الفصل الرابع

# مصادر غاز الرادون ومستوياته في الجو

## 4 - 1 مصادر غاز الرادون في الجو

### 4 - 1 - 1 تحرر غاز الرادون من التربة:

تقدر مشاركة الأجزاء العليا من القشرة الأرضية في الرادون المتحرر إلى الجو بما لا يقل عن 80%، حيث يقدر التحرر السنوي من هذا الغاز $9 \times 10^{19}$ بيكريل (34) ومصدر هذا الرادون هو الراديوم الموجود في أديم الأرض الذي يتولد عن سلسلة تفكك اليورانيوم كما أسلفنا، وهذه يتفاوت تركيزها بتفاوت الموقع وبتفاوت أنواع الصخور أو التربة ، وعادة ما يحدد تركيز اليورانيوم ـ 238 بالأجزاء في المليون من الوزن أو بإشعاعيته النوعية معرفة بوحدة البيكريل/كغم، علما بأن معامل التحويل بين الوحدتين هو: 37 بيكريل/كغم = 3,0 أجزاء بالمليون من اليورانيوم. ويبلغ تركيز اليورانيوم في صخور الجرانيت نحو 25 جزء بالمليون أما في البازلت[1] فتتدنى تلك النسبة إلى نحو جزء واحد بالمليون ، ويبلغ متوسط تركيز اليورانيوم في التربة نحو 2,3 جزء بالمليون، وهذا هو المهم في تحديد تركيز غاز الرادون في الجو. أما في خامات اليورانيوم فإن هذه النسبة تتراوح بين 1000 و$2 \times 10^{5}$ جزء بالمليون (25).

والإشعاعية النوعية لكل من اليورانيوم ووليده الراديوم تكون متساوية إذا كانا معا لمدة زمنية طويلة، حيث تحصل حالة الاستقرار بينهما، ولكن نظرا لاختلاف توزيع العنصرين في قشرة الأرض فإن تركيزهما قد يتفاوت عن حالة الاستقرار، إلا أن

(1) البازلت: صخر عاتم ثقيل، ذو مقاومة عالية للكسر، وهو من أكثر الصخور البركانية انتشاراً. استخدمه الإنسان في القديم بوصفه أداة لأنشطة عدة مثل معصرة زيت الزيتون وجرش القمح .. إلخ (25).

obeikandl.com

معدل تركيز العنصرين في القشرة الأرضية متساو تقريبا، حيث تبلغ النسبة نحو 2,3 جزء بالمليون.

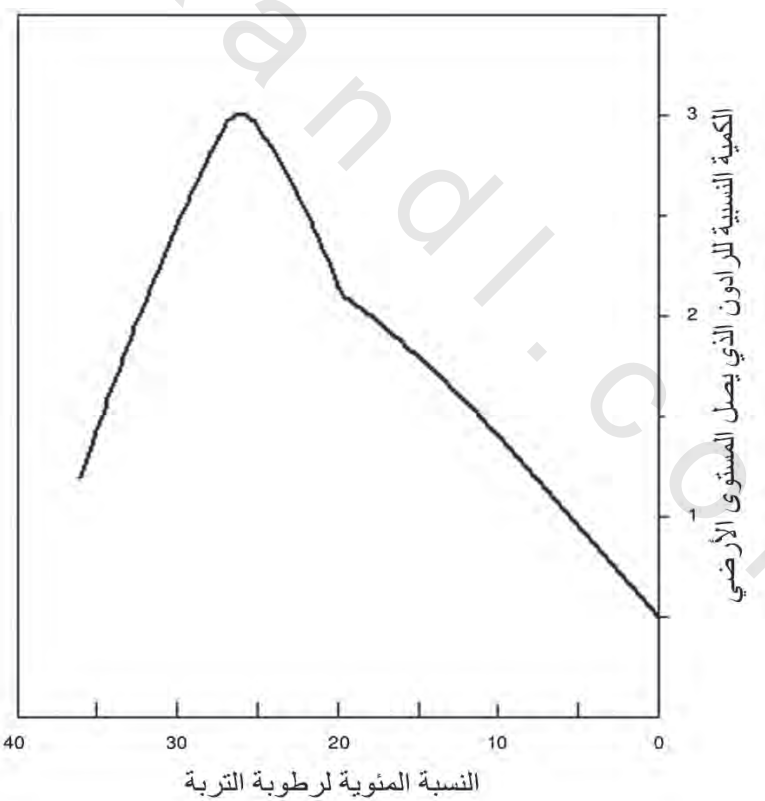
ومن المعلوم أن تفكك نواة ذرة الراديوم ـ 226 يؤدي إلى إنتاج ذرة رادون ـ 222، فإذا تولد الرادون قريبا من سطح الأرض فيمكنه أن يتحرر من التربة بدلاً من أن يبقى بها ويضمحل، وقد قيس معدل تحرر غاز الرادون من التربة فوجد أن مقداره 0,02 بيكريل/م$^2$/ ث (70 بيكريل/م$^2$/س) تقريبا، وهذا يمثل تحرر 8800 ذرة رادون /م$^2$/ ث، ولهذا إذا حسبنا تحرر غاز الرادون من مساحة اليابسة في القشرة الأرضية البالغة $1,5 \times 10^8$ كم$^2$. فإن القيمة التقريبية لإشعاعية الغاز المتحررة بالسنة هي $9 \times 10^{19}$ بيكريل ($2,4 \times 10^9$ كوري). وعلى ذلك لو حسبنا التحرر لمساحة المملكة العربية السعودية تكون الإشعاعية المتحررة بالسنة هي $1,3 \times 10^{18}$ بيكريل تقريباً.

