غاز الرادون المشع والحلول الممكنة للحد من تركيزه داخل المسكن في الظروف المناخيةوالبيئية للجمهورية اليمنية ((المنطقة الجبلية))

د. نجم الدين محمد الوهابي

أستاذ البيئة و العمارة المساعد، كلية الهندسة و العمارة، جامعة إب

الملخص:

يتناول هذا البحث الطرق الممكنة للحد من مخاطر غاز الرادون المشع داخل المباني السكنية في الجمهورية اليمنية حيث يشكل هذا الغاز المشع طبيعياً نصف معدل الجرعة الإشعاعية المؤثرة من الإشعاع الطبيعي لعموم البشر تقريباً. ويتفاوت تركيزه في المباني تفاوتاً كبيراً. حيث يتسرب من باطن الأرض إلى داخل المباني من خلال الشقوق الموجودة في الأساسات و من خلال البالوعات الأرضية أو المسامات في مواد البناء أو من مواد البناء الذي تحتوي على مادة الراديوم ...وغيرها. و يمثل غاز الرادون تهديداً غير مرئي و غير محسوس لإصابة الإنسان بسرطان الرئة وهنا تكمن خطورته .

لذا يحاول البحث إلقاء الضوء على مصادره الطبيعية و الطرق المختلفة للحد من مخاطره على الإنسان في بيئته المنزلية ، لاسيما وأن المهندسين اليوم يحرصون على تشييد مباني محكمة العزل لحفظ الحرارة المناسبة داخل الفراغ المعماري، علاوة على ذلك ما تشهده مباني المدن القديمة مثل: مدينة إب و تعز الجبليتين من تحويل وظيفة الدور الأرضي الذي كان معداً لحفظ الحطب و الماشية (الأبقار و الأغنام) إلى مسكن للأسر الفقيرة ، حيث تفتقر هذه المساكن للتهوية الطبيعية الكافية . وقد توصل الباحث إلى عدد من النتائج منها: أن غاز الرادون يحظى باهتمام عالمي متزايد كونه المسبب الثاني لمرض سرطان الرئة- تراكيز غاز الرادون المكتشفة في اليمن حتى الآن في حدود المسموح به — المدخنين و التدخين السلبي (في مجالس القات) فرصة إصابتهم بسرطان الرئة أكبر بكثير من غير المدخنين . و قد خلص الباحث إلى عدد من التوصيات للحد من مخاطر غاز الرادون داخل المباني في اليمن.

الكلمات المفتاحية:

غاز الرادون، السرطان، المبنى، التهوية الطبيعية

غاز الرادون المشع و الحلول الممكنة للحد من تركيزه داخل المساكن في الظروف المناخية والبيئية للجمهورية اليمنية .(المنطقة الجبلية)

المقدمة:

الإنسان يعيش في وسط مشع دائماً فالأشعة تصدر عن التربة ومن الفضاء الخارجي، ومن الأطعمة التي نتناولها والمياه التي نشربها ، حتى أن بعض العناصر الرئيسية في أجسامنا بطبيعتها نشطة وتطلق كمية من الإشعاع .ولكن الإنسان ألفها وتعايش معها وأطلق عليها مصطلح الخلفية الإشعاعية.لا يوجد دليل علمي يثبت ضرر هذه الخلفية ، ولكن قد يحدث الضرر عندما يزيد تركيزها عن التركيز الطبيعي من خلال التعامل مع النظائر المشعة أو تعرض العاملين للإشعاع في المفاعلات النووية والعاملين في المناجم التي يستخرج منها العناصر المشعة مثل الراديوم واليورانيوم وعندها قد ينجم عن ذلك أمراض ومخاطر مختلفة.وفي المقابل هناك فوائد عديدة للإشعاع أن أحسن استخدامها الإنسان في نفعه ورفاهيته ومنها ما يدخل في المواد الغذائية وفي مجالات الطب والصناعة ..... إلخ

ومن هذه الغازات المشعة طبيعيا غاز الرادون الذي يتسرب من باطن الأرض إلى داخل المباني من خلال الشقوق الموجودة بالأساس ومن خلال البالوعات الأرضيه أو الشقوق الصغيرة جداً أو المسام الموجودة في الطوب الأسمنت الأجوف للجدران ومن مواد البناء. و تدعو منظمة الصحة العالمية إلى إيلاء المزيد من الاهتمام للحد من أشكال التعرض للرادون. وشرعت المنظمة عن طريق إطلاق المشروع الدولي للرادون في عام 2005م، في التعاون مع حكومات أكثر من 30 بلداً من أجل الحد من المخاطر الصحية المرتبطة بالرادون . و تقوم المنظمة هي و شركاؤها، بوضع و تعزيز مشاريع ترمي إلى تقليص الآثار الصحية الناجمة عن ارتفاع مستويات غاز الرادون في الأماكن المغلقة [20]

يمثل غاز الرادون تهديداً غير مرئي وغير محسوس ولكن الخطر في المنازل التي هي أكثر الأماكن التي يشعر فيها الإنسان بالثقة والأمان على حياته ، لاسيما وقد بدأ المهندسون المعماريون ومقاولو البناء يحرصون على تشييد مبانٍ محكمة العزل لحفظ الحرارة المناسبة بالداخل وإبقاء الهواء البارد أو الحار بالخارج وهذا مما يزيد خطر ارتفاع مستوى غار الرادون داخل المباني في حالة عدم تهوية الفراغ بصورة كافية.ويحتل غاز الرادون اليوم المرتبة الثانية كمسبب لسرطان الرئة. و من هنا تأتي أهمية هذا البحث حيث أنه ليس هناك دراسة مستفيضة تتناول مخاطر غاز الرادون على الإنسان في بيئته السكنية في اليمن عامة و في المناطق الجبلية خاصة.

الهدف من الدراسة : تسليط الضوء على غاز الرادون المشع داخل المباني والتعريف بخواصه ومصادره الطبيعية وطرق الحد من مخاطره على الإنسان في بيئته المنزلية، كونه أحد أهم مصادر الإشعاع الطبيعية التي له أثر كبير على صحة الإنسان .و الدافع الأساسي وراء هذا البحث هو كشف

بعض مسببات الإصابة بمرض السرطان في اليمن وأهمية التوعية والعمل بمبدأ الوقاية خير من العلاج و مكافحة العادة السيئة مثل التدخين. و وضع التوصيات اللازمة للحد منه في المباني القائمة ،أو التي سوف تقام وذلك في الظروف البيئية المناخية للجمهورية اليمنية -

لمحة تاريخية عن غاز الرادون:-

اكتشف غاز الرادون عام1900م من قبل فريدريك دون، وهو من سماه غاز انبثاق الراديوم، وفي عام 1908 قام العلماء (ويليام رامزي، وايت لاو، روبرت غراي) باكتشاف هذا الغاز وقد أطلق عليه اسم **(Niton nitens)** باللاتينية التي تعني (المضيء).وسمي رادون منذ أوائل العشرينيات، سنة 1923م [17]

3- غاز الرادون ومصادره الطبيعية :-

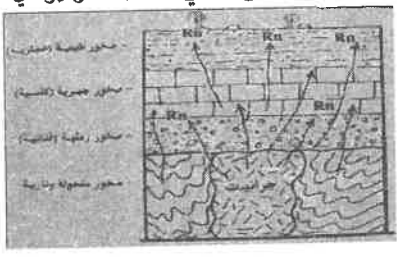
تحتوي القشرة الأرضية على كميات ضئيلة من النويدات المشعة طويلة العمر مثل: اليورانيوم U^{238} اليورانيوم U^{236} و الثوريوم U^{232} و نويداتهم الوليدة. كما تحتوي هذه القشرة على كمياتٍ قليلةٍ من نظير البوتاسيوم 40 المشع الذي يبلغ عمره النصفي $10^9X1,28$ والربيديوم87 .[1]

((عمر النصف **Half -LIDE** – هو عبارة عن الفترة الزمنية التي تنخفض خلالها الشدة الإشعاعية للعينة المجهزة من هذا النظير إلى النصف وبمعنى آخر فإن عمر النصف هو الزمن اللازم لتفكك نصف عدد النويدات الموجودة في العينة و يرتبط بثبات تفكك (λ) و بالعلاقة :

$$" T_{1/2} = Ln(2)/\lambda "$$

حيث (λ) ثابت تفكك الرادون[2] . و يعتبر غاز الرادون هو المساهم الأكبر في تعرض الإنسان لمصادر الإشعاع الطبيعية ويوجد في الطبيعة للرادون ثلاثة نظائر مشعة هي **Ru222** وينتج عن سلسلة اليورانيوم **U238** بعد تفكك الراديوم 226 والرادون **Ru220** الذي ينتج عن تفكك سلسلة الثوريوم بعد تفكك الراديوم 229 ثم الرادون **Ru219** الذي ينتج عن تفكك سلسلة اليورانيوم 235 بعد تفكك الراديوم223الرادون**Ru220**له مخاطر محدودة تزيد في المناطق الغنية بالثوريوم232 [1] . وينبعث الرادون بشكل طبيعي من مصادره المتمثلة أساسا بالصخور النارية الحمضية الحاوية على العناصر المشعة كاليورانيوم أو الثوريوم أو الراديوم سواءً كانت تلك الصخور نارية جوفية أي تكونت في الأعماق تحت السطح لصخور الجرانيت أو الجرانوديوريت أو صخور سطحية حمضية كالربو ليت و الداسيت [11] والرادون **Ru219** لايمثل مخاطر بشرية محسوسة نظراً لقلة نسب**U235** في الطبيعة وانخفاض العمر النصفي للرادون **Ru219** . ونظراً لكون الصخور

