

الفصل الثامن

تقدير المخاطر الصحية للمشع الرادون

8 - 1 تمهيد

يمكن تقدير مخاطر الإصابة بمرض سرطان الرئة نتيجة التعرض للرادون بحساب الجرعات الإشعاعية المدمرة للخلايا الحساسة في الرئة. وقد قامت الهيئة الدولية للحماية الإشعاعية [ICRP] بتقدير الجرعة الإشعاعية لغاز الرادون وولائده، والطريقة المتبعة في ذلك هي أولاً حساب الجرعة الممتصة في النسيج الرئوي للاستنشاق المحدد لولائد الرادون، ثم تضرب جرعة الامتصاص هذه بمعامل الإشعاع النوعي لجسيمات ألفا الذي يعكس قدرة هذا النوع من الإشعاع لإحداث التلف، وبذلك يتم الحصول على الجرعة المكافئة. ونظراً لتباين الأعضاء والأنسجة المختلفة بالجسم في حساسيتها للإشعاع فإن الجرعة المكافئة تضرب بمعامل النسيج النوعي الخاص بالعضو المتعرض للإشعاع وهو في هذه الحالة الرئة للحصول على الجرعة المؤثرة (انظر باب (2 - 4))، ومنها يمكن تقدير مخاطر الإصابة بمرض سرطان الرئة بضرب القيمة الأخيرة بمعامل خطر الإصابة بهذا المرض المحدد سابقاً. ونظراً لتعذر قياس الجرعة الإشعاعية التي تتعرض لها الرئة نتيجة استنشاق ولائد الرادون لذا ينبغي حسابها بوضع نموذج لمراحل استنشاق ولائد الرادون وترسبها أو خروجها من الرئة أو تفككها الإشعاعي في الشعب الهوائية. وقد أظهرت النماذج العديدة التي درس على ضوءها هذا الموضوع إلى أن الجرعة المتعرض لها من الاستنشاق المحدد للولائد ليس ثابتاً بل يعتمد على عوامل بيئية وشخصية (28)، من أهمها أحجام وتركيز ذرات الهباء المستنشقة التي تحمل ولائد الرادون الملتصقة، ومعدل التنفس وحجم الرئة. ونظراً لتباين في الافتراضات التي وضعها العلماء لنموذج جرعة الرئة كان

التفاوت الكبير في تقدير المخاطر، وقد أجريت تحسينات كثيرة على هذه النماذج لغرض الخروج بتقدير للجرعات يكون أقرب إلى الصحة.

والطريقة الأخرى المتبعة في تقدير مخاطر الاستنشاق المحدد لولائد الرادون في البيوت يتم بربطه بمعدلات ظهور مرض سرطان الرئة في عمال المناجم الذين تعرضوا لكميات مرتفعة من ولائد الرادون أثناء سنوات عملهم. وهناك نماذج عديدة تستخدم لهذا الغرض، وسنتطرق في هذا الفصل لهذا الموضوع بشيء من التفصيل.

8 - 2 معاملات الخطر

إن مخاطر غاز الرادون على عموم الناس تستند إلى دراسات ظهور مرض سرطان الرئة بين عمال المناجم الذين تعرضوا لتركيز مرتفع من الرادون لمدد طويلة، وقد نشر حديثاً نتائج دراسات ظهور سرطان الرئة بين عموم الناس تعزز النتائج المستنبطة من دراسة عمال المناجم (انظر باب (8 - 7)).

وظهور الإصابة بمرض سرطان الرئة بين عمال المناجم يعد من الأمراض الوبائية نظراً لارتفاع معدلات الهلاك بينهم منذ القرون الوسطى. وقد تم جمع وتحليل كثير من المعلومات الإحصائية في العديد من الدول في هذا الموضوع منذ الخمسينيات من القرن العشرين الميلادي. ويمكن استقاء معاملين للخطر من هذه الدراسات الوبائية هما: معامل الخطر المعزى (AR)، ومعامل الخطر النسبي (RR)، ويظهر الجدول (8 - 1) الإحصائيات المستقاة لعمال مناجم اليورانيوم في منطقة سهل كلورادوا بالولايات المتحدة الأمريكية ومبين فيه مقادير معاملي الخطر السالفين (28).

ويصنف عمال المناجم بمثل هذه الدراسات إلى مجاميع بحسب الجرعة الكلية التي تعرضوا لها أثناء سنوات عملهم، كما هو مبين في العمود الأول من الجدول (8 - 1)، أما العمود الثاني فيمثل متوسط جرعة التعرض لكل مجموعة. وسبب التفاوت في جرع التعرض هو عادة مدة العمل في المناجم، وقد يكون سببه أيضاً تباين تركيز ولائد الرادون في المناجم المختلفة في المنطقة الواحدة. والعمود الثالث في الجدول يمثل عدد عمال المناجم الذين هم في خطر الإصابة بمرض سرطان الرئة مضروباً

في عدد السنين التي قضوها في خطر. ويحسب عدد سنين الخطر بعد عشر سنوات من العمل في المناجم حتى نهاية الدراسة.

