Libyan Agriculture Research Center Journal international 3(S), 1273-1284, 2012

The First International Conference on Water Resources of Al Jabal Al Akhdar : Reality and Prospective / 05-07 June / 2012.

Radon in Water

Suad Faraj Al-Orabi and Najat Ali Chahboune

Abstract: Radon is a radioactive gas , occurring naturally and produced from radioactive decay of naturally radiating radium element, emitting alpha particles, and it has a half-life of 3.82days (T½ = 3.82d). As radon itself decays, it produces radioactive isotopes, giving alpha particles; the most important isotopes are polonium heavy metals (^{214}Po و ^{218}Po) with very short half-life (3.05m & 164 µs, respectively). Radon is the main source of natural radiation as it contributes with about more than 60% of the annual radiation dose to which human is supposed to on earth. As a noble gas, Radon has the ability to spread through solids and air mixing with air. Radon accumulation in enclosed places or places with low ventilation to high concentrations causes high troubles due to its heavy elements isotopes (214Po and 218Po) as they enter the human respiratory tract during the breathing process. Radon is the second cause after smoking for lung cancer, studies also showed that exposuring to radon in houses in Europe increases the risk of lung cancer by 16% as radon concentration increases by 100 Bq/m^3, and radon risk is directly proportional to the increase in the rate of radon exposure. The presence of radium (^{226}Ra) as a result of the normal radioactive decay chains of the natural uranium (^{238}U) within the components of the earth's crust, and the ability of radon as a noble gas to penetrate solids makes radon is everywhere environmentally . Soil is the most important sources of radon to the environment, and water role depends on the nature of the rock layers in contact with groundwater. Radon dissolves with water, depending on the temperature of the water. According to the U.S. Environmental Protection Agency, 10000 pCi / L of radon gas concentration in water increases its concentration in the air by 1 pCi / L in the case of normal use of drinking water at homes. This paper aims to introduce radon gas as the most important natural radiation sources in the environment ,and to raise awareness of its dangers to public health and to emphasize the importance of measuring its concentration in the local environment.

Key words: Radon- Water

الرادون في المياه

م.سعاد فرج العرابي[1] ، نجاة علي شهبون[2]

الخلاصة:

الرادون غاز ذو منشأ طبيعي ينتج من التفكك الإشعاعي لعنصر الراديوم المشع طبيعياً وتنبعث منه جسيمات ألفا وهو ذو عمر نصف يساوي T½ = 3.82d. للرلدون ولائد غير غازية تتفكك فينبعث منهم جسيمات ألفا أهمها نظيري البولونيوم (^{214}Po و ^{218}Po) وهما عنصران ثقيلان ولهما عمري نصف قصيرين جداً (3.05m & 164 µs ،على التوالي).يعتبر الرادون المصدر الرئيسي للخلفية الاشعاعية الطبيعية حيث يساهم بحوالي أكثر من 60% من الجرعة الإشعاعية السنوية التي يتعرض لها الإنسان على وجه الأرض. كغاز خامل له القدرة على الانتشار خلال المواد الصلبة والاختلاط بالهواء الجوي ، وقد يؤذي تراكمه

[1] باحثة فيزيائية ،إدارة الفيزياء وعلوم المواد مركز البحوث النووية، تاجوراء، ليبيا sf_elarabi@yahoo.com .
[2] - أكاديمية الدراسات العليا

بالأماكن المغلقة أو الأماكن التي تنخفض فيها التهوية إلى تركيزات عالية. يدخل غاز الرادون إلى الجهاز التنفسي للإنسان أثناء عملية التنفس .يكمن خطر الرادون على صحة الإنسان في وجود ولائده كعوالق بالهواء الجوي التي تعتبر عناصر ثقيلة (^{214}Po و ^{218}Po). الأمر الذي يجعل إحتمالية إتصاقهما بجدار الرئة عند دخولهما إلى الجهاز التنفسي أمرا مؤكداً. تشير الدراسات المتعلقة بعلوم الأوبئة أنْ غاز الرادون هو المسبب الثاني بعد التدخين للإصابة بسرطان الرئة . كما أظهرت دراسات تقيم خطر التعرض للرادون بالمنازل بأوروبا أن خطر االإصابة بسرطان الرئة يزداد بحوالي 16% كلما زاد تركيز الرادون بمقدار Bq/m^3 100 وأن خطر الرادون يتناسب طرديا مع الزيادة في معدل التعرض للرادون[1].

وجود الراديوم (^{226}Ra) كأحد ولائد سلسلة التفكك الإشعاعي لليورانيوم الطبيعي (^{238}U)ضمن مكونات القشرة الأرضية وقدرة الرادون كغاز خامل على النفاذ من المواد الصلبة يحثم وجود الرادون بكل مكان بالبيئة. تعتبر التربة أهم مصادر الرادون بالبيئة ويساهم الماء بدور يعتمد على طبيعة الطبقات الصخرية الملامسة لمخزون المياه الجوفية .يذوب الرادون بالماء ويعتمد معدل الذوبان على درجة حرارة المياه. تفيد وكالة حماية البيئة الأمريكية بأن 10,000 pCi/L من تركيز غاز الرادون بالماء تؤذي إلى زيادة معدله بنسبة 1 pCi/L في الهواء بالداخل في حالة الإستخدام العادي لمياه الشرب بالمنازل[2].