والتربة هي المكونات الأولية و الأساسية لمواد البناء مثل الأسمنت و الخرسانة وأحجار البناء، فإن مواد البناء هذه يمكن أن تحتوي على نسب متفاوتة من العناصر المشعة ومن ثمَّ فهي تؤثر في تركيز غاز الرادون داخل المباني. وربما تمثل مصدراً مستمراً للرادون في المباني. ومن المصادر المهمة للرادون أيضا المياه المستخدمة للشرب والنظافة، إذ أن الرادون يذوب في الماء عند مرور المياه على الصخور أو تغلغلها من خلال المسامات الصخرية فإنها تقوم بحمل الرادون وسحبه من الصخور. هذا إضافة إلى دور المياه الجوفية في حل عنصر الراديوم 226 من الصخور والذي ينحدر منه الرادون222 مباشرة وبذلك ينتقل غاز الرادون المنحل في المياه عند ضخها من باطن الأرض حتى إيصالها للمنازل. يمثل نظير الرادون 222 أكبر المخاطر على الإطلاق لأنه يتميز بعمر نصفي طويل نسبياً (3,52 يوم) ويزيد تركيز غاز الرادون داخل المباني بالمقارنة بتركيزه في الهواء الطلق.



يعتمد تركيزه داخل المبنى على نوع التربة ونوع الجدران وأسلوب التهوية ففي المباني المفتوحة ذات التهوية المستمرة والجيدة يكون تركيز الرادون داخل المبنى مقاربا لتركيزه في الهواء الطلق. أما في الأماكن المغلقة التي لايتجدد هواؤها باستمرار بغية ترشيد استهلاك الطاقة في عمليات التكييف فيمكن أن يصل فيها تركيز الرادون لمستويات خطيرة[1] . ففي عام1984م كان واترس أحد عمال محطة الطاقة النووية في الولايات المتحدة الأمريكية في ولاية بنسلفانيا بدأ بصورة غامضة في إثارة أجهزة كشف الإشعاع الموجودة بمكان العمل، وتدفع الخبراء للوصول إلى سبب إصدار جسده للإشعاع، وفي النهاية أصابهم الذهول عند اكتشاف أن مصدر الإشعاع هو منزله. حيث وجدوا أن بالمنزل أعلى مستوى لتركيز غاو الرادون تم اكتشافه حتى ذلك الوقت داخل المنازل وبلغ 2700 بيكوكوري/ لتر. وقال الخبراء لواتراس وأسرته أن فرصة إصابتهم بسرطان الرئة أكبر من فرصة العائلات الأخرى بنسبة 585٪ ، وأن الضرر المحتمل الذي يهدد رئاتهم يساوي الضرر الناتج عن تدخين 220 علبة سجائر في اليوم [3]. وقد استخدمت الحكومة الفيدرالية منزل هذه العائلة كحقل تجارب لمعرفة إذا كان من الممكن خفض المستويات المرتفعة من الرادون وقد تم خفضه إلى 2بيكوكوري / لتر.[3]

علاوة على ذلك تتميز بعض مصادر الغاز الطبيعي المستخدم في المنازل بوجود تراكيز عالية من غاز الرادون تتصاعد إلى الجو عند احتراق ذلك الغاز، كون الغاز الطبيعي مستخرج أصلاً من مكامن جيولوجية عميقة في باطن الأرض والتي يمكن أن تمثل بدورها بيئات جيوكيميائية مناسبة لتوليد غاز الرادون . ويمكن أن يصل تركيز الرادون في بعض الأماكن المغلقة إلى 100000 بكرل/ م3 في الهواء المحبوس في حين أن تركيزه في الهواء المطلق يتراوح بين 5 – 50 بكرل/م3 .

4- العوامل المؤثرة على تركيز غاز الرادون في الطبيعة:

لعل من أهم العوامل المؤثرة على تركيز غاز الرادون في الطبيعة هو البيئة الجيولوجية للمنطقة، وأنواع التراكيب الصخرية المتواجدة فيها. ونسبة توافر العناصر المشعة المولدة للرادون وتوزعها في تلك الصخور. ومعلوم أن هذه العناصر المشعة تتوافر غالباً في الصخور النارية الحمضية، وهي صخور فاتحة اللون تحتوي على نسبة مرتفعة من السيليكات Sio_2 تصل إلى أكثر من 66٪ بينما تحتوي على نسبة منخفضة (أقل من 30٪) من المعادن المافية

(الفيرومغنسية). و أما المياه فيتفاوت تركيز الرادون فيها تبعاً لطبيعة العناصر الحاضنة للمياه الجوفية ومدى احتوائها على العناصر المشعة المولدة للرادون وبخاصة عنصر الراديوم، كما أن محتوى الرادون في المياه يزداد بازدياد درجة حرارة المياه لأن المياه الحارة لها قدرة أكبر على حل العناصر المعدنية من الصخور و التربة. و الجدير بالذكر أن تركيز الرادون يقل إذا كانت الفترة الزمنية منذ سحب المياه من باطن الأرض وحتى إيصالها للمنازل أطول والعكس( ). وقد قدر بشكل عام أن تركيز قدره 10000 pCi/L من الرادون بالماء سيضيف حوالي 1pCi/L في الهواء الداخلي للمنازل بافتراض الاستخدام العادي للماء. ووجد أن متوسط مستوى الرادون في مياه الآبار يتراوح بين 500pCi/L – 170000 [17]. كما تؤثر العوامل المناخية المختلفة إلى حدٍ كبيرٍ في معدل انبثاق غاز الرادون [2].فقد بينت الدراسات أن تركيز الرادون يرتفع بشكل عام في الفترة الصباحية من النهار ويقل في ساعات بعد الظهر، كما إن تركيز الرادون ينخفض بارتفاع نسبة الرطوبة أو المطر، و للضغط الجوي و درجة الحرارة أثر كبير على معدل انبثاق الرادون، حيث يزداد انبثاق غاز الرادون من التربة كلما قل الضغط الجوي، ولابد من التنوية إلى أهمية وجود الصدوع والفوالق و التشققات الصخرية ودورها الكبير في تسهيل حركة الرادون و انتقاله من الأعماق ليزداد تركيزه بشكل ملحوظ عند سطح الأرض.

5- الحدود الإشعاعية للرادون:

بعد أن ثبت علمياً أن الرادون هو أحد مصادر الإصابة بسرطان الرئة عمدت الوكالات الدولية و الوطنية المعنية بحماية البيئة في البلدان التي اكتشف فيها وجود تركيزات عالية من الرادون إلى إرشاد مواطنيها بخطورة هذا الغاز وطرق الوقاية منه. فلقد قدمت الوكالة الأمريكية لحماية البيئة **(EPA)** توصية بأن يقوم الناس بإصلاح بيوتهم إذا كانت تركيزات الرادون فيها تزيد عن **150Bq/m^3** وسمي هذا "بمستوى التدخل" في حين رفعت بريطانيا مستوى التدخل إلى **200Bq/m^3** وألمانيا إلى **250Bq/m^3** و لا يعني هذا بالضرورة أن هذه مستويات أمنة من ناحية الحماية الصحية للإنسان.والجدول (1) يوضح بعض الحدود الوطنية والدولية لتركيزات الرادون **Bq/m^3** [15]

الجدول (1)

الهيئة	حدود المساكن الحالية Bq/m3	حدودالمساكن المستقبلية Bq/m3	التاريخ
الهيئة الدولية للحماية الإشعاعية ICRP	400	200	طبق 1984م
دول المجموعة الأوروبية المشتركة CEC	400	200	أقترح 1989م
منظمة الصحة العالمية WHO	200	200	طبق 1987م
السويد	800	150	طبق 1981م
فلندا و النرويج	800	200	طبق1986م
بريطانيا	200	200	طبق 1990م
المانيا	250	250	طبق 1986م
الولايات المتحدة الأمريكية	150	150	طبق 1986م
هولندا	- - - - - - - - - - - -	20	هدف لمعدل التركيز

و أن تركيزات الرادون في المساكن الهولندية هو عموماً منخفض لذلك اختارت هولندا حداً واطئاً لمعدل تركيز الرادون في المساكن، لخفض مخاطره إلى حد المخاطر البيئية والمخاطر اليومية الأخرى [14].

