Comprehensive Journal of Science
Volume (10), Issue (37), (NOV. 2025)
SICST2025, www.sicst.ly :ردمد
ISSN: 3014-6266

مجلة العلوم الشاملة
عدد خاص بالمؤتمر الدولي الثالث للعلوم والتقنية
المجلد (10)، العدد (37)، (نوفمبر2025)
3014-6266

في ظل نقص التقنيات الخاصة برصد غاز الرادون محليا ، دراسة مقارنة لتأكيد جدوى تطبيق المعادلات التجريبية لرصد وقياس جرعة هذا الغاز

عزالدين أحميدة[1] ، خليفة شقلوف[2]

[1]مركز بحوث النفط – طرابلس – ليبيا

[2]مركز القياسات الاشعاعية–طرابلس ليبيا

e.hamida@prclibya.com

Received: 30-09-2025; Revised: 10-10-2025; Accepted: 31-10-2025; Published: 25-11-2025

الملخص

هذا البحث عبارة عن دراسة مقارنة بين دراسة محلية و دراسة أجريت في جمهورية العراق لرصد المواد المشعة الطبيعية و تقدير جرعة غاز الرادون المنبعث من التربة العادية و التربة المسمدة. و نتيجة تقارب النتائج بين الدراستين أُستغلت هذه النقطة لمقارنة النتائج الخاصة بتركيز غاز الرادون بين الدراستين، حيث استخدم تقنية كاشف الأثر النووي CR39 في البحث العراقي بينما تم تطبيق المعادلات التجريبية في البحث المحلي لتقدير جرعة غاز الرادون المنبعث من التربة، فكانت قراءات الدراسة العراقية بالنسبة لتركيز غاز الرادون للتربة العادية تتراوح بين $1.56x10^3$ و $2.26x10^3$ Bq/m^3 ، و كانت في الدراسة المحلية تتراوح بين $6.7x10^3$ و $8.1x10^3$ Bq/m^3 ، فيما تراوحت قراءات التربة المسمدة $3.02x10^3$ و $4.42x10^3$ Bq/m^3 ، فيما كانت قراءات الدراسة المحلية للتربة المسمدة تتراوح بين $5.24x10^3$ و $23.5x10^3$ Bq/m^3 ، هذه النتائج يعززها تقارب نتائج تركيزات المواد المشعة طبيعية المنشأ (النورم) المقاسة و مؤشرات الخطر المحسوبة ، حيث تراوحت تركيزات ^{40}K و سلاسل ^{232}Th و ^{238}U للدراسة العراقية للتربة العادية و المسمدة بين 179 – 620 Bq/kg و 43 –62 Bq/kg و 42 – 212 Bq/kg على التوالي، فيما كانت هذه التركيزات في الدراسة المحلية تتراوح بين 254 – 767 Bq/kg و 9 – 60 Bq/kg و 7– 110 Bq/kg على التوالي كذلك. فيما كان مؤشر خطر الجرعة الفعالة السنوية للدراسة العراقية للتربة العادية و التربة المسمدة يتراوح بين 0.64 – 1.22 mSv/y ، فيما كانت بالنسبة للدراسة المحلية تتراوح بين0.026 – 0.105 mSv/y .

الهدف الاساسي الذي نتج عن هذه المقارنة هو تعزيز فكرة الاعتماد على المعادلات التجريبية بأكثر ثقة في النتائج، حيث استخدم في البحث العراقي جهاز CR39 المخصص لقياس الرادون ، نتائجه تقاربت مع نتائج متحصل عليها في البحث المحلي بواسطة إستخدام معادلات تجريبية تعتمد بدورها على عدة عوامل يُفصل فيها البحث الحالي، هذه النتائج و مع نقص الاجهزة و المعدات الخاصة برصد الرادون الثابتة و المتنقلة تشجع هذه المقاربة على الاعتماد على هذه المعادلات التجريبية للحصول على نتائج بحثية موثوقة إلى حد كبير و التي استخدمت من قبلنا في عدة بحوث أهمها رصد غاز الرادون في الحقول النفطية.

الكلمات المفتاحية: غاز الرادون – المعادلات التجريبية– CR39 –النورم– التربة المسمدة

A Comparative Study to Confirm the Feasibility of Applying Empirical Equations to Monitor and Measure the Dose of Radon Gas, to Compensate the Severe Shortage of Technologies for Monitoring and Measuring This Gas Locally.

Ezeddine Hamida[1], Khalifa Shaqlouf[2]

[1]Petroleum Research Center – Tripoli – Libya

[2]Radiation Measurements Center – Tripoli, Libya

e.hamida@prclibya.com

Abstract

The main objective of this research is to enhance the idea of relying on empirical equations in the field of radiation monitoring with more confidence of the results, as it exploited the convergence of results between a local study and a study conducted at the University of Mosul, Iraq, to monitor and measure natural occurring radioactive materials (NORM) for samples of normal soil and fertilized soil, where the results of measuring the concentration of radon gas measured by the nuclear trace detector technique CR39 of the Iraqi study were convergent with the results of the local study that used empirical equations to measure the concentration of the same gas. This convergence of results was also for the radioactive series and hazard indicators, which pushes towards more confidence to the use of these equations with light of the significant shortage of these technologies locally. The main results of both studies were as follows: The Iraqi study readings for radon gas concentration for normal soil ranged between 1.56x103 and 2.26x103 Bq/m3, while in the local study they ranged between 6.7x103 and 8.1x103 Bq/m3, while the fertilized soil readings ranged between 3.02x103

and 4.42x103 Bq/m3, and the local study readings for fertilized soil ranged between 5.24x103 and 23.5x103 Bq/m3. The measured concentrations of naturally occurring radioactive materials (NORM) and the calculated risk indices, the concentrations of 40K, 232Th and 238U series for the Iraqi study for normal and fertilized soil ranged between 179 – 620 Bq/kg and 43 – 62 Bq/kg and 42 – 212 Bq/kg, respectively, while these concentrations in the local study ranged between 254 – 767 Bq/kg, 9 – 60 Bq/kg, and 7 – 110 Bq/kg, respectively. The annual effective dose risk index for the Iraqi study for normal and fertilized soil ranged between 0.64 – 1.22 mSv/y, while in the local study it ranged between 0.026 – 0.105 mSv/y. There is some noticeable discrepancy between the results of the two studies, this is due to the nature of the soil and fertilizer used in both countries, rather than to a discrepancy between the two measurement methods.

Keywords: Radon gas – Empirical equations – CR39 – NORM – Fertilized soil

- **المقدمة**

الهدف من هذا البحث هو التأكيد على جدوى إستخدام المعادلات التجريبية لرصد و قياس غاز الرادون، هذه المعادلات و التي في معظمها نتيجة دراسات اللجنة العلمية التابعة للأمم المتحدة لدراسة أثار الأشعاع الذري "UNSCEAR" و في ظل نقص حاد في التقنيات و التجهيزات العلمية الحديثة لرصد و قياس هذا الغاز على مستوى الدولة الليبية بكل مراكزها البحثية و جامعاتها العامة و الخاصة تمثل هذه المعادلات ملاذ علمي إن صح التعبير للباحثين في هذا المجال. هنا يجب التأكيد على أن هذه المعادلات ليست محل إختبار لصحتها من عدمه و هي كنتيجة علمية لدراسات معمقة من طرف أحد أهم المنظمات في العالم في مجال دراسات أثار الأشعاع الذري و النووي على الانسان و البيئة، و لكن البحث عن التأكيد يأتي نتيجة أن هذه المعادلات تحوي عديد المتغيرات و المقاربات و التي ليس من السهل التأكد من صحتها لكل بحث على حدا وذلك حسب ظروف و عوامل عديدة تخص نوعية التربة ، كثافة التربة ، تركيز المواد المشعة الطبيعية و المسامية التربة و معاملات أخرى متغيرة مثل

معامل الانبعاث (emanation factor) و معامل الانتشار (diffusion coefficient) و غيرها من العوامل التي تفرض تمعن و تفحص و حسابات معمقة حتى تعطي هذه المعادلات نتيجة حقيقية موثوقة.