وهذه الحسابات مبنية على قيم تقريبية لأن تحرر غاز الرادون يختلف من مكان لآخر، نتيجة الاختلاف في كل من التركيب الصخري للقشرة الأرضية وفي مسامية التربة، كما أن ما تحتويه التربة من ماء يؤثر على تحرر الرادون منها، فيزيده إذا كانت التربة قليلة الرطوبة، ويحد من تحرره إذا كانت التربة شديدة الرطوبة (انظر شكل (4-1))، كما أن تحرر غاز الرادون يقل إذا كانت الأرض مغطاة بالثلوج، وإذا كان الضغط الجوي مرتفعا نسبيا، لكل هذا فإن تحرر غاز الرادون يتفاوت مع الزمن كما يتفاوت مع المكان.

### 4 - 1 - 2 تحرر غاز الرادون من المياه تحت السطحية

تعدُّ المياه تحت السطحية المصدر الثاني لغاز الرادون في مختلف بيئات الأرض، لأن تلك المياه على احتكاك بتربة الأرض وصخور سطح الأرض، فهي تخترق كل من قطاع التربة والصخور الموجودة أسفل منها لتصل إلى الفجوات والفراغات الموجودة في كل منهما، وتذيب غاز الرادون المتحرر نتيجة تفكك الراديوم ـ 226. وغاز الرادون يذوب في الماء بشكل كبير، وخاصة في الماء البارد مما يسمح له الانتقال في الأرض (34)،

فتحت ضغط جزئي مقداره ضغط جوي واحد يتراوح ذوبان الغاز بين 51 سم$^3$ في كل 100 سم$^3$ من الماء عند الصفر المئوي، و13سم$^3$ في كل 100 سم$^3$ من الماء عند درجة 50 مئوي. ولو أخذنا الذوبان الأقل، فإن ذلك يمثل $6 \times 10^{15}$ بيكريل من غاز الرادون في اللتر من الماء، لهذا فإن تركيزه في المياه تحت السطحية لا تحده درجة الحرارة (7). وكذلك فإن الضغط الجزئي لغاز الرادون يعد قليلا جدا مقارنة بالضغط الجوي، إلا أن ضغطه الجزئي في الصخور قد يصل إلى مستويات مرتفعة تسمح بارتفاع كبير لتركيزه في الماء تحت سطح الأرض، وعندما يصل الماء سطح الأرض فإن معظم غاز الرادون يتحرر منه إلى الجو نظراً لانخفاض ضغطه الجزئي فيه، إلا أن النسبة القليلة المتبقية من الغاز في الماء قد تمثل إشعاعية مرتفعة جدا. ويعتمد تركيز غاز الرادون في المياه تحت السطحية على طبيعة الصخور التي توجد فيها.




**شكل** (4 - 1) تغير معدل تحرر غاز الرادون من التربة مع رطوبتها (27).

ونظرا لقابلية غاز الرادون للذوبان في الماء، فإن تركيزه فيه يمكن أن يكون مرتفعا جدا حتى عند درجة الغليان كما هي الحال في بعض الينابيع الحارة التي تستخدم بصورة تقليدية للعلاج، وفي كثير من الأحيان يكون المقصود هو العلاج بغاز الرادون (انظر باب (7 - 8)). وعلى الرغم من ارتفاع تركيز غاز الرادون في المياه تحت السطحية في بعض الينابيع فإن مشاركة تلك المياه في إطلاق الغاز إلى الجو تعدُّ محدودة، وتقدر بنحو $2 \times 10^{19}$ بيكريل بالسنة كحد أقصى وتمثل خمس مشاركة التحرر من التربة تقريبا.