6- مستويات غاز الرادون في بعض الدول العربية:

لقد أجريت عدد من الدراسات لتركيز غاز الرادون داخل المنازل شملت عدداً من الدول العربية منها المملكة العربية السعودية وكانت النتائج تشير إلى أن متوسط تركيز الرادون لا يزال أقل من القيمة المحددة من قبل وكالة حماية البيئة الأمريكية **(EPA)** وهي **150Bq/m^3**.حيث أن متوسط التركيز للرادون بمنطقة القصيم **(67±8Bq/m^3)** الزلفي **(75±3 Bq/m^3)** ، الرياض **(67±5Bq/m^3)** وكذلك الدراسة التي أجريت في منازل أربع قرى بمنطقة نجران حيث وجد أن القيمة المتوسطة لتركيز الرادون في القرى الأربع هو **(49±14Bq/m)**[21] .و في مدينة سوم بالمملكة الأردنية وجد أن متوسط التركيز لغاز الرادون هو **144 Bq/m^3** وهو تحت حدود التدخل الموصى بها من قبل **ICRP** وقد نصح في هذه المدينة بعدم إنشاء منازل على الصخور الفوسفاتية والجيرية (الكلسية)، لأنها تعتبر موطناً مناسباً لليورانيوم وينصح بعمل دراسات لمناطق أخرى في المملكة الأردنية[16]. ومعدل التركيز في الجزائر **30Bq/m^3** وأعلى تركيز **140Bq/m^3** ، في مصر المعدل **9Bq/m^3** و أعلى تركيز **24Bq/m^3** ،" وقد اهتمت هيئة الطاقة الذرية بمصر بإقامة شبكة الرصد الإشعاعي والتي تتكون من 84 محطة من أهم أهدافها ملاحظة أي تغير في الخلفية الإشعاعية وتسجيل أي نشاط نووي غير عادي لإيجاد قاعدة بيانات **base data** وذلك لتوفير الأمن القومي الذي يعتبر مقياساً جديداً لتقدم الشعوب" ، المغرب المعدل **71 Bq/m^3** أعلى تركيز **532 Bq/m^3**، تونس **40Bq/m^3** أعلى تركيز **392Bq/m^3**، غزة المعدل **34 Bq/m^3** أعلى تركيز **105 Bq/m^3**، سوريا المعدل **44Bq/m^3** أعلى تركيز **520Bq/m^3** . يتبين أن جميع المعدلات لغاز الرادون في المساكن لبعض الدول العربية في هذه الدراسات المحدودة هي دون حدود التدخل الدولية، إلا أنه وجد في بعض المساكن مستويات لغاز الرادون تجاوزت حدود التدخل الدولية البالغة **200Bq/m^3**[5].

7- مستويات غاز الرادون في اليمن:

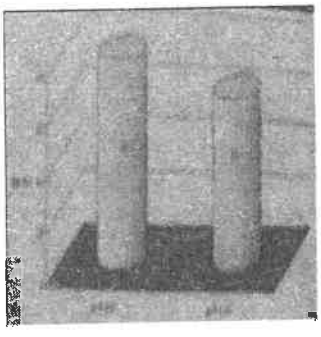
أجري في عام 2009م بحث وتضمن قياساً لتراكيز غاز الرادون في منازل مدينة صنعاء ، الواقعة داخل السور (المدينة القديمة) وخارج سور المدينة ، من أجل ذلك تم توزيع 108 كاشف بحيث شملت القياسات 85 منزلاً في 24 حي داخل وخارج المدينة القديمة، وكانت نسبة الفقد 13٪. ووجد أن متوسط تركيز الغاز في المساكن هو **(77 Bq/m^3)** بينما الوسط الهندسي هو (**50 Bq/m^3**) وذلك عند أخذ جميع التراكيز . (جدول 2) و (جدول 3).

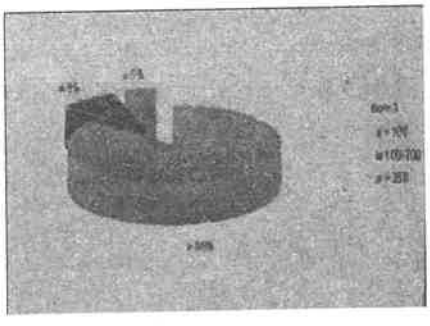
الجدول 2

المعدل العام للمنازل Bq/m^3	77
SDV	121
Geometric mean	50,134
Geometric SDV	2,211

المعدل العام للمنازل Bq/m^3	60
SDV	52
Geometric mean	46,44
Geometric SDV	1,956

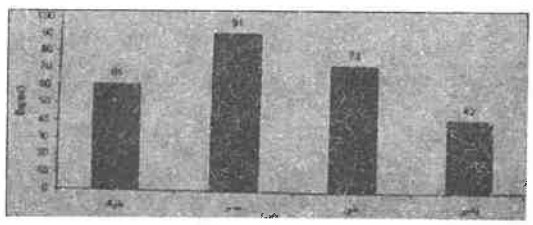
الجدول(3) بعد استبعاد النقاط الشاذة





وقد بينت الدراسة أن هناك فرقاً بين وسطي تركيز غاز الرادون في المنازل المدروسة داخل السور (المدينة القديمة) و المنازل المدروسة خارج السور (الشكل 2). ويرجع الباحث السبب إلى أن منازل داخل السور القديم هي أقدم من المنازل خارج السور ومن ثم نمط البناء يختلف من ناحية التهوية وتصميم الغرف ومساحتها ففي المنازل القديمة تكون أقل تهوية، ومساحة الغرف صغيرة و كذلك من ناحية مواد البناء المستخدمة فإن غالبية المنازل القديمة تبنى من الطين والحجر بينما المنازل الحديثة مبنية من الحجر و الإسمنت أو البلك. وقد يكون السبب الآخر هو التركيب الجيولوجي للمنطقة المبني عليها المنزل. أن **83,53**٪ من المنازل (76منزل) وجد تركيز الرادون فيها أقل من **100 Bq/m^3** وأن **9,21**٪ من المنازل يزيد فيها التركيز على **100Bq/m^3**. بينما في **5,26**٪ من المنازل كان التركيز فيها عالي جداً تجاوز الحدود الموصى بها من قبل **ICRP** (**200 Bq/m^3**). حيث وصل أعلى تركيز في منزل بحي الجراف **890 Bq/m^3** (عواطف). وعند معينة منطقة القياس لوحظ أن الغرفة التي تم القياس بها هي في الطابق الأرضي وأرضيتها منفذة من

الجبس (الجص) وصالة المنزل من الحجر البازلت المصمت – لا يوجد في الغرفة أية نوافذ للتهوية الطبيعية (تهوية سيئة جداً) – المنزل شعبي قديم اتجاهه إلى الشرق والغرب أي أن هناك مجالاً للتهوية الطبيعية خلال السنة لو وجدت النوافذ. – موقع القياس كان على تماسٍ مباشرٍ بالأرض دون وجود طوابق أدنى منه أو أقبية. وهنا يمكن القول أن عدة عوامل اشتركت معاً لرفع مستوى تركيز غاز الرادون مثل التهوية التماس المباشر مع الأرض... الخ كما قد يكون لمادة البناء دور في ذلك. و رصد كذلك ارتفاع لتركيز الرادون في منزل مجاور لهذا المنزل كان (**539Bq/m^3**) مما يدعو للاعتقاد بأن لتركيبة الصخور التي أنشئت عليها هذه المنازل في تلك المنطقة (حي الجراف) دوراً ما في ارتفاع تركيز الرادون داخل هذه المنازل.



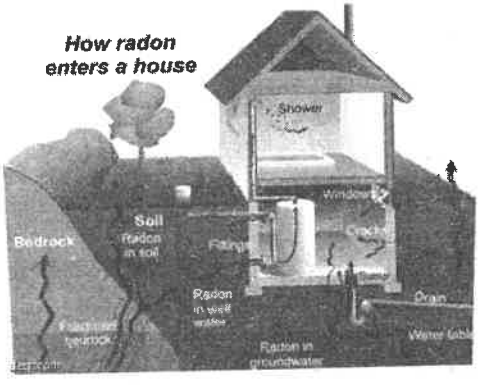
كما لاحظ الباحث أن لمواد البناء تأثيراً ملحوظاً يمكن ملاحظته من الشكل المقابل.حيث يلاحظ تدرج في متوسط تراكيز الرادون وذلك تبعاً لمادة البناء التي شيدت منها المنازل المدروسة، وكانت أعلاها في المنازل الحجرية ثم المنازل الطينية يليها البلوك الإسمنتي والياجور. كما تم تحليل بعض عينات من مواد البناء بمطيافية غاما وكان المحتوى فيها من الراديوم **Ra 226** ، للأسمنت الأبيض **2,83+_17,1 Bq/kg** – أسمنت اسود **2,39+_17,5 Bq/kg** – تربة من صنعاء القديمة **2,61+_4,99 Bq/kg** – جص أبيض **<2 Bq/kg** – ياجور أحمر **4,18+_18,4 Bq/kg** هو ضمن الحدود المسموح بها [6].

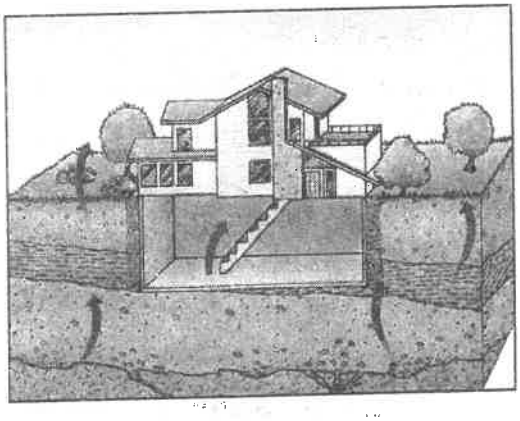
كما أجريت في عام 2006م دراسة تركيز غاز الرادون في التربة أفقياً على عمق 50سم في فصل الربيع في شمال مدينة الشعب بمدينة عدن "في موقع مخصص لبناء مساكن لهيئة التدريس وموظفي جامعة عدن" وتبين من خلال الدراسة أن معدل تركيز الغاز في التربة على عمق 50سم **3,26Bq/m^3**، وكان معدل تركيز غاز الرادون علي سطح التربة **0,85 Bq/m^3** أما الهواء الجوي القريب من سطح التربة أظهرت الدراسة خلوه تقريباً من غاز الرادون ، ويزداد تركيزه في التربة من عمق صفر سم وحتى 60سم وتتناقص بعد هذا العمق حتى 100سم. وتعتبر هذه المعدلات لتركيز غاز الرادون قليلة و لا تشكل خطراً على صحة الإنسان[22]. وفي عام 2009م أجريت دراسة للتربة الزراعية في اليمن وتم فيها تحديد النظائر المشعة :- **Cs- 137, K- 40, Th- 232, U- 238** لخمسة عشر عينة ترابية لبعض مناطق اليمن ومن النتائج التي تم الحصول

عليها وُجد أن جميع التراكيز كانت ضمن الحدود المسموح به عالمياً[7].

