

تحديد النشاط الإشعاعي الطبيعي في بعض مواد البناء

د. جهاد ملحم *

د. رياض شويكاني **

هالا ملوك ***

تاريخ الإيداع 15 / 7 / 2020. قُبل للنشر في 6 / 12 / 2020

□ ملخص □

تم في هذا البحث تحديد معدل انبثاق غاز الرادون في بعض مواد البناء الجاهز التي تستعمل في الاكساء في سوريا والتي أُجريت في محافظة اللاذقية باستخدام تقنية عد أثر جسيمات ألفا المنبعثة من غاز الرادون على كاشف الأثر النووي (CR-39). وقد أظهرت النتائج التي حصل عليها أن أعلى معدل لانبثاق غاز الرادون سجلت للجرانيت الكاليفورني 19.94 ± 1.65 Bq.m⁻².d⁻¹ وأدنى قيمة هي للإسمنت الأبيض 0.13 ± 0.02 Bq.m⁻².d⁻¹. تضمن أيضاً البحث تحديد النشاط الإشعاعي الطبيعي في مواد البناء المدروسة من خلال مطيافية غاما باستعمال كاشف جرمانيوم عالي النقاوة حيث تم تعيين نشاط الراديوم-226 وبعض النظائر الأخرى، نجد أن أعلى معدل لمحتوى الراديوم الفعال هو الجرانيت الكاليفورني 192 ± 6.2 بيكرل/كغ وأدنى معدل يعود للرخام مولا التركي 2.2 ± 0.4 بيكرل/كغ وهذا ما يتوافق مع نتائج انبثاق غاز الرادون، أي نستنتج وجود علاقة ترابط بين تركيز الراديوم ومعدل انبثاق غاز الرادون من مواد البناء.

الكلمات المفتاحية: الرادون، كاشف (CR-39)، انبثاق غاز الرادون، مواد الاكساء.

* أستاذ -قسم الفيزياء-جامعة تشرين - اللاذقية- سورية.

**باحث- هيئة الطاقة الذرية السورية- اللاذقية- سورية.

***طالبة دراسات عليا في كلية العلوم - جامعة تشرين، اللاذقية- سورية. البريد الإلكتروني: Lolitamallouk@gmail.com

Determination the Natural Radioactivity in some Building Materials

Dr. Jehad Mulhem*
Dr. Read Shweikani**
Hala Mallouk***

(Received 15 / 7 / 2020. Accepted 6 / 12 /2020)

□ ABSTRACT □

In this work, exhalation rate of radon gas was determined in some building materials used in cladding in Syria and carried out in the Lattakia governorate, using the technique of counting the alpha particles emitted from radon gas in the nuclear impact detector (CR-39). The results obtained show that the highest exhalation rate of radon gas is recorded for the California granite (19.94 ± 1.65) Bq.m⁻².d⁻¹ and the lowest value for white Cement was (0.13 ± 0.02) Bq.m⁻².d⁻¹.

The research also included determining the natural radioactivity through the gamma spectroscopy using a high-purity Germanium detector where the radium-226 activity is determined in the studied building materials and some other isotopes. We find that the highest rate of effective radium content is the California granite (192 ± 6.2) Bq/kg and The lower rate attributed to the Turkish Mola marble (2.2 ± 0.4) Bq/kg and this is consistent with the results exhalation of radon gas, we conclude that there is a correlation between the concentration of radium and the exhalation rate of radon gas from building materials.

Keywords: Radon, detector (CR-39), Exhalation of radon gas, Cladding materials.

*Professor - Department of Physics - Tishreen University- Lattakia- Syria.

**Researcher -Syrian Atomic Energy Commission- Syria.

***Postgraduate Student - Science Faculty -Tishreen University- Lattakia- Syria.

مقدمة:

يتعرض الإنسان للإشعاعات المختلفة من مصادر متعددة نتعامل مع العديد منها على أساس أنها خلفية إشعاعية لا تحكم لنا بها. حيث وجد أن الرادون Rn الذي يساهم بنصف الجرعة الإشعاعية من مجموع المصادر الطبيعية للإشعاع لها أهمية كبيرة ويجب التركيز عليها ودراساتها بشكل مركز لحماية الإنسان من تضرر هذا النوع من أنواع الإشعاعات والتي تعاني منها جميع الكائنات الحية (UNSCEAR, 1994).

تم اكتشاف غاز الرادون في عام 1899 من قبل العالمين (E.Rutherford, R.B.Owens)، وهو غاز عديم اللون والطعم والرائحة، وهو حامل كيميائياً لا يتحد مع أي عنصر أو مركب آخر في الطبيعة، وأثقل من الهواء بسبعة أضعاف ونصف تقريباً، ويُعد من مصادر الأشعة الطبيعية الذي يتولد في أحد سلاسل التفكك الطبيعية الثلاثة وهي:

1. الأكتينون (^{219}Rn , Actinon) ينتمي إلى سلسلة الأكتينيوم (U^{235}) التي تمثل نسبة وجوده في الطبيعة (1%) بالإضافة إلى أن عمر النصف للأكتينون ($T_{1/2}=4\text{sec}$) يُفسر عملياً عدم إمكانية قياس تركيز هذا النظير في الجو.
2. الثورون (^{220}Rn , Thoron) يعود إلى سلسلة الثوريوم ^{232}Th وهو الأكثر نسبة في الطبيعة بين النظائر الثلاثة التي تتحرر من الأرض ولكنه يختفي بسرعة لأن عمر النصف ($T_{1/2}=55\text{sec}$) لكنه يُسهم في زيادة الجرعة الإشعاعية من خلال بعض حالات التعرض الداخلي.

3. الرادون (^{222}Rn , Radon) ينتمي إلى سلسلة اليورانيوم ^{238}U وله فترة عمر نصف تعتبر الأطول بين النظائر الثلاثة (3.82 day) وفترة عمر النصف الطويلة هذه تمنحه توزيعاً كبيراً في الجو، ويعود تأثيره الإشعاعي الحاسم للعنصرين المنحدرين عنه اللذين يصدران جسيمات ألفا ذات الأجل القصير وهذان العنصران هما البولونيوم ^{218}Po ($T_{1/2}=3.05\text{min}$) والبولونيوم ^{214}Po ($T_{1/2}=1.4\times 10^{-4}\text{sec}$) (K. Krane, 1988).

للمواد القابلة على الانتقال في الهواء من مكان إلى آخر دون أي إعاقة، مما يجعل احتمالية التعرض له عالية لعدد كبير من الناس. حيث أوضحت الدراسات انه عند مسامية منخفضة تكون حبيبات التربة متقاربة إلى بعضها فعندما تتبعث ذرة الرادون من الحبيبة فان طاقة ارتدادها تطمرها في حبيبة أخرى وبهذا لا تستطيع الإفلات بسهولة. وعندما تكون المسافة بين الحبيبات كبيرة تكون احتمالية توقف ذرات الرادون المرتدة في المسام كبيرة وتنتشر حول مصادر السطح بسهولة.

يؤكد تقرير الأمم المتحدة (UNSCEAR, 1983) حول مصادر الإشعاع الطبيعي أن غاز الرادون يمثل أكثر من 50% من إجمالي ما يتعرض له الإنسان من جرعة إشعاعية ناتجة من الإشعاع الطبيعي للرادون (Khalifa M, Abd al-Salam S, 1996). تُعتبر مواد البناء المصدر الأساسي الثاني بعد التربة لغاز الرادون داخل المنزل، بينما كانت تعتبر في السبعينيات المصدر الأساسي الأول (UNSCEAR, 1977).

تحتوي مواد البناء المصنوعة من التربة والصخور من مثل (الإسمنت، البلوك، السيراميك...) وغيرها على مواد مشعة طبيعية مثل اليورانيوم والراديوم التي تولد الرادون. ولما كانت هذه المواد ذات بنية مسامية فإنها تسمح للرادون أن يتحرر إلى الوسط الخارجي. فالمواد التي لا تنشأ من القشرة الأرضية (مثل الخشب) تميل لأن تملك تراكيز منخفضة جداً من الراديوم. ويعتمد تركيز الرادون داخل المنازل بشكل عام على عادات وسلوكيات القاطنين فيه والفتحات التي يقضونها ضمن وخارج المنزل.

وتُعتبر التهوية أحد أهم العوامل التي تؤثر على تركيز الرادون داخل المنازل، حيث أن تركيز الرادون، بشكل عام، داخل المنزل يتناسب عكساً مع معدل التهوية، فهو يختلف هذا المعدل حسب نوع البناء وعادات السكان..... الخ

(EPAR, 2010). يعتمد انبثاق غاز الرادون من مواد البناء على تركيز الراديوم، ويتأثر بعوامل أخرى مثل: جزء الرادون الناتج والمتحرر ضمن المادة، مسامية المادة، إعداد السطح وكساء الجدار.

يتغير معدل انبثاق الرادون (لنوع معين من مادة بناء بشكل أساسي) من عينة إلى أخرى، حتى لو كان تركيز اليورانيوم نفسه تقريباً، وذلك تبعاً لتغير ظروف البيئة المحيطة (EPAR, 2010). تصنع عادة مواد البناء من التربة (مثل الغضار والقرميد) أو الصخور التي عادة تحوي البوتاسيوم-40 والراديوم-226 والثوريوم-232. تُعد هذه النظائر ومنتجات تفككها أيضاً مصادر للتعرض لأشعة غاما. يكون عادة تركيز هذه النظائر في مواد البناء قليلاً، لكن يمكن أن تحوي بعض هذه المواد تراكيز أعلى من غيرها وذلك يعتمد على المصادر التي يجري منها جلب هذه المواد.... الخ (Fournier et al., 2005).

