غاز الرادون وتأثيراته البيئية

د. سمير عبد المجيد

يحظى غاز الرادون بأهمية متزايدة في الأوساط العلمية لما يعتقد من تأثيره على الصحة اذ أنه مصدر من مصادر الإشعاع التي يمكن أن تدخل الجسم البشري عن طريق التنفس. وقد اهتمت به الهيئات المعنية بالبيئة إهتماما واضحاً ، وصنعت أجهزة لقياسه. ووضعت الحكومات المختلفة حدودا لتركيزه في الهواء وأوصت بعدم بناء منازل في المناطق التي يزداد تركيزه فيها .

يصنف الرادون على أنه من الغازات الخاملة (مثل الهيليوم والنيون والارجون) والتي لاتتفاعل كيميائياً ، وهو مع ذلك أكثر حركة من كثير من الغازات المعروفة ، فهو يخرج من عمق عدة أمتار من الأرض خلال الشقوق الأرضية وينتشر في هواء المنازل حيث يدخل هو أو سلالته الى الرئة.

الرادون وسرطان الرئة

بدأ الإهتمام بالرادون في الثلاثينيات عندما لوحظ زيادة الإصابة بسرطان الرئة لدى عمال المناجم، حيث تزداد نسبة تركيزه في هواء كهوف المناجم. وفي الخمسينيات قدمت دراسات تثبت أن سبب الزيادة الملحوظة في السرطان ليس الرادون بالدرجة الأولى بل سلالته، فكون الغاز مشعا لجسيمات يعني أنه يتحول إلى عنصر آخر عند إطلاق هذه الجسيمات. والجسيمات المنطلقة من الرادون هي جسيمات الفا الثقيلة الوزن نوعا ما. والعنصر الذي يتحول إليه الرادون هو بدوره عنصر مشع يطلق جسيمات أخرى ليتحول إلى عنصر آخر، وهكذا إلى أن نصل في نهاية المطاف إلى عنصر الرصاص غير المشع ، وهذا هو المقصود بالسلالة. وسلالة الرادون من النظائر المشعة ليست خاملة كالرادون، بل تلتصق بدقائق الغبار الصغيرة العالقة في الهواء الجوي وعند تنفس هذه الدقائق فإنها تدخل إلى الجهاز التنفسي ، وقد يتم إيقاف وتصفية الدقائق الأكبر حجما في الأنف أو الجزء العلوي من الجهاز التنفسي إلا أن الدقائق الصغيرة تصل إلى الشعب الهوائية الدقيقة وتلتصق بالغشاء المخاطي وتبقى لفترة معينة قبل أن يطردها الجسم، كما تصل بعض الدقائق إلى الحويصلات الهوائية في نهاية الشعب الدقيقة لتبقى فترة طويلة فيها أو تنقل للدم. وتقذف الدقائق المترسبة في الشعب الهوائية الدقيقة وفي الحويصلات جسيمات الفا ـ الثقيلة نوعاً ما ـ التي تبدد طاقتها في منطقة موضعية صغيرة مسببة تأينا كثيفا في ذلك الموضع مما يؤدي إلى تلف الخلايا الحية في هذا الموضع أو إحداث تغيرات في صفاتها الوراثية . وتقدر الجرعة الإشعاعية لسلالة الرادون بحوالي ٥٠٠ ضعف جرعة الرادون ذاته في بعض الحالات .

مصادر وصفات الرادون

هناك نظائر مشعة كثيرة موجودة في البيئة بصفة طبعية تطلق الإشعاعات بصورة مستمرة. فهناك ثلاث سلاسل أساس تبدأ كل منها بنظير معين يتحلل إلى نظائر أخرى مشعة منها الرادون وتنتهي بنظير غير مشع أي مستقر. تبدأ السلسلة الأولى بنظير اليورانيوم ٢٣٨، والثانية بالثوريوم ٢٣٢، والثالثة باليورانيوم ٢٣٥. ويبين الجدول (١) سلسلتي اليورانيوم والثوريوم وهما الأكثر وفرة في الطبيعة كما يبين عمر النصف لكل نظير فيها ونوع الاشعاعات الصادرة منه .