8- سبل دخول غاز الرادون المساكن:

"سيذبح الموت بجناحيه كل من يحاول أن يبدد أمن وسلام مرقد الفراعنة" هذه هي العبارة التي وجدت منقوشة على مقبرة توت عنخ أمون والتي تلا اكتشاف سلسلة من الحوادث الغريبة التي بدأت بموت كثير من العمال القائمين بالبحث في المقبرة وهو ما حير العلماء والناس وجعل الكثير يعتقد فيما سمي ب"لعنة الفراعنة"[23].





يتسبب فرق الضغط بين كل من الأرض والمبنى المقام عليها إلى تسرب غاز الرادون من إحداهما إلى الأخرى فإذا كان الضغط الجوي داخل المسكن أقل مما هو في التربة فإن نفاذ الغاز إلى المسكن يزداد لأن الهواء يتحرك من الضغط المرتفع نحو الضغط المنخفض. والفرق في الضغط يمكن أن يزداد أو يقل بتأثير كل من الرياح و فرق درجة الحرارة بين داخل المسكن وخارجه الذي يؤثر على فرق الضغط بين الداخل والخارج، وهذه الفروقات في درجة الحرارة و الضغط يمكن أن تؤدي إلى سحب الهواء من أسفل المسكن إلى الأعلى داخل المسكن حيث الضغط الأقل. والضغط داخل المسكن هو – عادة – أقل من ضغط الهواء في التربة، ويمكن أن ينخفض أكثر عند تشغيل الطباخ واستخدام الحمام، ومراوح التهوية، وعند استخدام الموقد، ونشافات الملابس. فانخفاض الضغط بمقدار عدة باسكال يكفي لسحب الهواء الحاوي على غاز الرادون من أسفل المبنى إلى داخله علما أن الضغط الجوي يساوي 10^5 Pa [5]. ويتغلغل الرادون داخل المبنى من خلال الفتحات والشقوق في حائط المبنى أو أرضيته كما إنه يتسرب إليها من خلال الأبواب والنوافذ والأنابيب المختلفة الخاصة بالتجهيزات

الفنية للمبنى وكذا ما تشعه مواد البناء للعناصر البنائية و تعتمد كمية الرادون الداخلة إلى الفراغات المعمارية المغلقة من الحوائط والأسقف على تركيز الراديوم في مواد البناء. وفي معظم الأحيان يكون مجموع ما تشعه مواد البناء من غاز الرادون لا يزيد عن 10٪. والرادون يذوب بصورة جيدة في الماء لذا فإنه يمكن أن تحتوي المياه التي تزود بها المنازل على مستوي عالي من التركيز لغاز الرادون. الرسم أعلاه يبين الطرق الأساسية لدخول الرادون إلى الفراغات المعمارية المغلقة[24].

9- تركيز غاز الرادون في المنازل :

يعتمد تركيز الرادون داخل المنازل بشكل عام على عادات وسلوكيات القاطنين فيه و الفترات التي يقضونها ضمن وخارج المنزل. وتعتبر التهوية أحد أهم العوامل التي تؤثر على تركيز الرادون داخل المنازل. حيث تعطي العلاقة بين تركيز الرادون في غرفة ما ومعدل التهوية بالعلاقة:

$$C = C_0 + \frac{E.A}{(\lambda_v+\lambda).v}$$

حيث **C** تركيز الرادون في الغرفة بوحدة **(Bq/m^3)**، **C_0** تركيز الرادون في الهواء الداخل للغرفة من الوسط الخارجي **(Bq/m^3)** ، **E** معدل إصدار الرادون من سطح الغرفة **($Bq\ m^2/h$)** ، **A** المساحة الداخلية للغرفة التي تصدر الرادون **(m^2)**، **V** حجم الغرفة **(m^3)** ، **λ_V** معدل تغير هواء الغرفة **(h^{-1})** و **λ** ثابت تفكك الرادون **(h^{-1})**. من المعادلة السابقة يظهر بشكل عام أن تركيز الرادون داخل المنزل يتناسب عكسياً مع معدل التهوية فيه. ويختلف هذا المعدل حسب نوع البناء وعادات السكان ... الخ. كما إن هناك عوامل أخرى تؤثر في تركيز الرادون في المنزل، منها الرطوبة ودرجة الحرارة.و تلعب الحرارة دوراً هاماً، حيث تكون عادة الحرارة داخل المنزل أعلى من خارجه، وهذا يولد فرقاً بسيطاً في الضغط الأمر الذي يؤدي إلى شفط هواء التربة الواقعة تحت المنزل إلى الداخل، والذي بدوره يمكن أن يرفع تركيز الرادون في الداخل. وقد وجد أن تركيز الرادون في المنزل يتغير من فصل إلى فصل، ومن شهر إلى شهر ومن يوم إلى يوم حتى بين النهار والليل[18].

10- المخاطر الصحية لغاز الرادون وخطوات الكشف عنه :

بالرغم من اكتشاف الرادون في بداية القرن الماضي فإن علاقته بإصابة عمال المناجم بسرطان الرئة لم تحدد إلا في نهاية الستينيات من القرن العشرين [7,9]. ومما لاشك فيه حالياً أن الرادون هو أحد مصادر الإصابة بسرطان الرئة[5]. يدخل الرادون جسم الإنسان مع هواء التنفس ويمكن أن ينتقل إلى الدم أو يؤثر مباشرة على الرئتين وتكمن مخاطر الرادون عند تحلله بانبعاث جسيمات ألفا (α) المشحونة إلى نواتج صلبة تسمى بنواتج تحلل الرادون، وهي نظائر البولونيوم – 218 والبيزموث –

214 والرصاص – 214. فعندما يستنشق الإنسان هذا الغاز ونواتج تحلله تلتصق هذه النواتج المشعة بالأغشية المخاطية المبطنة لأجزاء الجهاز التنفسي وتستقر بها ، حيث ينبعث منها الإشعاعات مما يرفع من نسبة خطر الإصابة بالأمراض الصدرية مثل سرطان الرئة، و يمتص جزءاً بسيطاً منها قد يستقر في النخاع العظمي، ويمثل الرادون ونواتج تحلله ما نسبته 55٪ تقريباً من الجرعة الإشعاعية الطبيعية التي يتعرض لها عامة الناس. كما كشفت دراسة مصرية أجريت بالمركز القومي للبحوث عن وجود علاقة بين التعرض لغاز الرادون في المنازل والإصابة بمرض سرطان الدم الحاد (اللوكيميا)، وقد أجريت الدراسة على 160 طفلاً تم فحصهم وتأكد تعرضهم لنسبة عالية إلى حد ما من الغاز المشع داخل منازلهم مع عدم التهوية الجيدة لتلك المنازل.

كما تكمن خطورته أيضا أنه لا لون له ولا طعم ولا رائحة. ويتم الكشف عن غاز الرادون و الرادون وفق الخطوات التالية :-

الخطوة الأولى – القياس المسحي :- (قصير الأجل) **Short-term testing** .وفي هذه الخطوة يجب إغلاق النوافذ و الأبواب ما لا يقل عن 12ساعة قبل بداية الاختبار على أن يستمر إغلاقها لمدة 48 ساعة وهي مدة الاختبار. وذلك للاحتفاظ بمستوى ثابت نسبياً لغاز الرادون خلال فترة الاختبار. لذا تنصح وكالة حماية البيئة بإجراء قياسات قصيرة الأجل للغاز خلال فترة الشتاء حيث أن فتح النوافذ أو استخدام مكيفات الهواء أثناء فصل الصيف يقلل من قراءات مستوى غاز الرادون. ويمكن الحصول على نتائج الفحص في غضون أسبوع أو أسبوعين من تاريخ إرسال الجهاز للمعمل.ويتم التعبير عن نتائج الأجهزة التي تقيس منتجات تحلل الرادون في صورة وحدات عشوائية معروفة باسم "المستويات العاملة".المستوى العامل الواحد لنواتج تحلل الرادون يساوي تقريباً كمية نواتج تحلل الرادون المنبعثة بمقدار **200pCi/L** من الرادون في الهواء (تمثل وحدة البيكوكوري/لتر – تحلل حوالي ذرتين رادون في الدقيقة في اللتر الواحدمن الهواء). و يوضح الجدول "تقيم خطر الرادون"مجالاً كبيراً من مستوى التعرض ومخاطر الموت بسبب سرطان الرئة الناتج عن التعرض لغاز الرادون.