يصف هذا البحث القياسات التي أنجزت لتقدير انبثاق غاز الرادون وتركيز النشاط الإشعاعي الطبيعي (^{226}Ra , ^{40}K), ^{224}Ra , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{234}Th في عينات مختلفة من المواد المستخدمة في إكساء المنازل منها الجرانيت والسيراميك والرخام والبلاط الصناعي حيث تم جمعها من السوق التجاري.

أهمية البحث وأهدافه:

الهدف الرئيسي لهذا العمل التجريبي هو قياس وحساب تركيز وانبثاق غاز الرادون في بعض مواد البناء الجاهزة باستخدام تقنية كاشف الأثر النووي (CR-39)، تحديد أيضاً النشاط الإشعاعي الطبيعي لهذه المواد باستخدام كاشف الجرمانيوم عالي النقاوة، ومن ثم مقارنة هذه النتائج ببعضها البعض.

طرائق البحث ومواده:

استعمل في هذا البحث الأجهزة التالية:

1. كواشف الأثر النووي (CR-39)، حجيرات تعريض.
2. خلية الرادون العيارية.
3. كاشف جرمانيوم عالي النقاوة.
4. ميزان حساس، محلول كيميائي، حمام مائي، مجهر إلكتروني.

ملاحظة:

جميع هذه الأجهزة موجودة في مخابر قسم الوقاية والأمان في هيئة الطاقة الذرية السورية حيث تم إنجاز هذا البحث.

(1-) معايرة كواشف CR-39 باستخدام خلية الرادون العيارية:

تتم معايرة الكواشف باستخدام منبع الراديوم Ra-226 الباعث لغاز الرادون نو نشاط إشعاعي معلوم التركيز (170kBq/m^3) الموجود داخل خلية الرادون العيارية (Shweikani R, Raja G, 2005)، استعمل للمعايرة خمسة كواشف (غير معرضة لأي منبع) قطعت هذه الكواشف بأبعاد $(1.5 \times 1.5)\text{cm}^2$.

وضع كل كاشف داخل حجيرة التعريض ومن ثم توضع هذه الحجيرات في الغطاء الداخلي لغرفة الرادون العيارية (الشكل 1) على مسافة (30cm) من منبع الراديوم.



- بعد مرور الفترة الزمنية المحددة للتعرض ترفع العبوات البلاستيكية من غرفة الرادون العيارية وتزال الكواشف (CR-39) وتعالج بعملية الحك الكيميائي لمدة 7 ساعات باستعمال محلول (NaOH) بعبارية (6.25mole/L) وبدرجة حرارة (70C°) لإظهار الأثار النووية.
- يتم عد الأثار باستعمال المجهر الضوئي واختيار التكبير المناسب، الذي يتعلق بعدد الأثار في مساحة مشهد الرؤية، تحدد مساحة مشهد الرؤية باستخدام مسطرة مدرجة خاصة. حيث يقاس قطر المشهد ومن ثم تحسب مساحته (مساحة الدائرة)

الشكل (1) حجيرات التعرض داخل غرفة الرادون Rn-222 العيارية

يتم بعد ذلك عد الأثار في كل مشهد رؤية بشكل متتالي. لنحصل على كثافة الأثار ρ بتطبيق العلاقة الآتية:

$$\rho = \frac{N}{A.B} = \frac{Nave}{A} \dots\dots(1)$$

ρ : كثافة الأثار (track/cm²) :N عدد الأثار التي تم عدّها في الكاشف.

A: مساحة المشهد (cm²) :B عدد المشاهد (حقل الرؤية).

- يرسم خط بياني بين متوسط كثافة الأثار (ρ) بدلالة كمية التعرض للرادون Radon Exposure (حاصل ضرب تركيز النشاط الإشعاعي في الخلية العيارية في زمن التعرض) (E)، من الرسم سيتم فيما بعد حساب كمية التعرض في العينات المجهولة من العلاقة الآتية:

$$E = \frac{\rho}{K(SLOPE)} \dots\dots\dots(2)$$

- ومن ثم يتم إيجاد تركيز غاز الرادون وفق العلاقة الآتية (Baykara O, Dogru M, 2006):

$$C_{Rn} = \frac{\rho}{K.T} = \frac{E}{T} \dots\dots\dots(3)$$

حيث C_{Rn} : تركيز غاز الرادون المقاس باستخدام الكواشف البلاستيكية (Bq.m⁻³).

E: كمية التعرض لغاز الرادون (Bq.h.m⁻³).

K : معامل المعايرة (tracks.cm⁻²/Bq.h.m⁻³)

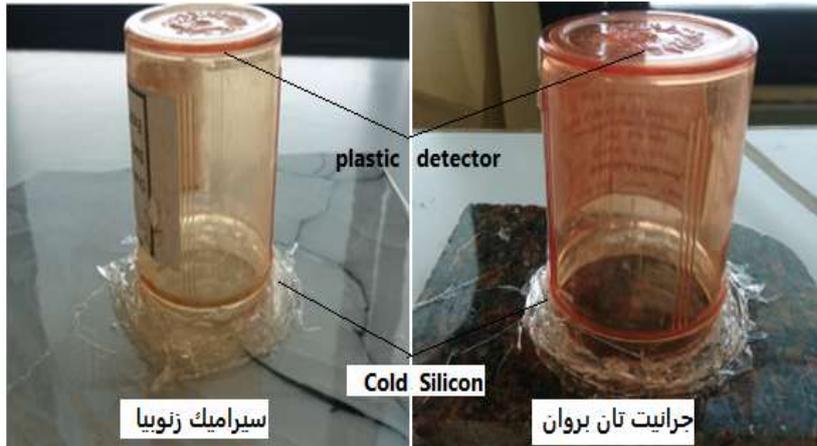
T: زمن التعرض الحقيقي.

(-2) الطرق والقياسات في مواد البناء:

2-1- تحديد معدل انبثاق غاز الرادون من مواد البناء الجاهز:

- جرى جمع أربع عينات مختلفة من السيراميك وأربعة من الرخام وستة عينات من الجرانيت وثلاثة عينات من البلاط الصناعي حيث تم جمعها من السوق المحلي في مدينة اللاذقية.

- وضعت الكواشف البلاستيكية أسفل حجيرة جمع الرادون باستخدام لاصق ذو الوجهين. ثم وضعت الحجيرة بشكل مقلوب على العينات مثل السيراميك والجرانيت مع الأخذ بعين الاعتبار تسجيل رقم الكاشف لكل عينة كي لا يحدث أي خطأ (Shweikani R, Raja G, 2009).
- تم عزل الحجيرات المثبتة بواسطة السيلكون البارد. يبين الشكل (2) الطريقة التي تم فيها تثبيت حجيرة التعريض على عينة من السيراميك والجرانيت.



الشكل (2): حجيرة انتشار الرادون مثبتة على السيراميك والجرانيت من أجل القياسات المخبرية

- تُركت الكواشف للتعريض لمدة 21 يوماً ثم أُخرجت جميع الكواشف من حجيرات التعريض وعولجت كيميائياً بعدها ليتم عد آثار جسيمات ألفا على الكواشف باستعمال مجهر ضوئي عند تكبير مناسب.
- تم حساب انبثاق غاز الرادون باستخدام العلاقة التالية (Sroor A, et al... 2001):

$$(4) \dots Rn_{exh} = \frac{C_{Rn} \cdot V}{A \cdot T_{eff}}$$

حيث Rn_{exh} : انبثاق الرادون من سطح العينة ($Bq \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$).

C_{Rn} : تركيز غاز الرادون المقاس باستخدام الكواشف البلاستيكية ($Bq \cdot m^{-3}$).

V : حجم حجيرة الانتشار (m^3).

A : مساحة فتحة حجيرة الانتشار التي تم تثبيتها على العينة (m^2).

T_{eff} : زمن التعريض الفعال (ساعة) ويحسب باستخدام العلاقة (Walley El-Dine N, et al..2001):

$$(5) \dots T_{eff} = T - \frac{1}{\lambda} (1 - \exp(-\lambda \cdot T))$$

حيث T : زمن التعريض الحقيقي.

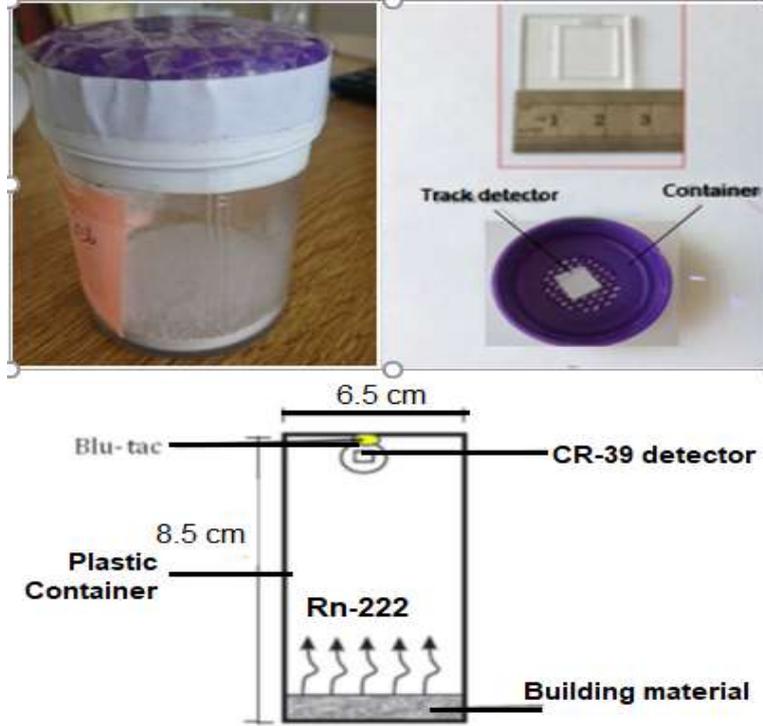
λ : ثابتة تفكك غاز الرادون (0.00756 سا $^{-1}$ أو 0.18 يوم $^{-1}$)

T_{eff} : زمن التعريض الفعال (ساعة)

2-2- تحديد معدل انبثاق غاز الرادون من مطحون مواد البناء الجاهز:

- بعد طحن العينات تم وضع 30 غرام من كل عينة أخذت من مواد البناء المطحونة ووزعت بشكل متجانس في قاع حجيرة التعريض (العبوة البلاستيكية) بعد ذلك تم تحديد العينات وإعطائها رقم ورمز تعريف لكل عينة.