تهدف هذه الورقة التعليمية إلى التعريف بغاز الرادون كأهم المصادر الإشعاعية الطبيعية في البيئة والتوعية بمخاطره على الصحة العامة والتأكيد على أهمية إجراء القياسات على تركيزه بالبيئة المحلية.

مقدمة:

النشاط الإشعاعي ظاهرة طبيعية والعناصر المشعة طبيعياً في البيئة ينبعث منها أنواع مختلفة من الإشعاع المؤين منها جسيمات ألفا وبيتا وإشعاعات جاما. أغلبية العناصر التي ينبعث منها جسيمات ألفا تنتمي إلى سلاسل انحلال نظيري اليورانيوم(^{235}U و^{238}U) ونظير الثوريوم (^{232}Th). أهم نظير لعنصر الرادون من الناحية الإشعاعية هو الرادون (^{222}Rn) المنحدر من سلسلة اليورانيوم (^{238}U) الشكل (1) يوضح سلسلة التفكك الإشعاعي لليورانيوم الطبيعي (^{238}U)الذي يعتبر وليدة نظير الراديوم (^{226}Ra)المشع طبيعيا. عند التفكك الإشعاعي للراديوم (^{226}Ra) تنبعث منه جسيمات ألفا فينتج نظير الرادون (^{222}Rn)المشع أيضا طبيعياً والذي تنبعث منه جسيمات ألفا وهو ذو عمر نصف 3.82 يوم .الشكل (2) يوضح نسبة ما يساهم به الرادون في الجرعة الإشعاعية السنوية مقارنة بالمصادر الإشعاعية الطبيعية الأخرى[3]. تؤكد الدراسات أن هذه الواليدات للرادون من باعثات ألفا هما المسبب المحتمل في ارتفاع نسبة المصابين بسرطان الرئة بين عمال المناجم في بعض الدول الأوربية وأمريكا الشمالية [4] ، كما تؤكد النتائج تحليل البيانات مجتمعة حول التعرض للراد ون بالمنازل في كل من الصين وأوروبا وأمريكا الشمالية أن الرادون بالمنازل يساهم في الإصابة بسرطان الرئة على مستوى العالم .على ضوء هذه الدراسات صنفت الوكالة الدولية لبحوث السرطان (IARC) والبرنامج الوطني للسمية بالولايات المتحدة الرادون مسبب لسرطان الرئة بالإنسان [5].

كما أظهرت دراسات تقيم خطر التعرض للرادون بالمنازل بأوروبا أن خطر االإصابة بسرطان الرئة يزداد بحوالي 16% كلما زاد تركيز الرادون بمقدار Bq/m^3 100 وأن خطر الرادون يتناسب طرديا مع الزيادة في معدل التعرض للرادون[1].

كما يقدر أن متوسط تعرض عند تركيز Bq/m^3 59 يؤذي إلى 9% من الوفيات في السنة بسبب سرطان

الرئة الناتج من التعرض للرادون بالمنازل في أوروبا [4].
إن التوافق في النتيجة بين الدراسات الأوروبية والأمريكية حول تقييم خطر الرادون على الصحة العامة يشير بوضوح إلى ضرورة الاستجابة إلى إجراءات وقائية ضد الرادون على مستوى العالم [1،5].

مصادر غاز الرادون في البيئة:

تعتبر التربة والصخور والماء والمواد المصنعة من مكونات القشرة الأرضية هم المصادر الأساسية للرادون.

1- التربة والصخور:

تقدر نسبة الرادون المنبعثة من الطبقة العليا من القشرة الأرضية بحوالي 80% من إجمالي الرادون المنبعث إلى الوسط الخارجي[6]، لذلك تعتبر التربة هي المصدر الرئيسي للرادون في البيئة. بشكل عام فإن الصخور الموجودة في القشرة الأرضية تحوي حوالي 1pCi/g والتربة حوالي 0.7 pCi/g [7]. إن وجود اليورانيوم-238 وبالتالي الراديوم-226 ضمن مكونات التربة والصخور هو السبب في انبعاث الرادون. تختلف كمية اليورانيوم من مكان إلى أخر حسب الطبيعة الجيولوجية للمكان . عند تفكك أي ذرة راديوم موجودة في حبيبات التربة أو الصخور سيؤذي ذلك إلى تسرب ذرة من الرادون إلى الوسط الخارجي ويعتمد ذلك على معدل الإنبثاق .