وتوجد عناصر السلاسل الإشعاعية الطبعية التي تنتج الرادون بصورة رئيسة في التربة، لذلك تعد التربة المصدر الرئيس لغاز الرادون . ويزداد الرادون في المناطق الصخرية خاصة في الصخور البركانية والجرانيتية بسبب وجود كميات كبيرة نسبيا من اليورانيوم والثوريوم فيهما مقارنة بالتربة الرسوبية. لذلك يزداد تركيزه بصورة عالية في المناجم عموما وإن لم تكن مناجم لليورانيوم . فقد وجد مثلا أن تركيزه في مدينة واشنطن ١٢ ضعف تركيزه في الاسكا. وهناك تفاوت يومي كبير في التركيز قد يصل إلى ١٠٠ ضعف في وقت معين عنه في وقت آخر ، وللضغط الجوي ودرجة الحرارة أثر كبير على تركيزه ، فإذا قل الضغط الجوي عموما أدى ذلك إلى زيادة إطلاق الغاز من التربة، ويفوق تركيز الرادون تحت سطح التربة تركيزه في هواء الغرفة بمئات المرات، لذلك فإنه في حالة انخفاض الضغط داخل الغرفة بسبب سحب الهواء إلى الخارج مثلا بآلات لسحب الهواء، أو ارتفاع درجة حرارة الغرفة أعلى من الخارج، فإن الرادون يُسحب من التربة بمعدل أسرع .

وينخفض تركيز الرادون بازدياد الرطوبة في الجو أو بالمطر، وقد لوحظ أن

النظير	الإشعاع الرئيس	عمر النصف
سلسلة اليورانيوم		
يورانيوم ٢٣٨	ألفا ، جاما	$٤,٥ \times ١٠^{٩}$ سنة
ثوريوم ٢٣٤	بيتا ، جاما	٢٤ يوماً
بروتاكتيتوم ٢٣٤	بيتا ، جاما	١,٢ دقيقة
يورانيوم ٢٣٤	ألفا ، جاما	$٢,٥ \times ١٠^{٥}$ سنة
ثوريوم ٢٣٠	ألفا ، جاما	٨×١٠^{٤} سنة
راديوم ٢٢٦	ألفا ، جاما	١٦٢٢ سنة
رادون ٢٢٢	ألفا ، جاما	٣,٨ يوم
بولونيوم ٢١٨	ألفا	٣,٠٥ دقيقة
رصاص ٢١٤	بيتا ، جاما	٢٦,٨ دقيقة
بسموث ٢١٤	ألفا ، بيتا	١٩,٧ دقيقة
بولونيوم ٢١٤	ألفا ، جاما	$١٦,٤ \times ١٠^{٤}$ ثانية
رصاص ٢١٠	بيتا ، جاما	٢٢ سنة
بسموث ٢١٠	ألفا ، بيتا	٥ أيام
بولونيوم ٢١٠	ألفا ، جاما	١٣٨ يوم
رصاص ٢٠٦	مستقر	—
سلسلة الثوريوم		
ثوريوم ٢٣٢	ألفا ، جاما	$١,٤ \times ١٠^{١٠}$ سنة
راديوم ٢٢٨	بيتا ، جاما	٦,٧ سنة
اكتينيوم ٢٢٨	بيتا ، جاما	٦,١٣ ساعة
ثوريوم ٢٢٨	ألفا ، جاما	١,٩ ساعة
راديوم ٢٢٤	ألفا ، جاما	٣,٦٤ يوم
رادون ٢٢٠	ألفا ، جاما	٥٥ ثانية
بولونيوم ٢١٦	ألفا ، جاما	١٦, ثانية
رصاص ٢١٢	بيتا ، جاما	١٠,٦ ساعة
بسموث ٢١٢	ألفا، بيتا، جاما	٦٠,٥ دقيقة
بولونيوم ٢١٢	ألفا	$٣,٠٤ \times ١٠^{٧}$ سنة
ثاليوم ٢٠٨	بيتا ، جاما	٣,١ دقيقة
رصاص ٢٠٨	مستقر	—

● سلسلتي البورانيوم والثوريوم ، إشعاعاتها وعمر النصف لها .