➤ نقوم بتثبيت الكواشف في السطح الداخلي لغطاء حجرة التعريض باستخدام لاصق ذو وجهين، و ثم نقوم بإغلاقها جيدا حيث يكون الكاشف على السطح الداخلي للغطاء والعينة في الأسفل حيث الرادون يتولد وينتقل من سطح العينة صعودا إلى الكواشف. يُبين الشكل (3) الطريقة التي تم فيها قياس انبعاث غاز الرادون من عينات مواد البناء المطحونة داخل حجرة التعريض.



الشكل (3): قياس معدل انبعاث غاز الرادون من عينات مواد البناء المطحونة

➤ تم ختم العينات بإحكام للحد من هروب من غاز الرادون وتركت، وبعد انتهاء فترة التعريض، تم إخراج جميع الكواشف من حجيرات التعريض وعولجت كيميائياً ومن ثم تم عد الأثار، بعدها جرى تحويل كثافة الأثار لنحصل على تركيز ومعامل انبثاق الرادون لمواد البناء بعد طحنها باستخدام العلاقتين (3) و(4).

2-3 تحديد النشاط الإشعاعي الطبيعي في مطحون العينات:

من أجل تحديد محتوى النوى المشعة في العينات المدروسة، تم استثمار مطيافية غاما في القياسات الكمية والنوعية في توصيف العينات، لغرض معرفة محتوى ونوع المواد المشعة (^{226}Ra , ^{234}Th , ^{40}K) في العينات.

✓ تحضير العينات:

جرى طحن حوالي 1.5 كغ من كل عينة ونخلت وجففت بالدرجة 90 مئوية لمدة 24 ساعة وتم مجانسها بخلط ثلاثي الأبعاد، ومن ثم عُبئت في عبوات مرنيبلي بيكر ذات سعة 1 لتر، واحكم إغلاق الغطاء جيدا لمنع هروب الرادون الذي سينتولد خلال فترة التوازن، وتركت لمدة 40 يوم قبل القياس.

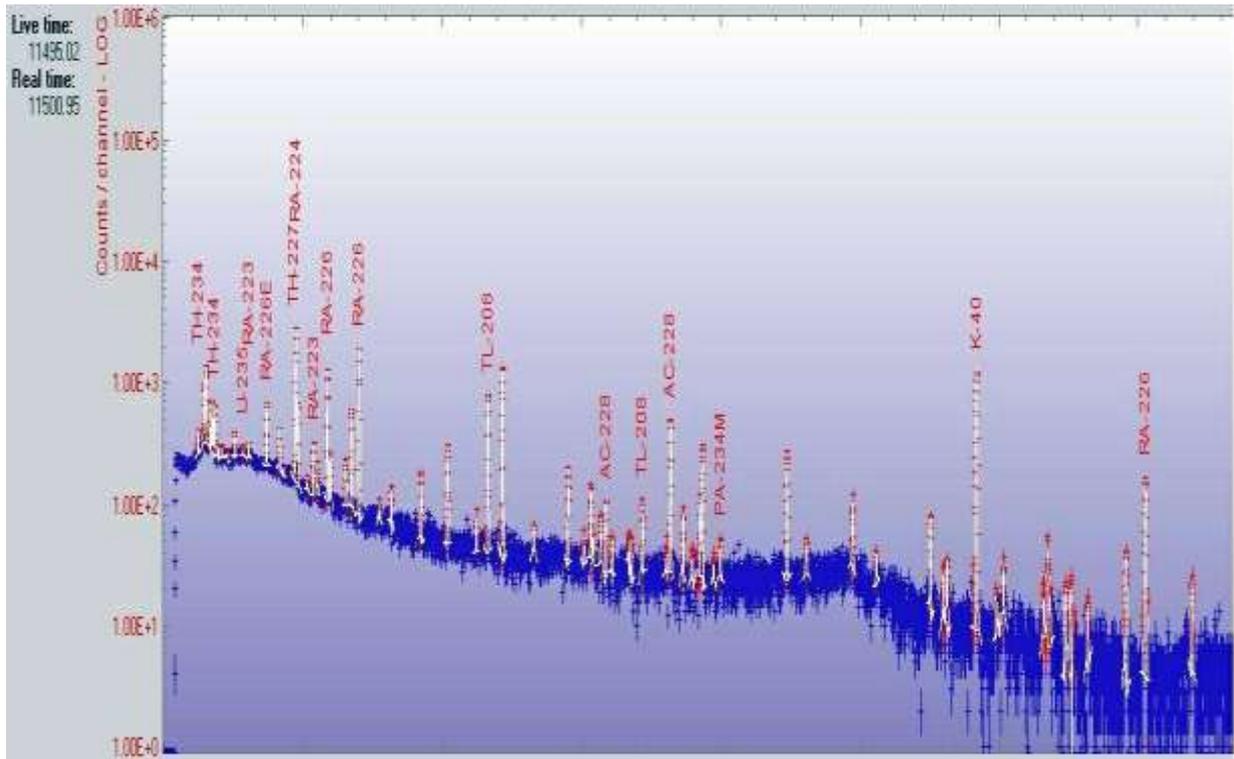
قياس لعينات:

جرى قياس العينات لتحديد النظائر المشعة المحتواة في هذه العينات بتقانة مطيافية غاما باستخدام كاشف جرمانيوم عالية النقاوة ذي مردود نسبي 80% ويعمل على 3500 Volt positive، ذو قدرة فصل 2.05 keV عند الطاقة

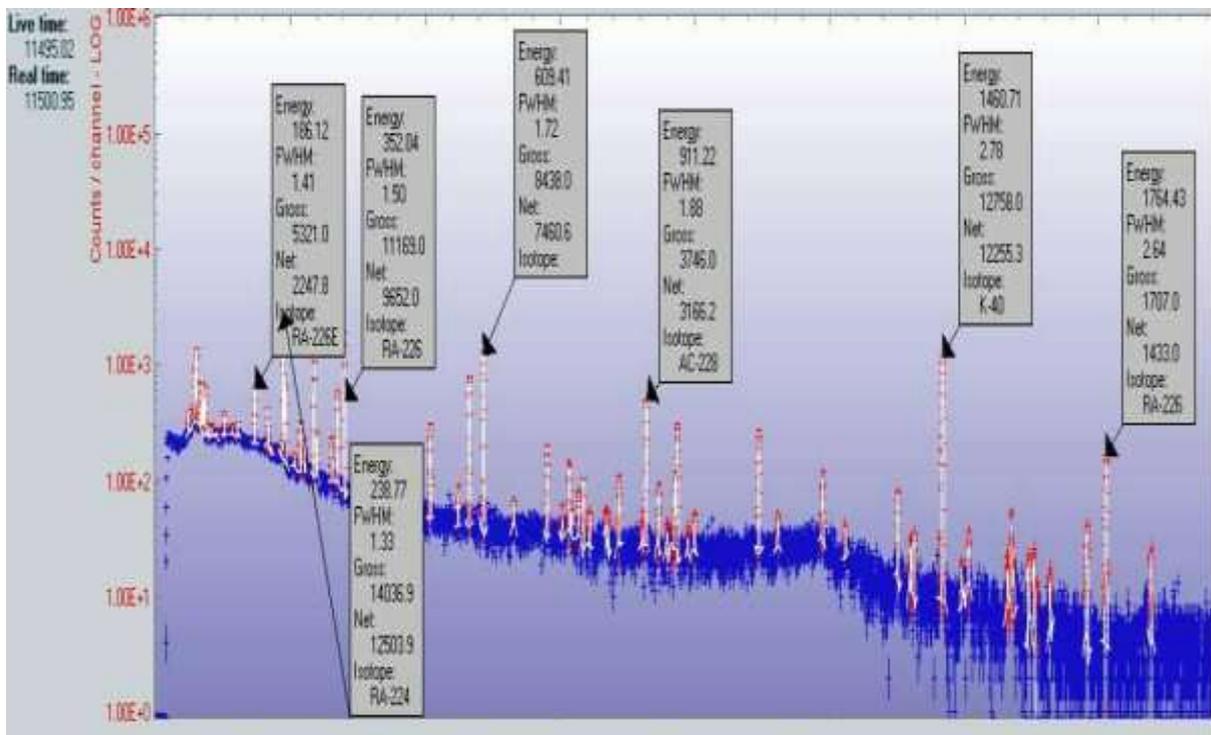
1332.4 keV صنع شركة Eurisys والموصول بمحلل متعدد الأقفية من النوع QuadADC صنع شركة غاما Winner 7 Inter. حيث تمت معايرة العبوات التي استخدمت في القياس باستعمال العينة المرجعية QCY48 (S L R Ellison, 2012) مصدرها IAEA البريطانية، يُبين الشكل (4) شكل الطيف كاملاً موضع على قممه النظائر المشعة الموجودة في العينة.