إن خروج الرادون من حبيبة التربة يكون نتيجة الارتداد الذي يحصل عندما تتفكك ذرة الراديوم مطلقة جسيمة ألفا [8]. إن كمية انبعاث الرادون من التربة تعتمد على مسامية ورطوبة التربة [9]. كلما كان مكان إنتاج هذه الذرة قريب من سطح التربة زاد احتمال تسربها إلى الوسط الخارجي وكلما زادت كمية الرادون المتحرر من حبيبات مادة التربة زاد معدل تسربه عبر مسامات التربة إلى الوسط الخارجي. أظهرت العديد من الدراسات حول تأثير الرطوبة على معدل انبعاث الرادون من التربة أن معدل الانبعاث يزداد مع زيادة الرطوبة حتى نسبة 18% ثم ينخفض كلما زادت الرطوبة عن هذا المستوى [10] . يدخل الرادون بين حبيبات التربة نتيجة ارتداد ذرة الرادون الناتجة من تفكك الراديوم ، فإذا كان الوسط جاف فإن ذرات الرادون المرتدة قد تطمر في الحبيبات المجاورة بينما عندما تحتوي مسامات التربة على الماء فإن ذرات الرادون المرتدة ستتوقف لأن مدى ارتداد الذرات في الماء أقل من مداها في الهواء [11].

2 -الماء:

يعتبر الرادون متوسط الذوبان في الماء. يزداد معدل الذوبان كلما كانت درجة حرارة الماء منخفضة. تمتص المياه الجوفية كميات من الرادون عند مرورها على الطبقات الصخرية والتربة بباطن الأرض، وعند تدفق الماء أو تعرضه لارتفاع في درجة حرارته فهذا يساعد على تحرر الرادون منه. حيث تتغير معدل ذوبان الرادون بالماء عند الضغط الجوي العادي مع تغير درجة الحرارة فيزداد ذوبان الرادون بالماء مع انخفاض درجة الحرارة والجدول (1) يوضح إنخفاض معدل الذوبان على إرتفاع درجة الحرارة [12].

تعتمد كمية الرادون المتحرر من الماء عند استعماله بشكل عام على عاملين أساسيين:
العامل الأول يتعلق بالمواصفات الجيولوجية للطبقات الجوفية حيث يوجد مخزون الماء. والعامل الثاني يعتمد على استخدام الماء مباشرة من الآبار الجوفية أو بعد تخزينه لغرض التنقية والمعالجة قبل استخدامه كما هو الحال في الشبكات العامة للمياه .حيث يؤذي تخزين الماء قبل استخدامه إلى خفض تركيز الرادون به وذلك

لتفكك الرادون ووليداته بالماء أثناء فترة التخزين.أما استخدام الماء مباشرة من الآبار فيؤذي إلى رفع مستوى تركيز الرادون بأماكن الاستخدام خاصة إذا كان تركيز الرادون بالماء عالياً[13].
وقد أصدرت منظمة الصحة العالمية لسنة 2004 و المفوضية الأوروبية توجيهيات بخصوص نوعية مياه الشرب بضرورة تكرار القياسات إذا كانت نسبة غاز الرادون في مياه الشرب تجاوزت 100 pCi/L.وأما في الولايات المتحدة فإن 150 pCi/L يعتبر الحد الأعلى من تركيز غاز الرادون الملوث في مياه الشرب.بالنسبة لامدادات المياه العامة فإن المفوضية الأوروبية أوصت بإتخاذ إجراءات المعالجة إذا تجاوزت نسبة الرادون في هذه مياه الشرب 1000 pCi/L.وعندما يتجاوز تركيز غاز الرادون في مياه الصنبور 1000 pCi/Lيساهم في زيادة نسبة الرادون في الهواء الداخلي من (37-74) pCi/L [14].
عملية تحرر الرادون من الوسط بالبيئة الجيولوجية يعتمد بصورة عامة على وفرة النظير الأم (^{238}U) بالمحيط الصخري أي أن تركيزالرادون يتناسب طردياً مع تركيز اليورانيوم بالمحيط الصخري للماء.

- تفيد بعض الدراسات إن متوسط تركيز غاز الرادون في المياه التي مصدرها أبار سطحية حوالي 0.4 Bq/L وفي المياه العامة والتي مصدرها مياه جوفية 20 Bq/L ،بينما يصل تركيز الرادون ببعض الآبار إلى مستويات عالية تصل إلى 400 ضعف المتوسط بل يصل في بعض الحالات إلى حوالي 10 kBq/L[13].

3.مواد البناء:

تحوي مواد البناء المصنوعة من مكونات التربة والصخور مثل الإسمنت والبلوك على عناصر مشعة ذات منشأ طبيعي مثل اليورانيوم والراديوم وبالتالي فهي تولد الرادون. الرادون كغاز خامل له القدرة على الانتشار خلال هذه المواد والتسرب إلى الوسط الخارجي ،الإهتمام بقياسات الرادون بالمنازل والمياه وذلك حفاظاًالصحة العامة . يعتبر الخشب من مواد البناء التي تحتوي على كمية منخفضة جداً من الراديوم ولا يعتبر مصدراً للرادون [15]. يبين الجدول (2) معدل انبعاث الرادون من بعض مواد البناء المحلية وغير المحلية [18,17,16]. تختلف كمية الرادون الصادرة من عينة لأخرى ليس فقط باختلاف نوع مادة البناء ؛ بل حتى باختلاف العينات لنفس الصنف من مواقع مختلفة ، وهذا يرجع إلى الاختلاف في تركيز اليورانيوم بالعينات [19].