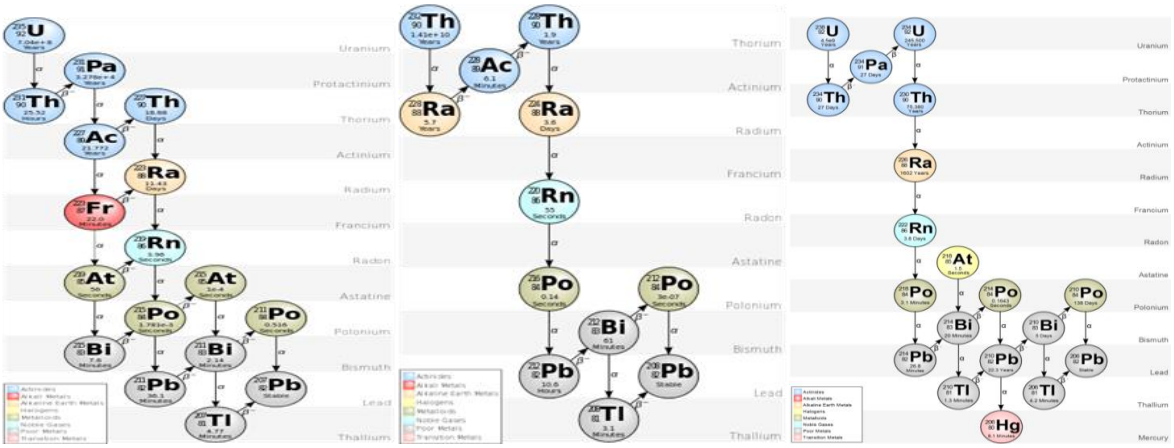
في حال توفر تقنيات و معدات رصد وقياس غاز الرادون فهذا يتيح للباحثين فرصتين، و هي إما الحصول على نتائج مباشرة لعمليات الرصد و القياس بإستخدام هذه التقنيات أو إستعمال هذه النتائج للمقارنة مع النتائج المتحصل عليها بواسطة تطبيق المعادلات التجريبية، في وضعنا الحالي فإن غياب هذه التقنيات بشكل شبه كلي محليا يجعلنا نبحث عن أبحاث أجريت في دول أخرى لتأكيد أو التشكيك في نتائجنا المتحصل عليها في ابحاثنا المعتمدة على هذه المعادلات. من حسن الحظ يوجد عديد من البحوث المنشورة في مجال رصد وقياس غاز الرادون في بيئات مختلفة استخدمت فيها أجهزة مثل CR39 ، مثل البحث المنشور في المؤتمر الثالث عشر للأستخدامات السلمية للطاقة الذرية الذي أقيم في سنة 2016 في مدينة الحمامات التونسية من تنظيم الهيئة العربية للطاقة الذرية و هو بحث من تأليف **هناء إحسان حسن و صبا سالم محمد** من جامعة الموصل العراقية و الذي كان عنوانه " **دراسة تأثير التسميد على التربة و مقارنة بعض مؤشرات التلوث الإشعاعي**" ، في هذا البحث تم الحصول على نتائج عملية لرصد و قياس النشاط الاشعاعي بصفة عامة و من ضمنها غاز الرادون في تربة عادية و تربة مسمدة و هو ما يتوافق بشكل لابأس به مع بحث محلي من تأليف عزالدين أحميدة (مركز بحوث النفط) و الهادي الشامس (مركز البحوث النووية) بعنوان" **دراسة تأثير المواد المشعة الطبيعية المصاحبة للأسمدة الفوسفاتية المستخدمة في الزراعة على مياه الآبار السطحية في مناطق غرب و جنوب غرب طرابلس**" نشر في المؤتمر الخامس عشر للأستخدامات السلمية للطاقة الذرية سنة 2021 في مدينة أسوان المصرية و هو من تنظيم الهيئة العربية للطاقة الذرية كذلك، هذا التشابه في أهداف البحثين كان فرصة مثالية لمؤلفي البحث المحلي لتأليف البحث الحالي من خلال مقارنة النتائج المتحصل عليها في البحث العراقي بواسطة الاجهزة و نتائج البحث المحلي المتحصل عليها بواسطة المعادلات التجريبية، وهذا هو ما يخوض فيه هذا البحث بالتفصيل.

- **المواد المشعة طبيعية المنشأ –النورم (Naturally Occurring Radioactive– Material NORM):–**

هو المصطلح المستخدم لوصف المواد التي تحتوي على نويدات مشعة موجودة في البيئة الطبيعية. تشمل النويدات المشعة ذات الأهمية و هي النويدات المشعة طويلة العمر مثل سلاسل اليورانيوم–238 (^{238}U) واليورانيوم–235 (^{235}U)والثوريوم–232 (^{232}Th) ونواتج اضمحلالها الإشعاعي مثل الراديوم والرادون والبولونيوم والبزموت والرصاص، بالإضافة إلى النويدات المشعة طويلة العمر مثل البوتاسيوم–40 (^{40}K) والروبيديوم87 (^{87}RU) . للنويدات المشعة الأصلية أزمنة تحلل (أعمار نصفية) تُقارب عمر الأرض أو تفوقه، لذا فهي موجودة دائمًا في قشرة الأرض وداخل أنسجة جميع الكائنات الحية [1] . الشكل (1) يوضح السلاسل الاشعاعية الطبيعية الثلاث. هذه

المواد منتشرة في كل مكان في البيئة، حيث تنتشر على نطاق واسع في الرمال والطين والتربة والصخور، وفي العديد من الخامات والمعادن والسلع والمنتجات والمنتجات الثانوية والمخلفات المُعاد تدويرها والأجهزة التي يستخدمها البشر. على الرغم من انخفاض تركيز هذه المواد في معظم المواد الطبيعية، إلا أن أي عملية تُستخرج فيها المواد من الأرض وتُعالج يمكن أن تُركز هذه المواد في تيارات المنتجات أو المنتجات الثانوية أو النفايات (المخلفات) [2]

.



الشكل (1)– السلاسل الاشعاعية الطبيعية ^{232}Th ^{235}U ,^{238}U [3]

ويُحتمل أن يُؤدي إنتاج المنتجات أو المنتجات الثانوية أو المخلفات والنفايات التي تحتوي على هذه المواد إلى تعرض كل من العمال والجمهور لها، بالإضافة إلى آثارها البيئية [1]. يؤدي إنتشار هذه المواد إلى خلفية إشعاعية طبيعية تختلف من مكان لأخر وتزداد هذه الاختلافات إذا أُخذت الرواسب المعدنية الموضعية في الاعتبار. هذا يعني أن جميع الكائنات الحية معرضة لهذا الإشعاع، وفي معظم الحالات، لا يمكن التحكم في هذا التعرض مع أنه لا يوجد دليل علمي واضح يربط الاختلافات العامة في هذه الخلفية الطبيعية بالآثار الصحية [2].

- **غاز الرادون** : عند الحديث على الاشعاع الطبيعي و الجرعة الاشعاعية التي يتلقاها البشرحول العالم سواء بشكل طبيعي أو نتيجة صناعة التعدين فيجب أن نعرف أن غاز الرادون هو المساهم الاكبر في هذه الجرعة، حيث يعتبر غاز الرادون من أهم المصادر الطبيعية للإشعاع , وهو غاز مشع عديم الرائحة واللون والمذاق, يزيد وزنه عن وزن الهواء بسبعة أضعاف ونصف وبالتالي هو أثقل أنواع الغازات المعروفة وهو من الغازات الخاملة كيميائيا وعدده الذري 86 والعدد الكتلي لنظيره الأكثر استقراراً هو 222 و تبلغ

كثافته $9.7kg/m^{-3}$، و درجة غليانه ($-61.8C^{o}$)، و درجة تجمده ($-71C^{o}$) . ويتكون عنصر الرادون من ذرة واحدة وبسبب هذا تخترق ذراته بسهولة المواد الشائعة مثل الورق والجلود والحقائب البلاستيكية والدّهانات وألواح الجبس والخرسانة والألواح الخشبية والمواد العازلة، وغاز الرادون يمكن أن يذوب في الماء و في المذيبات العضوية الأخرى [4] .