جدول (8 - 1) الهلاك بمرض سرطان الرئة بين عمال المناجم بسهل كلورادو بالولايات المتحدة الأمريكية (28).

معامل الخطر		عدد الهلكى		شخص × سنة	معدل الجرعة (WLM)	الجرعة الكلية سوية عمل شهرية (WLM)
النسبي ⁽²⁾	المعزي ⁽¹⁾	المتوقع	المشاهد			
-	-	3,96	3	5183	60	119 - 0
1,18	7,99	2,24	7	3308	180	239 - 120
1,01	7,79	2,24	9	2891	300	359 - 240
0,98	7,83	3,33	19	4171	480	599 - 360
0,34	2,69	2,62	9	3294	720	839 - 600
0,49	3,98	5,35	40	6591	1320	1799 - 840
0,35	2,83	4,56	49	5690	2760	3719 - 1800
0,35	2,95	0,91	23	1068	7000	3719>
0,45	3,52	25,24	159	32196	1180	الإجمالي

والسنين العشر المستثناة تمثل تقدير معدل سنوات الكمون (قبل ظهور سرطان الرئة) بين عمال المناجم. العمود الرابع في الجدول يمثل عدد الهلاك الحقيقي بين جميع عمال المناجم الذين هم في خطر، أما العمود الخامس فيمثل عدد حالات سرطان الرئة المتوقع محسوباً لكل مجموعة من عمال المناجم على حدة، لو أنهم لم يعملوا في المناجم بل عملوا في مهن أخرى مثل عموم الناس، وقد أخذ في الاعتبار عند حساب معدل ظهور مرض سرطان الرئة فيه، العمر والجنس ومنطقة السكن.

وقد عزيت الزيادة أو الفرق في عدد ظهور حالات الإصابة بمرض سرطان الرئة للتعرض للرادون في هواء المناجم، ومن هذه الفروق تم حساب معاملي الخطر المعزي والنسبي كما هو مبين في العمودين السادس والسابع من الجدول (8 - 1) (28).

(1) معامل الخطر المعزي: (Attributable excess Risk coefficient AR) بالمليون شخص - سنة لكل سوية عمل شهرية.

(2) معامل الخطر النسبي: (Attributable excess Risk coefficient AR) لكل سوية عمل شهرية.

8 - 2 - 1 معاملات الخطر المعزى

يعرف معامل الخطر المعزى على أنه حاصل قسمة العدد الزائد من الإصابة بمرض سرطان الرئة على عدد سنوات الأشخاص المشاركين (شخص - سنة)، وعلى متوسط جرعة التعرض المتراكمة. فمثلاً بالنسبة لمجموعة عمال المناجم الذين تعرضوا لجرعة تراكمية من ولاءد الرادون تتراوح بين 840 و1799 سوية عمل شهرية تبلغ الزيادة في الإصابة بمرض سرطان الرئة [40 - 5,35 = 34,65] في 6591 شخص - سنة، لهذا فإن الزيادة في معدل الهلاك يساوي:

$$0,00526 = \frac{34,65}{6591}$$

أو 5,26 بالألف شخص بالسنة، ويبلغ متوسط التعرض لهذه المجموعة 1320 سوية عمل شهرية [(840 + 1799) ÷ 2]، لهذا فإن الزيادة في خطر الإصابة بمرض سرطان الرئة في وحدة سوية عمل شهرية هي:

$${}^6\text{-}10 \times 4 = \frac{0,00526}{1320}$$

أي 4 بالمليون تقريباً للشخص بالسنة. وينبغي ملاحظة أن معامل الخطر المعزى المذكور في العمود السادس من الجدول (8 - 1) متفاوت بشكل كبير من مجموعة عمال إلى مجموعة أخرى، ويبلغ المتوسط العام لمعاملات الخطر النسبي لكل المجاميع 3,52 بالمليون شخص - سنوات لكل سوية عمل شهرية. ويستخدم معامل الخطر المعزى في حساب الخطر استناداً إلى (نموذج الخطر المطلق) الذي سيناقتش لاحقاً في هذا الفصل.

8 - 2 - 2 معاملات الخطر النسبي

إن معامل الخطر النسبي المذكور في العمود الأخير من الجدول (8 - 1) هو حاصل قسمة العدد الزائد من الإصابة بمرض سرطان الرئة نتيجة العمل في المناجم إلى العدد المتوقع للإصابة لمن لم يعمل بالمناجم محسوباً لوحدته التعرض الإشعاعي. فمثلاً

إذا أخذنا المجموعة المذكورة نفسها في الباب السابق (8 - 2 - 1) فإن نسبة العدد الزائد إلى العدد المتوقع هي:

$34,65 \div 5,35 (= 6,48)$ أو بالمئة، وبتقسيم هذا على متوسط جرعة التعرض وهي 1320 سوية عمل شهرية نحصل على معامل الخطر النسبي وهو 0,491 بالمئة لسوية عمل شهرية واحدة. ومعامل الخطر النسبي لكل المجاميع هو 0,45 بالمئة لسوية عمل شهرية واحدة (28).