الجدول (3)

pCi/L	المستوى العامل	تقدير الوفيات سرطان الرئة نتيجة التعرض للرادون من كل ألف	مستوى التعرض المقارنة	المخاطر المقارنة
200	1	770 – 440	أكثر ألف مرة من متوسط مستوى التعرض له في الخارج	تزيد على تلك التي يواجهها غير المدخن 60 مرة ، تدخين40 علبة يومياً
40 100	0,2 0.5	380 – 120 630 – 270	ما يعادل متوسط التعرض له بالداخل مائة مرة	20000 مرة أشعة X اكس على الصدر في السنة
20	0,1	210 – 60	ما يعادل متوسط المستوى بالداخل مائة مرة	تدخين علبتين يومياً – تدخين علبة واحدة يومياً
10	0,05	120 - 30	ما يعادل متوسط المستوى بالداخل عشر مرات	أكثر من خمس مرات من المخاطر التي يواجهها غير المدخن
2 4	0,02 0,01	30 -7 50 -13	ما يعادل متوسط المستوى بالخارج عشر مرات	200 مرة أشعة X اكس على الصدر سنوياً
1	0,005	13 -3	متوسط المستوى بالداخل	حالات غير المدخن بسرطان الرئة
0,2	0,001	3 -1	متوسط المستوى بالخارج	20 مرة أشعة Xعلى الصدر سنوياً

نلاحظ مدى تزايد خطر الرادون على المدخنين و الجدول التالي يوضح ذلك :

Radon Risk If You Smoke

Radon Level	If 1,000 people who smoked were exposed to this level over a lifetime *…	The risk of cancer from radon exposure compares to**…	What to do stop smoking and...
20pci/L	About 260 people could get lung cancer	250 times the risk of drowning	Fix your home
10 pci/L	About 150 people could get lung cancer	200 times the risk of dying in a home fire	Fix your home
8 pci/L	About 120 people could get lung cancer	30 times the risk of dying in a fall	Fix your home
4 pci/L	About 62 people could get lung cancer	5 times the risk of dying in a car crash	Fix your home
2 pci/L	About 32 people could get lung cancer	6 times the risk of dying from poison	Consider fixing between 2and 4 pci/L
1.3 pci/L	About 20 people could get lung cancer	(average indoor radon level)	(reducing radon levels below 2 pci/L is difficult)
0.4 pci/L	About 3 people could get lung cancer	(average outdoor radon level)	

Note: If you are a former smoker, your risk may be lower.

*Lifetime risk of lung cancer deaths from EPA Assessment of Risks from Radon in Homes(EPA 402- R- 03-003).

** Comparison data calculated using the Centers for Disease Control and Prevention's 1999 – 2001 National Center for Injury Prevention and Control Reports.

Radon Risk if you've Never smoked

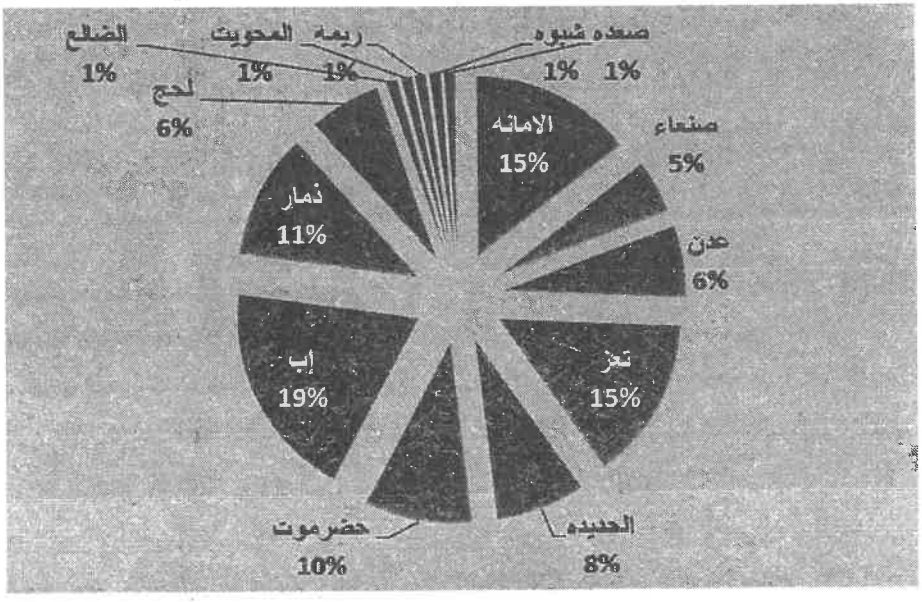
Radon level	If 1,000 people who never smoked were exposed to this level over a lifetime*..	The risk of cacer from radon exposure compares to*…	What to do:
20 pci/L	About 36 people could get lung cancer	35 times the risk of drowning	Fix your home
10 pci/L	About 18 people could get lung cancer	20 times the risk of dying in a home fire	Fix your home
8 pci/L	About 15 people could get lung cancer	4 times the risk of dying in a fall	Fix your home
4 pci/L	About 7 people could get lung cancer	the risk of dying in a car crash	Fix your home

2 pci/L	About 4 people could get lung cancer	the risk of dying from poison	Consider fixing between 2and 4 pci/L
1.3 pci/L	About 2 people could get lung cancer	(average indoor radon level)	(reducing radon levels below 2 pci/L is difficult)
0.4 pci/L		(average outdoor radon level)	

الخطوة الثانية – تفسير القياس المسحي و تحديد مدى الحاجة إلى اختبارات المتابعة: **Long – term testing**

حيث أن مستويات الرادون تختلف من موسم إلى موسم ومن حجرة إلى حجرة ، فإن القياس المسحي **short- term testing** يقوم فقط بتوضيح إمكانية وجود مشكلة الرادون. وبناءً عليه ،فمن الممكن أن يكون هناك احتياج إلى قياسات للمتابعة. وتنصح وكالة حماية البيئة بمايلي للمساعدة في تحديد مدى الحاجة إلى قياسات المتابعة (أكثر من **90** يوم) .إذا كانت قراءة القياس المسحي أكبر من حوالي **1** مستوى عامل ،فيجب إجراء قياسات المتابعة بأسرع ما يمكن. وهنا يجب اتخاذ الإجراء المناسب لتقليل مستويات غاز الرادون بالمنازل فوراً. أما إذا تراوحت قراءة القياس المسحي فيما بين حوالي **0,1** مستوى عامل وحوالي **1** مستوى عامل، فيجب إجراء قياسات المتابعة و تعريض أجهزة الكشف عن غاز الرادون لمدة تزيد عن ثلاثة أشهر. أما إذا تراوحت قراءة القياس المسحي فيما بين حوالي **0,02** و **0,1** مستوى عامل (حوالي **4** بيكوكري/ لتر) فليس هناك حاجة في الغالب إلى إجراء قياسات المتابعة[24].

و الشكل البياني التالي يبين نسب الإصابة المباشرة بسرطان الرئة في معظم محافظات اليمن وفق إحصائية مركز علاج الأورام السرطانية بالمستشفى الجمهوري بصنعاء لمدة عام واحد[10].



١١- طرق تخفيض مستويات غاز الرادون في المباني:

١- من حيث المبدأ يمكن خفض نسبة غاز الرادون في الأماكن المغلقة من خلال الأتي:

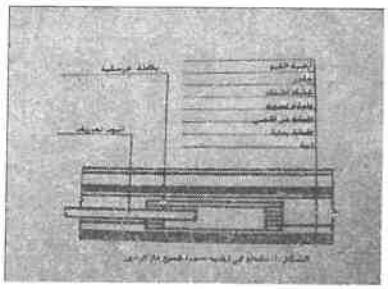
أ- اختيار موقع البناء في مناطق يكون الرادون في حدوده الدنيا

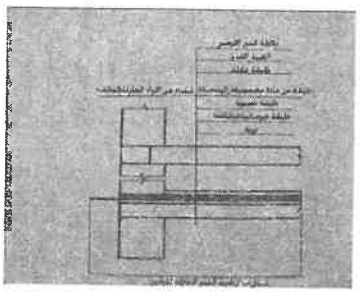
ب- تنفيذ الغلاف الخارجي للمبنى بحيث يكون فعال في منع تغلغل الرادون من التربة إلى داخل المبنى.

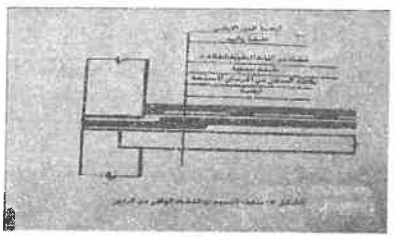
ج- إزالة الرادون من هواء الأماكن المغلقة.

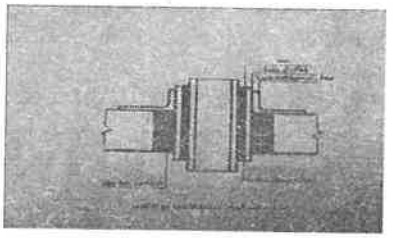
٢- العناصر الإنشائية المصممة لخفض وحماية الفراغات المغلقة من غاز الرادون . يجب أن تنفذ أقرب ما يمكن لمصدر الرادون، و كلما كانت أقرب إلى المصدر وبعيدة عن الأماكن المحمية كلما زادت كفاءتها، في إعاقة تسرب الرادون من باطن الأرض إلى القبو أو الطوابق السفلية من المبنى. كما يجب سد منفذ دخول الرادون بغلق الشروخ و الفتحات حول المواسير وتغطية السطوح و ذلك باستخدام طبقة من الأيبوكسي أو البولسيز ... و غيرها وحماية المبنى من الرادون يتطلب منظومة متكاملة من الحلول التقنية التي تنفذ في إطار هذا المفهوم الذي اعتمد لهذا المشروع في تطوير جميع أجزائه الرئيسية (الحلول التصميمية الحجمية للغلاف الخارجي للمبنى، نظام التدفئة و التهوية ،التغذية بالمياه، الصرف الصحي، التمديدات الكهربائية ...الخ)، أن فشل حل واحد من

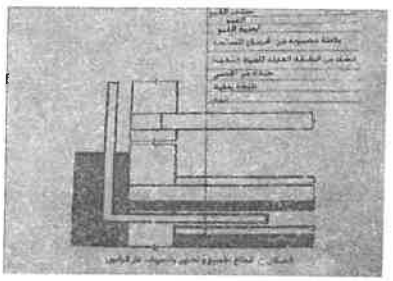
العناصر المذكورة يمكن أن يؤثر بشكل سلبي و يحد بشكل كبير من فعالية النظام ككل[13].