عادة يتم تعيين نشاط الراديوم-226 في العينات البيئية ومنها مواد البناء بالاعتماد على الخطوط الطيفية للنظائر المتولدة أو الناتجة عن الرادون-222 وبشكل اساسي على نظيري الـ ^{214}Pb , ^{214}Bi ، والتي تصدر فوتونات غاما عديدة إلا أنه أعتمد في القياس على الطاقات التالية 351.9, 295.2 keV و 1764.5 والتي تصدر بالشدات النسبية 35.6% & 18.41%, 15.31% على الترتيب. يُوضح الشكل (5) ألية تحليل الطيف وحساب المساحة تحت القمة والنظير الذي تدل عليه، هذه الخطوط الطيفية تُعتبر تحليلية بالنسبة لمطيافية غاما كونها لا تحتاج لأي إجراءات تصحيحية. وتحتاج هذه الطريقة لإغلاق محكم لعبوات القياس وانتظار شهر قيل قياس العينات بمطيافية غاما الموصوفة أعلاه. كما يمكن تحديد تركيز الراديوم-226 بشكل مباشر من الخط الطيفي 186.2 keV ذي الشدة النسبية 3.51%، مع ملاحظة أنه في حال وجود أي تركيز لنظير اليورانيوم-238 في العينة والذي يتوافق بتواجد تركيز من نظير اليورانيوم-235 الذي يصدر بدوره فوتون غاما بطاقة 185.7 keV وبشدة نسبية 57.2% أنه لا بد من حساب هذا التداخل وإلغاء تأثيره على نتيجة القياس.

كما جرى تحديد نشاط نظير ^{228}Ra ، والذي يعبر عن تركيز نظير الثوريوم-232 في عينات البيئة الصلبة مثل الصخور والفلزات والتراب العميقة. بالاعتماد على الخط الطيفي 911 keV وبشدة نسبية 26.2% والعائد لنظير الـ ^{228}Ac وهو الوليد الأول لنظير الـ ^{228}Ra الشكل (5)، وهو على توازن دائم معه، كما جرى تحديد نشاط نظير الـ ^{224}Ra من الخط الطيفي 238 keV العائد له وبشدة نسبية 43.5%، بلغ الحد الأدنى للكشف للنكليدات المقاسة مشتقة من قياسات الخلفية الطبيعية بزمن وقده 100,000 ثانية حوالي 0.4 بكرل/ل لكل من ^{224}Ra و ^{228}Ra ، و 1.4 بكرل/ل لنظير الـ ^{226}Ra . طبقت إجراءات ضبط الجودة باستخدام عينات مراقبة داخلية وعينات مرجعية مزودة من IAEA.



الشكل (4) شكل الطيف موضحاً على قممه النظائر المشعة الموجودة في العينة

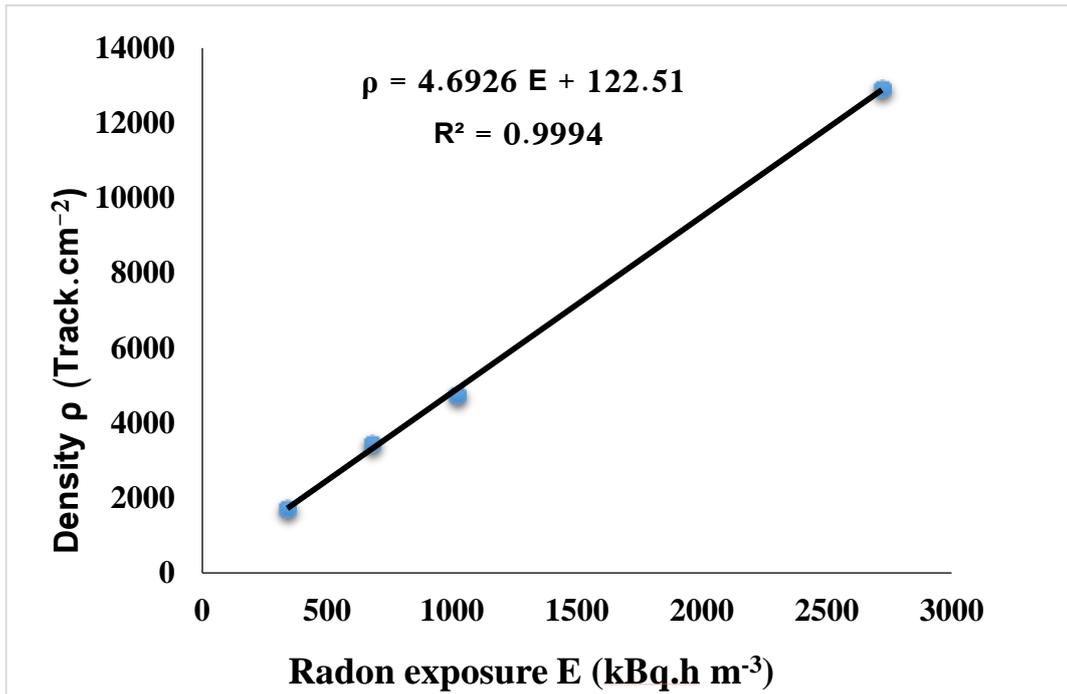


الشكل (5) آلية تحليل الطيف وحساب المساحة تحت القمة والنظير الذي تدل عليه

النتائج والمناقشة:

1- معايرة الكواشف:

جرى رسم العلاقة بين كمية التعرض للرادون E وهو (حاصل ضرب تركيز النشاط الإشعاعي 170 kBq.h.m^{-3} في الخلية العيارية بزمن التعرض) بدلالة كثافة الأثار (ρ) وذلك بعد طرح الخلفية الطبيعية لكواشف الأثر النووي، كما هو مبين بالشكل (6):



الشكل (6) منحنى معايرة الكواشف البلاستيكية

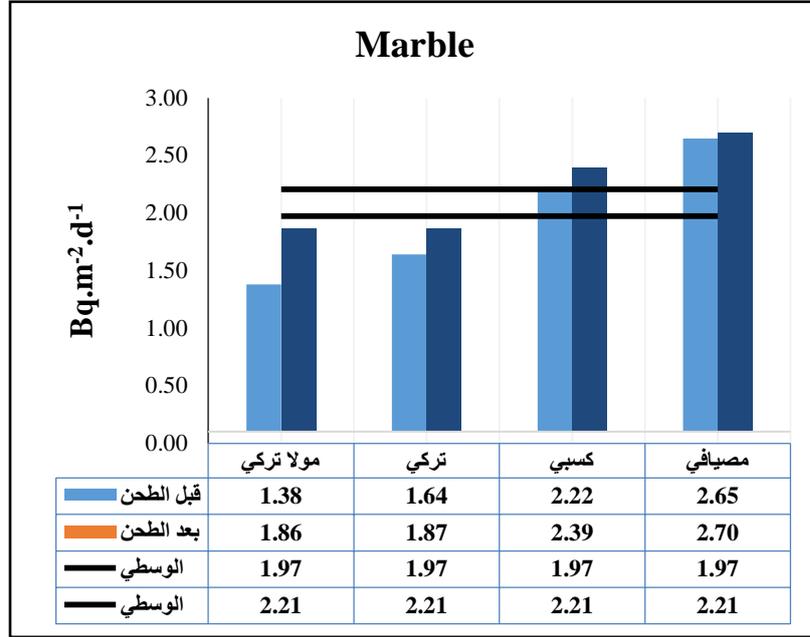
نلاحظ من الشكل (6) أن هذه العلاقة خطية من الدرجة الأولى، ويمثله مستقيم ميله $4.69 \text{ track.cm}^{-2}/\text{kBq.h.m}^{-3}$ والتي تعبر بشكل مباشر عن استجابة هذه الكواشف للتعرضات الإشعاعية، حيث يمكن استعمال هذا الميل من أجل حساب تركيز الرادون من خلال عد الأثار المتشكلة على الكاشف خلال فترة التعريض.