يعد غاز الرادون−222 (^{222}Rn)من مصادر الإشعاع النووي ا لطبيعي الذي يتولد بشكل أساسي عن التحلل الطبيعي لسلسة اليورانيوم238 والثوريوم 232 واليورانيوم 235 ، ، ويعد المعدن الوحيد الذي يوجد في حالة غازية، و للرادون ثلاثة نظائر مشعة هي الرادون (^{222}Rn) والثورون (^{220}Rn) والاكتينون (^{219}Rn) ،كما هو موضح في الجدول (1). من المتعارف عليه في الدراسات الجيولوجية والبيئية إن الأهم هو النظير ^{222}Rn لعمره النصفي الطويل نسبيا 3.82 يوم بينما يمكن إهمال دور

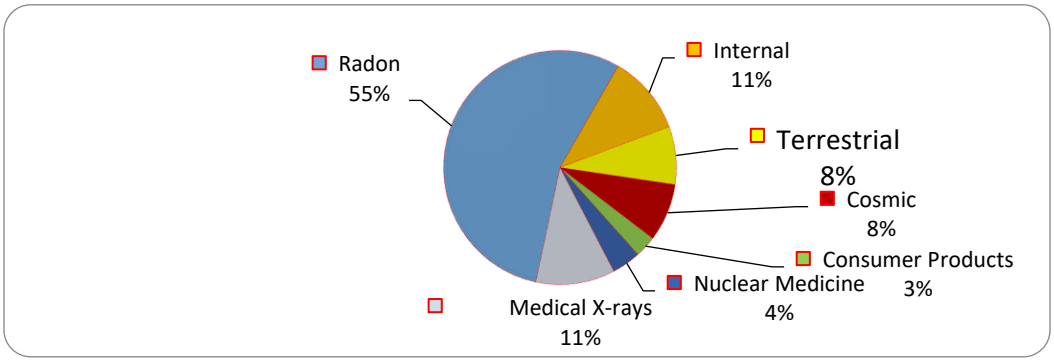
parameter	symbol	^{222}Rn	^{220}Rn	^{219}Rn
half−life	$T1/2$	3.8232 (8) d	55.8 (3) s	3.98 (3) s
decay constant	λ	2.0984×10^{-6}/s 1.	242×10^{-2}/s	1.74×10^{-1}/s
average recoil energy on formation	E_r	86 keV	103 keV	104 keV
diffusion coefficient in air	D_{Ma}	1×10^{-5} m^2/s		
diffusion coefficient in water	D_{Mw}	1×10^{-9} m^2/s		

النظيرين الآخرين ^{220}Rn و ^{219}Rn نظر القصر عمرهما النصفي 5.66ثانية و 3.92ثانية على التوالي[5].

الجدول 1. الخصائص الفيزيائية ذات الصلة لـ Rn222 وRn220 وRn 219 [5] .

يكون هذا الغاز و وليداته نصف الجرعة الإشعاعية التي يتعرض لها الناس من المصادر الطبيعية مجتمعة, وهي أكبر بكثير من الجرعة الإشعاعية الناتجة عن النشاطات الصناعية المختلفة، الشكل (2) يوضح نسبة مشاركة كل من الاشعاع الطبيعي (82%) و الاشعاع الصناعي (18%) في متوسط الجرعة السنوية التي يتلقاها عامة الناس حول العالم و التي تقدر ب 2.4mSv/y [6] . يعتبر غاز الرادون في كثير من الدول أكبر مصدر متواصل

للأشعاع وقد بلغ الأمر في بعض الاحيان أن تعرض الناس من جرائه يصل الى ثمانية أضعاف الحد الاقصى المسموح به لعمال المناجم, دون أن يدركوا هذا الخطر. يتم التعرض لهذه الاشعاعات عادة من استنشاق الهواء المحمل بهذا الغاز . ويشتد الخطر حين يستنشق الإنسان غاز الرادون أثناء الاستحمام بالماء الغني به. ويأتي الرادون في المرتبة الثانية بين المسببات الأكثر شيوعا المسببة للسرطان الرئة بعد التدخين. وينتج الرادون من الصخور الحاملة لليورانيوم ويمكن أن يتسرب خلال الارض الى المباني عبر المسارب التي تنشأ بسبب الصدوع و الكسور و الشقوق المنفدة[6].



شكل (2) نسبة تعرض عامة الناس للأشعاع من مصادره المختلفة –[7]

- **التربة:**

و هي الجزء الخارجي الأقصى من قشرة الأرض. ويشار إلى التربة أحيانًا باسم "جلد الأرض". تتطور التربة بمرور الوقت تحت تأثير العمليات الكيميائية والفيزيائية والبيولوجية. وتتطور حيث تتأثر الصخور والرواسب (الغلاف الصخري) بالنباتات والحيوانات (الغلاف الحيوي) والماء (الغلاف المائي) والمناخ (الغلاف الجوي). قد تكون التربة رقيقة جدًا، بضعة ملليمترات، حيث تكون التربة حديثة العهد أو متآكلة بفعل قوى خارجية (مثل الماء والرياح والنشاط البشري)، أو عميقة جدًا، تصل إلى عدة أمتار؛ على سبيل المثال في أماكن محمية أو مستقرة. تتكون التربة من طبقات أو آفاق تربة، ولكل منها خصائصها الخاصة. تتكون مادة التربة من خليط متغير ومعقد في كثير

من الأحيان من المواد العضوية والرمل والطمي وجزيئات الطين، أو تتكون في الغالب من حطام عضوي[8]. ويعتمد النشاط الإشعاعي في التربة على النشاط الإشعاعي في الصخور التي كونتها وعلى الفعاليات الكلية التي حدثت لتكوين التربة. تحتوي الأرض على العديدِ من المصادِر المشعة التي اضمحلت مع مرور الزمن المقدر بعمر الأرض اما ما تبقى الى يومنا هذا من النويدات المشعة ذوات المنشأ الأرضي فتمتلك عمراً اكبر من عمر الأرض وهي سلاسل ^{238}U و ^{235}U و ^{232}Th بالإضافة الى البوتاسيوم ^{40}K [9] .

- **الاسمدة**

خصوبة التربة هي جودة التربة التي تُمكّنها من توفير مركبات بكميات كافية وتوازن مناسب لتعزيز نمو النباتات عندما تكون العوامل الأخرى (مثل الضوء والرطوبة ودرجة الحرارة وبنية التربة) مواتية. عندما تكون خصوبة التربة غير جيدة، يُمكن إضافة مواد طبيعية أو مُصنّعة لتوفير العناصر الغذائية اللازمة للنبات. تُسمى هذه المواد بالأسمدة، مع أن هذا المصطلح يُطلق عادةً على المواد غير العضوية إلى حد كبير، باستثناء الجير أو الجبس[9].

في المجمل، تحتاج النباتات إلى 16 عنصرًا على الأقل، أهمها الكربون والهيدروجين والأكسجين والنيتروجين والفوسفور والكبريت والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم. تحصل النباتات على الكربون من الغلاف الجوي والهيدروجين والأكسجين من الماء؛ ويتم امتصاص العناصر الغذائية الأخرى من التربة. على الرغم من أن النباتات تحتوي على الصوديوم واليود والكوبالت، إلا أنها على ما يبدو ليست أساسية. وهذا ينطبق أيضًا على السيليكون والألمنيوم[10].

يمكن للأسمدة أن تُسهم في إحداث تغييرات مُربحة في الزراعة. يُمكن للمُشغّلين خفض تكاليف وحدة الإنتاج وزيادة هامش العائد على التكلفة الإجمالية من خلال زيادة معدلات استخدام الأسمدة على المحاصيل الأساسية. وبذلك، يُمكنهم الاستثمار في الحفاظ على التربة والتحسينات الأخرى اللازمة عند تحويل المساحات المزروعة من المحاصيل الفائضة إلى استخدامات أخرى[10] .

الأسمدة الفوسفاتية هي عبارة عن أملاح لا عضوية تنحل في الماء تضاف إلى التربة الزراعية للحصول على محصول أوفر وأجود وتعود أهميتها إلى أنها تمد التربة الزراعية بعناصر يحتاجها نمو النبات مثل البوتاسيوم ،النتروجين، الفسفور وكذلك يودي الى حدوث تفاعلات كيميائية في التربة الزراعية ينتج عنها مواد تعوض التربة عما فقدته من عناصر نتيجة زراعتها المتكررة [11]، والأسمدة الفوسفاتية هي من الأسمدة الممتازة لوجود

الفسفور فيها اذ 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 [12]

تتفاوت تركيزات النويدات المشعة في منتجات الأسمدة تفاوتًا كبيرًا، وتعتمد على محتوى النويدات المشعة في الخام الأصلي وطريقة الإنتاج. وغالبا ما يكون الراديوم226 قليل في الأسمدة مقارنةً باليورانيوم- 238 [11]. وعند المعدلات العادية لاستخدام منتجات الأسمدة في القطاع الزراعي، لا تحدث زيادة ملحوظة في مستويات اليورانيوم والثوريوم الإجمالية في التربة، وبالتالي لا ترتفع الجرعات الفردية الناتجة عن استخدامها عن المستويات الطبيعية. تحتوي الأسمدة الكيميائية الحديثة على عنصر واحد أو أكثر من العناصر الثلاثة الأكثر أهمية في تغذية النبات: النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم. وتأتي عناصر الكبريت والمغنيسيوم والكالسيوم في المرتبة الثانية من حيث الأهمية. كل هذه المعطيات تجعل من المهم و الضروري قياس و مراقبة التلوث الاشعاعي في التربة خاصة المسمدة منها