أعلى تركيز له يكون في الساعات الأولى من النهار وأقل تركيز في الساعات المتأخرة بعد الظهر.، كما يعتمد تركيزه على نفاذية التربة. فالتربة عالية النفاذية تسمح له بالخروج من الطبقات السفلى للأعلى . وللتهوية أثر شديد الفعالية في تركيزه بل تكاد تكون العامل الأساس في تخفيف تأثيره .

وتؤثر مواد البناء المستخدمة وخاصة الأسمنت والخرسانة على تركيز غاز الرادون داخل المنازل إذ تحتوي هذه المواد على نسب متفاوتة من اليورانيوم ٢٣٨ والثوريوم ٢٣٢ وبالتالي تمثل مصدرا مستمرا للرادون. كما يوجد اليورانيوم والثوريوم في مادة الجبس الفسفوري المستخرج من بقايا مصانع الفوسفات. لذلك يمكن أن يكون تركيز الرادون في المنازل الشعبية المبنية من الآجر والطين أقل مما في الأبنية الحديثة .

الرادون في الماء

تعد بعض مصادر المياه الجوفية العذبة المستخدمة للشرب والنظافة مصدراً مهما للرادون، حيث أن الرادون يذوب في الماء وعند مرور الماء على الصخور فإنه يسحب منه غاز الرادون . فإذا كانت الفترة الزمنية منذ ضخ المياه من تحت الأرض وحتى إيصالها إلى المنازل قليلة يكون تركيز الرادون فيها عاليا وخاصة الرادون ٢٢٢ ذو نصف العمر ٣,٨ يوماً . أما الرادون ٢٢٠ والرادون ٢١٩ فيكون مستواهما قليلاً أو معدوماً نظراً لصغر العمر النصفي لهما ، وقد ينخفض تركيز الرادون إذا خُزِّن الماء فترة معينه تكفي لتفكك الرادون ٢٢٢. ومن ناحية أخرى قد توجد كميات صغيرة من الراديوم ٢٢٦ في المياه الجوفية والذي ينحدر منه الرادون ٢٢٢ . وقد وجد أن تركيز الرادون في الماء يتفاوت من مكان إلى آخر تفاوتاً يزيد على عشرات المرات، كما أنه يزداد في المياه العميقة عنه في المياه القريبة من السطح . وقد وجد كذلك أن تركيز الرادون في الماء يرتفع في حمامات المنازل عدة مرات عنه في بقية الغرف إن لم تكن هناك تهوية جيدة. ويعتقد أيضا أن لحركة المياه الجوفية دورا واضحا في زيادة نسبة الرادون داخل المناجم، اذ تصحب المياه السارية معها هذا الغاز من مناطق بعيدة إلى جو المنجم. وفي إحدى الدراسات وجد أن ٨٥٪ من الرادون ناتج من التربة و ١١٪ من الهواء خارج المنزل و ٣٪ من مواد البناء وأقل من ١٪ من الماء. إلا أنه من المؤكد أن لا تنطبق هذه الأرقام على جميع المنازل لتغير طبيعة الأرض ومواد البناء ومصادر الماء من مكان إلى آخر. ومما يجدر ذكره أن وجود الرادون في الماء لن ينتج عنه جرعة إشعاعية محسوسة للجهاز الهضمي، بل يكون تأثيره في زيادة تركز الرادون في الهواء وبالتالي تأثيره على الجهاز التنفسي. ويمكن أن يكون الغاز الطبعي المستخدم في المنازل مصدرا من مصادر الرادون أو سلالته لكونه يؤخذ من تجاويف أرضية عميقة يتسرب إليها الرادون من الصخور المجاورة. وقد وُجدت أعضاء من سلالة الرادون مترسبة على مواسير وخزانات محطات معالجة الغاز حيث قد يصحبها الغاز معه عند مروره فيها .