غاز الرادون في المنازل:

إن تركيز الرادون والعناصر المتفككة منه في هواء المساكن يعتمد على معدل انبعاثه من مصادره المتمثلة أساسًا في التربة المقام عليها البناء وما قد يتحرر من الماء إثناء الاستعمال اليومي. إلا أن التهوية تعتبر من أهم العوامل التي تعمل على خفض مستوى تركيز الرادون بالمباني وبالتالي تصميم المبنى وعادات السكان لهما أيضا تأثير مباشر على تركيز الرادون. لذلك فان تركيز الرادون في المنازل يتغير من فصل إلى آخر، ومن شهر إلى شهر ومن يوم إلى يوم حتى بين النهار و الليل [21,20].الشكل (3) يوضح المنافذ التي يتسرب منها الرادون المنبعث من التربة إلى داخل المنزل والمتمثلة في الشقوق والتصدعات إن وجدت ومنافذ التوصيلات الكهربائية وتمديدات دوائر الماء وكنتيجة للاستعمال اليومي للماء والغاز الطبيعي بالإضافة إلى ما ينبعث من مواد البناء.

- المخاطر الصحية لغاز الرادون:(Health Hazard of Radon)

إن التعرض للإشعاع الذري بمختلف مستوياته أمر غير مرغوب فيه والتأثيرات البيولوجية للإشعاع عند التعرض لجرعات عالية قد يؤذي إلى درجة الهلاك. هناك طريقتان يمكن للرادون ونواتج تفككه أن يدخلوا جسم الإنسان هما: الجهاز التنفسي والجهاز الهضمي، فالأخير لا يمثل خطورة لان وجود الطعام في المعدة ولو بسمك في حدود المليمتر يمكن أن يوقف معظم جسيمات ألفا الناتجة عن تفكك الرادون ووليداته[22].أما في حالة استنشاق وليدات الرادون العالقة بالهواء والقصيرة عمر النصف فإنها إذا دخلت إلى الجهاز التنفسي تلتصق بجدار الرئتين ، وإذا ما وصلت إلى الجزء السفلي من الرئتين الخالي من الاغشيه المخاطية فإن جسيمات ألفا الناتجة عن تفكك نظيري البولونيوم (Po^{214} وPo^{218}) تعطي جرعة إشعاعية مباشرة للنسيج الخلوي بالرئتين[24,23]. أما الرادون في حد ذاته فهو غاز ثقيل ذو عمر نصفي كبير مقارنة بالدورة التنفسية وبالتالي يمكن أن يدخل ويخرج من الرئتين أثناء عملية التنفس. و قد أوضحت الدراسات أن الجرعة التي تتلقاها الرئة نتيجة تعرضها للرادون أكبر من 2 إلى 3 مرات من تلك التي تتلقاها المعدة نتيجة الهضم[25- 26].

ان تقييم الخطر الصحي الناجم عن التعرض للرادون أصبح محل اهتمام بسبب اكتشاف الرادون كمصدر مسبب في ارتفاع نسبة الإصابة بسرطان الرئة بين عمال المناجم. اهتم الباحثون والمنظمات المختصة بالصحة والوقاية الإشعاعية البيئية خلال النصف الأخير من القرن التاسع عشر بدراسة تركيز الرادون بالأماكن المأهولة بالسكان كالمنازل لمعرفة مستويات التعرض بالمنازل واتخاذ الإجراءات الوقائية لحماية عامة الناس من خطر التعرض لمستويات عالية من الرادون إن وجدت. إن تقدير مخاطر الإصابة بسرطان الرئة بسبب استنشاق الرادون ووليداته مبنية على دراسة ظهور السرطان بين عمال مناجم اليورانيوم في كل من كندا والولايات المتحدة الأمريكية وعمال مناجم الحديد في السويد وعمال مناجم اليورانيوم في تشيكوسلوفاكيا. ولم يكن يُعتقد قديما أن الرادون يشكل خطراً على الصحة في الأماكن الأخرى البعيدة عن المناجم لقلة تركيزه فيها، ولكن اكتشف أن تركيزات الرادون في بعض البيوت تتفاوت بمقدار مائة ضعف على الأقل تبعاً لتركيبها وموقعها. وهذا يعني إمكانية أن تصل التركيزات العالية منه في بعض المساكن الى مستويات يمكن مقارنتها بتركيزه في المناجم .أثبتت الدراسات أن الرادون ووليداته من باعثات ألفا هم المسبب في زيادة نسبة الإصابة بسرطان الرئة بين عمال المناجم بأمريكا الشمالية وأوربا [2].

إعتمدت هذه النتائج على تقييم خطر الرادون من خلال البيانات المتحصل عليها من تعرض عمال المناجم لغاز الرادون خلال فترات عملهم. الشكل (4) يوضح نسبة أسباب حالات الوفاة في الولايات المتحدة .