8 - 2 - 3 الشك في معاملات الخطر

يمكن استخدام معاملات الخطر في حساب خطر الإصابة بمرض سرطان الرئة لأي مجموعة من السكان ولكن ينبغي قبل إجراء ذلك اختيار معامل خطر مناسب حتى تكون التقديرات قريبة للواقع، ونحن نشاهد التفاوت الكبير في قيم معاملي الخطر مع الجرعة المتراكمة في الجدول (8 - 1) والجدول (8 - 2). فمثلاً إن الخطر لوحدة سوية عمل شهرية لعمال المناجم الذين تعرضوا لجرعة تقل عن 600 سوية عمل شهرية يبلغ ضعفين إلى ثلاثة أضعاف من تعرضوا لجرعة تزيد عن 600 سوية عمل شهرية، كما يبدو أن الخطر لوحدة سوية عمل شهرية تزداد مع نقصان الجرعة المتراكمة. ومع هذا التفاوت الكبير في معامل الخطر يأتي التساؤل التالي: ما هو معامل الخطر المناسب في تقدير الخطر؟

ونظراً لكون مستويات تركيز غاز الرادون في البيئة هي عادة تقل كثيراً عن مستوياتها في المناجم، فإن مقدار الجرعة المتراكمة للرادون خلال العمر هي في المعدل أقل من 20 سوية عمل شهرية، ولم يتوافر حتى وقت قريب (باب (8 - 4)) معامل خطر معتمد مشتق لمثل هذه الجرعات المنخفضة. لهذا ينبغي استخدام نموذج رياضي محدد لحساب معامل الخطر المناسب. فإذا كان الخطر لوحدة سوية العمل الشهرية تستمر في الزيادة مع نقصان الجرعة المتراكمة بشكل يمكن توقعه فإنه يمكن حساب المخاطر للمستويات المنخفضة من التعرض بالاستقراء، لكننا غير متأكدين من تأثير

الإشعاع عند الجرعات المنخفضة، لذا فإن المخاطر لوحدة سوية عمل شهرية بسبب غاز الرادون داخل المساكن قد تكون أكبر وقد لا تكون ذات بال.

جدول (8 - 2) ملخص لمعامل خطر حدوث مرض سرطان الرئة مدى الحياة في وحدة جرعة طاقة ألفا المتراكمة (39).

المصدر	معامل الخطر في وحدة سوية عمل شهرية
1	$4 \cdot 10^{-4} \times 4,5 - 2$
2	$4 \cdot 10^{-4} \times 2$
3	$4 \cdot 10^{-4} \times 2$
4	$4 \cdot 10^{-4} \times 14 \times 2$
5	$4 \cdot 10^{-4} \times 4,5 - 1,5$
6	$4 \cdot 10^{-4} \times 1 \leq$
7	$4 \cdot 10^{-4} \times 2 - 1$

ومعامل الخطر لعمال المناجم تتفاوت في المناجم المختلفة (جدول (8 - 3)) وفي المناجم بالمنطقة الواحدة (جدول (8 - 1)).

ومعامل الخطر المعزى في المناجم المختلفة يتراوح بين 3,5 و20,9، في حين أن معامل الخطر النسبي يتراوح بين 0,45 و8 (انظر جدول (8 - 3)). إن هذا التفاوت الكبير في معاملي الخطر من الأسباب الرئيسة للتفاوت الكبير في حساب مخاطر الرادون في البيئات من قبل الخبراء (انظر جدول (8 - 6)) (28).

8 - 3 تقدير الخطر

وتقدير مخاطر الرادون لجميع السكان من دراسة مجموعة محددة من السكان أمر معقد تماماً. ومنبع هذا التعقيد هو عدم الدقة في تحديد معامل خطر واقعي، بالإضافة إلى عوامل أخرى عديدة منها ما يأتي:

جدول (8 - 3) معامل الخطر بسبب التعرض لولائد غاز الرادون بين عمال المناجم في مناطق مختلفة من العالم (53).

معامل الخطر		الباحثون	مجموعة عمال المناجم
النسبي	المعزي		
0,45	3,5	اللجنة الأمريكية للتأثيرات الحيوية للإشعاع المؤين ³	سهل كلورادوا
0,8	6	وايتنور ومكملن	سهل كلورادوا
1,8	19	اللجنة الأمريكية للتأثيرات الحيوية للإشعاع المؤين ³	تشيكوسلوفاكيا
1,3	7,2	مولر ورفاقه 1985م	أونتاريو
3,28	20,9	هو ورفاقه 1986م	بيفرلوج (كندا)
2,6	-	اللجنة الأمريكية للتأثيرات الحيوية للإشعاع المؤين ⁴	بيفرلوج (كندا)
3,6	19	اللجنة الأمريكية للتأثيرات الحيوية للإشعاع المؤين ⁴	مالبيركين (السويد)
-	21	رادفورد ورينالد 1984م	مالبيركين (السويد)
8,0	17,7	اللجنة الأمريكية للتأثيرات الحيوية للإشعاع المؤين ³	كندا
-	5,6	مورسون ورفاقه 1981م	كندا
2,81	30	ثوماس وماكنيل 1982م	الزنك في السويد
-	50	سولي ورفاقه 1985م	النيوبيوم