مستوى الإشعاع والحماية الإشعاعية

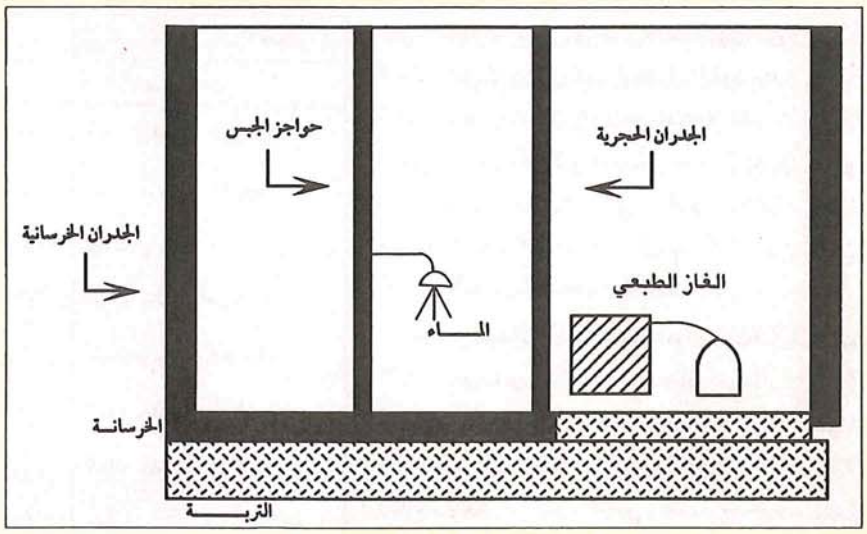
من الصعب حساب أو قياس الجرعات الإشعاعية الناتجة عن الرادون وسلالته ، وهناك نماذج حسابية مختلفة إضافة إلى نماذج عملية تجريبية لتقويم تلك الجرعات، وترجع الصعوبة في تقويم جرعات الرادون لعوامل ومتغيرات كثيرة مثل التوزيع الكتلي والحجمي لدقائق الغبار، ومعامل التصاق تلك الدقائق وأحجام الدقائق التي تدخل إلى الشعب الهوائية وحجم المنطقة التي تؤثر فيها الإشعاعات وهكذا .

حفزت الجرعات العالية من الرادون الدوائر العالمية المختصة لتقديم توصيات حول تركيزات الرادون ومستوياته،إلا أن هذه التركيزات أثارت الكثير من الجدل .

وقبل الإشارة إلى المستويات المقبولة وغير المقبولة من الرادون ينبغي توضيح بعض امور الحماية الإشعاعية، وخاصة ما يتعلق منها بالإشعاعات الطبيعية ، فالإشعاعات الطبيعية موجودة منذ وجد الإنسان والرادون جزء منها . ولقد ثبت بما لا يدع مجالا للشك أن نسبة الإصابة بالسرطان تزداد بازدياد مستوى الإشعاعات كما تزداد بازدياد عدد المتعرضين لها. فلو فرضنا أن هناك مدينة معينة تعدادها ١٠ ملايين نسمة تعرضت لمستوى معين من الإشعاعات (كالرادون مثلا) وأن هناك ١٠ حالات سرطانية تظهر سنويا نتيجة لذلك، فإن عدد حالات السرطان تقل إلى النصف أي خمس حالات لو قل مستوى الإشعاعات أو قل عدد المتعرضين للنصف . إن وجود الإشعاعات لايعني بالضرورة الإصابة بالسرطان بل إن نسبة معينة فقط هي التي تصاب به، وتزداد هذه النسبة بازدياد مستوى الإشعابات أو بزيادة عدد المتعرضين . لذلك فإن مبدأ الحماية الإشعاعية حاليا ينص على خفض الجرعات الإشعاعية إلى أقل مستوى يمكن إنجازه عمليا .