أثبتت الدراسات إن العلاقة بين التعرض للرادون وخطر الإصابة بسرطان الرئة علاقة خطية الأمر الذي يؤكد أهمية إجراء القياسات على تركيزه بالأماكن المأهولة بالسكان.

طرق قياس غاز الرادون:

يوجد طريقتان لقياس غاز الرادون بالهواء هما:

الطريقة الإيجابية(Active method):

وفيها تستخدم أجهزة القياس التي تتطلب مصدر طاقه كهربائية مثل خلية لوكس والمحاليل الومّاضه.

تعطي كل الطرق الايجابية مستوى تركيز آني للرادون لان زمن القياس قصير وبالتالي نتيجة القياس تكون معبره عن تركيز الرادون اللحظي ولا تعطي متوسط لتركيز الرادون بمكان القياس لان تركيز الرادون يتغير بين لحظة وأخرى بالعوامل التي سبق الإشارة إليها.

الطريقة السلبية(Passive method):

وتستخدم في هذه الطريقة كواشف الأثر النووي البلاستيكية. تعتمد هذه الطريقة على طبيعة تفاعل جسيمات ألفا مع مادة الكاشف وبالتالي فهما من أكثر الطرق إستخداماً لإنها تعطي عد تراكمي على مدى طويل من الزمن يمكن عن طريقه الحصول على متوسط التعرض للرادون خلال سنة كاملة.

تترك جسيمات ألفا بالهواء المحيط بالكاشف أثر تخريبي بمادة الكاشف البلاستيكي ، هذا الأثر يمكن تكبيره باستخدام مادة كيميائية مناسبة تعمل على حك الكاشف (تأكل مادة الكاشف) بحيث يتم تكبير الآثار وعدّها تحت مجهر ضوئي.

مستويات التدخل العلاجي للرادون :(Remedial Action level)

بعد أن ثبت علمياً أن الرادون هو أحد مصادر الإصابة بسرطان الرئة، عمدت الجهات المختصة بالصحة العامة والمنظمات الدولية المهتمة بحماية البيئة بالدول المتقدمة إلى إرشاد العامة بخطورة غازالرادون وطرق خفض تركيزه بالأماكن المأهولة بالسكان . توصي الوكالة الأمريكية لحماية البيئة EPA قدمت توصية بضرورة اتخاذ إجراءات علاجية (remedial action) للمنازل تؤدي إلى خفض مستوى تركيز الرادون بها إذا زاد تركيز الرادون عن $148Bq/m^3$ (4pCi/l) وسمي هذا" بمستوى التدخل"، في حين رفعت بريطانيا مستوى التدخل إلى$200Bq/m^3$ (5.4pCi/l)، وألمانيا إلى $250Bq/m^3$ (6.7pCi/l) [27]. الجدول (3) حدود التدخل العلاجي لتركيز الرادون وفقا لتوصيات المنظمات الدولية المختصة بالصحة العامة وحماية البيئة [28].

الإجراءات العلاجية لتخفيض تركيز غاز الرادون في المنازل:

هناك العديد من الوسائل المتبعة لتخفيض تركيز غاز الرادون داخل المنازل.معظم هذه الوسائل تهدف إلى خفض مستوى تركيز الرادون داخل المنازل مباشرة عن طريق التهوية مثلا أو الإقلال من نسبة الرادون المتسرب إلى داخل المنزل من التربة الواقع عليها المبنى عن طريق اتخاذ بعض الإجراءات الوقائية أثناء فترة تصميم وتنفيذ البناء مثل رفع مستوى أرضية البناء إلى مستوى مرتفع نسبة إلى سطح الأرض وهذا يسمح بحركة الهواء تحت المبنى وبالتالي خفض نسبة الرادون المتسرب إلى الداخل أو وضع أغشية بلاستيكية متينة تحت أساس المبنى تعيق تسرب الرادون من التربة. في بعض الحالات الاستثنائية عندما تكون التربة بموقع البناء ملوثة بمخلفات مناجم الفوسفات الغنية باليورانيوم فان استبدال التربة بأخرى غير ملوثة له فعالية كبيرة في تخفيض مستوى تركيز الرادون في هواء المنزل. أما في الحالات التي يكون فيها المبنى قديم فان أفضل الطرق لخفض مستوى الرادون به هي زيادة التهوية وسد الشقوق والفتحات بالحوائط وبأرضية البناء التي يمكن أن يتسرب من خلالها الرادون إلى داخل المنزل. تتفاوت الإجراءات العلاجية المشعة لخفض مستوى تركيز الرادون في المنازل من حيث تكلفتها المادية[29] و الجدول (4) يوضح أمثلة عن الإجراءات العلاجية لخفض نسبة الرادون المتسرب إلى المنازل.