1- الاختلاف الكبير في مدة الكمون لمرض سرطان الرئة والذي يتراوح بين 5 و50 سنة. وحيث إن هذا المرض قلما يظهر قبل عمر 40 سنة فإنه يبدو أن مرحلة الكمون تكون أطول عندما يحدث التعرض في الأعمار المبكرة . ولقد وضع الباحثون فرضيات مختلفة لمرحلة الكمون، منها ما وضعته اللجنة الأمريكية للتأثيرات الحيوية للإشعاع المؤين (BEIRIII) كما هو موضح بالجدول الآتي:

سن التعرض سنة	مدة الكمون سنة
15 - 0	25
34 - 15	20 - 15
34>	10

واستخدمت الوكالة الأمريكية لحماية البيئة في بعض حساباتها مدة كمون ثابتة مقدارها عشر سنوات.

2- أشارت بعض الدراسات إلى أن مخاطر الإصابة بمرض سرطان الرئة لجرعة واحدة من التعرض، تزداد إذا حدث ذلك في عمر متأخر، كما تزداد إذا كانت مدة الكمون قصيرة، مما يشير إلى وجود عملية إصلاح تقلل المخاطر عبر مدة من الزمن. ويفترض بعض علماء الصحة، -في حسابهم المخاطر-، أنها تستمر بالنقصان مع الوقت حتى إذا لم يظهر مرض سرطان الرئة بعد 20 سنة، فإن المخاطر تقل بمقدار 50%. غير أن نتائج دراسات أخرى تناقض نظرية الإصلاح تلك، حيث بينت أن معدل ظهور السرطان من التعرض لجرعة واحدة متجانس إلى حد بعيد مدى الحياة، وهذا ما افترضته الوكالة الأمريكية لحماية البيئة في حساباتها.

3- إن مستوى غاز الرادون في البيئة يتفاوت بشكل ملحوظ تبعاً للموقع الجغرافي، وإذا كان الأمر كذلك فما هو التركيز الذي يحسب على ضوءه خطر الإصابة بمرض سرطان الرئة؟ الإجابة أن يؤخذ معدل للتركيز في البلاد، ففي الولايات المتحدة الأمريكية مثلاً أخذ معدل سنوي لتركيز الرادون في المساكن مقداره 31 بيكريل/م³ أو 0,004 سوية عمل، أما تركيزه في الخارج فاتخذ ربع إلى خمس تركيزه داخل المساكن.

ومما ذكر سابقاً من تعريف سوية العمل الشهرية (WLM) أنه التعرض التراكمي لعامل مناجم يعمل في وسط تركيز ولائد الرادون فيه يقدر بنحو سوية عمل واحدة لمدة 170 ساعة في الشهر، في حين أن عموم الناس يتعرضون للرادون داخل المباني وخارجها

دوما مدة 24 ساعة في اليوم على مدار السنة، وإذا افترضنا أن الناس يقضون 75 إلى 80% من وقتهم في المباني متعرضين لمعدل 0,004 سوية عمل ويقضون بقية الوقت في الخارج متعرضين لمعدل جرعة مقداره 0,001 سوية عمل. وحيث إن هناك 730 ساعة في الشهر، و75% من هذه تمثل 547,5 ساعة، وبهذا تكون الجرعة المتراكمة في شهر من المكث في المباني هي $(0,004 \times (170 \div 547,5))$ 0,012 سوية عمل شهرية، وبالسنه 0,155 سوية عمل شهرية. وإذا حسبنا التعرض الإشعاعي للرادون في الخارج تكون الجرعة السنوية المتراكمة للقاطنين في بلد مثل الولايات المتحدة الأمريكية هو 0,167 سوية عمل شهرية. وعادة ما تتخذ جرعة الرادون السنوية المتراكمة 0,2 إلى 0,22 سوية عمل شهرية في حساب المخاطر (28).

8 - 3 - 1 نماذج الخطر المطلق

إن احتمال الإصابة بمرض سرطان الرئة نتيجة التعرض للرادون في نموذج الخطر المطلق يفترض أنه يتناسب طردياً (خطياً) مع مقدار جرعة التعرض دون اعتبار للجنس أو نمط العيش أو للعوامل الأخرى، لهذا فإن معامل الخطر المعزى المشتق من أي دراسة وبائية لمجموعة من السكان يمكن استخدامه في دراسة مجموعة أخرى.

ويمكن التعبير رياضياً عن احتمال الإصابة بمرض سرطان الرئة عند عمر معين باستخدام فرضية الخطر المطلق بالمعادلة الآتية:

$$أح_{ع} = خم_{ع} \times ج (ع - ك)$$

حيث:

أح_ع: احتمال الإصابة بمرض سرطان الرئة عند عمر معين «ع».

خم_ع: معامل الخطر المعزى الذي يمكن أن يعتمد على العمر «ع».

ج: الجرعة المتراكمة.

ك: مدة الكمون.

ع (ع - ك): عدد سنوات التعرض المؤثرة. أو عدد سنوات الخطر.

