6 $(Bq.m^{-2}.h^{-1})$ (UNSCEAR ,2000)						

الاستنتاجات

- 1- إن الأسمدة من الممكن أن تكون احد أسباب التلوث الإشعاعي البيئي وقد تمثل خطورة على صحة الإنسان في حال تناوله الأغذية المزروعة في التربة المسمدة بأنواع من الأسمدة العالية التركيز بالنظائر المشعة وخاصة الفوسفاتية منها.
- 2- إن جرعة التعرض في الهواء وعلى ارتفاع 1m هي احد المؤشرات على التلوث البيئي ويجب أن لا تتعدى قيمتها $\mu Sv/h$ 0.1314 علماً أن ما استنتجناه في التربة المسمدة كان بمعدل $0.133 \mu Sv/h$
- 3- تم التوصل إلى أن معدل مكافئ الراديوم في التربة المسمدة يعادل تقريباً ضعف ما أوجدناه في التربة غير المسمدة وهذه القيمة قريبة من أقصى حد مسموح به عالمياً وهو 370 Bq/kg.
- 4- ان دليل كما كان بحدود 1 للتربة غير المسمدة وضعفه في التربة المسمدة علماً ان القيمة المسموح بها عالمياً يجب ان لا تتعدى الواحد.

- 5- ان الخطر الخارجي والداخلي في التربة غير المسمدة بصورة عامة اقل من واحد وان الخطر الداخلي في التربة المسمدة أكبر من واحد.
- 6- ينصح بتوخي الحذر عند استخدام الأسمدة الفوسفاتية وخاصة العالية التركيز بالفوسفات مثل T.S.P. لأنها تحتوي على كمية لا يستهان بها من اليورانيوم ووليداته.
- 7- باستخدام التقنيتين (مطيافية اشعة كاما وكاشف الاثر النووي CR-39) في حساب تركيز الراديوم ^{226}Ra في العينات وبمقارنة نتائج التقنيتين تبين ان النسبة المئوية تراوحت بين (3.5%-32%).
- 8- ان معدل الانبعاث السطحي من التربة وبصورة عامة كان اقل من المعدل العالمي والذي أوصت به (UNSCEAR, 2000).

الشكل 3: علاقة مكافئ الراديوم مع دليل كاما للتربة غير المسمدة

الشكل 4 : علاقة مكافئ الراديوم مع جرعة التعرض للتربة غير المسمدة

الشكل 5: علاقة مكافئ الراديوم مع التعرض الداخلي للتربة غير المسمدة

الشكل 6: علاقة مكافئ الراديوم مع دليل كاما للتربة المسمدة

الشكل 7: علاقة مكافئ الراديوم مع جرعة التعرض للتربة المسمدة

الشكل 8: علاقة مكافئ الراديوم مع التعرض الداخلي للتربة المسمدة

المصادر العربية

- الصباحة، ليث أحمد (2001). تطبيق تقنية نووية في دراسة الأسمدة النباتية، مجلة علوم الرافدين. 12(3)، 87-92.
- سلامه، محمد عبد الرحمن (1994). مراقبة وقياس العناصر المشعة في التربة. المركز القومي للأمان والرقابة الإشعاعية، هيئة الطاقة الذرية، مصر.
- علي، عامر حسن ؛ محميد، أحمد خلف؛ حسن، هناء إحسان (2013). تحديد مستوى الخلفية الإشعاعية في حرم جامعة الموصل باستخدام تقانات متعددة. بحث مقبول للنشر في مجلة علوم الرافدين، كلية العلوم، جامعة الموصل.

