------مجلة علوم الرافدين، المجلد 25، العدد 3، ص86-100، 2014------

تحديد مستوى الخلفية الإشعاعية في حرم جامعة الموصل باستخدام تقانات متعددة

عامر حسن علي* **احمد خاف محيميد** **هناء إحسان حسن**

قسم الفيزياء/ كلية التربية للعلوم الصرفة/ جامعة تكريت — قسم الفيزياء/ كلية التربية للعلوم الصرفة/ جامعة الموصل

***E. mail:ammir_abophysics@yahoo.com**

(استُلِم 12/ 9 / 2013 ؛ قُبِل 7 / 10 / 2013)

الملخص

يهدف البحث الحالي إلى تحديد مستوى الخلفية الإشعاعية لـ 10 مواقع مختلفة في حرم جامعة الموصل باستخدام تقانات مختلفة وهي الكاشف المحمول Inspector EXP^+ الحاوي على أنبوبة عداد كايكر – ميلر و الكاشف الوميضي NaI(Tl) وكاشف الأثر النووي CR-39. تم قياس معدل الجرعة الممتصة لأشعة كاما ($D_{exp.}$) في الهواء وعلى بعد متر واحد من سطح الأرض باستخدام الكاشف المحمول وحساب كل من تركيز النشاط الإشعاعي للعناصر المشعة البوتاسيوم ^{40}K والرادون ^{222}Rn والراديوم ^{226}Ra والثوريوم ^{232}Th ومعدل الجرعة الممتصة لأشعة كاما ($D_{cal.}$) في الهواء وعلى بعد متر واحد من سطح الارض ومكافئ الراديوم (Ra_{eq}) ودليل كاما (I_γ) ودليل الفا (I_α) ومستوى التعرض الداخلي (H_{in}) والخارجي (H_{ex}) ومعدل التبخر للرادون (E) وإيجاد معادلة تجريبية تربط بين القياسات الحقلية والمختبرية لمعدل الجرعة الممتصة لأشعة كاما في الهواء ($D_{exp.}$ و $D_{cal.}$) ومعادلات أخرى تربط بين ($D_{cal.}$ و I_γ)، (Ra_{eq} وI_γ) ، (H_{ex} وI_γ) و (H_{ex} وRa_{eq}).

الكلمات الدالة: الخلفية الإشعاعية، حرم جامعة الموصل، الكاشف المحمول Inspector EXP^+، الكواشف NaI(Tl) و CR-39، معدل الجرعة، معدل التبخر للرادون.

Determination of the Background Radiation Level in Mosul University Campus Using Multiple Technologies

Ammir H. Ali
Department of Physics/ College of Education for Pure Science/ University of Tikrit

Ahmed K. Mheemeed **Hana I. Hassan**
Department of Physics/ College of Education for Pure Science/ University of Mosul

ABSTRACT

The current study aims to determine the background radiation level in Mosul University Campus using multiple technologies, portable detector type Inspector EXP^+ containing Geiger-Mueller tube, NaI(Tl) and CR-39 detectors. The portable detector was used to measure the dose rate ($D_{exp.}$) at 1 m height from the ground. The radioactivity concentrations of ^{40}K, ^{222}Rn, ^{226}Ra, ^{232}Th, the dose rate ($D_{cal.}$) at 1 m height from the ground, radium equivalent activity (Ra_{eq}), gamma index (I_γ), alpha index (I_α), external hazard index (H_{ex}), internal hazard index (H_{in}) and radon exhalation rate (E) were calculated. An empirical equation between the field and the laboratory measurements of the dose rate in air ($D_{cal.}$, $D_{exp.}$) and other equations between (I_γ, $D_{cal.}$), (I_γ, Ra_{eq}), (I_γ, H_{ex}) and (Ra_{eq}, H_{ex}) were found.

Keywords: Background radiation, Mosul University Campus, Inspector EXP^+, NaI(Tl) and CR-39 detectors, dose rate, radon exhalation rate.

المقدمة

يتعرض الإنسان إلى الإشعاع بشكلٍ دائمٍ من مصدرين رئيسين هما المصادر الطبيعية والمصادر الصناعية ويشكلُ تعرض الإنسان إلى المصادر الطبيعيةِ النسبة الأساسية من التعرض مثل الأشعة الكونية والأشعة الصادرة من العناصر المشعة بصورة طبيعية. إن للإشعاع تأثيراً في البيئةِ قد يبقى أثره لسنواتٍ عديدة ليؤثر في التركيب الجيني للإنسان والحيوان فيؤدي إلى خللٍ وراثي يظهر أثره في الأجيال اللاحقة. يعتمد النشاط الإشعاعي البيئي الطبيعي على الظروف الجيولوجية والجغرافية. ينشأ النشاط الإشعاعي الطبيعي بصورة رئيسية من سلاسل اليورانيوم ^{235}U و^{238}U والثوريوم ^{232}Th والبوتاسيوم الطبيعي ^{40}K إضافة إلى الأشعة الكونية والأشعة الموجودة في البيئة وجسم الإنسان وغيرها وهو ما يسمى ب NORM (Naturally Occurring Radioactive Material) (Peter and Adam, 1996). أما النشاط الإشعاعي الصناعي فينشا من المفاعلات النووية والأسلحة النووية والمعجلات ومن عمليات التعدين واستخراج النفط والغاز ومن بعض الأجهزة الكهربائية كالتلفزيون والحاسبات واستخدام النظائر المشعة في الطب والزراعة والصناعة والبحث العلمي وصناعة الفوسفات وغيرها ويسمى بـ TENORM (Technically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material).