فمثلاً إذا تعرض شخص ما عمره 40 سنة إلى جرعة ثابتة من ولائد الرادون منذ ولادته مقدارها 0,2 سوية عمل شهرية بالسنة، فإن عدد سنوات التعرض المؤثرة هي 25 باعتبار أن مدة الكمون هي 15 سنة تطرح من عدد سنين التعرض. لهذا فإن الجرعة المتراكمة في سنوات التعرض المؤثرة هي $5 = 0,2 \times 25$ سوية عمل شهرية.

وتستخدم معظم حسابات الخطر معامل ثابت لكل الأعمار إلا أن اللجنة الأمريكية للتأثيرات الحيوية للإشعاع المؤين في تقريرها الثالث افترضت معامل خطر معزى متفاوتا مع العمر كما هو موضح في الجدول (8 - 4).

وباستخدام هذا الجدول فإن معامل الخطر لعمر 40 سنة هو 10 بالمليون شخص - سنة في سوية عمل شهرية واحدة، وبهذا يكون احتمال إصابته بمرض سرطان الرئة هو:

$$\text{أح} = 10 \times 10^{-6} \times 0,2 \times 25 \times 50 = 10^{-6} \times 250 \text{ بالسنة (28).}$$

جدول (8 - 4) العلاقة المفترضة بين معامل الخطر المعزى والفئة العمرية.

معامل الخطر المعزى (10^{-6} لكل سوية عمل شهرية)	الفئة العمرية سنة
0	$35 <$
10	49 - 35
20	64 - 50
50	$64 <$

8 - 3 - 2 تقدير الخطر في السعودية

إن السكان في أي مجتمع لهم أعمار مختلفة، لهذا ينبغي معرفة توزيع الأعمار حتى يمكن حساب مخاطر الإصابة بمرض سرطان الرئة بينهم. يوزع السكان عادة حسب الفئات العمرية إلى مجاميع. والجدول (8 - 5) يبين أعداد السكان بالمملكة العربية السعودية من المواطنين والمقيمين، موزعة حسب الفئات العمرية الثمانية المحددة في

العمود الأول من الجدول. فإذا رمزنا إلى عدد السكان في الفئة العمرية ع بالرمز عس، فإن المعدل السنوي لزيادة الهلاك بمرض سرطان الرئة في هذه الفئة العمرية، الذي نرمز له بالرمز مع ع يساوي:

$$\begin{aligned} \text{مع ع} &= \text{أ ح ع} \times \text{عس ع} \\ \text{مع ع} &= \text{خم ع} \times \text{ج (ع - ك) عس ع} \end{aligned}$$

ولنأخذ مثلاً على ذلك: في الفئة العمرية (50 - 54) سنة، يبلغ معدل العمر المؤثر 42 سنة (العمود الثاني في الجدول (8 - 5)). فإذا كانت جرعة ولاءد الرادون السنوية هي 0,12 سوية عمل شهرية بالسنة، فإن الجرعة المتراكمة لهذه الفئة العمرية هي 5 سوية عمل شهرية (العمود الثالث في الجدول). وإذا كان معامل الخطر هو 20 بالمليون شخص - سنة في سوية عمل شهرية، فإن معدل الزيادة في الهلاك السنوي أ ح ع هو 10×100^6 (العمود الرابع في الجدول)، والزيادة المتوقعة في عدد الهلاك هو 66 (العمود السابع في الجدول). وبجمع الزيادات المتوقعة في عدد الهلاك بمرض سرطان الرئة لجميع الفئات العمرية يكون المجموع هو 486. وبقسمة هذا العدد على مجموع سكان المملكة العربية السعودية البالغ 22,676262 حسب إحصاء 1425 هـ (2004م) نحصل على الزيادة السنوية في خطر الهلاك بمرض سرطان الرئة وهو 21×10^6 أو 21 بالمليون، وهذا الخطر يعد قليلاً إذا ما قورن بالولايات المتحدة الأمريكية البالغ 105 بالمليون حسب أحد التقديرات (28).

إن الأعداد المتوقعة للهالكين في المملكة العربية السعودية بسبب غاز الرادون، بناءً على الإحصائيات السكانية لعام 2004م وهو 486، يزيد كثيراً عن الأعداد المسجلة عام 2001م وهو 220، علماً بأن المسبب الرئيس لمرض سرطان الرئة هو غالباً التدخين وليس غاز الرادون، وهذا يعتمد على أعداد المدخنين ومقدار ما يدخنونه من السجائر يومياً، ومعدل تركيز غاز الرادون في مساكن البلد. وتعليل ذلك يمكن أن يكون فيما يأتي: أولاً: إن الأعداد المسجلة لمرض سرطان الرئة لا تمثل جميع حالات سرطان الرئة التي ظهرت فعلاً في المجتمع، وثانياً إن الزيادة في عدد السكان بين عامي 2001م و2004م يزيد من حالات ظهور مرض السرطان، وثالثاً قد يكون معامل الخطر المستخدم في

الحسابات كبيراً، وهذا هو الأرجح نظراً للاختلاف الكبير في تقدير هذه المعامل (8)، وأخيراً قد يكون معدل تركيز الرادون المستخدم في الحسابات وهو 22 بيكريل/م³ أكبر من المعدل الفعلي لتركيز غاز الرادون في المساكن في المملكة العربية السعودية.