### 4 - 1 - 3 المصادر الأخرى لغاز الرادون

يقل تركيز كل من اليورانيوم والراديوم في ماء البحر كثيرا عن تركيزهما في كل من التربة والصخور حيث يبلغ 1 إلى 4 أجزاء بالبليون، أو واحد بالألف من تركيزه في التربة تقريباً. ونظرا لهذا الانخفاض في التركيز فإن مقدار ما يتحرر من غاز الرادون من أسطح المحيطات إلى الجو يعد قليلاً جداً حيث يقدر التحرر السنوي من هذا الغاز $8,5 \times 10^{17}$ بيكريل (34)، والجدول (4 - 1) يوضح مشاركة المصادر المختلفة لغاز الرادون في الجو على مستوى العالم، فالمحيطات بالرغم من أنها تشكل ضعف مساحة اليابسة إلا أن مشاركتها تبلغ 1% فقط من مجموع غاز الرادون المتحرر إلى الجو، كما أن مشاركة مخلفات استخراج اليورانيوم قليلة جدا (7).

obeikandl.com

جدول (4 - 1) مشاركة المصادر المختلفة لغاز الرادون على مستوى العالم (7).

| المصدر | المشاركة السنوية بيتا(1) بيكريل/م$^3$ |
|---|---|
| الانبعاث من كل من الصخور والتربة | 74,000 |
| الانبعاث من المياه تحت السطحية | 19,000 |
| الانبعاث من المحيطات | 1000 |
| الانبعاث من مخلفات خام الفوسفات | 100 |
| الانبعاث من مخلفات خام اليورانيوم | 70 |
| الانبعاث من مخلفات الفحم الحجري | 0,7 |
| الانبعاث من غاز الطبخ | 0,4 |
| الانبعاث من حرق الفحم الحجري | 0,04 |

(1) ألبيتا بيكريل = $10^{15}$بيكريل .

## 4 - 2 مستوى غاز الرادون في الجو

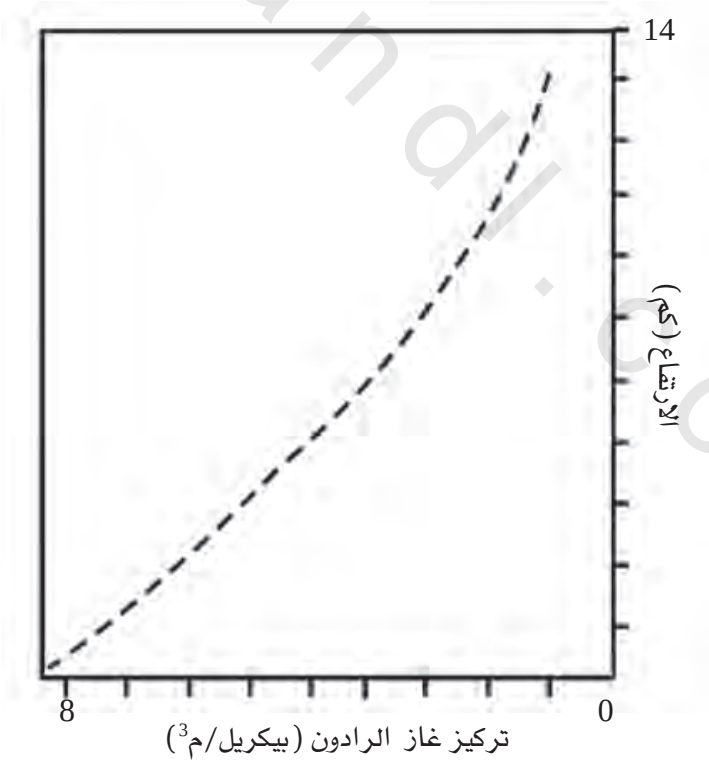
إن غاز الرادون الذي يتحرر من أديم الأرض، يقل تركيزه بشكل كبير عادة مع اختلاطه بالهواء وانتشاره، حيث إن تركيزه يتراوح عادة بين 4 و8 بيكريل/م$^3$ (جدول (4 - 2))، وهناك بعض الاستثناءات تم قياسها نظراً لظروف جوية خاصة تجعل غاز الرادون يبقى مكانه في الهواء الطلق، مما يجعل تركيزه يصل بحدود 100 بيكريل/ م$^3$. وحيث إن غاز الرادون يصل الهواء الطلق من الأرض فإن تركيزه يقل مع الارتفاع عن سطح الأرض، فقد وجد أن تركيزه ينخفض إلى النصف مع الارتفاع مترا واحدا عن سطح الأرض، وينخفض إلى الربع عند الارتفاع مئة متر، ويقل إلى الثمن عند ارتفاع كيلو متراً واحداً، لهذا كان من الضروري تحديد الارتفاع عند الحديث عن قياس تركيز غاز الرادون في الهواء الطلق، وعادة ما يقاس على ارتفاع متر واحد من سطح الأرض، والشكل (4 - 2) يبين انخفاض تركيز غاز الرادون في الجو مع الارتفاع. أما في المناطق القطبية الشمالية (ألاسكا) فقد وجد أن تركيزه منخفض