- **طريقة العمل:**

- **جمع العينات وطريقة العمل للبحث المحلي:** تم جمع عدد 12 عينة تم ترميزها كالأتي: 7 عينات مسمدة LF1,LF2, LF3, LF4, LF5, LF6 & LF7 و 5 عينات غير مسمدة LS1, LS2, LS3 , LS4 & LS5 من أراضي زراعية و غير زراعية ، و تم التحضير الروتيني للعينات بهدف قياس تركيز نشاط النويدات المشعة ^{40}K, ^{232}Th, ^{238}U في المختبر ، حيث جففت هذه العينات هوائيا تحت اشعة الشمس المباشرة لمدة يومين للتخلص من الرطوبة ومن ثم تم وضعها في فرن كهربائي Oven عند درجة حرارة 110 م^{o} لمدة 24 ساعة الى حين الوصول الى حد الوزن الثابت وبالتالي ضمان الإزالة التامة لأي رطوبة متبقية. طحنت النماذج المجففة كلا على حدة بواسطة الخلاط وتم تمريرها من خلال منخل قياس قطر فتحاته 2 mm ، حفظت النماذج (1 كغم) في وعاء مارلين Marinellin beaker وتم إغلاقه جيدا بعد ذلك بشريط بلاستيكي لمنع تدفق الهواء ، تم تخزين هذه العينات لمدة 30 يوم للسماح لنظير البزموث ^{21}Bi ونظير الثاليوم ^{208}Tl بالوصول الى توازن عام مع اليورانيوم ^{238}U و ^{232}Th ووليداتهما، علاوة على ذلك تم الحفاظ على الحاويات البلاستيكية محكمة الإغلاق بواسطة عبوات بلاستيكية لضمان احتجاز الرادون ^{222}Rn, ^{220}Rn. تم تنفيذ قياسات التجربة باستخدام جهاز مطيافية كاما Gamma ray spectroscopy ذو كاشف جيرمانيوم عالي النقاوة (HPGe) بكفاءة 40% بوضعية عمودية وقدرة فصل مقدارها1.89kev موجود بمبنى الوقاية بمركز البحوث النووية تاجوراء المرتبط بمحلل متعدد القنوات

(MCA) لقياس النشاط الإشعاعي وتحليل النتائج باستخدام برنامج تحليلي للنماذج الخاضعة للدراسة ، لتجنب تأثير اشعاع الخلفية وضع كاشف (HPGe) في درع الرصاص الواقي ، تم قياس وتحليل العينات.

- **جمع العينات وطريقة العمل للبحث العراقي:**

استخدم في القياس 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 ومحلل متعدد القنوات وترتبط هذه المنظومة بجهاز حاسوب لغرض تشغيلها وقراءة قياساتها وتحليل النتائج، اذ تم جمع خمس عينات وبواقع كيلو غرام واحد تم ترميزها كالأتي: IS1, IS2, IS3, IS4 & IS5 من كل موقع من مساحة تقدر بحوالي دونم واحد من اراضي زراعية غير مسمدة ومن مواقع مختلفة لتغطية مساحة الارض ككل وبعد ذلك تم أخذ خمسة انواع من الأسمدة المختلفة العراقية المنشأ وتسميد مواقع مختلفة من المساحة المذكورة وتم ترميزها كالأتي IF1, IF2, IF3, IF4 & IF5 وبعد ذلك تم تجفيف عينات التربة باستخدام فرن كهربائي بدرجة $90^{o}C$ ولمدة ثمان ساعات وُطِحنَت وُنِخلَت العينات بمنخل ناعم قطره 2mm ثم خلطت بصورة جيدة للحصول على أفضل تجانس. وضعت عينات التربة المراد قياسها في وعاء مارنيللي من البلاستك حجمه تقريبا ($250\ cm^3$) 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 المارنيللي بحواجز من الرصاص سمكها 5cm لتقليل الخلفية الإشعاعية[13].

- **تقنية كاشف الأثر النووي (CR-39)**

تم استخدام الكاشف CR-39 بسمك 750µm وتقطيعه إلى قطع بأبعاد متساوية cm^2 (1x1)، 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 االنتشار والتي هي عبارة عن أنابيب اختبار أسطوانية الشكل ذات قطر 2.2 cm وأغلقت تلك الحجرات بإحكام بسدادات مطاطية مع مراعاة كون المسافة بين سطح العينة وسطح 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 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 9.5 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 $70\pm1\,C^{\circ}$,وتركيز 6.25N في عملية إظهار الآثار المتكونة في قطع الكواشف المعرضة للعينات. استمرت عملية القشط لمدة خمسة ساعات ثم رفعت قطع الكواشف من المحلول بعد غسلها بشكل جيد بالماء المقطر و تجفيفها بورق ناعم . 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 واغلقت بإحكام بالطريقة نفسها وللمدة الزمنية التي حددت في حالة وجود العينات. و حسبت الخلفية الإشعاعية 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[13].

- **تقييم المخاطر الإشعاعية**

تقيم المخاطر لعينات البحثين تم بطريقة مشابهة جدا، و هي معادلات مطبقة تقريبا في جميع البحوث التي تتناول المواد المشعة طبيعية المنشأ، وهي كما يلي:

- **النشاط الإشعاعي (The Activity Concentration–A)** : تم حساب النشاط الإشعاعي النوعي A (لكل كيلوجرام) باستخدام المعادلة 1 [14]

$$A = \frac{net\ CPS\ samples}{Eff\ \ I_{\gamma} W} \qquad \rightarrow (1)$$

حيث net CPS samples معدل العد الصافي لكل ثانية, Eff كفاءة الكاشف عند الطاقة المحددة , I_{γ} نسبة شدة إصدار جاما لهذه الطاقة و W وزن العينة بوحدة kg.

- **النشاط المكافئ للراديوم (Radium Equivalent Activity– Ra_{eq})** : النشاط المكافئ للراديوم (Ra_{eq}) بوحدة Bq/kg مؤشر خطر إشعاعي واسع الانتشار و يستخدم لتقييم المخاطر المرتبطة بالمواد المحتوية على نويدات ^{226}Raو ^{232}Th و ^{40}K وقد تم تحديده على أساس افتراض أن 370Bq/kg من ^{226}Ra و

260Bq/kg من ^{232}Th و 4810Bq/kg من ^{40}K تنتج نفس معدل الجرعة.[2] . تم حسابه على النحو الموضح في المعادلة 2 [15]

$$\mathbf{Ra_{eq} = A_u + (A_{Th} \times 1.43) + (A_K \times 0.077)} \rightarrow \mathbf{(2)}$$

A_U , A_{Th} و A_k قيم النشاط الإشعاعي ل ^{238}U , ^{232}Th و ^{40}K على التوالي بوحدة Bq/kg.

- **الجرعة الممتصة (Absorbed Dose Rate in Air– D)** : تحديد معدلات الجرعة الممتصة (D) للعينات بوحدة nGy/ h من تركيز النشاط الإشعاعي النوعي ،حيث أن 1Bq/kg من ^{40}K و ^{238}U و ^{232}Th على التوالي يعطي معدل جرعة ممتصة مقدارها 0.0417nGy/hr و 0.462nGy/hr و 0.604nGy/hr على التوالي عند 1 متر فوق سطح الأرض موضح في المعادلة 3 [15],

$$\mathbf{D = (0.462 \times A_U) + (0.604 \times A_{Th}) + (0.0417 \times A_K)} \rightarrow \mathbf{(3)}$$

- **مكافئ الجرعة الفعالة السنوية (Annual Effective Dose Equivalent– AEDE)** : يمكن قياس تركيز النويدات المشعة في البيئة بسبب إشعاع غاما الأرضي الناتج من ^{40}K ^{232}Th, ^{238}U من خلال المتوسط المكافئ السنوي الفعلي للجرعةAEDE [16] حيث:

$$\mathbf{AEDE = D \times 1.23x10^{-3}\ mSv/y} \rightarrow \mathbf{(4)}$$ حيث D معدل الجرعة الممتصة (nGy/ h)

$$1.23x10^{-3} = 8760hr/yr \times 0.2 \times 0.7\ Sv/Gr$$

8760عدد ساعات السنة, 0.2 نسبة االبقاء في الهواء الطلق outdoor او مايعرف بعامل الاشغال occupancy factor بالنسبة للانسان العادي, 0.7 نسبة تأثر الاعضاء الحيوية للجسم البشري بالنسبة للجرعة الممتصة ككل ووهي تعتمد على عدة عوامل مثل نوع الاشعاع و نوع وحساسية العضو البشري [16]