أجريت العديد من الدراسات المحلية والعالمية لقياس الخلفية الإشعاعية في مناطق مختلفة من العالم وفيما يلي استعراض لبعضها، فقد أجرى (Peter and Adam, 1996) دراستين مختبريه وحقلية لقياس الخلفية الإشعاعية في مناطق التجارب النووية في الاتحاد السوفيتي، إذ تم استخدام تقنية كاشف HPGe في الدراسة المختبرية لعينات من التربة من المناطق المذكورة أعلاه ووجدا إن معدل الجرعة الإشعاعية بحدود (0.0728 µSv/h)، فيما استخدم الكاشف HPGe المثبت على مسند ثلاثي في التقنية الحقلية وعلى بعد 1m من سطح الأرض وكان معدل الجرعة الإشعاعية بحدود (0.0749 µSv/h) اخذين بنظر الاعتبار معدل الجرعة من الأشعة الكونية بحدود (0.0238 µSv/h) في كلا الحالتين. كما درس (Avwiri and Ebeniro, 1998) الخلفية الإشعاعية حول المنطقة الصناعية لمدينة Rivers في نيجريا ووجدا أن معدل الجرعة الإشعاعية يساوي (0.14 µSv/h) وهو أعلى بقليل من المستوى الطبيعي للخلفية الإشعاعية (0.13 µSv/h). وحدد (Michalis *et al*., 2002) معدل الجرعة الممتصة خارج المساكن في مناطق من قبرص باستخدام تقنية كاشف HPGe إذ تراوحت الجرعة الممتصة بين (0.00007 – 0.035 µSv/h) اعتمادا على الطبيعة الجيولوجية للمنطقة. وقام (Mahur *et al*., 2008) بقياس النشاط الإشعاعي الطبيعي ومعدل التبخر السطحي للرادون لنماذج صخرية من مناجم اليورانيوم في منطقة Jaduguda في الهند باستخدام تقنية HPGe ووجد أن معدل الجرعة الممتصة تتراوح بين (0.0252 – 13.213 µSv/h) وبمعدل(4.938 µSv/h) كما إن معدل الجرعة الخارجية السنوية تتراوح بين (0.49 – 16.24 mSv/y). واستطاع (Hussein *et al*., 2009) أن يحدد تركيز النشاط الإشعاعي للنوى المشعة الطبيعية خارج المساكن في منطقة كارميك في منطقة كردستان العراق باستخدام منظومة كاشف NaI(Tl) إذ وجد أن معدل الجرعة الممتصة بحدود (0.1876 µSv/h). وقام (Lahham *et al*., 2009) بدراسة الخلفية الإشعاعية في فلسطين باستخدام تقنية مطيافية أشعة كاما الحقلية لكاشف ايوديد الصوديوم المحمول NaI(Tl) وعلى بعد 1m من سطح الأرض لكل قياس ووجد ان معدل الجرعة الخارجية لأشعة كاما تتراوح بين (0.0042 – 0.021 µSv/h) وبمعدل (0.0126 ± 0.0049 µSv/h) والتي تمثل 30% من معدل القيمة العالمية. اجريت دراسة محلية من قبل (خضر، 2010) لتحديد مستوى الخلفية الإشعاعية في 29 موقعا حقليا في قضاء الحمدانية وناحية بعشيقة في محافظة نينوى باستخدام عداد كايكر-مللر. تم إيجاد معادلات رياضية تصف العلاقة بين معدل الجرعة الممتصة في الهواء ومعدل العد. تبين أن أعلى معدل للجرعة الإشعاعية هي في منطقة قره قوش وكانت بحدود 0.22 µGy/h وان أوطأ معدل للجرعة الإشعاعية هي في منطقة الخازر وكانت بحدود 0.15 µGy/h. كما درس (Reddy *et al*., 2010) مستويات الخلفية الإشعاعية في مدينة حيدر آباد والمناطق المحيطة بها في الهند باستخدام تقنية كواشف التألق الحراري (TL) Thermo luminescence وتقنية عداد كايكر ميلرالمحمول للقياسات الحقلية، ووجد ان معدل الجرعة الإشعاعية كان 0.033 ±0.2198 μSv/h لمدينة حيدر آباد و 0.057 ±0.2163 μSv/h للمناطق المحيطة بها وان معدل الجرعة السنوية المؤثرة كان بحدود 0.23 ± 1.53 mSv/y لكلا المنطقتين. وفي مدينة رمسار الإيرانية تمكن (Pourfallah *et al*., 2012) من قياس المستوى العالي للخلفية الإشعاعية لهذه المدينة باستخدام مجاريع أشعة كاما ووجد أن معدل الجرعة السنوية للتعرض الخارجي لأشعة كاما كان (30 mSv/y) وهو أعلى من الحد الطبيعي المسموح به بمقدار 30 مرة تقريبا ولحساب مشاركة الأشعة الكونية فقد قام الباحث بقياس جرعة الأشعة الكونية على ارتفاع 1 km فوق مستوى سطح البحر وكانت (μSv/h 75% ± 0.04).

تهدف الدراسة الحالية إلى تحديد مستوى الخلفية الإشعاعية من خلال قياس معدل الجرعة الممتصة لاشعة كاما ($D_{exp.}$) في الهواء وعلى بعد متر واحد من سطح الأرض باستخدام الكاشف المحمول Inspector EXP^+ في بيئة حرم جامعة الموصل وإيجاد تركيز النشاط الإشعاعي للعناصر المشعة مثل البوتاسيوم ^{40}K والرادون ^{222}Rn والراديوم ^{226}Ra والثوريوم ^{232}Th في عينات من التربة أسفل الكاشف كذلك حساب كل من معدل الجرعة الممتصة لأشعة كاما ($D_{cal.}$) في الهواء وعلى بعد متر واحد من سطح الأرض ومكافئ الراديوم (R_{eq}) ودليل كاما (I_γ) ودليل الفا (I_α) ومستوى التعرض الداخلي (H_{in}) والخارجي (H_{ex}) وإيجاد معادلات تجريبية تربط بين القياسات الحقلية والمختبرية. يمكن استخدام البيانات أعلاه كمرجع في تحديد مستوى الخلفية الإشعاعية للمناطق البعيدة عن الحقول النفطية والاستفادة منها في دراستنا اللاحقة " تحديد مستوى التعرض الإشعاعي من العناصر المشعة الطبيعية في حقول نفط المنطقة الشمالية من العراق".

الجزء العملي

استخدمت في هذه الدراسة ثلاثة تقنيات حقلية ومختبرية

التقنية الحقلية

استخدم في هذه التقنية الجهاز المحمول Inspector Exp^+ الحاوي على أنبوبة عداد كايكر – ميلر ذو القدرة على الكشف عن المستويات الواطئة لأشعة ألفا وبيتا وكاما والأشعة السينية، وتم معايرته من قبل الشركة المصنعة باستخدام المصدر المشع ^{137}Cs وان معامل التحويل هو 3340 CPM/mR/h (Inspector Exp^+ User Manual).

أُجري مسح عشرة مواقع موزعة على ارتفاعات مختلفة في حرم جامعة الموصل باستخدام الجهاز المحمول Inspector EXP^+ والمثبت على مسند ثلاثي الأرجل بحيث تكون المسافة بين أنبوبة العداد والأرض بحدود 1 m، أجريت القياسات لمدة 30 min لكل موقع مع اخذ عينة من التربة أسفل الكاشف وبعمق 15 cm تقريبا ليتم فحصها بالتقنيات المختبرية والجدول (1) يوضح أسماء المواقع وإحداثياتها ومعدل الجرعة الإشعاعية الناتجة من التعرض للأشعة الكونية عند كل موقع والتي تم حسابها باستخدام البرنامج (EXPACS ver. 2.27) بالاعتماد على خطي الطول والعرض للموقع وارتفاعه عن مستوى سطح البحر.

الجدول 1: أرقام وأسماء المواقع وإحداثياتها ومعدل الجرعة الإشعاعية الناتجة من التعرض للأشعة الكونية عند كل موقع

رقم الموقع	اسم الموقع	إحداثيات الموقع والارتفاع	$D_{cos.}$ (µSv/h)
1	مقابل عمادة كلية الطب البيطري	36.23 07 64 N 43.08 03 59 E h 245 m	0.0342
2	بين كليتي التمريض وتقنية البيئة	36.23 04 03 N 43.08 34 41 E h 242 m	0.0341
3	مجاور مختبر الأسماك في كلية الزراعة	36.23 09 20 N 43.08 11 75 E h 232 m	0.0340
4	مجاور كلية العلوم الإسلامية	36.23 03 92 N 43.07 51 09 E h 237 m	0.0340
5	مقابل قسم هندسة الالكترونيك	36.22 53 56 N 43.08 20 75 E h 225 m	0.0339
6	مجاور كلية الآداب	36.22 46 26 N 43.08 47 43 E h 238 m	0.0341
7	مجاور مخزن المواد الكيمياوية	36.23 00 11 N 43.08 49 27 E h 242 m	0.0341
8	مجاور مسجد الجامعة	36.22 42 56 N 43.08 48 02 E h 234 m	0.0340
9	خلف مختبر البلازما في قسم الفيزياء/كلية العلوم	36.22 36 89 N 43.08 56 79 E h 230 m	0.0339
10	خلف الهندسة الكهربائية	36.22 35 68 N 43.08 49 73 E h 225 m	0.0339
		Average ± S.D. = 0.0340 ± 0.0001	