8 - 3 - 3 المخاطر مدى الحياة

يمكن حساب المخاطر لشخص ما مدى الحياة بطريقة مشابهة لما سبق، إلا أنه ينبغي استخدام احتمال الحياة للشخص عند الأعمار المختلفة بدلاً من استخدام توزيع الأعمار في المجتمع. ففي الجدول (8 - 6) احتمالية الحياة محسوبة للفرد في الولايات المتحدة الأمريكية عند الأعمار المختلفة، فاحتمالية الحياة للفرد من الولادة حتى عمر 30 سنة هي 0,9650، أو بصيغة أخرى إن احتمال وفاة الشخص خلال الثلاثين سنة الأولى من عمره هي 35 بالألف.

لتوضيح كيفية حساب الخطر مدى الحياة، سوف نأخذ حالة بسيطة حيث يتعرض شخص لجرعة واحدة مقدارها 15 سوية عمل شهرية في عمر 20 سنة، ونقسم طول العمر المقدر 85 سنة.

جدول (8 - 5) تقدير الهلاك بمرض سرطان الرئة بسبب غاز الرادون في المجتمع في المملكة العربية السعودية، حسب إحصائية عام 1425هـ (2004م) (63).

أعداد الهلاك المتوقعة	عدد السكان	معدل الهلاك 10 - 6 /سنة	الخطر المعزى	الجرعة التراكمية ⁽³⁾ WLM	معدل سنوات التعرض المؤثرة	الفئة العمرية
-	16,389,961	-	-	-	-	0 - 34
37	1,855,550	20	10	2,0	17	35 - 39
43	1,418,761	30	10	3,0	25	40 - 44
44	1,001,774	44	10	4,4	37	45 - 49
66	658,230	100	20	5,0	42	50 - 54
54	448,636	120	20	6,0	50	55 - 64
147	407,375	360	50	7,2	60	65 - 74
95	225,302	420	50	4,8	70	75 +
486	22,676,62					المجموع

(1) الجرعة التراكمية على اعتبار معدل تركيز الرادون في السعودية هو 22 بيكريل/م³، وأن الإنسان يقضي 75% من عمره في المباني، و25% في الخارج.

إلى 7 مدد زمنية كما هو موضح في العمود الأول من الجدول (8 - 7)، فإذا كان التعرض قد حدث عند سن 20 سنة فإن الخطر قبل ذلك منتفي، لهذا لا نشمل المدة 0 - 15 سنة من العمر. والمعادلة العامة في حساب الخطر هي كما يأتي:

$$أح_{ع\ ف} = خم_{ع} \times ج_{ع} \times ع_{د} (أح_{و\ ف} \div أح_{و\ ع})$$

حيث أح هو الخطر المعزى لمدة حياة، و«ف» العمر الذي حدث عنده التعرض لجرعة «ج»، و«ع» أي مدة عمر بعد ذلك، و«و» هو عدد السنوات في مرحلة العمر، أما أح_{و\ ف} وأح_{و\ ع} فهما احتمال الحياة منذ الولادة حتى عمر «ف» و«ع» على التوالي. ولنأخذ مثالاً على ذلك:

جدول (8 - 6) احتمال البقاء على قيد الحياة في الولايات المتحدة الأمريكية (28).

العمر	احتمال الحياة
0	1,000
4 - 1	0,9834
14 - 5	0,9804
24 - 15	0,9767
34 - 25	0,9650
44 - 35	0,9507
54 - 45	0,9244
64 - 55	0,8643
74 - 65	0,7395
+ 75	0,5219

جدول (8 - 7) خطر الهلاك مدى الحياة من التعرض لجرعة واحدة مقدارها 15 سوية عمل شهرية عند عمر 20 سنة (28).

العمر	احتمال الحياة من عمر 20 سنة	معامل الخطر ⁽¹⁾	الخطر المعزى ⁽²⁾
15 - 24	1,000	0	0
25 - 34	0,988	0	0
35 - 44	0,173	10	1460
45 - 54	0,946	15	2128
55 - 64	0,855	20	2655
65 - 74	0,757	50	5678
75 - 84	0,534	50	4005
الخطر مدى الحياة			15926 بالمليون

في مرحلة العمر 45 - 54 سنة، قيمة معامل الخطر هي 10 - 20 بالمليون شخص - سنة في وحدة سوية عمل شهرية استناداً إلى التقرير الثالث للجنة الأمريكية للتأثيرات الحيوية للإشعاع المؤين. واحتمال الحياة خلال عمر 20 سنة إلى عمر 50 سنة (0,946) وجد بقسمة احتمال الحياة من الولادة حتى عمر 50 سنة (0,9244) على احتمال الحياة من الولادة حتى عمر 20 سنة (0,9767). وحيث إن عدد السنوات في مرحلة العمر هي 10 سنوات، فيمكن إيجاد الخطر المعزى خلال مدة العشر سنوات هذه كالآتي:

$$\text{أح (50-45)} = 10 \times 15 \times 10^{-6} \times 0,946 \times 15 \times 2128,5 \times 10^{-6}$$

وبجمع الخطر المعزى لكل مدد الأعمار نجد الخطر مدى الحياة وهو 15929 بالمليون، وهذا الخطر هو بسبب التعرض لجرعة واحدة مقدارها 15 سوية عمل شهرية في عمر 20 سنة، وبهذا يكون الخطر مدى الحياة لكل سوية عمل شهرية هو 1062 (15929 ÷ 15) بالمليون.