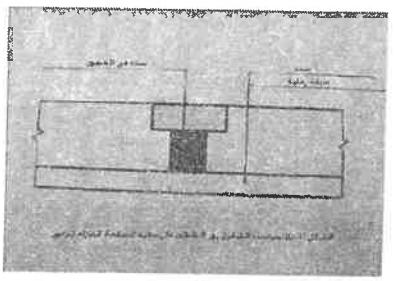






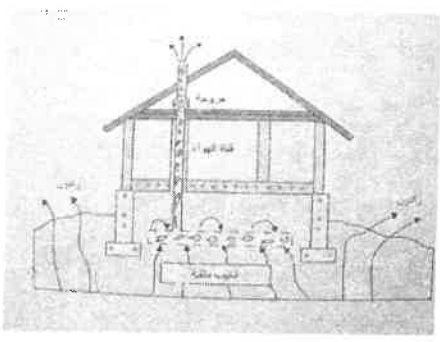






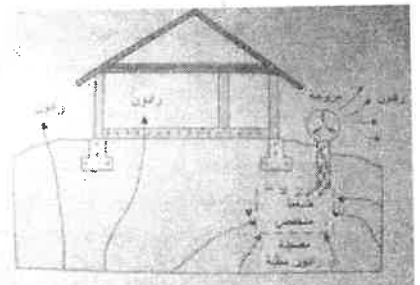
3- شفط غاز الرادون من التربة :-

يعد شفط غاز الرادون من التربة أكثر الطرق استخداماً لخفض غاز الرادون حيث إنها تمنع بصورة فعالة تسرب الغاز إلى المباني. وتعمل طريقة شفط الغاز من التربة عن طريق سحب غاز الرادون قبل أن يتسلل إلى المبنى – بعيداً عن التربة الموجودة أسفل وحول المبنى وتكون هذه الطريقة أكثر نجاحاً في التربة جيدة النفاذية (التربة الحصوية) ويتم الشفط وفق ثلاث عمليات و هي



كما يلي :

أ – شفط الغاز من أسفل حصيرة القبو الخرسانية :- تتضمن هذه الطريقة تركيب أنابيب ومراوح ، حيث تتصل المراوح بالأنابيب لسحب الغاز الموجود بالتربة أسفل المبنى. و في العادة تركب المراوح في مكان أعلى المبنى أو خارجه. وتعتبر هذه الطريقة أكثر طرق خفض الرادون فاعلية حيث يمكنها خفض مستويات الرادون بنسبة 80٪ إلى 99٪ وذلك عندما تكون التربة جيدة النفاذية.



٢- أحد طرق الحد من تسلل غاز الرادون المتحرر من الأرض إلى داخل

ب – طريقة شفط غاز الرادون باستخدام أنابيب التخلص من المياه الجوفية :- يتم في بعض المباني إبعاد المياه الجوفية عن أساسات المبنى باستخدام أنابيب بها عدد من الثقوب يتم تركيبها حول أساسات المبنى. وتقوم هذه الأنابيب بتصريف المياه إما إلى مكان بعيد عن المبنى. أو إلى بالوعة داخلية بالمبنى. و إذا كانت هذه الأنابيب تكون حلقة كاملة حول المبنى ، فيمكن الاستعانة بها في شفط الرادون بعيداً عن التربة المحيطة بالمبنى وفي خفض أو منع تسرب الرادون إلى المبنى.

ج – طريقة شفط غاز الرادون من جدران البدروم :- يحتوي الطوب الأسمنتي المستخدم في بناء العديد من حوائط أقبية المباني على تجاويف متصلة ببعضها البعض. فتكمن طريقة شفط غاز الرادون من جدران القبو من سحب الرادون من تلك التجاويف قبل أن يتسلل إلى المبنى ، وذلك عن طريق خلق منطقة ضغط منخفض تقوم بعكس اتجاه تدفق الغاز الموجود بالتربة. و يتم ذلك عن طريق عمل ثقوب في التجاويف الموجودة بالطوب الأسمنتي و يتم توصيل تلك الثقوب بأنابيب مصنوعة من البلاستيك أو من المعدن تحيط بأرضية القبو. و هناك طريقة أخرى للقيام بشفط غاز الرادون من جدران القبو وتتضمن تلك الطريقة إدخال الأنابيب المصنوعة من البولي فينيل كلوريد في الجدران الأسمنتية و تقوم مراوح العادم بشفط غاز الرادون إلى خارج الجدران. وتعتبر طريقة شفط الرادون من القبو مكلفة وتزيد تكلفة تركيب نظام أنابيب الشفط في حالة القبو المعد للمعيشة[5]. و نستخلص مما سبق أن حماية المباني من خلال التصميم و أثناء التشييد هي الأكثر كفاءة والأقل تكلفة من التدخل للحد من الرادون في المباني القائمة ، لذا سوف يتم تحليل بعض المباني القائمة في بعض المناطق الجبلية في اليمن.

12 - تحليل بعض المباني القائمة في اليمن :

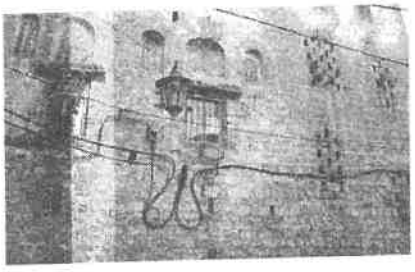
إن تنوع خريطة اليمن الجيولوجية سبب في تنوع الأحجار المستخدمة في البناء من نارية و رسوبية طفليه [9]. و تنوع مواد البناء وطرق استخدامها في مختلف الأقاليم المناخية للجمهورية اليمنية أعطت تميزاً للعمارة اليمنية ولاسيما العمارة التقليدية القديمة، حيث توجد هناك أنماط معمارية مختلفة من المنازل ومواد البناء المستخدمة ولاسيما عمارة المدن القديمة التي استخدمت مواد البناء المتوفرة في المنطقة نفسها فمثلاً مدينة إب القديمة بنيت بالكامل من محجر واحد يقع شرق المدينة (تبة المعقبة). وفي الوقت الحالي وبفضل وسائل النقل الحديثة التي تنقل الأحجار من مختلف محاجر الجمهورية إلى كل أرجاء البلاد تنوعت المباني وتشابهت ،علاوة على ذلك استخدام البلك الأسمنتي والخرسانة العادية والخرسانة المسلحة .وقد تكون العديد من المواد الأولية التي تدخل في مكونات بناء المنازل مصدرة لغاز الرادون المشع. وهنا سوف نركز على بعض النماذج السكنية في محافظة إب وتعز للتعرف على نظام التهوية ومواد البناء المنفذ منها المبنى، وخصوصاً الدور الأرضي والأول لمساكن المدينة القديمة الذي تحولت وظيفتها من مخازن للعلف و الحطب و مأوى للماشية و الأبقار إلى مسكن للإنسان . حيث تمثل هذه المنازل في مجموعها أشكالاً هندسية أغلبها عبارة عن متوازي مستطيلات ومكعبات فهي على استقامة عالية بدون حدائق داخلية، متراصة بجوار بعضها البعض مع تفاوت المساحات و الارتفاعات. و تتنوع المنازل من حيث عدد الطوابق كما إن ندرة الفتحات والنوافذ في الطوابق السفلية من المنزل يعطي إحساساً بثبات و جسارة المبنى . وتزداد الفتحات وتتسع كلما ارتفعنا إلى أعلى.

12-1- العامل المناخي و البيئي:

المناخ صيفا: تتعامد الشمس على مدار السرطان وتشتد الحرارة في اليمن ولكنها تختلف شدتها من منطقة إلى أخرى. تصل متوسط الحرارة عند شاطئ البحر 35درجة مئوية وعند ارتفاع 3500م فوق سطح البحر تصل إلى 19 درجة مئوية أما في المناطق الداخلية فتصل إلى 40درجة مئوية. و ترتفع الرطوبة النسبية في المناطق الساحلية إلى (60٪ - 70٪) مثل الحديدة و عدن ، وفي المرتفعة (الجبلية) ما بين (35٪- 60٪) مثل صنعاء تعز و إب ، وفي المناطق الداخلية ما بين (50٪ - 77٪) مثل سيئون في وادي حضرموت. و تتركز منطقة ضغط منخفض فوق شبه الجزيرة العربية بينما تسيطر منطقة الضغط على المسطحات المائية (المحيط الهندي). تهب الرياح الموسمية الجنوبية الغربية وتزداد الرطوبة من البحر الأحمر و تسقط أمطار على المرتفعات الجبلية.