التقنية المختبرية الأولى

استخدمت في هذه التقنية منظومة قياس أشعة گاما SPECTCH UCS-20 المرتبطة مع الكاشف الوميضي NaI(Tl) ذي الأبعاد 2.5cm×3.8cm كإحدى التقنيات المختبرية وتتكون هذه المنظومة من مضخم ابتدائي ومضخم رئيس ومجهز للفولتية ومحال متعدد القنوات وترتبط هذه المنظومة بجهاز حاسوب لغرض تشغيلها وقراءة قياساتها وتحليل النتائج, إذ تم تجفيف عينات التربة باستخدام فرن كهربائي بدرجة $90^{o}C$ ولمدة 8 ساعات وطِحنَت ونخلَت العينات بمنخل ناعم قطره 2 mm ثم خلطت بصورة جيدة للحصول على أفضل تجانس. وضعت عينات التربة المراد قياسها في وعاء مارنيللي من البلاستك حجمه تقريبا($250\ cm^3$) تم تصنيعه محليا ويحتوي على اسطوانة في مركزه وتوضع 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 ووليداته. أحيطت بلورة الكاشف ألوميضي ووعاء مارنيللي بحواجز من الرصاص سمكها 5cm لتقليل الخلفية الإشعاعية. تم معايرة المنظومة للطاقة وذلك باستخدام المصادر المشعة القياسية ^{60}Co, ^{137}Cs, ^{22}Na، تم إيجاد كفاءة الكاشف

الوميضي للطاقة 1460 keV المنبعثة من البوتاسيوم المشع ^{40}K وذلك باستخدام عينة قياسية من كلوريد البوتاسيوم KCl حيث وضعت هذه العينة في وعاء مارنيللي وحددت نسبة البوتاسيوم الطبيعي K ومن ثم البوتاسيوم المشع ^{40}K في العينة القياسية وحسبت الكفاءة لهذه الطاقة، أما بالنسبة للطاقات الأخرى (1765 keV و 609 keV المنبعثة من البزموث ^{214}Bi احد وليدات اليورانيوم ^{238}U و2615 keV المنبعثة من الثاليوم ^{208}Tl احد وليدات الثوريوم ^{232}Th) فقد تم حساب كفاءة الكاشف ألوميضي للطاقات أعلاه ذلك باستخدام المصادر القياسية المشعة ^{22}Na و^{60}Co و ^{137}Cs. تم الحصول على منحنى للكفاءة ومعايرته مع ما حصلنا عليه من كفاءة الكاشف ألوميضي للطاقة 1460 keV وبهذا تم تحويل كفاءة الكاشف للمصادر القياسية إلى كفاءة الكاشف باستخدام وعاء مارنيللي لكل الطاقات المعتمدة في حساباتنا.

التقنية المختبرية الثانية

في هذه التقنية تم استخدام كاشف الأثر النووي الصلب CR-39 معتمدين طريقة القياس طويلة الأمد من اجل تسجيل آثار جسيمات ألفا المنبعثة من غاز الرادون المنبعث بدوره من العينات المستخدمة والذي يعد الناتج الطبيعي لانحلال اليورانيوم ^{238}U. إذ تم استخدام الكاشف CR-39 بسمك 275μm **و**تقطيعه إلى قطع بأبعاد متساوية $(1x1)\ cm^2$، ليتم بعد ذلك تعريضها إلى العينات المستخدمة بواقع 5 غرامات من كل عينة وزنت باستخدام ميزان ذو حساسية تصل إلى $0.5x10^{-2}\ g$ نوع (Sartorius). 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 المسافـة بين سطح العينة وسطـح السداد السفلـي المثبت فيه قطعة الكاشف مساوية إلـى 9 cm لجميع العينات مع وضع قطعة اسفنجية بسمك 5 mm بين سطح العينة والكاشف لتفادي وصول غاز الثورون ^{220}Rn الى الكاشف، ثم تركت العينات لمدة 28 يوما وذلك للوصول إلى 98% من حالة التوازن المثالي (القرني) Secular equilibrium بين الراديوم ووليداته من نظائر الرادون، وبعد انتهاء زمن التوازن رفعت السدادات بسرعة واستبدلت بأخرى مثبت 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 cm. وبعد ذلك تركت الكواشف داخل الحجرات لمدة 60 يوماً (فترة التعريض). ثم رفعت الكواشف لتبدأ عملية القشط لإظهار الآثار المتكونة فيها. لقد استخدم محلول هيدروكسيد الصوديوم المائي NaOH بنقاوة 98% وبدرجة حرارة $70\pm1\ ^oC$ وعيارية 6.25 M 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 إذ رفعت قطع الكواشف من المحلول وتم تجفيفها بعد غسلها بشكل جيد بالماء المقطر لتبدأ عملية المشاهدة المجهرية وحساب الآثار المتكونة فيها. لقد تم عد الآثار المنتظمة المتولدة 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 واغلقت بإحكام بالطريقة نفسها وللمـدة الزمنية التي حـددت في حالة وجـود العينات. وقد بلغت الخلفية الإشعاعية بحدود $499\ Track.cm^{-2}$ 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. وجرت عمليـة المشاهدة المجهـرية باستخـدام مجهـر بصـري نـوع (Nikon) موديل 205870 ياباني الصنع بقوة تكبير 400 X.

الحسابات

أُحتسب تركيز النشاط الاشعاعي للعناصر المشعة ^{40}K و ^{226}Ra و ^{232}Th في عينات التربة من خلال طيف أشعة كاما باستخدام العلاقة التالية (Mahur *et al*., 2008) :

$$C = \frac{\sum N - \sum B}{\in .I.T.W} \quad .... (1)$$

اذ ان C تمثل تركيز النشاط الاشعاعي للعنصر المشع بوحدة (Bq/kg) .

$\sum N$ المساحة الكلية تحت الذروة الضوئية ولطاقة العنصر المشع .

$\sum B$ الخلفية الإشعاعية تحت الذروة الضوئية ولطاقة العنصر المشع .

$\in$ كفاءة الكاشف الوميضي ولطاقة العنصر المشع .

I شدة أشعة كاما المنبعثة من المصر المشع .

T زمن تجميع الطيف 18000 s .

W كتلة العينة الجافة بوحدة kg .

أُحتسب معدل الجرعة الممتصة في الهواء وعلى ارتفاع متر واحد من سطح الارض بوحدات (μSv/h) باستخدام المعادلة التالية (Mahur *et al*., 2008).

$$D(\mu Sv.h^{-1}) = (0.462C_{Ra} + 0.604C_{Th} + 0.0417C_K) * 0.001 + 0.7 + 0.034 \quad .... (2)$$

اذ ان C_K و C_{Th} و C_{Ra} تركيز النشاط الاشعاعي للعناصر المشعة ^{40}K و^{232}Th و ^{226}Ra بوحدة $Bq.kg^{-1}$, و 0.0417 و 0.604 و 0.462 معاملات التحويل الخاصة بالعناصر المشعة ^{40}K و^{232}Th و ^{226}Ra بوحدة $nGy.hr^{-1}/Bq.kg^{-1}$ على التوالي. و $0.7Sv/Gy$ معامل التحويل بين الجرعة الممتصة والجرعة المؤثرة. اما $0.034\mu Sv.h^{-1}$ فهو حد الأشعة الكونية المساهمة في الجرعة الممتصة في المنطقة قيد الدراسة.