- **مؤشر الخطر الداخلي (H_{int}–Internal Hazard Index)** : ان استنشاق جسيمات الفا المنبعثة من النظائر القصيرة العمر مثل الرادون والثورون التي تكون مصاحبة بأشعة كاما بطاقات مختلفة والذي يمكن التعبير عنه بدلالة معامل الخطورة الداخلي (Hin) ويحسب بالمعادلة الآتية بالمعادلة 7 [17]:

$$H_{int} = \left(\frac{A_U}{185} + \frac{A_{Th}}{259} + \frac{A_K}{4810}\right) \leq 1 \quad \rightarrow (5),$$

ومقدار المخاطر الداخلية يفضل أن يكون أقل من الواحد في البيئة المثالية للحصول على فرصة العمل السالم للأعضاء التنفسية ولمعيشة الأفراد

- **مؤشر الخطر الخارجي (External Hazard Index–H_{ext})** : يستعمل مؤشر H_{ext} لتقييم المخاطر المتأينة من التعرض لإشعاع جاما الطبيعي . تمثل قيمة H_{ext}=1 القيمة القصوى المسموح بها المكافئة لنشاط مكافئ الراديوم مقداره 370 Bq / kg المعادلة 8 [17]

$$H_{\text{ext}} = \left(\frac{A_U}{370} + \frac{A_{Th}}{259} + \frac{A_K}{4810}\right) \leq 1 \quad \rightarrow (6)$$

- **تركيز غاز الرادون في التربة (The concentration of Rn in Soil–C_{Rn})**: تستعمل المعادلة7 [16] لحساب تركيز الرادون ($^{222-220}$Rn) في التربة الناتج مباشرة من تفكك $^{224-226}$Ra

$$C_{Rn} = \frac{C_{Ra}}{\varepsilon} f \rho_s \frac{(1-\varepsilon)}{(m[K_T - 1] + 1)} \; Bq/m^3 \; \rightarrow \mathbf{7}$$

حيث C_{Ra} هو تركيز الراديوم في التربة بوحدة Bq/kg، و f يعرف بمعامل الانبعاث (emanation factor)، ρ_s هو متوسط كثافة التربة (2700 kg/m^3) وε هي المسامية الكلية (porosity) ، بما في ذلك الماء ومراحل الهواء ، m هي جزء المسامية عند تشبع التربة بالماء. K_T هو معامل تقسيم انتقال ال Rn بين الماء و مراحل الهواء. بالنسبة للتربة الجافة m=0 . في التربة الرطبة الدافئة عند درجة حرارة 25C مثلا (K_T = 0.23 ، m= 0.95) . في شروط التربة النموذجية كذلك ε= 0.25 و f=0.2 [16], هذه القيم هي التي أخذت في الاعتبار في حساب تركيز Rn في عينات الحث المحلي.

- **كثافة تدفق الرادون من السطح للهواء: : The exhalation flux density**

عند حساب كثافة تدفق غاز الرادون وهي عبارة عن النشاط الاشعاعي لكل وحد مساحة لوحدة الزمن للرادون المنتقل من التربة للهواء يؤخذ في الاعتبار بالاضافة لتركيز الراديوم (C_{Ra}) وكثافة التربة كل من معامل الانبعاث $\boldsymbol{f}$ (emanation factor) ومعامل الانتشار (De –diffusion factor) وε المسامية الكلية porosity و λثابت الانحلال لغاز الرادون ويساوي 2.1x10^{-6} 1/s , تطبق المعادلة (8) [16] :

$$\boldsymbol{J = C_{Ra} \lambda f \rho_s (1-\varepsilon) L} \quad (\boldsymbol{Bq\, m^{-2} s^{-1}}) \; \rightarrow \; (\mathbf{8})$$

حيث $\boldsymbol{L = \left(\frac{D_e}{\lambda_{Rn}}\right)^{\frac{1}{2}}}$ معامل الانتشار الطولي diffusion length و وحداته m

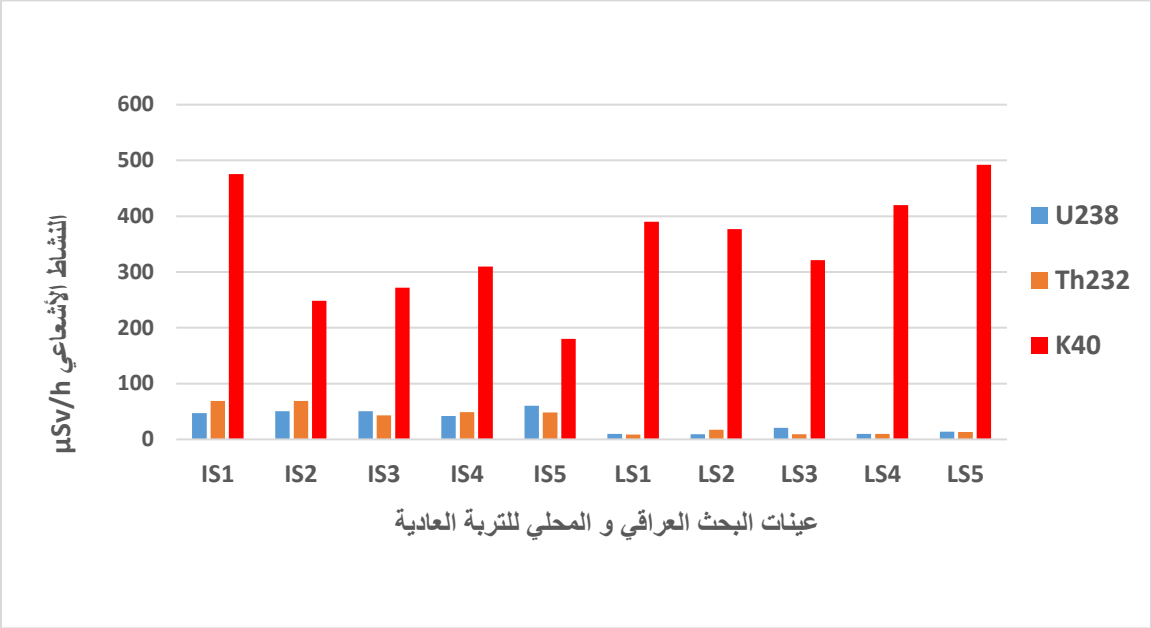
De معامل الانتشار Diffusion factor و وحداته m^2/s

المعادلاتان 7 و 8 هما المحور الأساسي لهذا البحث حيث تم تقدير كل من تركيز غاز الرادون بوحدة (Bq/m^3) و كثافة التدفق للرادون بوحدة (Bq/m^2.s) بواسطة المعادلات التجريبية فقط في البحث المحلي مع الأخذ في الاعتبار أن المعادلتين يعتمدان بشكل أساسي على تركيز عنصر الراديوم226 (^{226}Ra)، هذا التركيز تم بعملية

الكشف المعملي بكاشف الجرمانيوم عالي النقاوة HPGe كما أشير لذلك في طريقة العمل و بتطبيق المعادلة (1) ، فيما تم إستخدام كاشف الوميضي الصوديوم أيوداید (Sodium iodide) NaI(Tl) في البحث العراقي و المعادلة (1) لإيجاد تركيز الراديوم226