2- نتائج انبثاق غاز الرادون الصادر من مواد البناء الجاهز:

تُبين الأشكال التالية نتائج دراسة انبثاق غاز الرادون من مواد البناء قبل وبعد طحنها بعد أن حجزت لمدة 21 يوم وعولجت كيميائياً وعدت الأثار على الكواشف، وحُسب تركيز غاز الرادون في هواء العبوات البلاستيكية باستخدام معامل المعايرة وجرى حساب الزمن الفعال وفق العلاقة (5):

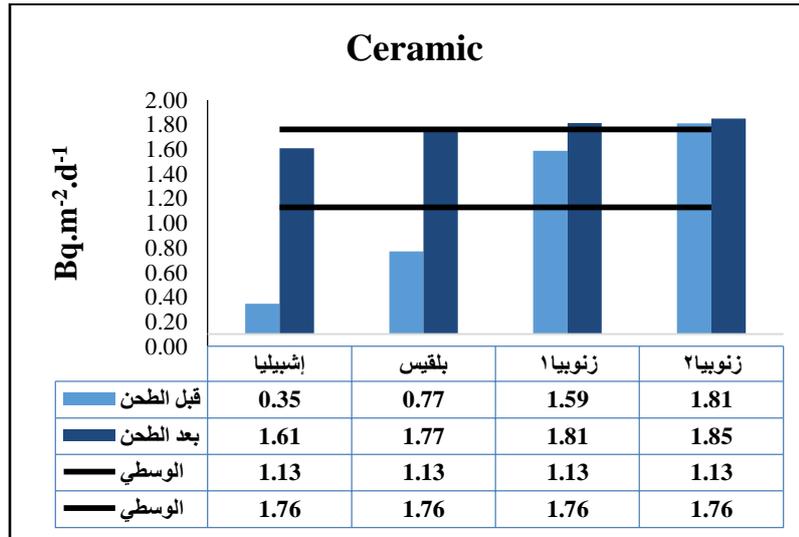
$$T_{eff} = 21 - \frac{1}{0.18} (1 - \exp(-0.18 \cdot 21)) = 15.6 \text{ day}$$

يُبين الشكل (7) نتائج معدلات انبثاق غاز الرادون من عينات الرخام المدروسة. يتضح من الشكل (7) أن أعلى قيمة لمعدل انبثاق غاز الرادون تعود لنوع الرخام المصيفي يليه الكسبي، ثم التركي، بينما أدنى قيمة لمعدل انبثاق غاز الرادون يعود للرخام مولا تركي.



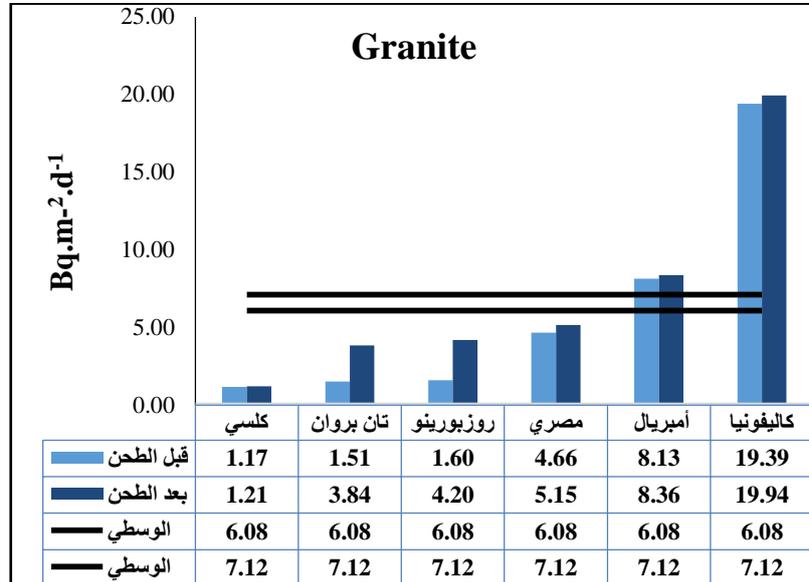
الشكل (7) انبثاق غاز الرادون من أنواع مختلفة من الرخام قبل وبعد طحنها

يُبين الشكل (8) نتائج معدلات انبثاق غاز الرادون من عينات السيراميك المدروسة. يتضح من هذا الشكل أن أعلى قيمة لمعدل انبثاق غاز الرادون تعود لنوع سيراميك زنوبيا يليه سيراميك بلقيس بينما أدنى قيمة لمعدل انبثاق غاز الرادون لسيراميك إشبيليا.



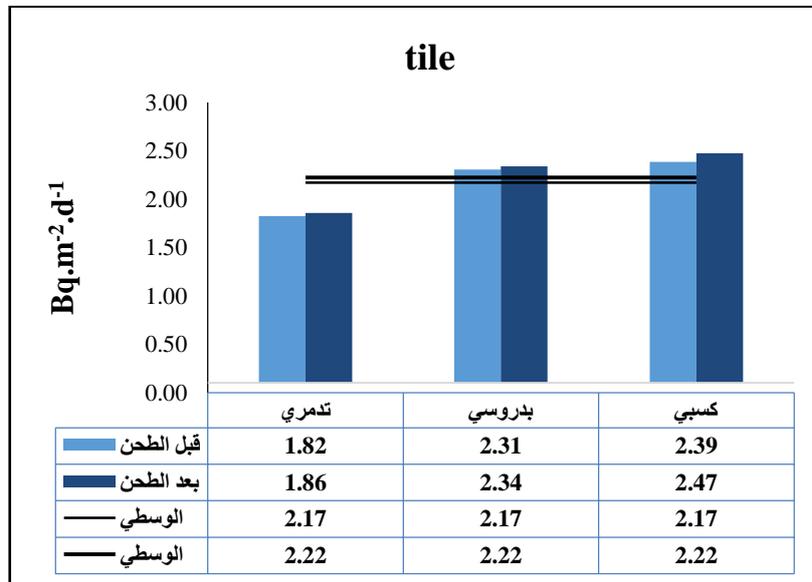
الشكل (8) انبثاق الرادون من أنواع مختلفة من السيراميك قبل وبعد طحنها

يُبين الشكل (9) نتائج معدلات انبثاق غاز الرادون من عينات الجرانيت المدروسة. يتضح من هذا الشكل أن أعلى قيمة لمعدل انبثاق غاز الرادون تعود لنوع الجرانيت الكاليفورني يليه الأميركي يليه المصري، ثم روزبورينو، ثم تان برون، بينما أدنى قيمة لمعدل انبثاق غاز الرادون سُجلت للجرانيت الكلسي.



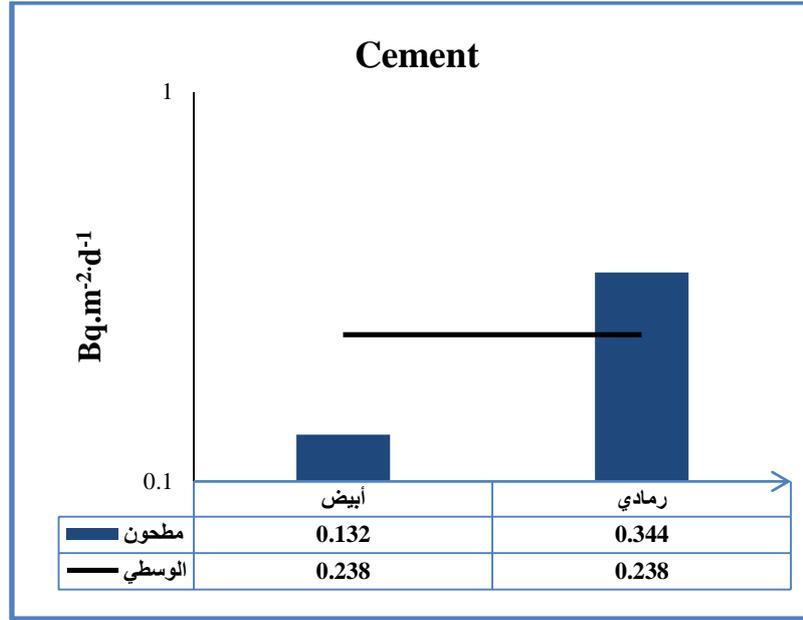
الشكل (9) انبثاق الرادون من أنواع مختلفة من الجرانيت قبل وبعد طحنها

يُبين الشكل (10) نتائج معدلات انبثاق غاز الرادون من عينات البلاط المدروسة. يتضح من هذا الشكل أن أعلى قيمة لمعدل انبثاق غاز الرادون تعود لنوع شحف كسبي يليه البدروسي بينما أدنى قيمة لمعدل انبثاق غاز الرادون لنوع التدمري.



الشكل (10) نتائج انبثاق الرادون من أنواع مختلفة من البلاط الصناعي قبل وبعد طحنها

يُبين الشكل (11) نتائج معدلات انبثاق غاز الرادون في الاسمنت الجاهز. يتضح من هذا الشكل أن الاسمنت الرمادي أعلى قيمة لمعدل انبثاق غاز الرادون من الاسمنت الأبيض.



الشكل (11) نتائج انبثاق الرادون من الإسمنت المطحون الجاهز

في كل من العينات المدروسة. (0.13-19.94) $Bq.m^{-2}.d^{-1}$ نستنتج من الأشكال السابقة أن معدل الانبثاق يتراوح حيث نجد أن الجرانيت هو أعلى معدل انبثاق وهو أكثر المواد إصداراً لغاز الرادون يليه الرخام والبلاط الصناعي، ومن ثم السيراميك والاسمنت قبل وبعد الطحن. كما أنه من الطبيعي ازدياد معدل الانبثاق بشكل ملحوظ بعد عملية الطحن وذلك لازدياد حجم المسامات فكلما زادت المسامية زاد تسرب الرادون وبالتالي معدل انبعاث الرادون من العينة يكون أكبر، بالرغم من ذلك، نلاحظ أن قيم معدلات الانبثاق في مواد البناء هي أقل (NEZNAL M, 2005) بكثير من القيم العالمية التي تم تحديدها.