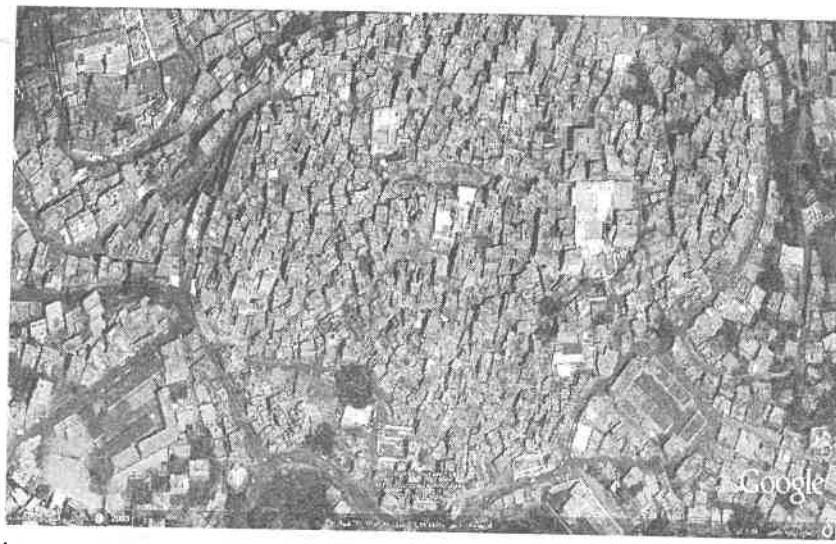
المناخ شتاء: تتعامد الشمس على مدار الجدي وتنخفض درجات الحرارة في اليمن. و تصل في المناطق الساحلية إلى25 درجة مئوية وفي المناطق الجبلية من7 إلى دون الصفر المئوي في بعض الأحيان أما في المناطق الداخلية فتصل إلى 11 درجة مئوية. تتركز منطقة ضغط مرتفع على شبه الجزيرة العربية. و تهب الرياح الشمالية الشرقية على شرق اليمن بعد عبورها للخليج العربي حيث تتشبع ببخار الماء وتسقط الأمطار بصورة غير منتظمة على الأجزاء الشرقية من اليمن[12].

عند بحث العلاقة بين المسكن و المناخ فإن الخصائص الصحية و النفسية للإنسان يجب أن تحتل موقعاً في صلب الدراسة. فعلى مهندس المباني وضع الإنسان في مركز اهتماماته، باعتبار أن الراحة الصحية و النفسية تشكل الهدف الأساسي من تصميم و بناء الأبنية السكنية، تنظيم و تشكيل الوسط المحيط، و من ثم فإن المناخ و البيئة المحيطة يلعبان دوراً أساسياً .فمثلاً في المناطق الجبلية تتوفر فيها الأحجار البازلتية و الكلسية و الكلسية الرخامية، و الجرانيت. كما تتمتع بتوفر الأشجار و الطين كمادة بناء يتم استخدامها في العمارة الجبلية. لقد كان الحجر المستخرج من المنطقة مادة إنشاء أساسية حيث عرف السكان الشكل الجيد لتحمل قوى الضغط . فاستخدموا المنتظم كما في مدينة إب وشبه



المنتظم في مدينة تعز. فبنوا الجدران من الحجر مع مادة رابطة من الطين. ووصلت سماكة الجدار حتى 110سم هذه الجدران السميكة بالإضافة إلى طبيعة الأرض الجبلية أثرت بشكل رئيسي على نمط العمارة الجبلية ، حيث أعطت طابعاً معمارياً برجياً مميزاً.

لقد كانت فراغات المسكن في المنطقة الجبلية مؤدية للوظيفة المطلوبة منه بالشكل السليم و الصحيح الذي أراده الساكن فيه و استفاد من المواد المتوفرة وخصائصها المميزة في المنطقة ،حيث إن طبيعة ومناخ المنطقة الجبلية قد أدى إلى اختفاء الفناء الداخلي . حيث لم يكن هناك حاجة للتعديل الحراري . و الأسلوب التخطيطي شبه الحر السائد في المنطقة الجبلية وظهور الشوارع المنكسرة وغير المستمرة و خاصة الشوارع التي تأخذ اتجاه شمال – جنوب والتي كانت بدورها تقف حائلاً أمام الرياح الشمالية الباردة ، تشكل عاملاً هاماً في التناغم مع البيئة الجبلية . (الصورة لمدينة القديمة إب)



أما من حيث الإنارة و التهوية فقد استخدمت الفتحات العلوية الصغيرة للإنارة والتهوية في السابق ، و من تطور المجتمع و توارد العمارات الأخرى على بلادنا مع دخول الاحتلال العثماني و من ثم البريطاني ظهرت الفتحات الكبيرة و التي أصبحت أقل انخفاضاً من الفتحات في المرحلة السابقة. و من أجل تغطية المجازات الكبيرة تم استخدام القوس كعنصر إنشائي.

أما الأسقف فقد جاءت تلبية لمتطلبات البيئة الجبلية من حيث توفر مواد البناء في المنطقة وكذلك توفر كميات كبيرة من الأمطار. و الأسقف المستخدمة في هذه المنطقة الجبلية الأسقف المستوية مع ميل بسيط لغرض تصريف مياه الأمطار. و كان يتم إنشاؤها من مواد البناء المتوفرة في المنطقة حيث تم استخدام الخشب وفروع الأشجار(يسمى القصع) و القش والطين ...الخ. حيث توضع أولاً الأوتاد الخشبية على الجدران في الاتجاه القصير بشكل منتظم ، وهي ذات أقطر من 15 إلى 20سم .ثم توضع فروع الأشجار (القصع) عليها والطين المخلوط بالتبن ومن ثم التراب و بعد ذلك يتم إنهاء السطح الأخير بمادة عازلة للرطوبة تسمى القضاض .

12- 2- **العادات و التقاليد**:منذ القدم والإنسان اليمني يملك في نفسه عادات و تقاليد خاصة به تميز و انفرد بها عن غيره. و أصبحت هذه العادات و التقاليد جزءاً لا يتجزأ من حياته وسلوكياته حتى أصبحت أنموذجاً حياً في حياته ، وأرسى دعائمها وحافظ عليها. وخصوصاً المحافظة على الحجاب الكامل للمرأة عن أنظار الرجال الأجانب أية تغطية جميع بدنها بما فيه الوجه وذلك عند خروجها من المنزل أو مقابلة غريب . و استخدام الحجاب الإسلامي (أي بدون تغطية الوجه) داخل المنزل عند تواجد بعض الأقارب غير المحارم و هذا التزام بقوله تعالى (يا أيها النبي قل

لأزواجك و بناتك و نساء المؤمنين يدنين عليهن من جلابيبهن ذلك أدنى أن يعرفن فلا يؤذين و كان الله غفوراً رحيماً) (الأية59 من سورة الأحزاب) . و قد انعكست هذه العادات و التقاليد على الأنماط المعمارية اليمنية قديمها وحديثها، سواءً التقسيم الداخلي أو الغلاف الخارجي للمسكن . حيث يحتل حجب جناح النساء عن جناح الرجال أولوية وكذلك تحقيق الخصوصية بحجب الرؤية من الخارج إلى الداخل باستخدام الستائر .علاوة على ذلك العامل الأمني الذي أدى إلى التأثير على عدد الفتحات ومقاساتها في الأدوار السفلية و حمايتها بقضبان معدنية وشبك ناموسي كل هذا يقلل من الإضاءة و التهوية الطبيعية .

12- 3- العلاقة التحليلية العامة للمسكن في المنطقة الجبلية:

بصورة عامة المسكن في المنطقة الجبلية يتألف من العناصر التالية :

غرف المعيشة و النوم - غرفة استقبال الضيوف (الديوان) – دورة المياه و الحمام – المطبخ – الحجب (فراغ معماري لتخزين المحصول الزراعي) – ركن الحيوانات – مخزن العلف و الحطب.

توجد عدة أنواع من العلاقات التحليلية العامة التي تربط عناصر المسكن و هذا النوع ناتج عن الحالة الاقتصادية للسكان و التطور الذي حدث في المسكن :

النوع الأول: الدور الأرضي يقسم إلى فراغات مختلفة في المساحة .حيث المساحات الصغيرة لإيواء الحيوانات و المساحات الأوسع لتخزين الأعلاف و الحطب و غيرها ، ولها فتحات تهوية صغيرة بعرض لا يزيد عن 10سم وارتفاع لا يزيد عن 25سم ،بحيث لا يستطيع أ حد الدخول من خلالها أو حتى الرؤية بوضوح إلى الداخل بسبب عرض المداميك و الإضاءة الطبيعية السيئة . وبعض من هذه الفراغات لا يوجد لها أي فتحات إلى الخارج فقط فتحت الباب بسبب وجود مبنى ملاصق له. أما الدور الأول فينقسم إلى قسمين . القسم الأول لحفظ الغلال (الحجب)، و القسم الثاني، غرف معيشة ودورة مياه و مطبخ. و الدور الثاني غرف معيشة واستقبال ضيوف (الديوان) ،و مطبخ ودورة مياه. و كذلك قد يتكرر الدور الثالث و الرابع مع بعض التغيير البسيط، وتفتح أبواب جميع الفراغات المعمارية إلى حجرة مفتوحة على بيت الدرج . و أما بالنسبة للدرج فإنه تلتف حول دعامة رئيسية مبنية من الأحجار وتسمى قطب الدرج.