والحدود التي أوصت بها المنظمات الدولية المختلفة للعاملين في مجال الإشعاعات والذين تقتضي مهنتهم التعرض لها هي الحدود التي تتساوى فيها مخاطر المهنة مع مخاطر المهن الأخرى. أما لعموم الجمهور من غير العاملين في مجال الإشعاعات فتقلل الحدود إلى مستويات تقل بأكثر من عشرين مرة .

والسؤال الذي يختلف في جوابه بعض المختصين هو هل نسبة الإصابة بسرطان الرئة تتناسب مع تركيز الرادون في الجو حتى عند التركيز المنخفض ؟. وهل العلاقة بين عدد الإصابات والتركيز لأي مجموعة معينة من الأشخاص هي خط مستقيم على ورقة الخطوط البيانية ؟. أي إذا تضاعف التركيز تضاعفت الإصابات ؟ .



● مصادر الرادون في المنزل .

إن الدراسات الخاصة بتركيز الرادون في هواء المناجم وإصابات سرطان الرئة لدى عمال المناجم تثبت أن العلاقة قريبة من أن تكون طردية . فقد جاء في دراسات متابعة عمال المناجم لعشرات السنين مثل الدراسة التي تمت في تشيكوسلوفاكيا وكندا والسويد أنه مهما كان تركيز الرادون قليلا فهناك احتمالات هي بدورها قليلة للإصابة بسرطان الرئة .

وقد أوصت اللجنة الدولية للحماية الإشعاعية (ICRP) وكذلك المجلس الوطني للحماية الإشعاعية في الولايات المتحدة (NCRP) بضرورة نشر توصياتها في هذا الخصوص مؤكدة ضرورة الحماية من غاز الرادون .

الحدود الإشعاعية للرادون في المنازل

أوصت اللجنة الدولية للحماية الإشعاعية بأن لا تتعدى الجرعة الإشعاعية لعموم الجمهور واحد ملِّ سيفرت في السنة وهو ما اتخذته معظم دول أوربا وهو ما يعادل ٤٠٠ بيكرل في المتر المكعب من الهواء. وقد اتخذت كثير من دول أوربا مستوى ١٠٠ بيكرل للمتر المكعب كمستوى يسمح فيه ببناء المساكن الجديدة. ومع ذلك فهناك حوالي عشرين ألف منزل في انجلترا يزيد المستوى فيها عن الحد الأقصى، وهناك أرقام مشابهة في الدول الأخرى. أما بعض الدول الأوربية مثل فنلندا فقد اتخذت ٨٠٠ بيكرل في المتر المكعب حدا أقصى في المنازل القديمة و ٢٠٠ بيكرل للمنازل الجديدة ، ومع ذلك هناك حوالي ١,٤٪ من المنازل زاد تركيز الرادون فيها عن ٨٠٠ بيكرل في المتر المكعب. أما الولايات المتحدة فقد اتخذت ١٥٠ بيكرل في المتر المكعب (٤ بيكوكوري / لتر) كحد أقصى ويعتقد أن ٢٠٪ من المنازل تزيد على هذه النسبة. وهناك عدد لا بأس به يصل فيه المستوى عشرات أضعاف هذا المستوى بل ومئات الأضعاف. ويعتقد حدوث ما بين ٥٠٠٠ و ١٠٠٠٠ حالة وفاة في السنة من سرطان الرئة بسبب الرادون في الولايات المتحدة ، وهي وحدها تمثل ٦ ــ ١٢٪ من جميع حالات الوفاة بالسرطان . ومما يجب ذكره هنا أن هناك حدا آخر لمستوى الرادون في الهواء يسمي « مستوى العمل » (WL) اتخذ أصلا لعمال المناجم ويعادل ٣٧٠٠ بيكرل / متر مكعب (١٠٠ بيكوكوري / لتر).