برامج قياس مستوى الرادون:

تقوم هيئات حماية البيئة في الدول المتقدمة بإجراء فحوصات دورية للمدارس والمباني بمختلف أنواعها لتعين مستوى الرادون ومعالجة زيادة مستواه, كما تقوم هذه الهيئات برسم ونشر خرائط تبين مستويات الرادون في عموم بلدانهم , كما أنها تضع التعليمات والشروط اللازمة لبناء الأبنية لتفادي تغلغل الرادون داخلها, وتضع برامج لمعالجة زيادة مستوى الرادون في البيوت كإصلاح الخلل أو عمل نظام تهوية يمنع تركز الرادون داخل البيوت, وتحذر من أستخدام مياه الأبار المحفورة قرب المناطق الزراعية قبل التأكد من مستوى

الرادون فيها. وهذه المنظمات توعي المواطنين بأهمية الموضوع إلى درجة أنه لا يتم شراء بيت إلا بوجود وثيقة فحص مستوى الرادون التي تثبت أن مستوى الرادون ضمن الحدود المقبولة.
على المستوى المحلي فقد قام الباحثون بمركز البحوث النووية بوضع برنامج لإجراء قياسات الرادون في البيئة المحلية إستهدفت في مراحله الأولى إجراء قياسات على تركيز الرادون بالمنازل في بعض المدن الليبية [30،31] وتجرى الآن دراسات حول تركيز الرادون بالتربة في بعض المناطق بليبيا وفي هذا الإطار سيتم وضع برنامج لقياسات الرادون بالمياه قريباً.

المراجع:

[1]-Darby S.et.al. Radon in house and risk of lung cancer :collaborative analysis of individual data from 13 European case control studies .British Medical Journal ,2005,330(7845):223.
[2]- Radon Occurrence and Health Risk R. William Field, Ph.D., M.S. 104 IREH University of Iowa Iowa City, IA 52242).

[3]- Tanner , A . B ., the Natural Radiation Environment , University of Chicago press , Chicago , 1964
[4]- رياض شويكاني (2007) " غاز الرادون منشأه ،خصائصه ، سلوكه وأخطاره " هيئة الطاقة الذرية السورية ، قسم الوقاية والأمان.
[5]-Beloon M. Kingsley B, klolmes A. Risk factors for a cute leukemia in clutter: a review, Environmental Health Properties, 2007, 115:138-145.
[6]-United Nations Scientific C ommittee on Effects of Atomic Radiation "Sources and Effects of Ionizing Radiation," 1977 Report to the General A ssembly , with Annexes , No. E 77.1.X.1, NY.
[7]- National Council for Radiation Protection and Measurements (1976), Environmental Radiation Measurements, NCRP Report No . 50 (Bethesda, MD: NCRP).
[8]- Tanner A . B .(1964).Radon migration in the ground : areview . the Natural Radiation Environ ment .University Of Chicago ,161-190.

[9]- Ball T . K ., Cameron D . G., Colman T . B .and Roberts P.D.(1991), Behaviour of radon in the geological environment: areview . Quarterly J .Engineering Geology, 24,169-182
[10]- Karamdoust N.A., (1989), Parametric in Vestigations and Various applications of SSNTDS in the environmental and basic fields . ph D thesis, school of physics and space Research, the University of Birming ham .
[11]- Stranden E ., Kolstad A . K .and Lind B.,(1984) ,Radon exhalation :Moisture and temperature dependence , Health phys .,47,3-
[12] -غسان رجا (2007) " غاز الرادون في الماء وطرائق قياسه" هيئة الطاقة الذرية السورية ، قسم الوقاية والأمان.

[13] - درويش العازمي "غاز الرادون في التربة والماء" دورةغاز الرادون فى البيئة الكويت 8-12 نوفمبر 2009 الهيئة العربية للطاقة الذرية بالتعاون مع وزارة الكهرباء و الماء و الهيئة العامة للتعليم التطبيقى و التدريب.

[14]- http://www.allcountries.org/health/radon_and_cancer.html

[15]- Ingersol , J.G.,"A survey of Radionuclide contents and Radon Emanation Rats in Building Materials Used in the United States ," Lawrence Berkeley Laboratory , LBL-11771,May 1981.

[16]- Paper Radon Exhalation rate from various Building materials Ching – Jiam chen , pao - shan Weng , and Tiehchi Institute of Nuclear science, Narional Tsing Hua University , Hsinchu, 300,R.O.C

[17]- Measurement of Radon Exhalation rate from some Building materials paper also presented at VIIIth Radiation physics symposium held at habha Atomic Research centre ,Bombay ,14-17 January 1990.

[18]- Saleh . M . S measurement of Radon Exhalation rate from various local Building materials using solid state nuclear track detectors a thesis submitted for master of science in physics . University of alfath Libya.

[19]- Megumi , K . and T . Mamuro . Radon and thoron exhalation from the ground . J . Geophys . Res. 78(11):1804-1808 (1973).

[20]- Davies B. L. and Forward, (1970), J. Health Phys., 19, 136.

[21]- Toohey R . Essling M . Morkun F. and Rundo, (1985), J. Environmental Radiation Protection, Proc. Mid Year Symposium of Health Physics Society (Laramie W. Y.: Health Physics Society) .