(UNSCEAR, 1993) ($30 Bq.m^{-2}.d^{-1}$, $1.25 Bq.cm^{-2}.h^{-1}$)

4-3- نتائج تحديد النشاط الإشعاعي الطبيعي:

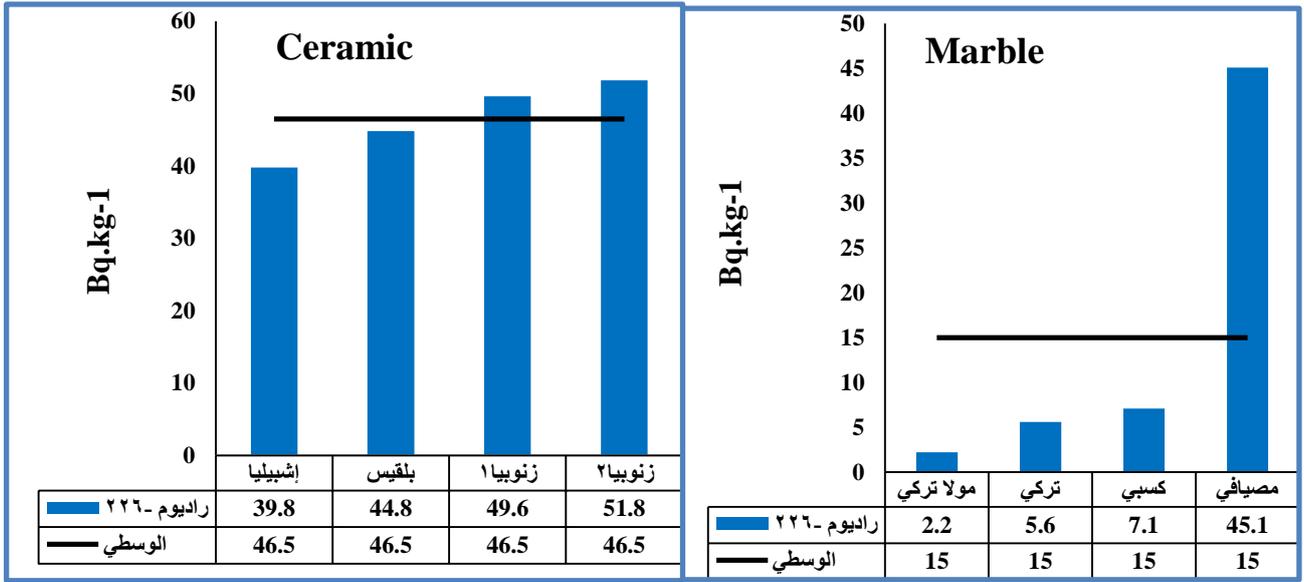
يبين الجدول (1) نتائج قياس تراكيز العناصر المشعة في كل من الرخام والسيراميك والجرانيت والبلاط العادي والاسمنت المدروسة، بشكل عام تراوح تركيز الراديوم Ra^{226} بين {2.2 بيكريل لكل كغ للرخام مولا تركي و 192 بيكريل لكل كغ للجرانيت الكاليفورني} كما كانت القيم أكبر أو تساوي قيم تركيز بنات الرادون (Pb^{214} , Bi^{214}). يتضح من هذا الجدول أن الجرانيت الكاليفورني يعطي أعلى نشاط نوعي للراديوم-226. كما هو الحال بالنسبة لسيراميك زونبيا يليه الاسمنت الرمادي والرخام المصيفي ومن ثم البلاط الكسبي، وهذا ما يبين التوافق مع نتائج معدل الانبثاق غاز الرادون كما في الأشكال السابقة (8،7،11،10،9).

الجدول (1) النشاط الإشعاعي الطبيعي في مطحون مواد البناء

النشاط الإشعاعي الطبيعي (Bq/kg)						رمز	الصف	المادة
Ra-228	Ra-224	Pb214, Bi214	Th-234	k-40	Ra-226			
0.6±0.1	0.67±0.2	35±1	27±3	9 ±1	45.1±2.0	M ₁	مصيفي	ك

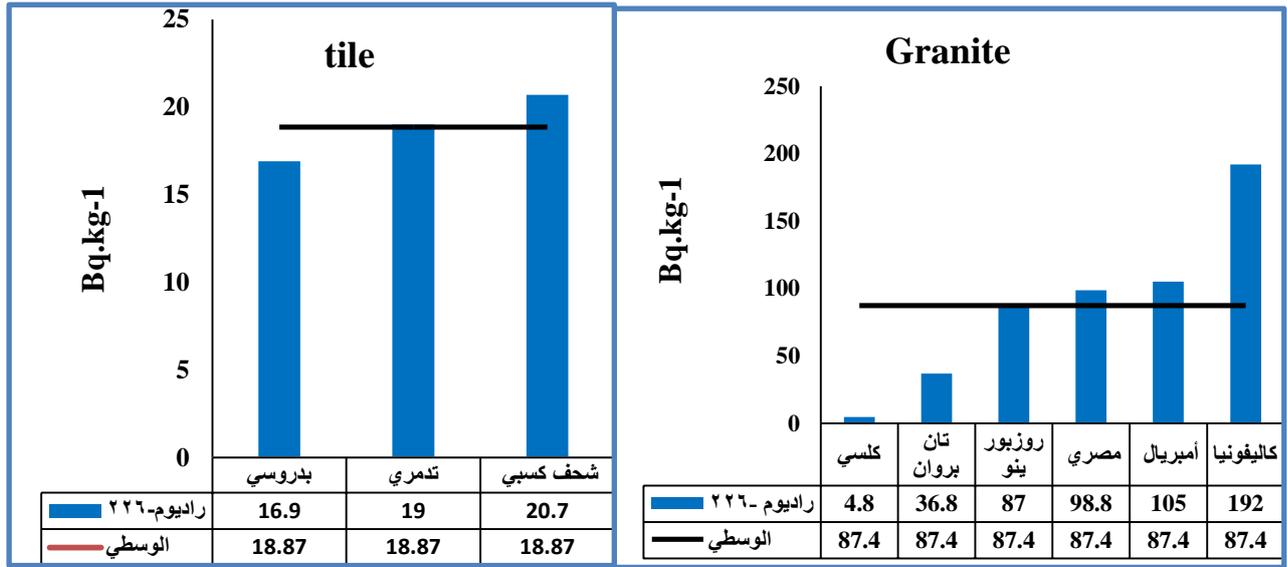
0.3±0.1	0.2±0.1	6.8±0.2	5.4±1.1	1.3±0.7	7.1±0.7	M ₂	كسبي	
0.3±0.1	0.2±0.1	2.5±0.1	2.2±0.6	2±0.5	2.2±0.4	M ₃	مولا تركي	
0.5±0.1	0.37±0.1	3.9±0.1	2.4±0.8	4.5±0.5	5.6±0.7	M ₄	تركي	
47±1.6	47±2.3	65.0±1.7	71±12	584±14	44.8±3.7	C ₁	بلقيس	السيراميك
41±1.5	42.8±1.6	53.0±2	75±10	384±10	39.8±1.9	C ₂	إشبيليا	
41.7±1.3	34±2	41.0±1	32±4	550±10	49.6±2.4	C ₃	زنوبيا 1	
45.6±1.7	42±1.6	52.0±1.7	59±8	474±13	51.8±2.5	C ₄	زنوبيا 2	
130±4	160±3	80.0±2.0	80±5	1470±23	87.0±3.0	G ₁	روزبورينو	الجرانيت
5.2±0.2	5.4±0.3	4.6±0.2	3.5±1.1	120±3	4.8±3.0	G ₂	كلسي	
262±8	235±8	142±3.5	117±8	1170±18	192±6.2	G ₃	كاليفونيا	
80±3	76±3	78.0±2.0	57±12	1300±22	105±6.2	G ₄	أمبريال	
124±4	103±3	27.0±1	15±2	1150±22	36.8±6.1	G ₅	تان بروان	
236±7	244±7	61.0±1.52	47±11	1723±28	98.8±5.2	G ₆	مصري	
1.4±0.2	1.5±0.1	14.0± 0.4	9.8±1.8	10.6±1	19.0±1.3	T ₁	تدمري	بلاط صناعي
2.0± 0.2	2.1±0.1	16.3± 0.4	12±1.8	22±1	20.7±1.2	T ₂	شحف كسبي	
1.3±0.2	1.5±0.1	15.6±0.4	14.4±2	20±1	16.9±1	T ₃	بدروسي	
5.0±0.3	5.2±0.2	6.5±0.2	5.2±1.5	138±3	9.9±1.3	Ce ₁	أبيض	اسمنت
8.2±0.3	6.7±1.1	36.5±1	34±4	126±3	45.3±1.9	Ce ₂	رمادي	

وكما يتضح من الجدول (1) نتائج قياس تراكيز بنات الرادون-222 والثوريوم-232 في العينات المدروسة: يُلاحظ من النتائج في الجدول السابق أن تركيز الراديوم-226 المحسوب عن طريق بناته في مجمل العينات هو أقل بقليل من التركيز المحسوب بشكل مباشر من الطاقة 186.2 keV. يُعزى هذا الفرق غالباً ليس فقط هروب الرادون من العيوات وإنما حجز الرادون في الفراغ البسيط في العيوات فوق مستوى العينات في العبوة. أما بالنسبة لتراكيز بنات الثوريوم-²³²Th يُلاحظ بشكل عام أنها منخفضة في العينات ذات المصدر المحلي وارتفاعها للعينات المستوردة حيث أنها وصلت إلى 244 بكرل لكل كغ في الجرانيت المصري، تم توضيح هذه النتائج بالأشكال من (12) إلى (16):