وبالـرغم من أن الحد الأعلى في الـولايات المتحدة أقـل منه في أوربـا إلا أنه كـان مثارا للجـدل الواسـع، إذ يقـول المنتقدون أن هـذا الحد يعطي نسبة خطـورة أعلى بحوالي مائة ضعف من نسبـة الخطورة التي وضعتهـا لجنة التنظيمات النووية الـدوليه الأمريكية لـلإشعـاع النـاتج عن الطـاقـة النوويـة . ويعتقـد أن نسبـة السرطـان مـن الـرادون هـو ٥٠٠ ضعف ذاك النـاتـج عن الطـاقـة النوويـة . وفي حـين تشـدد اللجنـة على إنفـاق المبالـغ لحمايـة البيئة وإنقـاذ الأرواح البشريـة مـن خطـر الإشعـاعـات من الطاقـة النوويـة فإنهـا أكثـر تسـاهـلا مـع الـرادون. وتبين الـدراسـات فـي الـولايات المتحـدة أن التعـرض بصـورة مستمـرة إلـى ٤ مستويـات عمـل في السنـة يـؤدي إلـى مـوت ١٣٠ شخـص نتيجـة سرطـان الرئـة لكل ألـف شخص ، بينمـا جاءت الـدراسات في السـويد بأنـه تحدث حـالة سرطـان واحـدة من كل ٣٠٠ شخص نتيجـة لـزيـادة تـركيـز الـرادون بمـقدار حـوالي ٣٧ بيـكرل في المـتر المكعب (١ بيكوكوري / لتر) .

قيـاس الـرادون في الهـواء

نظـرا لأن الإشعـاعـات الصـادرة من الرادون وأعضاء سـلالته هي جسيمات الفا وبيتا وإشعـاعات جاما لـذا فإنـه من حيث المبـدأ يمكن استخـدام أي كـاشف لهذه الجسيمات للكشف عن الـرادون إذا وجـد بتركيز مناسب للكـاشف . إلا أنه في الحالات التي تشمل فيهـا القيـاسات منـاطق كثيرة ومتعـددة كـالمنازل مثـلا، فيجب أن يكـون الكـاشف قليل الكلفـة وسهـل الإستعمال وقابل للنقل بسهـولة. وقـد اعتمدت وكـالة حماية البيئة في الولايات المتحدة سبع طرئق قياسية منها ما يلي :-

● جهاز حفر الأثر

وهـذا الجهاز يعد أكثر انتشارا ، وهو عبارة عن قطعة من مـادة بلاستيكية توضع في الهواء فإذا سقطت عليها جسيمـات ألفا الثقيلـة فإنها تترك أثـرا أو نقطـة لا تـرى بالعين ، فـإذا وضعت القطعة البـلاستيكية بعـد ذلك في مـادة مثـل هيـدروكسيـد الصوديوم وتحت مجال كهربـائي متذبذب يكبر الأثـر الذي يتركـه كل جسيم ، ويمكن حساب تلك الآثـار بالمجهـر ، حيث يتناسب عـددها مـع تركيز الرادون في الهواء. وتعد هذه الطريقة سهلة وعملية إضافة إلى كونها تقيس الرادون لفترة طويلـة وبالتالي تجُنب الخطأ النـاتج عن التغـيـر الـزمني في مستـوى الـرادون .