يعرف مكافئ الراديوم Ra_{eq} بانه مجموع تركيز النشاط الاشعاعي للعناصر المشعة الثلاثة ^{40}K و ^{226}Ra و ^{232}Th والذي يستند على فرضية ان $370\ Bq.kg^{-1}$ من الراديوم ^{226}Ra و $259\ Bq.kg^{-1}$ من الثوريوم ^{232}Th و$4810\ Bq.kg^{-1}$ من البوتاسيوم ^{40}K تنتج نفس معدل الجرعة من أشعة كاما. وان المواد التي يتجاوز فيهاRa_{eq} $370\ Bq.kg^{-1}$ تعتبر من المواد الخطرة إشعاعيا. ويحسب Ra_{eq} من العلاقة التالية (Mahur *et al*., 2008).

$$Ra_{eq} = C_{Ra} + 1.43C_{Th} + 0.077C_K \quad .... (3)$$

ولغرض حساب مؤشر (دليل) خطورة كاما I_γ يتم استخدام المعادلة التالية (Mahur *et al*., 2008).

$$I_\gamma = \frac{C_{Ra}}{150} + \frac{C_{Th}}{100} + \frac{C_K}{1500} \quad .... (4)$$

ولحساب مؤشر (دليل) خطورة الفا $I\alpha$ يتم استخدام المعادلة التالية .(Khan, *et al*., 2012).

$$I_\alpha = \frac{C_{Ra}}{200Bq.kg^{-1}} \quad .... (5)$$

يتم تحديد مستوى الخطورة الخارجي H_{ex} من العلاقة التالية (Mahur *et al*., 2008).

$$H_{ex} = \frac{C_{Ra}}{370} + \frac{C_{Th}}{259} + \frac{C_K}{4810} \le 1 \quad .... (6)$$

ومستوى الخطورة الداخلي H_{in} من العلاقة التالية (Mahur *et al*., 2008).

$$H_{in} = \frac{C_{Ra}}{185} + \frac{C_{Th}}{259} + \frac{C_K}{4810} \le 1 \quad .... (7)$$

لغرض قياس مستوى تركيز النشاط الاشعاعي للرادون والراديوم 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(التشعيع). لقد تم تحديد ثابت الانتشار K لحجرة الانتشار التي استخدمت في هذه الدراسة وفق العلاقات التالية (Azam *et al*., 1995).

$$\rho = KCT \qquad \text{............................... (8)}$$

إذ يمثل ρ كثافة الآثار بوحدة $Track.cm^{-2}$ و K ثابت الانتشار، و C تركيز النشاط الاشعاعي للرادون في الحيز الهوائي بوحدة $Bq.cm^{-3}$، و T زمن التشعيع بالثواني فيما تمثل D معدل كثافة الآثار بوحدة $Track.cm^{-2}.h^{-1}$ وتساوي:

$$D = \frac{\rho}{T} = K.C \qquad \text{.. (9)}$$

كما يمكن حساب ثابت الانتشار K من العلاقة الآتية استناداً إلى الأبعاد الهندسية لحجرة الانتشار (Barillon *et al*., 1993).

$$K = 0.25r(2Cos\theta_c - r/R_\alpha) \qquad \text{.................................... (10)}$$

إذ يمثل r نصف قطر الأنبوبة المستخدمة كحجرة انتشار ومقداره 1.1 cm و θ_c الزاوية الحرجة لكاشف CR-39 ومقدارها 35^o (Durrani and Bull, 1987) و R_α مدى جسيمات ألفا في الهواء الناتجة والمنبعثة من ^{222}Rn ويساوي 4.15 cm حسب المعادلة الآتية:

$$R_\alpha = (0.005E_\alpha + 0.285)E_\alpha^{3/2} \qquad \text{.................................... (11)}$$

إذ إن E_α يمثل طاقة جسيمات ألفا MeV.

وعند تعويض هذه القيم في المعادلة (10) فان قيمة ثابت الانتشار بوحدات الطول تساوي $K = 0.3776$ cm أو $K = 0.0326 \ \ Track.cm^{-2}.d^{-1}/Bq.m^{-3}$.

يمكن إيجاد تركيز النشاط الاشعاعي للرادون في العينات باستخدام العلاقة الآتية (AL- Bataina *et al*., 1997):

$$C_s = \lambda_{Rn}C_a hT/L \qquad \text{.. (12)}$$

إذ أن C_s تركيز النشاط الاشعاعي للرادون داخل العينات بوحدة $Bq.m^{-3}$ ، و C_a تركيز النشاط الاشعاعي للرادون في الحيـز الهوائي بوحدة $Bq.m^{-3}$، و λ_{Rn} ثابت انحلال الرادون ويساوي $0.1814 \ d^{-1}$، و h ارتفاع الحيز الهوائي ويساوي 9 cm و L سمك العينة وهو بحدود 1.3 cm تقريباً، و T زمن التشعيع 60 يوماً.

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

$$E_R(Bq.m^{-2}.h^{-1}) = \frac{C_{Rn}(C_o a + \lambda_{Rn}V_a)}{a\left(1 - e^{-(\frac{C_o a}{V_a} + \lambda_{Rn})}\right)T.24} \qquad \text{............................ (13)}$$

إذ أن: C_o حد التصحيح للانتشار الراجع ($m.s^{-1}$)

$$C_o = \lambda_{Rn}L \qquad \text{... (14)}$$

a المساحة السطحية للعينة (m^2)

L سمك العينة (m)

V_a حجم الحيز الهوائي m^3

$$V_a = \pi r^2 h \quad \ldots\ldots (15)$$

توجد معادلات أخرى لحساب معدل التبخر السطحي:

1- (Nain *et al*., 2006)

$$E_N(Bq.m^{-2}.h^{-1}) = \frac{C_{Rn} T.24 V_a \lambda_{Rn}}{a.24(T + 1/\lambda_{Rn}(e^{-\lambda_{Rn}T-1}))} \quad \ldots\ldots (16)$$

2 - (Azam e*t al*., 1995)

$$E_A(Bq.m^{-2}.h^{-1}) = C_{Ra}\frac{\lambda_{Ra} W_s}{\lambda_{Ra} T_e a.24} \quad \ldots\ldots (17)$$

إذ أن: C_{Ra} تركيز النشاط الاشعاعي للراديوم و λ_{Ra} ثابت انحلال الراديوم $1.184*10^{-6}$ d^{-1} و T_e زمن التعرض (التشعيع) الفعال Effective Exposure Time ويعطى بالعلاقة:

$$T_e = \left[T - \lambda_{Rn}^{-1}(1 - \ell^{-\lambda_{Rn}T})\right] \quad \ldots\ldots (18)$$

3 - (Sroor *et al*., 2001)

$$E_s(Bq.m^{-2}.h^{-1}) = \frac{\rho V \lambda_{Rn}}{K T_e a} \quad \ldots\ldots (19)$$

إذ تمثل ρ كثافة الاثار المسجلة على سطح الكاشف CR-39 بوحدة $Track.cm^{-2}$ و V هي حجم العينة (m^3) و K ثابت الانتشار $K = 0.0326 \; Track.cm^{-2}.d^{-1}/Bq.m^{-3}$

إن محتوى الراديوم الفعال C_{Ra} في العينة هو مقدار ما تحتويه العينة فعليا من عنصر الراديوم الذي ينحل إلى رادون ويحسب بوحدات $Bq.kg^{-1}$ من العلاقات الآتية :

1- (Azam *et al*., 1995)

$$C_{RaS1} = \left[\frac{\rho}{K T_e}\right]\left[\frac{h.a}{W_s}\right] \quad \ldots\ldots (20)$$

2- (Rehman, 2005)

$$C_{RaS2}(Bq.kg^{-1}) = \frac{E_R}{P \lambda_{Rn}(h^{-1}) 0.3L} \quad \ldots\ldots (21)$$

اذ تمثل E_R معدل التبخر السطحي و p كثافة العينة و L سمك العينة و W_s كتلة العينة.