[22]- Land and Water Resources Center . (1986) . Radon in Water and Air – Health , Risk , and Control Measures , Orono , ME : Univ . of Maine .

[23]- D . A . Holaday . Health phys .16,p.547 (1969).

[24]-Anthony Nero . physics Today , p.32 April (1989).

[25]-McPherson R. B., (1980), Environmental Radon and radon daughter dosimetry in the respiratory tract. Health Phys., 39, 929-936.

[26]-Crawford-Brown D. J., (1987), Age-dependent lung doses from ngested Rn-222 in drinking water. Health Phys., 52, 149-156.

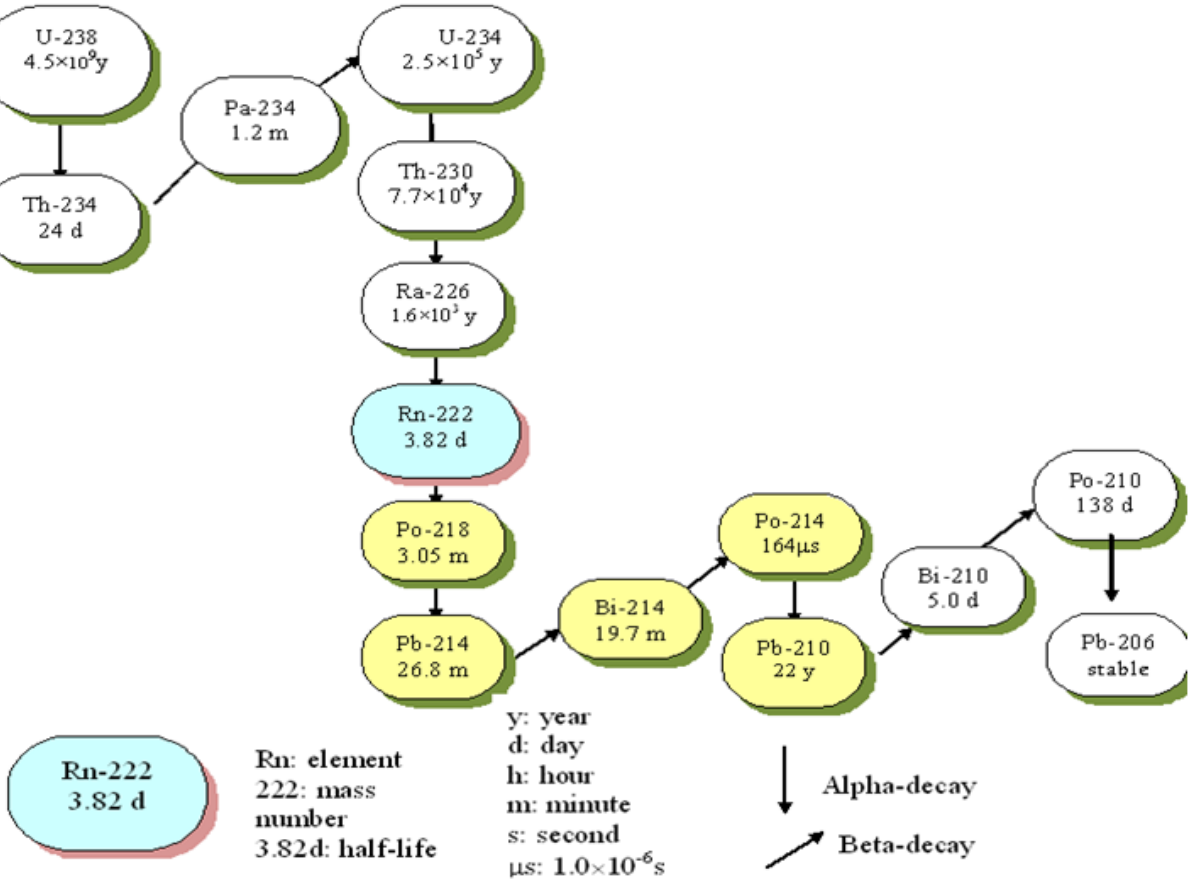
[27]-United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), 2000. Report .

[28]-Durrani and Iic “Radon Measurements by Etched Track Detectors” World Scientific, 1997.

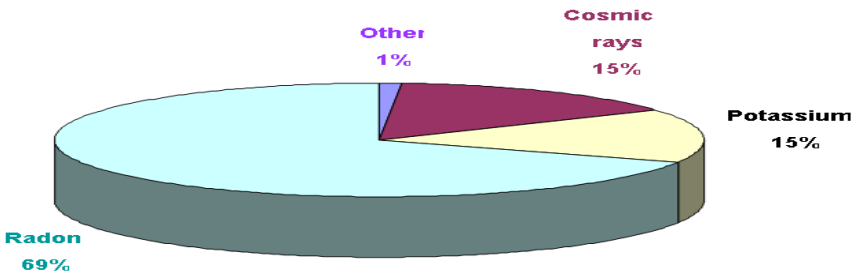
[29]- حازم سومان (2007) "المعايير الدولية والتشريعات الخاصة" هيئة الطاقة الذرية السورية ، المصدر ICRP-65 (1993).