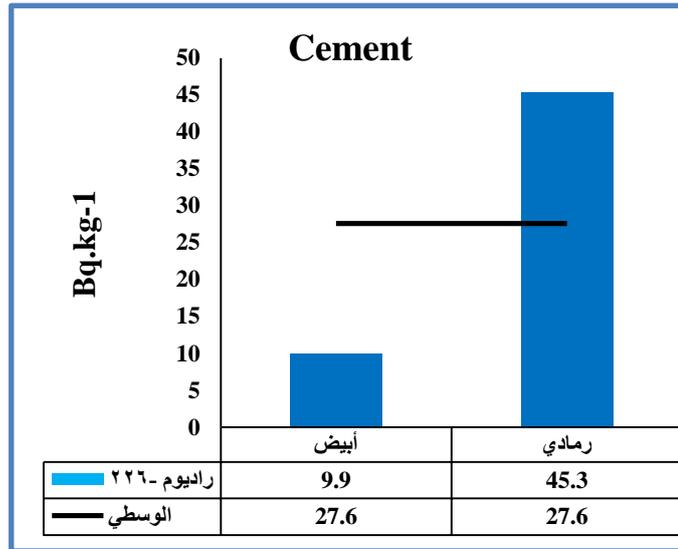
الشكل (13) تركيز الراديو-226 في السيراميك

الشكل (12) تركيز الراديو-226 في الرخام



الشكل (15) تركيز الراديو-226 في البلاط الصناعي

الشكل (14) تركيز الراديو-226 في الجرانيت

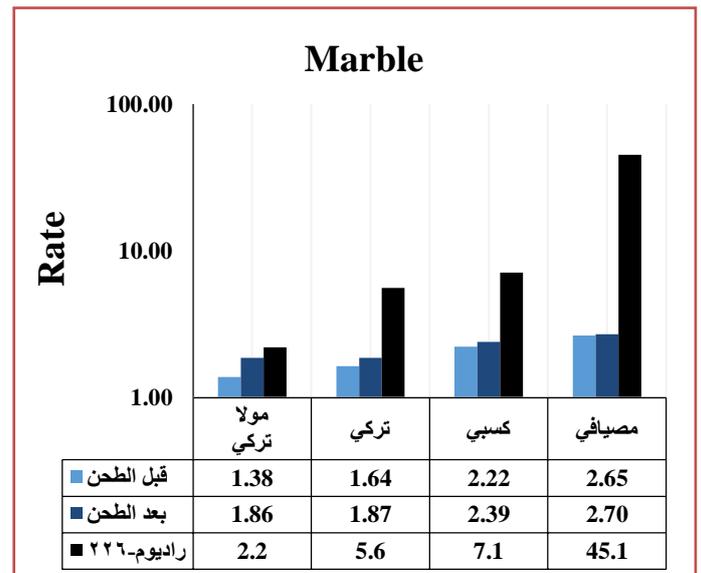
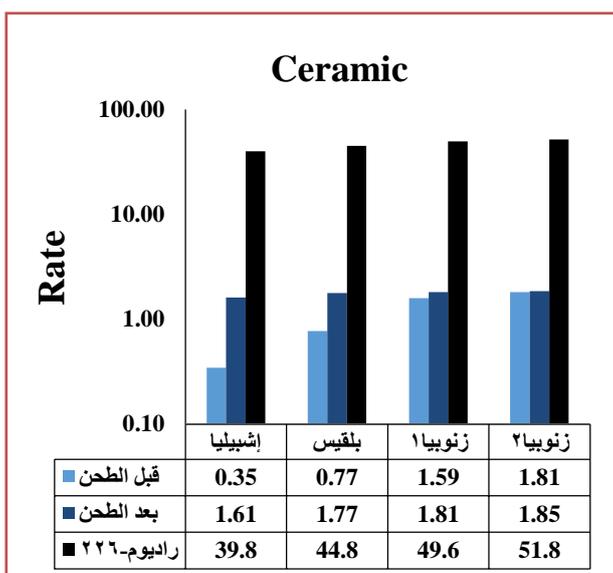


الشكل (16) تركيز الراديوم-226 في الإسمنت

نلاحظ من الأشكال السابقة أن أعلى تركيز للراديوم الفعال يعود للجرانيت يليه السيراميك والبلاط ومن ثم الاسمنت والرخام، أي وسطي محتوى الراديوم الفعال كما يلي على الترتيب هو (15، 18.8، 27.6، 46.5، 87.4) Bq/kg.

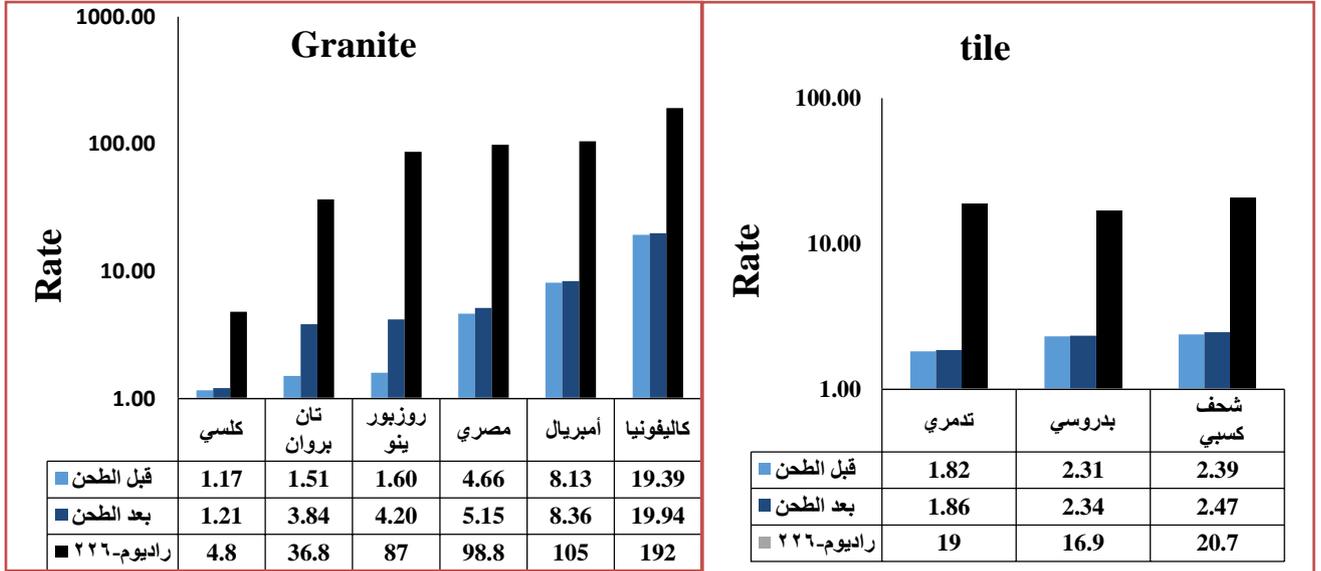
4-4- مقارنة انبثاق الرادون مع النشاط الإشعاعي الطبيعي لمواد البناء:

بعد أن جرى تحديد معدل انبثاق الرادون في مواد البناء قبل وبعد طحنها وقياس تراكيز العناصر المشعة في كل منها يُبين الشكل (17) نتائج انبثاق غاز الرادون ومحتوى الراديوم الفعال في أصناف مختلفة من الرخام والسيراميك. ويظهر أيضاً هذا الشكل التوافق بين معدل انبثاق الرادون وتركيز الراديوم الفعال في كل من الرخام والسيراميك.



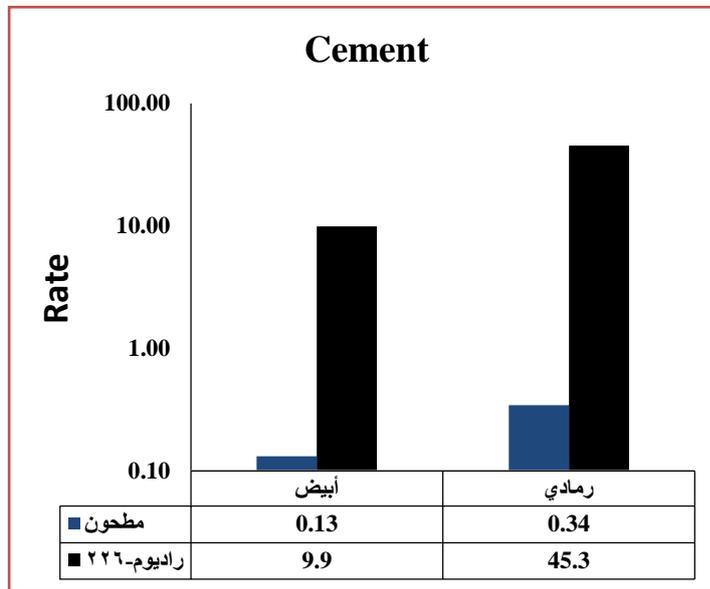
الشكل (17) معدل انبثاق الرادون ومحتوى الراديوم الفعال في أنواع مختلفة من الرخام والسيراميك

يُبين الشكل (18) نتائج انبثاق غاز الرادون ومحتوى الراديوم الفعال في أصناف مختلفة من البلاط والجرانيت. ويُظهر أيضاً هذا الشكل التوافق بين معامل انبثاق الرادون وتركيز الراديوم الفعال في كل من البلاط الصناعي والجرانيت.