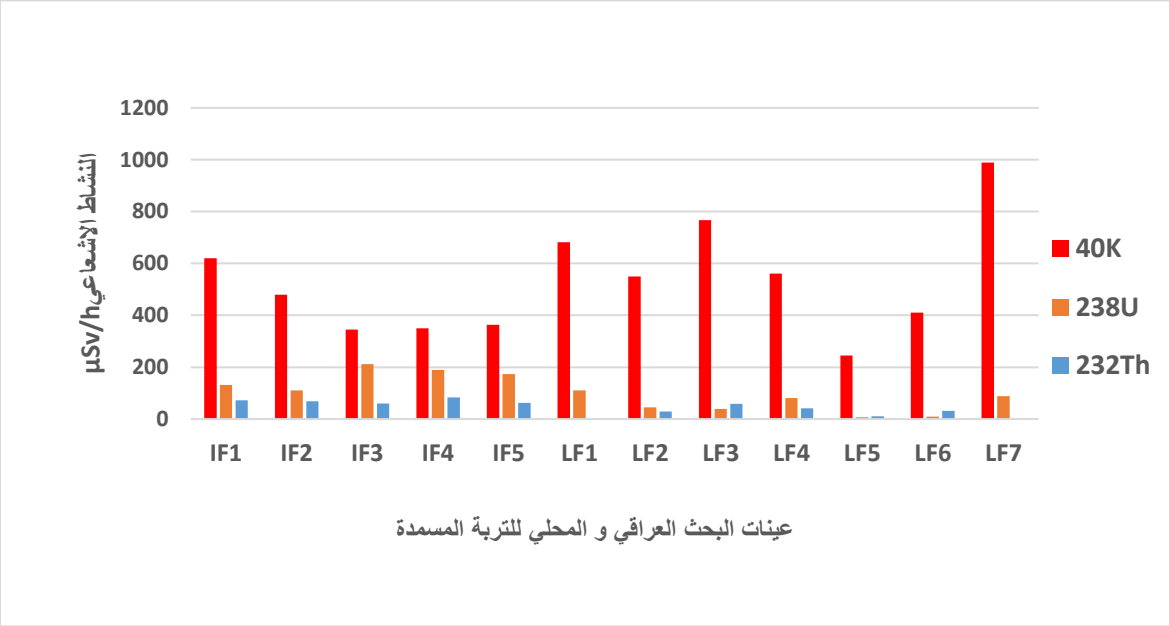
- **النتائج و الحسابات**

أول خطوة في عرض النتائج و مناقشتها تتعلق بمقارنة النشاط الأشعاعي و مؤشرات الخطر لكلا البحثين، هذه المقارنة مهمة لتأكيد التشابه و التقارب الحاصل على مستوى النشاط الأشعاعي و مؤشرات الخطر للعينات ، هذه المستويات و المؤشرات مرتبطة إرتباط جدري و وثيق بتركيز غاز الرادون في كلا البحثين و ذلك لدعم الأدلة على الغاية الأساسية لهذا البحث و هو صحة القراءات المعتمدة على تطبيق المعادلات التجريبية الخاصة برصد غاز الرادون. الشكلان 3 و 4 يوضحان مقارنة النشاط الأشعاعي المحسوب بواسطة المعادلة (1) في كلا البحثين لعينات التربة العادية و المسمدة، حيث نلاحظ أن نشاط البوتاسيوم ^{40}K متشابه جدا في عينات التربة العادية لكلا البحثين مع زيادة نسبية لهذا النشاط لعينات التربة المسمدة المحلية مقابل العينات العراقية المسمدة، مع ملاحظة أن نشاط البوتاسيوم هو الأعلى لكل العينات و هذا متوقع بالنسبة للبوتاسيوم الذي يمثل حوالي 2.1% من القشرة الارضية [18]، في المقابل يوجد تقارب في النشاط الاشعاعي للسلسلتي اليورانيوم ^{238}U و ^{232}Th مابين عينات البحثين مع زيادة ملحوظة للعينات العراقية العادية و المسمدة بالنسبة لهاتين السلسلتين و لكن يبقى التقارب في القيم هو الواضح.



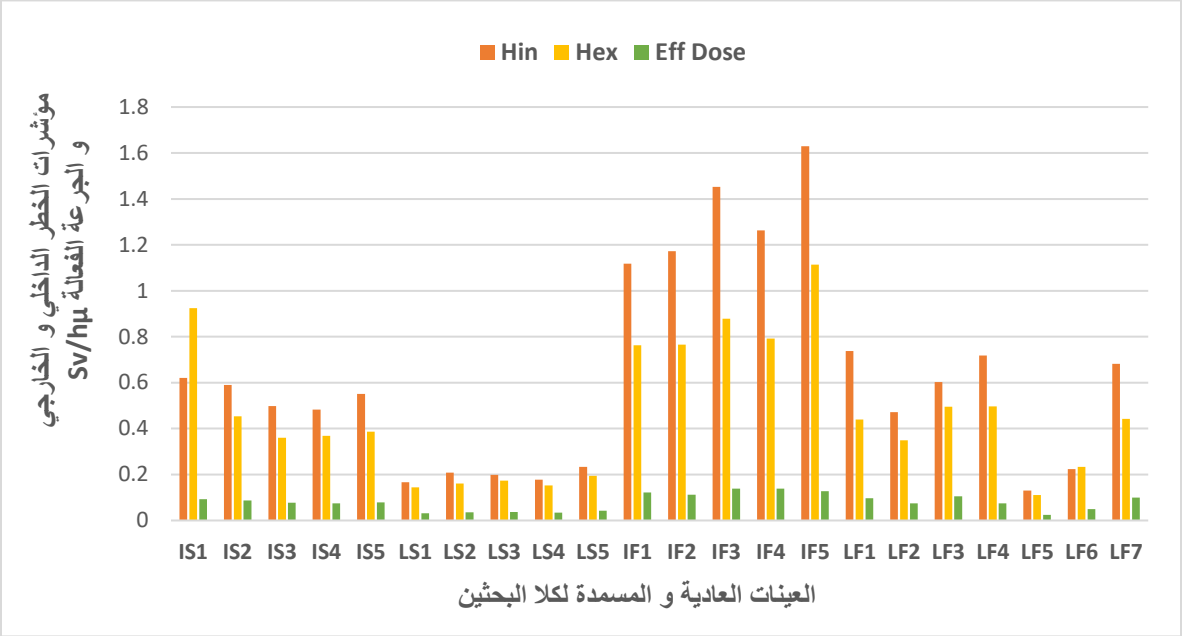
شكل (3)– المقارنة بين عينات البحثين للنشاط الأشعاعي لل ^{238}U, ^{232}Th, ^{40}K

الفروقات البسيطة ترجع طبعا لطبيعة التربة في كلا البلدين أو في كلا المنطقتين و الاسمدة الفوسفاتية المستعملة في كلا البلدين، مع ملاحظة منطقية و هي زيادة مستوى النشاط الاشعاعي في التربة المسمدة بالنسبة للعينات العراقية و المحلية. كما يجب الأشارة هنا إلى أن العينات العراقية المسمدة قد تم تسميدها خصيصا للمقتضيات البحثية فيما كانت العينات المسمدة للبحث المحلي عبارة عن عينات تربة زراعية مأخودة فعلا من مزارع في مناطق حول مدينة طرابلس وهذا مايفسر زيادة النشاط الأشعاعي النسبي للعينات المسمدة العراقية، بمعنى أخر عند تسميد التربة الزراعية فإن عوامل عديدة سوف تخفف من تركيز السماد داخل هذه التربة من عملية الحرث و السقي و الرياح و غيرها، و بالتأكيد عند تسميد عينات تربة خصيصا لأغراض بحثية سوف يكون تركيز السماد أكثر بحكم عدم تعرضه لكل العوامل المدكورة.

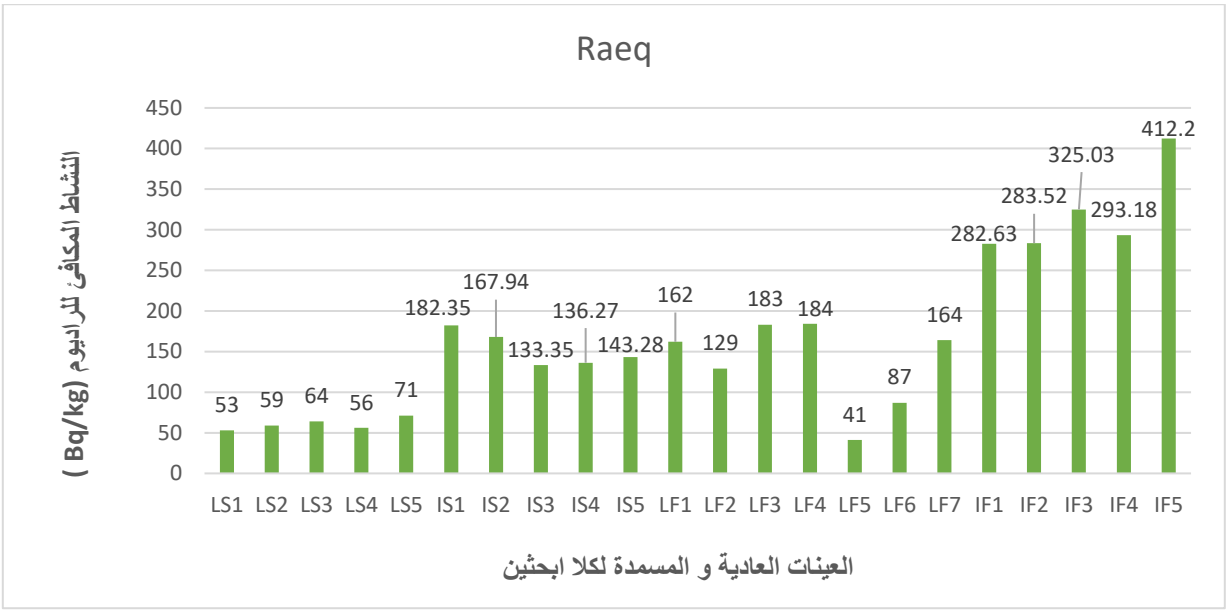


شكل (4)– المقارنة بين عينات البحثين المسمدة للنشاط الأشعاعي لل ^{40}K, ^{232}Th, ^{238}U