[30]- عبد السلام محمد قصيعة (2003) قياس مستوى تركيز غاز الرادون بالمنازل بمنطقة سوق الجمعة بمدينة طرابلس رسالة ماجستير.

[31]- نجاة علي سعد شهبون (2008) قياس مستوى تركيز غاز الرادون بالمنازل بمنطقة الحرشة بمدينة الزاوية رسالة ماجستير.



الشكل (1) يوضح سلسلة التفكك الإشعاعي لليورانيوم الطبيعي (^{238}U)



الشكل (2) يوضح النسبة التي تساهم بها المصادر الإشعاعية الطبيعية.

معامل الذوبان	درجة الحرارة C°
0.507	0
0.340	10
0.250	20
0.195	30
0.167	37
0.138	50
0.114	75
0.106	100

الجدول(1) يوضح معاملات ذوبان الرادون في الماء عند ضغط جوي عادي.

العينة	معدل انبعاث غاز الرادون للمواد المحلية $Bq/m^2s\ 10^{-4}$	معدل انبعاث غاز الرادون للمواد الغير محلية $10^{-4}\ Bq/m^2s$
حصى	0.072	0.076
رمل[3]	0.064	0.108
خرسانة	0.055	0.076 -0.063
طوب أبيض[4]•	0.038	_ _ _
رمل[2]	0.022	_ _ _
طوب أبيض••	0.018	_ _ _
آجر	0.016	_ _ _
بلاط أرضي	0.015	0.022
رخام	0.011	0.040-0.022
جير	0.009	0.013
إسمنت	0.026	0.036

[3] - سيدي السائح

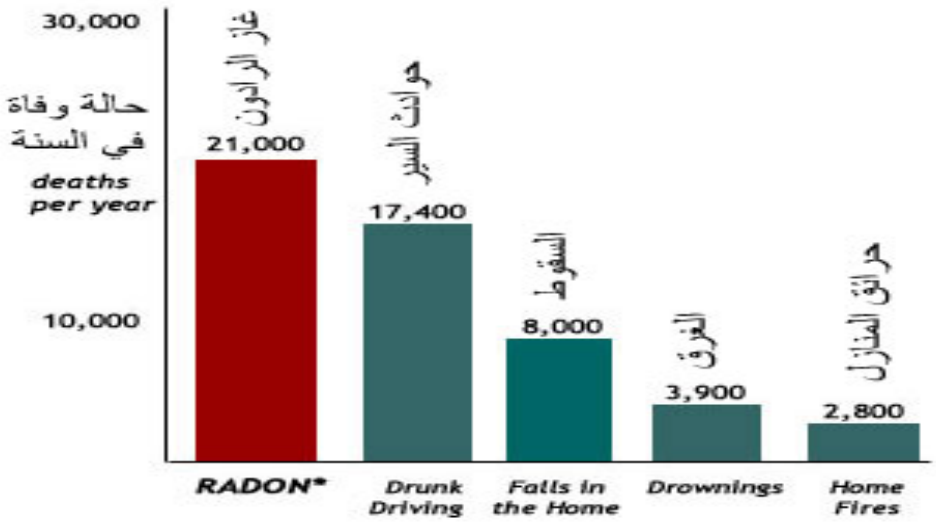
[4] - زليطن

. - خليط إسمنت+حصى

.. - إجدابيا

الجدول (2) يوضح معدل انبعاث الرادون من بعض مواد البناء المحلية وغير المحلية.

الشكل (3) يوضح المنافذ التي يدخل منها غاز الرادون للمنزل وهي:
الشقوق والتصدعات في أساسات وحوائط المنزل ومنافذ مواسير الماء
والتوصيلات الكهربائية والاستعمال اليومي للغاز الطبيعي والماء ومواد البناء



الشكل (4) يوضح نسبة أسباب حالات الوفاة في الولايات المتحدة .

الجدول (3) حدود التدخل العلاجي لتركيز الرادون وفقا لتوصيات المنظمات الدولية المختصة بالصحة العامة وحماية البيئة [30].

جهة الاختصاص	حدود التدخل العلاجي (Bqm^{-3})
وكالة حماية البيئة الأمريكية (EPA)	148
الهيئة الدولية للحماية الإشعاعية (ICRP)	400 - 200
منظمة الصحة العالمية (WHO)	200
السويد بالنسبة للمباني القائمة	400
مجلس السلامة النووية الكندي(CNSC)	148

الجدول (4) يوضح أمثلة عن الإجراءات العلاجية لخفض نسبة الرادون المتسرب إلى المنازل.

الطريقة	التكلفة	الفعالية
تخفيض ضغط التربة	متوسطة	عالية
عزل الأرضية	متوسطة	متوسطة
معالجة مائية	متوسطة	عالية
إزالة التربة	عالية	عالية
زيادة التهوية	متوسطة	منخفضة
زيادة حركة الهواء	منخفضة	منخفضة