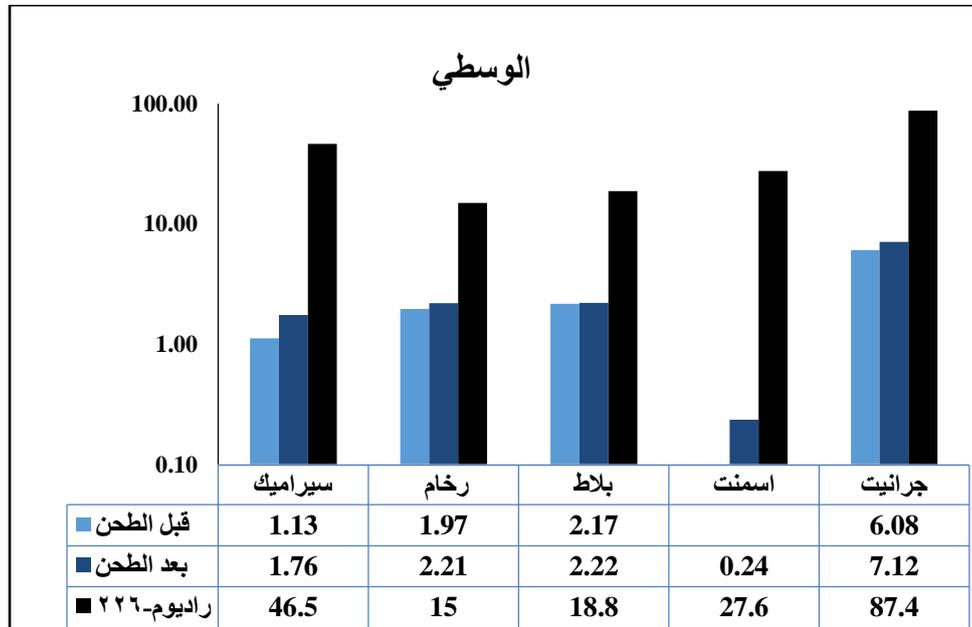
الشكل (18) معدل انبثاق الرادون ومحتوى الراديوم الفعال في أنواع مختلفة من البلاط الصناعي والجرانيت

يُبين الشكل (19) نتائج انبثاق غاز الرادون ومحتوى الراديوم الفعال في الاسمنت. ويُظهر أيضاً هذا الشكل التوافق بين معامل انبثاق الرادون وتركيز الراديوم الفعال في الاسمنت الجاهز.



الشكل (19) معدل انبثاق الرادون ومحتوى الراديوم الفعال في الاسمنت

نلاحظ من الأشكال السابقة أن متوسط معدل الانبثاق في كل من السيراميك والرخام والبلاط الصناعي بحدود (2.5-1) أما بالنسبة للجرانيت فإن معدل الانبثاق ازداد تقريبا حوالي 7 أضعاف لبعض الأنواع خاصة المستوردة. من ذلك نستنتج بأن معامل الانبثاق يتغير حسب طبيعة وخصائص تركيب المادة مثل المسامية وحجم الحبيبات لذلك نلاحظ وجود ترابط بين تركيز (EPAR, 2010). الراديوم ومعدل انبثاق غاز الرادون من مواد البناء



الشكل (20) وسطي معامل انبثاق الرادون ومحتوى الراديوم الفعال في مواد البناء

يُبين الشكل (20) أن متوسط معدل انبثاق الرادون من الجرانيت سجل أعلى قيمة مقارنة بالعينات الأخرى كما يملك أعلى نشاط نوعي للراديوم، لكن نلاحظ أن السيراميك يملك أعلى نشاط نوعي للراديوم -226 وأدنى معدل لانبثاق الرادون مقارنة بالرخام والبلاط الصناعي يعود ذلك لتقنيات تصنيع السيراميك حيث للسيراميك وجه زجاجي يمنع أو يقلل غاز الرادون من الانبثاق خارج المادة، وهذا ما يتوافق مع دراسة (Shweikani). (R, RajaG,2009) نستنتج أيضاً أن الاسمنت سجل أقل محتوى للراديوم -226 بعد الجرانيت والسيراميك مباشرة، بينما انبثاق الرادون سجل أدنى معدل للإسمنت، يليه على الترتيب البلاط الصناعي والرخام بنسب متقاربة جداً منخفض مقارنة بالإسمنت.

الاستنتاجات والتوصيات:

جرى تحديد معدل انبثاق غاز الرادون في بعض مواد البناء الجاهز التي تستعمل في الأكساء، كما جرى تحديد تركيز النشاط الشعاعي الطبيعي فيها (^{226}Ra , ^{40}K , ^{234}Th , ^{214}Bi , ^{214}Po , ^{224}Ra) من عينات مختلفة من الجرانيت والسيراميك والرخام والبلاط الصناعي والإسمنت تم جمعها من السوق التجاري. وجد أن أعلى معدل لانبثاق غاز الرادون للجرانيت الكاليفوني $19.94 \pm 1.65 \text{ Bq.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ يليه الرخام المصيفي وسيراميك زنوبيا وبلاط الكسبي، وأدنى قيمة هي للإسمنت الأبيض $0.13 \pm 0.02 \text{ Bq.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$. كما نجد أن أعلى معدل لمحتوى الراديوم الفعال يعود لجرانيت كاليفورنيا 192 ± 6.2 بيكرل/كغ وأدنى معدل يعود

للرخام مولا التركي (2.2±0.4) بيكرل/كغ وهذا ما يتوافق مع نتائج انبثاق غاز الرادون، أي نستنتج وجود علاقة ترابط بين تركيز الراديوم ومعدل انبثاق غاز الرادون من مواد البناء.

التوصيات:

من أهم طرائق الوقاية من ارتفاع تركيز غاز الرادون في المنازل:

- 1- التهوية الطبيعية والقسرية في المنازل بصورة مستمرة مع ابقاء فتحات التهوية مفتوحة طوال العام بالأماكن الضيقة أو المنخفضة السطح الموجودة أسفل المنازل وعلى جوانبها. وتوعية الناس ولاسيما المنازل القريبة من بعضها.
- 2- التحكم في ضغط الهواء داخل المنازل وذلك بزيادة التهوية وخاصة في المنازل الأرضية من خلال تركيب فتحة (منفس) لخروج الغاز أسفل الأساس ونقل الهواء الخارجي للدخل لتحسين التهوية.
- 3- إحكام غلق مصادر الرادون ومنافذ دخوله من خلال سد الشقوق والتصدعات الموجودة في أساسات الجدران والأرضيات بإحكام بواسطة الإسمنت، أيضاً يمكن طلائها بطلاء عازل من شأنه التقليل النفاذية لمنع تسرب غاز الرادون.

- 4- اختيار مواد البناء بشكل دقيق بحيث تكون قليلة النفاذية لهذا الغاز، حيث يمكن استخدام السيراميك والرخام وحتى البلاط الصناعي كمادة الأكساء بشكل عام والتقليل من استخدام الجرانيت كقواطع جدران أو أرضيات.

الأعمال المستقبلية:

- 1- توسيع الدراسة لتشمل عينات جديدة من الرخام والجرانيت ومن مواد البناء بشكل عام وإجراء القياسات عليها، بالإضافة لقياس تركيز غاز الرادون داخل المنازل.
- 2- ضرورة توسيع الدراسة السابقة بحيث تشمل القياس في مناطق التوضعات الفوسفاتية التي تحوي تراكيز عالية من المواد المشعة، ضرورة ترافق هذه الدراسة مع مختصين بهدف تحديد المنازل الأكثر خطراً والقريبة من هذه التوضعات.
- 3- تطوير موديل رياضي لدراسة انتشار غاز الرادون في مواد البناء ومقارنة نتائجها مع الدراسات العملية التي يمكن إجراؤها على هذه المواد.

References:

- UNSCEAR, "Sources and effects on ionizing radiation" *UNSCEAR Report to the General Assembly of the United Nations*, New York, November, (1994).
- K. Krane, *Introductory Nuclear physics*, John Wiley & Sons, Inc, PP. 173-188, (1988).
- Masoud Salih Khalifa, Salih Muhammad Abd al-Salam, "Measuring Radon Concentrations in Soil," Nuclear Research Center - Libya, (1996).
- (UNSCEAR), Sources and Effects of Ionizing Radiation, Report to the General Assembly, with annexes, New York, (1977).
- Environmental Protection Agency *Radon, Reference Manual*. EPAR 520/1-80- 20 Washington, DC: U.S, (2010).
- Fournier, F, Groetz, J.E, Jacob, F, Lettner, H., Chambaudet, A. and Crolet, J.M., *Study of Radon- 222 exhalation of phosphogypsum blocks used as building materials: Comparison with modeling*, *Radioactivity in the Environment*, Vol. 7, pp 582-589, (2005).
- Shweikani R, Raja G, *Design, construct test of a calibration radon chamber*. Radiation. Measurement. 40, 316-319, (2005).
- Baykara O., Dogru M., *Measurements of radon and uranium concentration in water and soil samples from East Anatolian Active Fault Systems, Turkey*, *Radiation Measurements*, 41: 362-367, (2006).

-Shweikani R, Raja G, *Radon exhalation from some finishing materials frequently used in Syria, Radiation Measurements*, Vol. 44, No 9-10, (2009).

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

-Walley El-Dine N., Ahmed F., Abdel-Haleem A.S., Measurement of radioactivity and radon exhalation rate in different kinds of marbles and granites, *Applied radiations and isotopes*, 55: 853-860, (2001).

-S L R Ellison (LGC, UK), A Williams (UK), Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement, EURACHEM/CITAC Guide, (2012).

-NEZNAL, M. *Permeability as an important parameter for radon riskclassification of foundation soils*. Annals of Geophysics, VOL. 48, N. 1, February, (2005).

-UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) Sources and effects of ionizing radiation. Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. New York: United Nations, (1993).