النتائج والمناقشة

جمع طيف أشعة كاما المنبعثة من العناصر المشعة ^{40}K و ^{226}Ra و ^{232}Th للعينات قيد الدراسة ولمدة 18000 s وحسبت المساحة تحت الذروة الضوئية لطاقات العناصر المشعة أعلاه واستخدمت في حساب تركيز النشاط الإشعاعي لهذه العناصر والجرعة الممتصة. الجدول (2) يبين معدل الجرعة الممتصة ($D_{exp.}$) في الهواء على ارتفاع متر واحد من سطح الأرض والتي تم قياسها باستخدام تقنية عداد كايكر – ميلر المحمول Inspector Exp^+ وكذلك تركيز النشاط الاشعاعي

للعناصر المشعة ^{40}K و ^{226}Ra و ^{232}Th في عينات التربة والتي تم تحديدها باستخدام منظومة قياس أشعة گاما SPECTCH UCS-20 المرتبطة مع الكاشف ألوميضي NaI(Tl). استخدمت تراكيز النشاط الإشعاعي هذه في حساب معدل الجرعة الممتصة ($D_{cal.}$) في الهواء على ارتفاع متر واحد من سطح العينة. وجد أن تركيز النشاط الإشعاعي لهذه العناصر يتراوح بين (196.58 - 297.06)Bq/kg و (25.97- 60.07) Bq/kg و (0.72-21.83)Bq/kg وبمعدل 242.42 Bq/kg و 40.72 Bq/kg و 12.55 Bq/kg على التوالي. ان معدل تركيز النشاط الاشعاعي للعناصر المشعة في الدراسة الحالية لا تشكل خطورة لإنها تقع ضمن القيم المسموح بها عالميا (UNSCEAR, 2008) والتي تبلغ لـ ^{40}K (140-850)Bq/kg وللراديوم ^{226}Ra (17-60)Bq/kg وللثوريوم ^{232}Th (11-64)Bq/kg وان القيم المحصورة بين الأقواس في الجدول (2) تمثل معدل القيم العالمية. إن معدل الجرعة الممتصة العملية في الهواء D_{exp} والمحسوبة D_{cal} تتراوح بين (0.121- 0.125) μSv/h(0.054-0.065)μSv/h وبمعدل 0.123 μSv/h و 0.06 μSv/h على التوالي وهما مقاربان للقيمة العالمية المسموح بها 0.057 μSv/h (0.0342 – 0.0685) (UNSCEAR, 2000) الشكل (1) يوضح العلاقة بين D_{exp} و D_{cal} وتبين انها طردية وان درجة الملائمة والنسبة بينهما بحدود $R^2 = 0.9$ و2.5 على التوالي. ان سبب الاختلاف في قيم معدل الجرعة العملية (الحقلية) D_{exp} والمحسوبة D_{cal} يعود إلى عدة عوامل (Quindos, 2004) منها ان القياس الحقلي تم على ارتفاع 1 m من سطح التربة ويشكل عمق 10 cm من سطح التربة حوالي % 50 من جرعة أشعة گاما الناتجة عن المواد المشعة الموجودة في التربة, بينما يمثل % 80 من قيمة جرعة أشعة گاما عند عمق 25 cm، إضافة إلى رطوبة التربة ووجود غاز الرادون وخشونة سطح التربة.

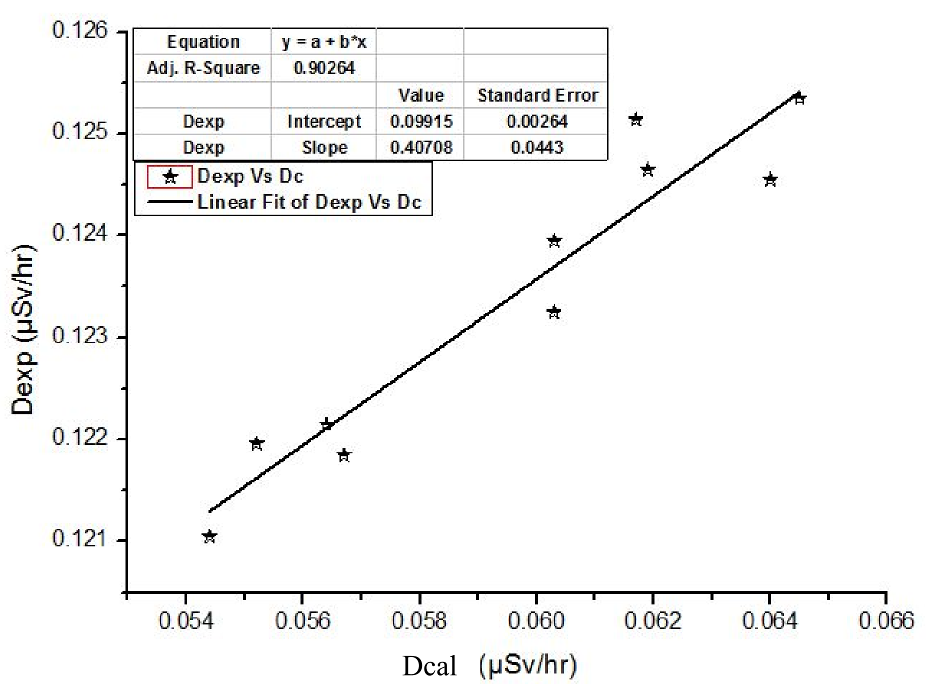
الجدول 2: أرقام العينات وكتلها و تركيز النشاط الاشعاعي للعناصر المشعة الراديوم ^{226}Ra والبوتاسيوم ^{40}K والثوريوم ^{232}Th ومعدل الجرعة الممتصة ($D_{cal.}$) في الهواء على ارتفاع متر واحد من سطح الارض وكذلك معدل الجرعة العملية ($D_{exp.}$)

Sample No.	Ws (g)	Activity Concentration (Bq/kg)			D_c (μSv/h)	$D_{exp.}$ (μSv/h)
		^{226}Ra	^{40}K	^{232}Th		
1	280.6	47.93	213.29	20.72	0.065	0.125
2	276.2	25.97	207.56	19.49	0.057	0.122
3	246.6	39.22	205.91	21.83	0.062	0.125
4	253.5	36.98	272.68	5.94	0.056	0.122
5	270.8	33.71	252.50	19.09	0.060	0.124
6	300	52.64	196.58	17.23	0.064	0.125
7	250	36.48	297.06	1.72	0.055	0.122
8	300	60.07	223.52	0.72	0.060	0.123
9	300	35.76	271.21	2.15	0.054	0.121
10	350	38.42	283.95	16.61	0.062	0.125
Average ± S.D.		±9.99240.7	242.42±37.13	12.55±8.76	0.06±0.004	0.123± 0.002
(UNSCEAR, 2000)$^{+}$ (UNSCEAR, 2008)*		17 – 60 (32)*	140 – 850 (412)*	11 – 64 (45)*	(0.057)$^{+}$ 0.0342 – 0.0685	