● صندوق الفحم

من المعلـوم أن الفحـم النبـاتي يمتص الغـازات ومنهـا الـرادون. فإذا تم وضع الصندوق في غرفة فإن غاز الرادون يتركز فيه. وبعـد وضعه بحـوالي ستة أيـام يرفع الصنـدوق ويـوضع على جهـاز لقيـاس اشعـاعات جـاما الصـادرة عن أحد نظـائر سلالة الرادون. وتتناسب القراءة في الجهاز طردياً مـع تركيز الرادون في الغـرفة. وهذه الطـريقة عمليـة أيضا إلا أنها أقل دقـة من الطـريقة السـابقة . وقـد ظهرت دراسـات خاصة تقارن بين الطريقتين .

● الكواشف الحرضوئية

وهـو عبارة عن أقـراص صغيرة تخزن طاقـة الإشعـاعـات . فإذا وضعت في الغـرفة لفترة معينة فـإنها تخزن الطاقـة الصادرة من الـرادون وسـلالتـه. بعـد ذلك يسخن الكاشف ويصـدر وميضا ضوئيـا يتناسب في كثـافته طـردياً مـع كثافـة الإشعـاعـات الساقطة. ومن مسـاويء هذه الطريقة أنها تستجيب للأشعة الصادرة من غير الرادون وسلالته مثل الأشعة الكونية .

● الكواشف الوميضية

وهي من الطرائق الأكثر دقة، ويتم فيها ضخ الهواء الى غـرفـة بـداخلهـا كـاشف جسيمات الفـا. وهنـا يعطي الجهاز طـاقـة جسيمات ألفـا إضافـة إلى عددهـا . ويمكن أيضا تجميع ذرات الغبار في الجو بـوساطة تمريـر الهواء على مرشح ثم قياس الأشعة بوساطـة أحد الكاشفات الغازيـة مثل غرفة التأين (Ionization Chamber) .

● الشريط البلاستيكي

وهو أكثر الطرائق بسـاطة حيث تعتمد على تجميع نتاج التحلل والتي تحمل شحنة كهـربائيـة على شريط بلاستيكي ثم قـراءة الفولتيـة الناتجة عن هذه الشحنـة . وقد تم تطوير هذه الطريقة حديثا .

● تجميع الأيونات

وهي طـريقة جـديدة أخـرى طورت في فنلنـدا تعتمـد على جمع أيونـات في الهـواء وقياس شحناتها .

خفـض تركيـز الـرادون

تعد التهويـة من أبسط الطرق وأفضلها عمليا لتقليل تـركيز الـرادون داخل المنازل ليكون مساويـا لتركيزه خارجها. فـالتركيز في الداخل أعلى بكثير عنه في الخارج . ويمكن استخـدام المـراوح أو سـاحبات الهـواء أو التهـويـة الطبعيـة لهذا الغـرض، الا أنـه في البـلاد الباردة أو الحارة تقلل التهـويـة من عملية التكييف المستخدمة داخل المنازل .

ومن الطرق الفعـالة في هـذا الخصوص تنقيـة هـواء الغـرفـة من دقـائق الغبـار باستخـدام أجهزة تنقيـة الهواء المعروفـة . وقـد تم تطويـر جهـاز يقلل ٩٠٪ من تأثير الـرادون. وهناك طـرق مختلفة تعتمـد على سحب الهواء خـلال مـرشح أو استخـدام مجال كهـربـائي لسحـب دقـائق الغبـار، وتستخـدم كـذلك طريقـة تلتصق خـلالها ذرات الغبار على ألـواح ذات صفات معينـة أو على جدار الغرفة .

وإذا كان المصـدر الرئيس للـرادون هو بـاطن الأرض فيمكن استخـدام مضخـات لسحب الهواء من تربة المنـزل ودفعه بعيدا عنـه لمنعـه من الـدخـول ويمكن أيضـا استخـدام حـواجـز للـرادون توضـع على أرضية المنـزل أو على المناطق الأخـرى التي يدخل منها الـرادون أو أن تسد الشقوق في الجدران أو أرضية المنزل بمواد مختلفة .