(1) بالمليون شخص - سنة في وحدة سوية عمل شهرية.

(2) بالمليون شخص في مدة عشر سنوات.

يمكن حساب الخطر مدى الحياة نتيجة التعرض لغاز الرادون وولائده في البيئة بطريقة ماثلة، بتوزيع التعرض مدى الحياة إلى جرعات في الأعمار المختلفة أثناء العمر، ثم يحسب الخطر المعزى لكل جرعة بعد مرحلة الكمون (28).

8 - 3 - 4 نماذج الخطر النسبي

المفترض في نموذج الخطر النسبي أن احتمال حدوث مرض لسبب ما يتناسب طردياً (خطياً) مع احتمال حدوث المرض نفسه للأسباب الأخرى مجتمعة، وفيما يأتي مثال على ذلك: إذا كان المرض هو سرطان الرئة، والمسبب هو غاز الرادون، فإن فرضية الخطر النسبي تعد أن خطر إحداث الرادون لمرض سرطان الرئة يتناسب طردياً مع احتمال الإصابة بسرطان الرئة نتيجة الأسباب الأخرى مجتمعة التي تتضمن التدخين وتلوث الهواء. وخطر هذه الأسباب مجتمعة، يسمى بـ «الخطر الأساسي»، ويمكن كتابة المعادلة العامة لنموذج الخطر النسبي كالآتي:

$$أح ع = خن \times مج (ع - ك) \text{ خق ع}$$

حيث أح ع هو الخطر على الشخص عند عمر «ع»، و«خن» هو معامل الخطر النسبي، و«مج» هو معدل الجرعة السنوية المتراكمة بوحدة سوية عمر شهرية بالسنة، و(ع - ك) عدد سنوات التعرض المؤثر، و«خق ع» هو الخطر الأساس للشخص عند عمر «ع».

ولنأخذ مثالا على ذلك:

إذا تعرض شخص عمره 40 سنة لمستوى ثابت من ولائد الرادون مقدار 0.5 سوية عمل شهرية بالسنة منذ الولادة حتى عمر 40 سنة، فما هي المخاطر في إحداث الرادون لمرض سرطان الرئة هذا العام، سواء كان الشخص رجلاً أو أنثى؟

إذا اخترنا معاملا للخطر النسبي مقداره 2×10^{-2} في وحدة سوية عمل شهرية، وخطرا أساسا مقداره $4,58 \times 10^{-4}$ بالسنة، ومدة كمون مقدارها 15 سنة فإن زيادة الخطر لهذا الفرد هي:

$$\text{أح } 40 = 2 \times 10^{-2} \times 0,2 \times 25 \times 4,58 \times 10^4 = 45,8 \times 10^{-6} \text{ سنة.}$$

وإذا كان الفرد امرأة فإن خطر إصابتها أقل إلى النصف تقريباً، لأن إصابة النساء بسرطان الرئة تقل كثيراً عن إصابة الرجال، لهذا ينبغي أن يكون الخطر القاعدي المستخدم أقل بكثير من المعدل الذي أخذ للأمريكيين والذي يشمل الرجال والنساء. وإذا كان هذا الشخص غير مدخن سواء كان رجلاً أو امرأة فإن خطر الإصابة سيقبل أيضاً بشكل ملحوظ (إلى الربع تقريباً) لأن نسبة ظهور مرض سرطان الرئة بين غير المدخنين تقل كثيراً عنها بين المدخنين (28).

8 - 3 - 5 الخطر مدى الحياة بسبب التعرض لغاز الرادون في البيئة

هناك العديد من التقديرات للمخاطر الصحية لغاز الرادون في الشعب الأمريكي أجراها وما يزال يجريها عدد من الخبراء منذ عام 1972م. وكان تقدير المخاطر متفاوتاً بشكل ملحوظ كما هو واضح في الجدول (8-8) نظراً للاختلاف في استخدام النماذج، ومعاملات الخطر، ومستويات الرادون وطريقة معالجة الموضوع. ومع كل هذا يبقى الخطر الصحي للرادون في المساكن واضحاً بالرغم من الاختلاف في اختيار النماذج وطرق فهم الموضوع، وفي العموم فإن الخطر مدى الحياة للرادون في المساكن يقدر بنحو 400 بالمليون شخص لكل سوية عمل شهرية، وجرعة التعرض مدى الحياة هي 15 وحدة عمل شهرية تقريباً.