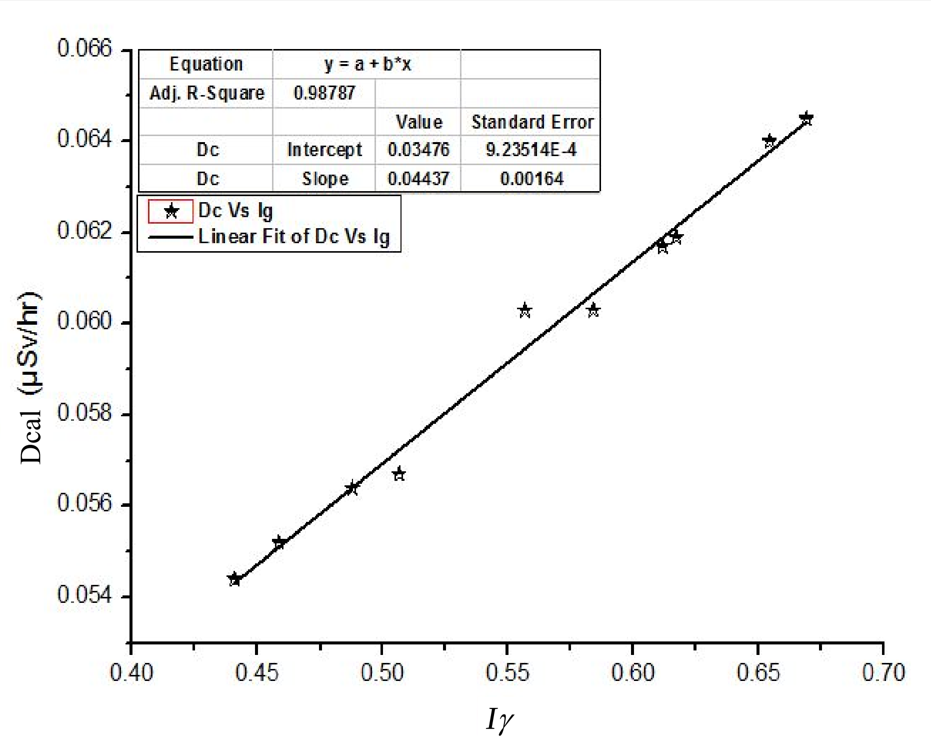
الجدول (3) يبين مقارنة بين قيم مكافئ الراديوم Ra_{eq} ودليل كاما I_γ ودليل الفا I_α ومستوى الخطورة الخارجي H_{ex} ومستوى الخطورة الداخلي H_{in} لأشعة كاما مع الحدود العالمية المسموح بها وتبين ان قيم المتغيرات اعلاه هي اقل من الحدود المسموح بها عالميا. الاشكال (2) و(3) و(4) و(5) توضح العلاقة بين ($D_{cal.}$ و I_γ)،(H_{ex} وI_γ)،(R_{eq} وI_γ) و (H_{ex} و R_{eq}) وتبين ان العلاقة بينهما طردية وان درجة الملائمة $R^2 \approx 1$.

الجدول 3: قيم مكافئ الراديوم Ra_{eq} ودليل كاما I_γ ودليل الفا I_α ومستوى الخطورة الخارجي H_{ex} ومستوى الخطورة الداخلي H_{in} لأشعة كاما

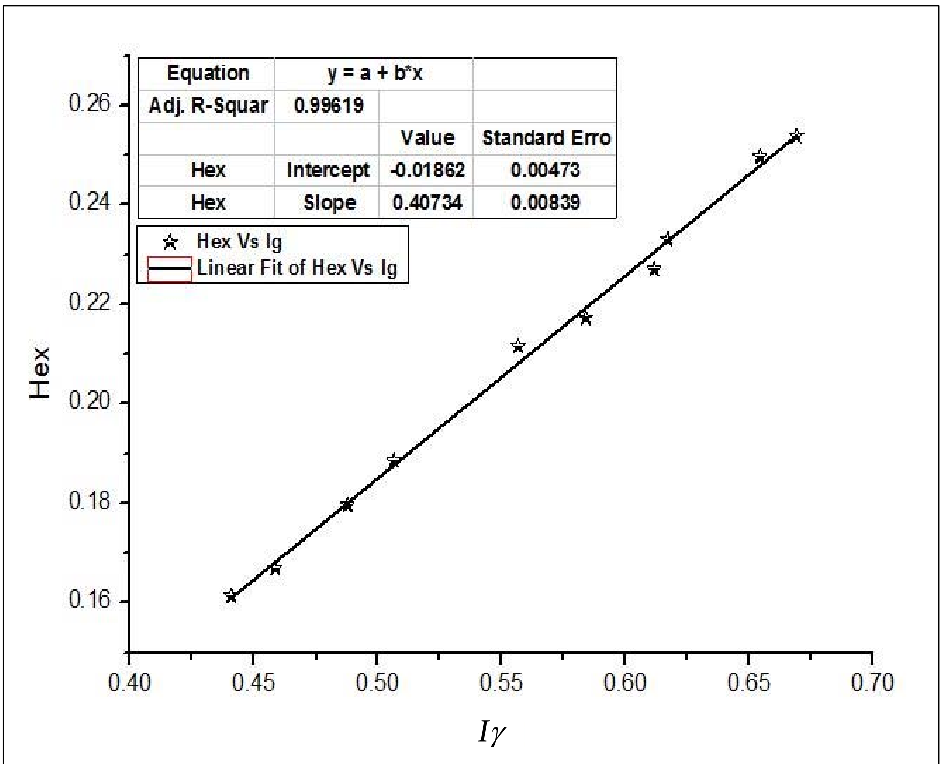
Sample No.	Ra_{eq} (Bq/kg)	I_γ	I_α	H_{ex}	H_{in}
1	93.977	90.66	0.2396	40.25	0.383
2	69.818	0.506	0.1299	0.189	0.259
3	86.283	0.617	0.1961	0.233	0.339
4	66.479	0.488	0.1849	0.180	0.280
5	80.446	0.584	0.1686	0.217	0.308
6	92.408	0.654	0.2632	0.250	0.392
7	61.817	0.458	0.1824	0.167	0.266
8	78.302	0.557	0.3003	0.212	0.374
9	59.721	0.441	0.1788	0.161	0.258
10	84.040	0.612	0.1921	0.227	0.331
Average ± STD	77.33±12.31	0.559±0.082	0.2035±0.049	0.209±0.033	0.319±0.053
World Average Rate (Agbalagba, *et al*.,2012)	370	≤1	≤1	≤1	≤1



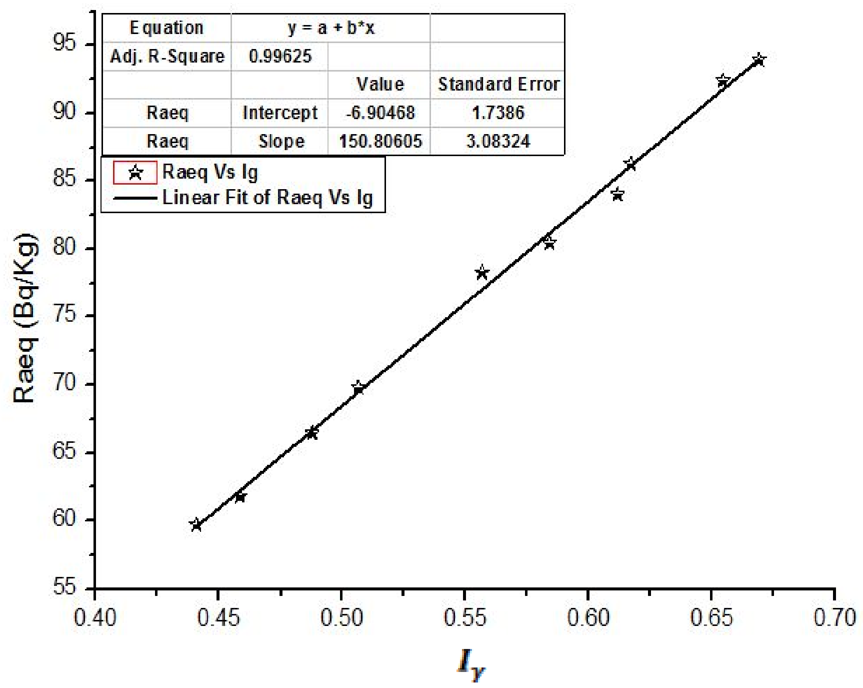
الشكل1: العلاقة بين الجرعة الممتصة في الهواء عمليا D_{exp} والجرعة المحسوبة D_{cal}