في الشكل (5) مقارنة مكافئ الجرعة الفعالة و مؤشري الخطر الداخلي و الخارجي و المحسوبين بواسطة المعادلات (4)، (5) و (6) على التوالي (مع ملاحظة تحويل الجرعة السنوية لجرعة لحظية عن طريق التحويل 1000/8760) للعينات سواء التربة العادية أو المسمدة للبحثين، نلاحظ التقارب الواضح مع وجود زيادة نسبية لهذه المؤشرات للعينات العراقية و هومتوقع بناء على مستويات الأشعاع لهذه العينات المذكورة في الفقرة السابقة، المهم هو التقارب الواضح لهذه المؤشرات لكلا البحثين، فيما يبين الشكل(6) النشاط المكافئ للراديوم Ra_{eq} المحسوب بواسطة المعادلة (2) و هو بطبيعة الحال يؤشر لتقارب النتائج و يؤكد نسبية النشاط الزائد للعينات العراقية المسمدة، و هذا هو المنطق بمأن كل هذه المؤشرات مبنية أساسا على النشاط الأشعاعي للبوتاسيوم و سلاسل الثوريوم و اليورانيوم. مع ملاحظة مهمة في كل العينات للبحثين و هو أن سلسلة الثوريوم232 (^{232}Th) كانت الأقل نشاطا.



الشكل (5)– مقارنة مؤشرات الخطر الداخلي و الخارجي و الجرعة الفعالة اللحظية لعينات البحثين



الشكل (6)– مقارنة مكافئ الراديوم لعينات البحثين

- **تركيز غاز الرادون في التربة (The concentration of Rn in Soil–C_{Rn}) : كما أسلفنا سابقا فإن هذا المحور هو أساس هذا البحث،** من الناحية العملية يوجد نقص كبير في المعدات و الأجهزة العلمية و البحثية خاصة المتنقلة منها (portable device) التي ترصد غاز الرادون في جميع المؤسسات العلمية و البحثية في

ليبيا، لذلك في البحث المحلي تم الاعتماد على المعادلات التجريبية لتقدير مستوى غاز الرادون في ظل الافتقار لهذه للأجهزة . تم تطبيق المعادلة 7 و هي معادلة تجريبية تم إعتمادها من اللجنة العلمية التابعة للأمم المتحدة المعنية بدراسة تأثير الاشعاع الذري المعروفة إختصارا UNSCEAR لتقدير تركيز غاز الرادون المتدفق من العينات ، هذه المعادلة تحوي مجموعة من المتغيرات أهمها هو النشاط الاشعاعي للراديوم226 (^{226}Ra) و هوالاب المباشر للرادون في السلسلة الاشعاعية لليورانيوم238، و العينة التي لا تسجل نشاط للراديوم226 لا يمكن حسابيا تقدير تركيز غاز الرادون المتدفق منها، حيث أن النشاط الاشعاعي لل ^{226}Ra و هو مادة صلبة عبارة عن إطلاق ذراته جسيم ألفا (2بروتون و 2 نيوترون) ويصحبها إشعاع جاما بطاقة 185kev لتتحول إلى ذرات رادون222 (^{222}Rn)في شكل غاز له خواص الغازات كيمائيا و فيزيائيا. بالأضافة إلى النشاط الاشعاعي للراديوم توجد عوامل أخرى مثل معامل الانبعاث $\boldsymbol{f}$ (emanation factor) ومعامل الانتشار diffusion (De –factor) وε المسامية الكلية porosity و بما في ذلك مسامية الماء ومراحل الهواء ، m هي جزء المسامية عند تشبع التربة بالماء. K_T هو معامل تقسيم انتقال ال Rn بين الماء و مراحل الهواء. بالنسبة للتربة الجافة m=0 . في التربة الرطبة الدافئة عند درجة حرارة 25C مثلا (K_T = 0.23 ، m= 0.95) كثافة التربة أو المادة الحاوية للإشعاع $\boldsymbol{\rho_s}$ و λثابت الانحلال لغاز الرادون ويساوي $2.1x10^{-6}$ 1/s . كل هذه المعاملات ليس من السهل حسابها فهي تعتمد على عدة متغيرات مثل نوع التربة و الصخور و الرطوبة [16] . في شروط التربة النموذجية ε= 0.25 و f=0.2 , $\rho_s = 1600kg/m3$هذه القيم هي التي أخذت في الاعتبار في حساب تركيز Rn في عينات البحث المحلي.

في الشكل (7) مقارنة نتائج البحثين لتركيز غاز الرادون في الهواء و هو من المفترض أن يكون صادر عن العينات، نلاحظ أن عينات البحث المحلي سجلت قيم أعلى لهذا التركيز سواء لعينات التربة العادية أو المسمدة مقارنة بنظيرتها في البحث العراقي، هنا يوجد بعض التناقض و هو أن العينات العراقية سواء العادية أو المسمدة كانت مستويات الأشعاع و مؤشرات الخطر بها أعلى من العينات المحلية لذا يفترض أن يتكرر نفس النمط بالنسبة لتركيز غاز الرادون في الهواء الصادر من العينات، لا يوجد تفسير لهذا إلا أن المعادلات التجريبية المطبقة في البحث المحلي إعتمدت على فرضيات مثالية للمتغيرات و العوامل الداخلة في حساب المعادلة و هذا يحتاج للتأكيد خاصة بالنسبة لمعامل الانبعاث $\boldsymbol{f}$ (emanation factor) حيث تم تقديره في البحث العراقي 0.3 و في البحث المحلي 0.2 ، لابد من الأشارة هنا أن الباحثين العراقيين قد طبقوا بعد حصولهم على نتائج معملية بواسطة كاشف

CR39 معادلات أيظا و منها المعادلة الرئيسية لحساب معدل تدفق غاز الرادون من العينات و من ثم حساب تركيز غاز الرادون في الهواء و معادلة أخرى لحساب معامل الانتشار، المعادلة (9) تم تطبيقها لإيجاد معدل التدفق E_R (في البحث المحلي رمزه J) في البحث العراقي

$$E_R = C_{RaR}\ \rho_s\ \lambda\ E\ L \quad \rightarrow (9)$$

حيث

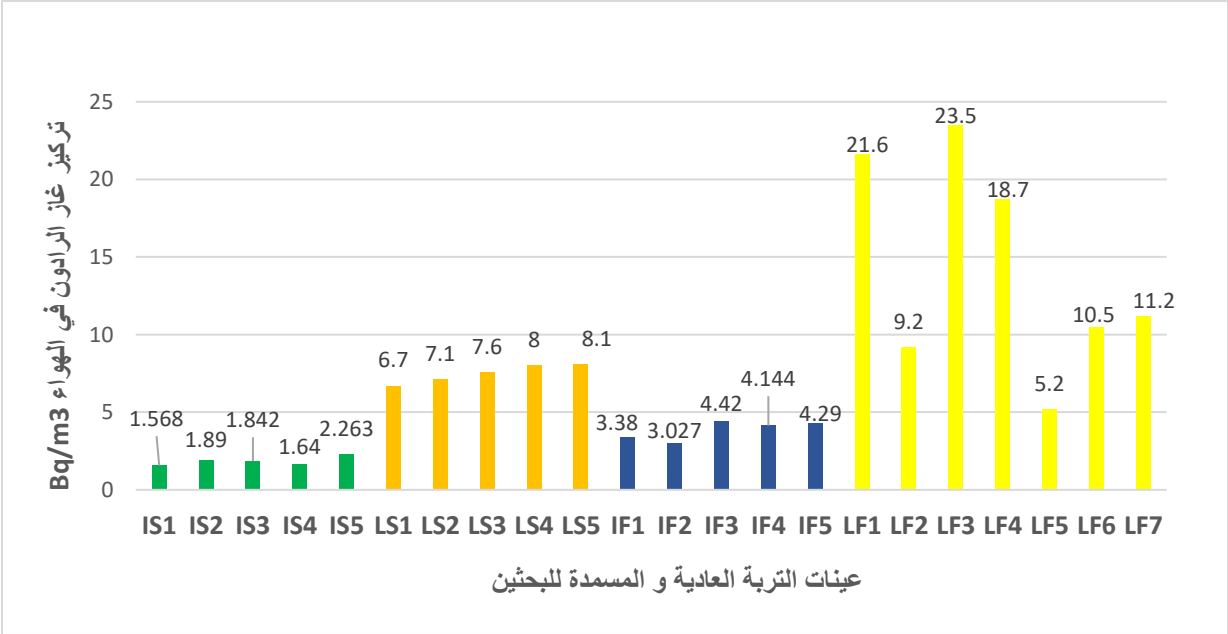
E_R معدل تدفق غاز الرادون بوحدة $Bq/m^2.s$ و يقابله J في البحث المحلي في المعادلة (8)

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

ρ_s كثافة العينات بوحدة kg/m^3

. E معامل انبعاث الرادون 0.3 يقابله f. في البحث المحلي

L سمك العينة .