obeikandi.com

(0,4 بيكريل/م$^3$)، وربما يعود السبب في ذلك إلى سمك طبقة الجليد التي تغطيها. أما في المناطق الغنية باليورانيوم فقد وجد أن التركيز يرتفع إلى 30 بيكريل/م$^3$ (7). والتركيز المعتمد لغاز الرادون في الهواء الطلق، في كثير من الحسابات هو 8 بيكريل/م$^3$ على ارتفاع متر واحد.

جدول (4 - 2) متوسط تركيز غاز الرادون في عدد من بيئات الأرض (25)

| الموقع | التركيز ذرة/ سم$^3$ | النشاط الإشعاعي بيكريل / م$^3$ |
|---|---|---|
| الهواء فوق المحيطات | 0,04 | 0,1 |
| الهواء قرب سطح الأرض | 4 | 8 |
| في المساكن السعودية | 11 | 22 |
| في هواء التربة | 20,000 | 40,000 |
| في خامات اليورانيوم | 500,000 | 1000,000 |




شكل (4 - 2) انخفاض تركيز غاز الرادون في الجو مع الارتفاع عن سطح البحر (71).

obeikandl.com

## 4 - 3 النشاط التقني للإنسان وتحرر غاز الرادون

### 4 - 3 - 1 التنقيب عن الفوسفات

تحتوي خامات الفوسفات عادة على نسب من اليورانيوم والراديوم، لذا يتوقع وجود مستويات مرتفعة من غاز الرادون في مناطق التنقيب عن الفوسفات، وأعلى إشعاعية لتركيز الراديوم في هذه الخامات هي نحو 1,5 بيكريل/غم أو 1500بيكريل/كغم، وهي تزيد عن المعدل المعتاد لتركيز الراديوم في التربة بمقدار خمسين ضعفا تقريبا، مما يقود إلى ارتفاع معدلات تحرر غاز الرادون منها إذا كانت هذه الترسبات قريبة من سطح الأرض، وعندما تطرح مخلفات التنقيب على السطح. والمشكلة الرئيسة التي يمكن أن تشكلها هذه المخلفات إذا استخدمت لدفن أرضيات المساكن أو في البناء حيث يتحرر غاز الرادون منها بمعدلات مرتفعة يمكن أن تصل إلى داخل المسكن فترفع مستوى الرادون فيه (7).

### 4 - 3 - 2 التنقيب عن اليورانيوم

إن التنقيب عن خام اليورانيوم يمثل مشكلة أعقد من مشكلة التنقيب عن الفوسفات، وذلك لأن مخلفات التنقيب عن اليورانيوم غنية بنشاطها الإشعاعي حيث إن اليورانيوم قد يشكل 0,1% من الخام، ومخلفات عملية التنقيب تحوي جزءا من هذا اليورانيوم ـ 238 وولائده من مثل الثوريوم – 230، وعمر نصفه 75000 سنة، والراديوم – 226، وعمر نصفه 1600 سنة. والخطورة الرئيسة لهذه المخلفات تنبع من تحرر غاز الرادون إلى الجو، ومن تسرب الراديوم إلى المياه السطحية على افتراض أن المخلفات مثبته بحيث لا تجرفها السيول إلى مسافات بعيدة. ويشترك الرادون المتحرر من المخلفات في زيادة نسبة هذا الغاز داخل المساكن بحدود 1% إلى 2% فقط، لذا يمكن إهمالها. وقد استخدمت مخلفات خام اليورانيوم في دفن أرضيات بعض المساكن في أمريكة الشمالية قبل البناء، وفي بناء المسكن أيضاً بديلاً عن الرمل مما زاد من تحرر غاز الرادون بمقدار 600 ضعف عن معدله في التربة المعتادة (7). ولذا وجب التحذير من مثل تلك الممارسات.

obeikandl.com