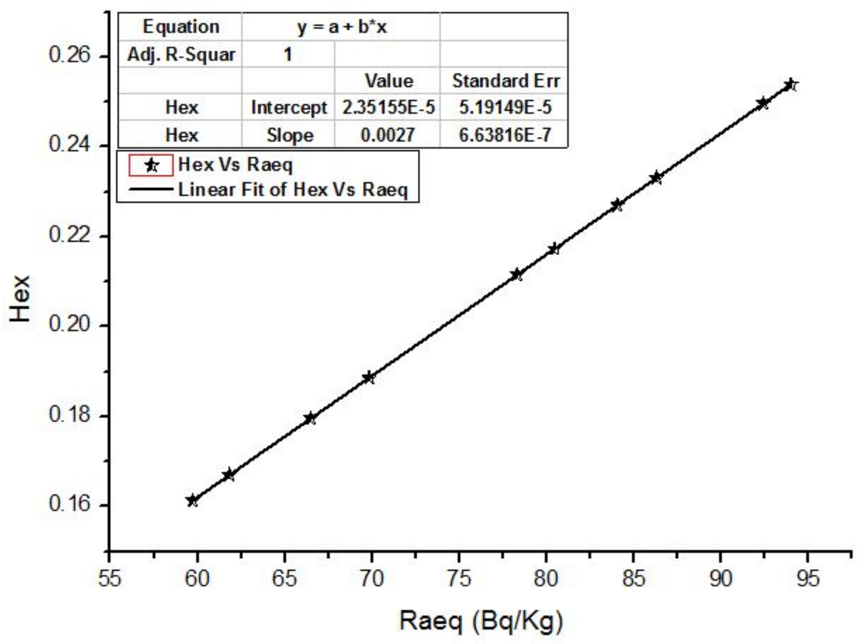
الشكل 2: العلاقة بين الجرعة المحسوبة D_{cal} ودليل كاما I_γ



الشكل3: العلاقة بين مستوى الخطورة الخارجي H_{ex} ودليل كاما I_γ



الشكل 4: العلاقة بين مكافئ الراديوم Ra_{eq} ودليل كاما I_γ



الشكل5 : العلاقة بين مستوى الخطورة الخارجي H_{ex} ومكافئ الراديوم Ra_{eq}

نلاحظ في الجدول (4) أرقام العينات وكتلها وكثافة آثار غاز الرادون ومعدل التبخر السطحي له الذي تـم حـسابه باسـتخدام المعادلات (13،16،17،19). إن أعلى واقل قيمة لكثافة الآثار ومعدل التبخر السطحي تعود الى المواقع 7 (مجـاور مخـزن المواد الكيمياوية) و 10 (خلف الهندسة الكهربائية) على التوالي. ان معدل التبخر السطحي E_R الذي حسب باستخدام المعادلـة (13) يتفق تماما مع قيمه E_N المحسوبة باستخدام المعادلة (16) وأقل من قيمه E_S المحسوبة من المعادلة (19) وأعلى كثيـرا من قيمه E_A المحسوبة باستخدام المعادلة (17) وان النسب بين قيم معدل التبخر السطحي موضحة في الجدول (5). تعتبر قيم E_A صغيرة جدا مقارنة مع قيم كل من E_R وE_S وE_N. ان القيم أعلاه لمعدل التبخر السطحي هي اقل من القيم العالمية المشار اليها في الجدول (4). لاحظنا وجود تشابه كبير بين المعادلتين الخاصتين لحساب E_R و E_N عدا وجود حد تصحيح للانتـشار المعاكس داخل العينة الخاصة لحساب E_R. الفرق الرئيس بين المعادلة الخاصة لحساب E_A وكل من E_R وE_S وE_N هو اعتماد المعادلة الخاصة لحساب E_A على تركيز النشاط الإشعاعي للراديوم ^{226}Ra وثابت انحلاله.

الجدول (5) يوضح النسب بين قيم معدل التبخر السطحي الذي تم حسابه باستخدام المعادلات (13،16،17،19) و تركيز النشاط الإشعاعي للرادون في الحيز الهوائي CRna ($Bq.m^{-3}$) و تركيز النشاط الإشعاعي للرادون في العينات CRns ($Bq.m^{-3}$) و تركيز النشاط الإشعاعي للراديوم في العينات CRas1 ($Bq.kg^{-1}$) و CRas2 ($Bq.kg^{-1}$) الذي تم حسابه باستخدام المعادلتين (20،21) والنسبة بينهما. إن أعلى واقل قيمة لتركيز النشاط الإشعاعي للرادون في الحيز الهوائي و في العينات و تركيز النشاط الإشعاعي للراديوم في العينات تعود إلى المواقع 7 (مجاور مخزن المواد الكيمياوية) و 10 (خلف الهندسة الكهربائية) على التوالي. ان النسبة بين تراكيز الراديوم CRas1/ CRas2 هي بحدود 3.46. إن قيم تركيز النشاط الإشعاعي للراديوم CRas2 هي الأقرب من قيمه التي تم الحصول عليها من تقنية الكاشف الوميضي المشار إليها سابقا في الجدول (2) مقارنة مع القيمCRas1.

الجدول 4: أرقام العينات وكتلها Ws(g) وكثافة الاثار ρ (Track/cm^2) **ومعدل التبخر السطحي** $E(Bq.m^{-2}.h^{-1})$

Sample No.	Ws(g)	ρ (Track/cm^2)	Radon Surface Exhalation Rate $(Bq.m^{-2}.h^{-1})$			
			E_A x10^{-7}	E_N	E_S	E_R
1	5	3912	9.8931	1.4981	5.1936	1.5570
2	5	2812	7.1113	1.0769	3.7332	1.1192
3	5	3061	7.7410	1.1722	4.0638	1.2183
4	5	2118	5.3563	0.8111	2.8119	0.8429
5	5	2748	6.9495	1.0524	3.6482	1.0937
6	5	2571	6.5019	0.9845	3.4133	1.0233
7	5	4189	10.0594	1.6042	5.5613	1.6673
8	5	3481	8.8032	1.3331	4.6214	1.3855
9	5	2228	5.6344	0.8532	2.9579	0.8867
10	5	1245	3.1485	0.4767	1.6529	0.4955
Average ± S.D.		2836.5±878.8	6.219±2.604	1.086±0.336	3.765± 1.166	1.129±0.349
E_R (Rehman, 2005) E_S (Sroor *et al*. 2001) E_N (Nain *et al*., 2006) E_A (Azam *et al* ., 1995)						
World Average Exhalation Rate = 57.6 $(Bq.m^{-2}.h^{-1})$ (UNSCEAR , 2000)						

الجدول 5: النسب بين قيم التبخر السطحي للمعادلات أعلاه و تركيز النشاط الإشعاعي للرادون في الحيز الهوائي CRna ($Bq.m^{-3}$) و في العينات CRns ($Bq.m^{-3}$) و تركيز النشاط الإشعاعي للراديوم في العينات CRas ($Bq.kg^{-1}$) والنسبة بينهما