النوع الثاني: وهو أكثر تطوراً من النوع الأول حيث يضم كل دور شقتين منفصلتين تماماً عن بعضهما البعض ، وكل شقة تتكون من غرفتين أو ثلاث و مطبخ و حمام و صالة توزيع. و يبدأ هذا التقسيم من الدور الأول ،أما الدور الأرضي فيقسم كما في النموذج الأول ، إلا في حالة وجود

المبنى في حي تجاري، فإن جزءاً منه يستغل محلات تجارية . و نظراً للنمو السكاني المتزايد ، و كثافة الهجرة الداخلية من الريف إلى المدينة و الزحف العمراني على
الأراضي الزراعية، تحولت وظيفة الدور الأرضي إلى مسكن للإنسان مع بعض التعديلات في التشطيبات الداخلية و فتحات النوافذ و هذا ما يقلق الباحث لعدم كفاية التهوية الطبيعية و كذلك الإضاءة النهارية. حيث يقل معدل تغيير الهواء لتصل إلى مرة واحدة كل ثمان أو تسع ساعات مما

يؤثر سلباً على صحة القاطنين فيها.(أعلاه صور لمباني في مدينة تعز القديمة)حيث التنفس هو الحياة ، وإذا كانت عملية التنفس في حد ذاتها هي العملية الأساسية لاستمرار حياة الكائنات الحية فإن نوعية الهواء الذي تتنفسه هذه الكائنات لا يقل أهمية عن العملية نفسها، فاستنشاق الهواء الذي يحتوي على العديد من الملوثات و قد يكون من بين هذه الملوثات غازات طبيعية ، مثل غاز الرادون. فإن الضرر الصحي يكون اكبر و أخطر على الأصحاء من القاطنين و قد استفحلت مشكلة الهواء داخل المباني خلال العقود الأخيرة من القرن العشرين مع زيادة استعمال مواد البناء و التشطيبات المختلفة **Synthetic** وكيماويات البناء المختلفة، وكل هذه المواد غير الطبيعية تسهم في تركيز الملوثات في الهواء وخلق بيئة داخلية غير صحية، [25] . لذلك فإن التهوية الجيدة للمبنى تعتبر احد أهم العوامل للتغلب على تركيز الملوثات داخل الفراغات المغمارية و هنا تظهر أهمية توجيه فتحات المبنى إلى اتجاه الرياح السائدة مع الحرص على تواجد أكثر من فتحه بكل غرفة لخلق تيار هوائي مناسب بها.

النتائج:

1- يعتمد تركيز غاز الرادون في المساكن على كمية اليورانيوم في الصخور و التربة التي بني المسكن عليها و المسارات المتاحة لمرور الرادون إلى داخل المسكن، و معدل استبدال الهواء الداخلي بالهواء الخارجي، و ذلك يتوقف على الأسلوب الذي بني به المسكن و عادات التهوية التي يمارسها

سكانه و كيفية سد النوافذ. و مستويات الرادون أعلى في الطوابق السفلية و الأقباء أو الهياكل الأخرى المتصلة بالتربة. كما يمكن أن تتباين تركيزات الرادون بين البيوت المتجاورة، و كذلك يمكن أن تتباين داخل البيت الواحد من يوم لآخر و من ساعةٍ لأخرى.

2- يحظى غاز الرادون باهتمام عالمي متزايد؛ كونه المسبب الثاني لمرض سرطان الرئة ،حتى إن بعض الدول مثل مصر اعتبرته جزءاً من الأمن القومي للبلد و يعتبر مقياساً جديداً لتقدم الشعوب.

3- الغاز الطبيعي المستخدم في المنازل سيئة التهوية قد يكون مصدراً من مصادر تركيز غاز الرادون فيها.

4- يختلف اهتمام الحكومات بوضع حدود علاجية لتركيز غاز الرادون ،من بلد لآخر حيث تلعب عوامل مثل تطور هذا البلد و الوعي الجماهيري لبعض الأمور العلمية. و من أولويات الاهتمامات كذلك سويات تركيز هذا الغاز في المنازل.

5- الظروف المناخية والبيئية للجمهورية اليمنية تساعد على الاستفادة من التهوية الطبيعية للحد من مخاطر غاز الرادون.

6- نسبة الإصابة المباشرة بسرطان الرئة عند سكان المناطق الجبلية أعلى بكثير من سكان المناطق الساحلية و الصحراوية.

7- في المباني الذي تحتوي على تركيز ما من غاز الرادون تكون فرصة إصابة المدخن والمدخن السلبي (ولاسيما في مجالس القات) أكبر بكثير من غير المدخنين.

التوصيات:

1- التوسع في دراسة مخاطر غار الرادون و كشف مواطنه و وضع خارطة على مستوى الجمهورية اليمنية يبين فيها أماكن تواجده و مستويات تركيزه.

2- توفير كواشف الرادون مثل **CR-39** للقياس في المناطق المأهولة بالسكان لاسيما في المناطق التي توجد بها مؤشرات مثل انتشار مرض سرطان الرئة و الدم و كذلك المباني القديمة.

3- القياس الدوري للمحاجر للتأكد من نسبة احتوائها على مادة الراديوم .

4- الاهتمام بقياس تركيز غاز الرادون في موقع البناء قبل البدء بعملية التصميم أو التنفيذ حتى تتخذ الإجراءات التصميمية المناسبة .

5- الاهتمام بعملية التهوية الطبيعية وفتح أكثر من نافذة للفراغ المعماري الواحد.

6- في حالة البناء في مناطق يتركز فيها غاز الرادون يتم استخدام العناصر الإنشائية المصممة

لخفض أو حماية الفراغات المغلقة من الرادون .

7- هذا المنحى من البحث لابد من استمراره و توسيعه و استكماله مستقبلاً، وتبقى الغاية الأساسية في هذه المرحلة إثارة اهتمام مهندس المباني بكفاءة المبنى بيئياً.

المصادر والمراجع:

أولاً: المراجع العربية:

1- د. محمد فاروق أحمد، د. احمد محمد السريع (2005م) " أسس الفيزياء الإشعاعية"

2- محمد الأحمد الهلال (1998)"غاز الرادون المشع وضرورة تحديد تركيزه في البيئة الجيولوجية للمدينة المنورة" هيئة الطاقة الذرية السورية قسم الجيولوجيا

3- موري بريتشر، شيرلي لند (2001) "منازل صحية في عالم كله سموم"

4- الهيئة العربية للطاقة الذرية بالتعاون مع هيئة الطاقة الذرية السورية "الدورة التدريبية" بعنوان "غاز الرادون و قياساته في البيئة"

5- نشرة فصلية ربع سنوية في "الذرة والتنمية" (2007) بعنوان "مستويات غاز الرادون المشع داخل المباني" الهيئة العربية للطاقة الذرية – تونس- المجلد 19 العدد 4

6- عواطف محمد ناصر السعيدي (2009) "تأثير النمط الهندسي للمنازل على التعرضات الإشعاعية الطبيعية في صنعاء القديمة"

7- د. محمد حمود الزهيري، د. عبد العزيز عمر بازهير، أ.د. شاكر محمود الجبوري (2009) "حساب معدل الجرعة الممتصة في الهواء وتركيز **Th-232 , U-238** و النشاط الإشعاعي النوعي الطبيعي لعينات من التربة الزراعية في الجمهورية اليمنية" مجلة الباحث الجامعي – يونيو(21) جامعة إب

8- الدورة التدريبية (1994) حول "الرادون والتلوث البيئي – الرادون وسلاسل النشاط الطبيعي" الهيئة العربية للطاقة الذرية- تونس

9- م. معين عبد الملك سعيد(2002) "أصول النمط ألبرجي في العمران اليمني التقليدي"- جامعة القاهرة

10- إحصائية (2009) مركز علاج الأورام السرطانية بالمستشفى الجمهوري بصنعاء

11- الشنطي احمد محمود سليمان (2003) "جيولوجية الدرع العربي" الطبعة الثانية–جامعة الملك عبد العزيزجدة

12- د. شهاب محسن عباس (1996م) "جغرافية اليمن الطبيعية - صنعاء

ثانياً المراجع باللغة الأجنبية:

13 - проектирание противорадоновой защиты жилых и общественных зданий- ПГСН -2-02-97

تصميم المباني السكنية و العامة المحمية من غاز الرادون – المواصفات القياسية الروسية

14-IAEA "Radiation Protection against Radon in work places other than Mines" Safety reports series ,No 33,2003

15- Durrani Iic "Radon Measurements by Etched Track Detectors " world Scientific 1997

16- K.M. Abumurada, M.H. Al-Tamimib "Natural radioactivity due to radon in Soum region" –Jordan February,2004

17- Shweikani R, Badr.I.,Maged A. F., Andam A.A. and Durrani A.S "calibrated chamberfor parametric studies of radon and thoron gases radiation measurements"1995

18- Toohey R., Essling M., Morkun F., and Rundo, "Environmental Radiation" , Proc. Mid Year Sytposium of Health physics Society Laramie W.Y. Health Physics Society , 1985

ثالثاً مراجع من الإنترنت:

19- http://www.arabvolorg

20- http://www.epa.gov/radon/pub"s/citguide.htmll-wikipedia"(www.answers.com/topic/radon)

21- http://www.okhdood.com/?act.&id=2364

22- http://www.yemen-nic.info/contents/studies

23- http://www.kenanoline.com/users/saidmac

24- http://www.epa.gov/radon/pubs/citguide.html (A citizen's Guide to Radon)

25- http://www.kenanaonline.com