الشكل (7)– مقارنة تركيز غاز الرادون في الهواء الصادر عن العينات للبحثين

في المعادلة السابقة تم إعتبار سمك العينة 1.1cm ، بينما كان سمك العينة في البحث المحلي أكثر من 10cm(سمك Marinellin beaker) حتى مع إختلاف أجهزة الكشف فإن سمك العينة له تأثير مباشر على معدل تدفق الغاز، في العموم في البحث العراقي تم حساب معدل التدفق من السطح ثم تم حساب تركيز غاز الرادون في الهواء

بينما في البحث المحلي كانت العملية بالعكس. في جميع الاحوال المتغير الرئيسي في كل هذه الحسابات هو تركيز الراديوم226 (^{226}Ra) فالفروقات الظاهرة في الشكل (7) لا تعتبر كبيرة بالنظر لأختلاف الطريقتين، بل بالعكس يمكن إعتبارها قريبة في ظل كل هذه الأختلافات الاساسية، فالفرضيات المثالية التي فرضت في البحث المحلي للمتغيرات العديدة الداخلة في حساب المعادلات ربما تكون السبب في هذا الفرق ولكن يجب أن نعرف أن العوامل الرئيسية مثل معامل الانبعاث و الانتشار ليس من السهل على الإطلاق حسابها بدقة للتربة المستهدفة فهذا الجانب وحده يحتاج بحوث مستقلة للخوض في طريقة حسابها. نفس التفسيرات تنطبق على مقارنة معدل تدفق الرادون بوحدة $Bq/m^2.s$ حيث كانت هذه المعدلات تميل للزيادة في عينات البحث المحلي.

- **الخاتمة :**

في ظروف البحث المحلية نبحث على طريقة علمية لتجاوز النقص الحاد في التجهيزات و المعدات اللازمة للبحث العلمي الصحيح، و وجدنا ضالتنا في المعادلات التجريبية التي تساعدنا على أن لا نبقى مكتوفي الأيدي أمام التحقق و التعمق في البحث عن التأثير الحقيقي للمواد المشعة الطبيعية المنشأ و خاصة غاز الرادون سواء في حياتنا اليومية أو في بعض الصناعات التي ينشأ عنها ظروف إستثنائية لتواجد هذا الغاز، مثل صناعة النفط و الغاز و هي الصناعة التي نركز عليها كثيرا في أبحاثتنا في السنوات الأخيرة خاصة. فالمعلومات حول غاز الرادون في صناعة النفط و الغاز محليا نستطيع أن نقول أنها معدومة تماما لسببين، و هما عدم وجود تقنيات لرصد هذا الغاز كما أسلفنا و حجة أخرى متداولة بكثرة و هي أن البيئة العملية لصناعة النفط و الغاز بيئة مفتوحة و لا تسمح بتركيز هذا الغاز بنسب مقلقة، هذه الحجة صحيحة نسبيا و ليست حقيقة مطلقة لذلك يجب تكثيف البحوث حول هذا النوع من الملوثات و إنشاء قاعدة بيانات تستجيب لمواصفات المنهج العلمي الصحيح لتقدير المخاطر و ليس إعتمادا على التخمينات فقط.

بالنسبة لموثوقية الاعتماد على هذه المعادلات في وضع بيانات معتمدة حول وجود و تأثير غاز الرادون في مجال أو موقع ما، وبناء على هذه المقارنة المفصلة في هذا البحث ، نرى أن هذا الأعتماد يحتاج مزيد من العمل البحثي الدؤوب خاصة على مستوى المتغيرات العديدة التي تدخل ضمن تحقيق هذه المعادلات ومزيد من المقارنات مع بحوث مماثلة حتى نصل لموثوقية نتائج يمكن التسليم بصحتها بشكل كبير، و أعيد مرة أخرى أن هذه المعادلات كنتاج علمي قيم لا تتحمل التشكيك في صحتها و لكن تطبيقيها الصحيح يتطلب دقة في حساب متغيراتها العديدة.

ربما يقول قائل أن توفير تقنيات و أجهزة الرصد العملية يغنينا عن هذه المعادلات و المقارنات و التشكيك في صحة النتائج، طبعا توفير هذه التقنيات غاية نتمنى أن تتحقق و لكن البحث العلمي في ما يخص المعادلات التجريبية مهم و يجب أن لا يتوقف حتى في حال توفر هذه التقنيات فهي مجال واسع للبحث و التعمق في كيفية رصد و قياس و هذا النوع من الملوثات و العوامل المؤثرة في إنتشارها أو حصرها، فهذا النوع من الملوثات له إرتباط وثيق بصحة الأنسان و البيئة المحيطة و يجب إنتهاج كل الطرق العلمية الممكنة لزيادة الرصيد المعرفي حولها.

Reference

[1]-International Atomic Energy Agency (2003a). Extent of Environmental Contamination by Naturally Occurring Radioactive Material (NORM)

[2]-Technological Options for Mitigation. International Atomic Energy Agency, Vienna. IAEA Technical Report Series No. 419

[3] -www.metadata.berkeley.edu/nuclear-forensics

[4]- American Petroleum Institute (1992), Bulletin on Management of Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM) in Oil and Gas Production, API Bulletin E2 (BULE2),First Edition.

[5] Measurement and Calculation of Radon Releases from NORM Residues Y. Ishimori, K. Lange, P. Martin, Y.S. Mayya, M. Phaneuf, Technical Reports Series No. 474. International atomic energy agency, Vienna, 2013.

[6]-Bodwadkar S. (1992), Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM) in Oil & Gas Production Operations. Maeer's mit pune journal, 1/2, 40 - 44.

[7]-ICRP.1990 Recommendations of the Internal Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 60, Annals ICRP, 21(1-3), 1991.

[8] -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.

[9]-Guimond, R.J.; Hardin, J.M. (1989). Radioactivity Released from phosphate containing fertilizers and from gypsum., *Radia. Phys. Chem.* **34**(2), 309-315.

[10]-Australian Radiation Protection and Nuclear Agency, Management of Naturally Occurring Radioactive Material (NORM), Radiation Protection Series Publication No. 15-ISBN 978-0-9805638-4-9

[11]- Catherin, T. M. (1965)"Fertilizer Application, soil, plant, animal" , London, Crosby .

[12] -Al-Bassam, K. (2007). Uranium in the Iraqi Phosphorites, *Iraqi Bulletin of Geology and* Mining, **3**(2), 13-31.

[13]- Thirteenth Arab Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Hammamet, Republic of Tunisia, 18-22 December 2016- Study the effect of fertilization on soil and comparison of some indicators of radioactive contamination Hanaa I. Hassan & Saba S. Mahammed-University of Mosul

[14]-Dovlete, C., Povinec, P.P., (2004). Quantification of uncertainty in gamma spectrometric analysis of environmental samples, IAEA-TECDOC-1401. Int. At. Energy Agency, Austria 1030126.

[15]- Measurement and Calculation of Radon Releases from NORM Residues Y. Ishimori, K. Lange, P. Martin,Y.S. Mayya, M. Phaneuf- International atomic energy agency Vienna, Printed by the IAEA in Austria September 2013 - Technical reports series, ISSN 0074-1914-

[16]- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (2000). Sources and Effects of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes, United Nations, New York.

[17] Svoukis, E., & Tsertos, H. (2007). Indoor and outdoor in situ higher solution gamma radiation measurements in urban areas of Cyprus. Radiation Protection Dosimetry, 123(3), 384-390

[18]-Mcaulay, I.R. & Moran D. Natural Radioactivity in Soil in the -Republic of Ireland Radiation. Port. Dosi J., 24,47-49. (1988).

.