<table>
<tr><th>S. No</th><th>E_R/E_N</th><th>E_R/E_S</th><th>E_R/E_A</th><th>E_N/E_A</th><th>E_S/E_A</th><th>E_N/E_S</th><th>CRna</th><th>CRns x10^5</th><th>CRas1</th><th>CRas2</th><th>CRas2/ CRas1</th></tr>
<tr><td>1</td><td rowspan="10">1.0393</td><td rowspan="10">0.2998</td><td rowspan="10">1.5738x10^6</td><td rowspan="10">1.5143 x10^6</td><td rowspan="10">5.2497 x10^6</td><td rowspan="10">0.28846</td><td>2000</td><td>1.507</td><td>15.062</td><td>52.179</td><td rowspan="10">3.4643</td></tr>
<tr><td>2</td><td>1437.6</td><td>1.083</td><td>10.827</td><td>37.507</td></tr>
<tr><td>3</td><td>1564.9</td><td>1.179</td><td>11.785</td><td>40.828</td></tr>
<tr><td>4</td><td>1082.8</td><td>0.815</td><td>8.1545</td><td>28.25</td></tr>
<tr><td>5</td><td>1404.9</td><td>1.058</td><td>10.580</td><td>36.653</td></tr>
<tr><td>6</td><td>1314.4</td><td>0.990</td><td>9.8986</td><td>34.292</td></tr>
<tr><td>7</td><td>2141.6</td><td>1.613</td><td>16.128</td><td>55.873</td></tr>
<tr><td>8</td><td>1779.7</td><td>1.341</td><td>13.402</td><td>46.430</td></tr>
<tr><td>9</td><td>1139.1</td><td>0.858</td><td>8.5781</td><td>29.717</td></tr>
<tr><td>10</td><td>636.5</td><td>0.479</td><td>4.7934</td><td>16.606</td></tr>
</table>

الاستنتاجات

1- تبين أن أعلى معدل لتركيز النشاط الإشعاعي للعناصر المشعة في التربة هو ^{40}K ويليه ^{226}Ra ثم ^{232}Th .

2- تبين ان النتائج الحالية لتركيز النشاط الإشعاعي للعناصر المشعة ومعدل الجرعة السنوية ومستوى الخطورة الخارجي والداخلي ودليل كاما ودليل الفا ومكافئ الراديوم ومعدل التبخر السطحي لغاز الرادون هي اقل من الحدود المسموح بها عالميا.

3- إن أعلى واقل قيمة لكثافة الآثار و تركيز النشاط الإشعاعي للرادون والراديوم في الهواء والعينات ومعدل التبخر السطحي تعود إلى المواقع 7 (مجاور مخزن المواد الكيمياوية) و 10 (خلف الهندسة الكهربائية) على التوالي.

4- إن قيم معدل التبخر السطحي لغاز الرادون E_R تتفق تماما مع قيم E_N بينما قيم E_A صغيرة جدا مقارنة مع قيم كل من E_R وE_S وE_N وان النسبة بين E_R/E_A هي بحدود 1.57×10^6.

5- تم إيجاد معادلة تجريبية تربط بين القياسات الحقلية والمختبرية لمعدل الجرعة الإشعاعية الممتصة في الهواء ومعادلات أخرى تربط بين مكافئ الراديوم Ra_{eq} ودليل كاما I_γ ومستوى الخطورة الخارجي H_{ex} ومستوى الخطورة الداخلي H_{in}.

6- يمكن استخدام نتائج البحث الحالي كمرجع في تحديد مستوى الخلفية الإشعاعية للمناطق البعيدة عن الحقول النفطية.

المصادر العربية

خضر، ربيع بهنام (2010). قياس الخلفية الإشعاعية في بعض مناطق محافظة نينوى. مجلة علوم الرافدين، **21**(2)، 92-104.

المصادر الأجنبية

Agbalagba, E.O.; Avwiri, G.O.; Chad-Umoreh, Y.E. (2012). γ Spectroscopy measurement of natural radioactivity and measurement of radiation hazard indices in samples from oil fields environment of Delta state, Nigeria. *J. of Env. Radioactivity*., **109**, 64-70.

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

Avwiri, G.O.; Ebeniro, J.O. (1998). External environmental radiation in an industrial area of rivers state. *Nig. J. Phys*. **10**,105-107.

Azam, A.; Naqui, A.; Srivatava, D. (1995). Radium concentration and radon exhalation measurement using LR-115 type II plastic track detectors. *Nucl. Geophs.*, **9**(6), 653-657.

Barillon, R.; Klein, D.; Chambaudet, A.; Devillarade, C. (1993). Comparison of effectiveness of three radon detectors (LR-115, CR-39 & silicon diode pin) placed in cylindrical device - theory and experimental techniques. *Nucl. Track. Radiat. Meas.*, **22**(1-4), 281-282.

Durrani, S.A.; Bull, R.K. (1987). "Solid State Nuclear Track Detection". Pergamon Press. Oxford.

Excel-based Program for calculating Atmospheric Cosmic-ray Spectrum (EXPACS ver. 2.27), (2006). *Japan Atomic Energy Agency*, **http://phits.jaea.go.jp/expacs**.

Hussein, A.M.; Abdullah, K.O.; Karim, K.H. (2009). Determination of natural isotope and radionuclide of outdoor high dose rate in Garmik area-Kurdistan region ne-Iraq. *J. Kirkuk University*.

Inspector Exp$^+$ User Manual., *Radiation ALERT Quality Handheld Detectors*, (2006).

Khan, M.S.; Srivastava, D.S.; Azam, A. (2012). Study of radium content and radon exhalation rates in soil samples of northern India. *Env. Earth Sci*., DOI 10.1007/s12665-012-1581-7.

Lahham, A.; Al-Masri, H.; Judeh, A. (2009). Study of environmental radioactivity in Palestine by In Situ gamma-ray spectroscopy. *Rad Prot. Dosimetry*, (1- 4).

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.

Michalis, T.; Haralabos, T. (2002). Gamma ray measurements of naturally occurring radioactive samples from Cyprus characteristic geological rocks., *UCY-PHY*-02/02.

Nain, M.; Chauhan, R.P.; Chakarvarti S.K. (2006). Alpha radioactivity in Indian cement samples., *Iran J. Radiat. Res*., **3**(4), 171-176.

Peter, S.; Adam, R. (1996). Environmental radiation measurements at the former Soviet Union's Semipalatinsk nuclear test site and surrounding villages. *Environmental Measurements Laboratory*, U.S. Department of Energy, 201 Varick street, NY 10014-4811.

Pourfallah, A.T.; Babapour, H.; Shahidi, M. (2012). Evaluation of high level environmental background radiation areas and its variation in Ramsar. *Indian J. Med. Phy*., **9**(2), 87-92.

Quindos, L.S.; Fernandez, P.L.; Rodenas, C.; Gomez-Arozamena, J.; Arteche, J. (2004). Conversion factors for external gamma dose derived from natural radionuclide in soils. *J. Env. Radio*., **71**, 139-145.

Reddy, M.S.; Reddy, C.G.; Reddy, P.Y.; Reddy, K.R. (2010). Study of natural background gamma radiation levels in Hyderabad and its surroundings., Andhra Pradesh, India., *Indian J. Pure and App. Phy*., **48**, November, 778-781.

Rehman, S.U. (2005). Radon measurements with CR-39 detectors –implications for uranium ore analysis and risk assessment., Ph.D. Thesis, (PIEAS) Pakistan.

Sroor, A.; El-Bahi, S.M.; Ahmed, F.; Abdel-Haleem, A. S. (2001). Natural radioactivity and radon exhalation rate of soil in southern Egypt., *App. Rad. and Isotopes*, **55**, 873–879.

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), (2008). Sources and effects of ionizing radiation. *Report to the General Assembly*. New York, United Nation.

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.