المصادر الأجنبية

- Akhtar, N.; Tufail, M.; Ashraf M.; Mohsin, M.I. (2005). Measurement of environmental radioactivity for estimation of radiation exposure from saline soil of Lahor, Pakistan. *Radiation Measurements*, **39**, 11-14.
- Al-Bassam, K. (2007). Uranium in the Iraqi Phosphorites. *Iraqi Bulletin of Geology and Mining*, **3**(2), 13-31.
- AL-Bataina, B.A.; Ismail, A.M.; Kullab, M.K.; Abumurad, K.M.; Mustafa, H. (1997). Radon Measurements in Different Types of Natural Waters in Jordan. *Radiat. Meas.*, **28**, (1-6), 591-594.
- Al-Maqtary, K.; Murshid, M.; Bazohair, A.; Al-Zuhairy, M. (2008). Determination of radio nuclides for some local foodstuffs in republic of Yemen by using gamma rays spectral analysis technique. *Abhath AL-Yarmook: Basic. Sci. and Eng.*, **17**(IC), 415-423.
- Al-Saif, A.S. (2009). Radiological aspects of hail region behavior of some radionuclides in soil. M.Sc. Thesis, College of Science, King Saud University.
- Azam, A.; Naqui, A.; Srivatava, D. (1995). Radium concentration and Radon exhalation measurement using LR-115 Type II plastic track detectors. *Nucl. Geophys*, **9**(6) 653-657.
- Barillon, R.; Klein D.; Chambaudet, A.; Membrey, F.; Fromm, M. (1991). Additional uses of polymeric nuclear track detectors CR-39 and LR-115 for measuring radon emanation. *Nucl. Tracks Radiat. Meas.*, **19**, 291-295.
- Boukhenfouf, W.; Boucenna, A. (2011). The radioactivity measurement in soil and fertilizers using gamma spectrometry technique. *J. Environmental Radioactivity*, **102**, 336-339.
- Calhan, P.; Chauhan, R.P.; Gupta, M. (2013). Estimation of naturally occurring radionuclides in fertilizers using gamma spectrometry and elemental analysis by XRF and XRD techniques. *Microchemical J.*, **106**, 73-78.

- Catherin, T.M. (1965). "Fertilizer Application, Soil, Plant, Animal". London, Crosby.
- Durrani, S.A.; Bull, R.K. (1987). "Solid State Nuclear Track Detection". Pergamon Press. Oxford.
- Guimond, R.J.; Hardin, J.M. (1989). Radioactivity Released from phosphate containing fertilizers and from gypsum. *Radiat. Phys. Chem.* **34**(2), 309-315.
- International Basic Safety Standards IAEA, Safety Series 115 - I (2001). ICRP publication **60**. Ann. IRCP. **21**, 1-3, (1991).
- Kadi, M.W.; Al-Eryani, D.A. (2012). Natural Radioactivity and radon exhalation in phosphate fertilizers. *Arab. J. Sci. Eng.*, **37**, 225-231.
- Kant, K.; Upadhyay, S.B.; Sankawde, R.G.; Cchakarvarti, S.K. (2006). Radiological Risk Assessment of Use of Phosphate Fertilizers in soil. *Iran. J. Radiat. Res.*, **4**(2), 63-70.
- Mahur, A.K.; Kumer, R.; Sonkawade, R.G.; Sengupta, D.; Prasad, R. (2008). Measurements of natural radioactivity and radon exhalation rate from rock samples of Jaduguda uranium mines and its radiological implications. *Nucl. Inst. and Meth. in Phy. Res. B*, **266**, 1591-1597.
- Nain, M.; Chauhan, R.P.; Chakarvarti, S.K. (2006). Alpha radioactivity in Indian cement samples. *Iran J. Radiat. Res.*, **3**(4), 171-176.
- Rehman, S.U. (2005). Radon measurements with CR-39 detectors – implications for uranium ore analysis and risk assessment. Ph.D. Thesis, (PIEAS) Pakistan.
- Ritcey, G.M. (1990). Weathering processes in uranium tailings and the migration of contaminants Internation atomic energy agency (IAEA). *Envir. Beh. Rad.* (310), 27-72.
- Saad, A.F.; Abdullah, Y.K.; Hussein, N.A.; El –Yseery, I.S. (2010). Radon exhalation rate from building materials used on the Garyounis University campus, Benghazi, Libya. *Turkish J. Eng. Env. Sci.*, **34**, 67-74.
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), (2000). Sources and effects of ionizing radiation. *Report to the General Assembly*. New York, United Nation.