جدول (8 - 8) المعدل العمري لخطر الإصابة بمرض سرطان الرئة بسبب غاز الرادون وولائده في الشعب الأمريكي (28).

المصدر	النموذج	الحالات المعزات بالمليون شخص		
		الرجال	النساء	كلا الجنسين
اللجنة العلمية للأمم المتحدة المختصة بتأثيرات الإشعاع الذري 1997	خطر معزى			200 - 450
اللجنة الأمريكية للتأثيرات الحيوية للإشعاع المؤين 1980	خطر معزى			730
الهيئة الدولية للحماية الإشعاعية 1981	خطر معزى			150 - 450
الهيئة الدولية للحماية الإشعاعية 1984	خطر معزى			130
الهيئة الدولية للحماية الإشعاعية 1987	خطر معزى			150
الهيئة الدولية للحماية الإشعاعية 1987	خطر نسبي	380	80	230
اللجنة الأمريكية للتأثيرات الحيوية للإشعاع المؤين 1988	خطر نسبي			350

8 - 3 - 6 المخاطر على الأطفال:

لم يتم بعد تحديد أثر غاز الرادون في الإصابة بمرض سرطان الرئة عند الأطفال، إلا أنه من المعلوم من دراسة الأمراض السرطانية التي ظهرت بين اليابانيين الناجين من القنبلتين الذريتين اللتين ألقتهما الطائرات الأمريكية على مدينتي هيروشيما وناجازاكي عام 1945م وبينت أن ظهور الأمراض السرطانية كان أكثر في الأطفال ماعدا اللوكيميا أو سرطان خلايا الدم البيضاء.

وإذا كان هناك اختلاف في إحداث الرادون لمرض سرطان الرئة بين الأطفال والبالغين، فإن هذا الاختلاف يمكن أن يكون بسبب الفروق التشريحية ووظائف الأعضاء في أجهزة التنفس، ونظراً لكون هذه العوامل العضوية قد تؤثر على جرعة جسيمات ألفا الرئوية فإنها تستحق النظر.

من البدهي أن حجم رئة الأطفال أو سعتها الهوائية تقل كثيراً عن سعة رئة البالغين. فمعدل الاستنشاق الرئوي لحديثي الولادة تبلغ 20 ملي لتر تقريباً، ويزداد هذا الحجم تدريجياً بمعدل 30 ملي لتر بالسنة حتى عمر 16 أو 18 سنة، وبعدها يقل

معدل النمو ثم يتوقف في النهاية. وهذا الحجم المنخفض من الاستنشاق للهواء عند الأطفال يقابله الارتفاع في معدل التنفس عندهم. فمثلاً الطفل في عمر سنة واحدة يتنفس تقريباً 30 مرة بالدقيقة، في حين أن الطفل بعمر خمس سنوات يتنفس 22 مرة بالدقيقة تقريباً، أما معدل التنفس عند البالغ الذي ما يزاوّل نشاطاً بدنياً فهو 12 مرة بالدقيقة تقريباً.

وإذا ضربنا معدل التنفس في حجم الهواء المستنشق نحصل على معدل التنفس أو الحجم المستنشق في وحدة الزمن. واستناداً إلى المعلومات المعطاة أنفاً فإن الطفل بعمر سنة واحدة يتنفس 1,5 لتراً بالدقيقة في حين أن البالغ يتنفس 6,4 لتراً بالدقيقة.

ومعدل التنفس ليس هو العامل الوحيد في تحديد جرعة الرئة من ولائد الرادون، بل ينبغي أن يؤخذ في الحسبان الأبعاد الأخرى مثل أعداد وأطوال وأقطار الشعب الهوائية واحتمالية ترسب الهباء المستنشق بها، وسمك ظهارة⁽⁶⁾ الشعبيات القصيبية وما إلى ذلك. فإذا أخذت كل هذه العوامل في الحسبان فإن معدل جرعة ولائد الرادون في رئة الأطفال تبلغ ضعفي جرعتها في البالغين تقريباً. وبناء على هذا فإن مخاطر تعرض طفل عمره 5 سنوات للرادون قد تكون ضعف المخاطر لبالغ عمره 25 سنة عند المستوى نفسه من الرادون (28).

8 - 3 - 7 المخاطر على المدخنين:

من المعلوم أن التدخين هو المسبب الرئيس لمرض سرطان الرئة حيث يتسبب بهلاك 160000 مدخن بالعام في الولايات المتحدة الأمريكية وحدها، في حين يقدر الهلاك بسبب غاز الرادون وولائده بنحو 21000 سنوياً (52) معظمهم من المدخنين، حيث يقدر عدد غير المدخنين بينهم 2900 شخص فقط. وإذا اجتمع التدخين مع التعرض للرادون فإن هذا يرفع خطر الإصابة بمرض سرطان الرئة. وهذا ما تبنته أيضاً الوكالة الأمريكية لحماية البيئة، وهو أساس نماذج الخطر النسبي التي نوقشت آنفاً، التي تفترض أن الخطر لسبب ما يتناسب طردياً مع الخطر الأساس للمرض نفسه. ونماذج الخطر هذه تتوافق مع ظهور الأنواع المختلفة من السرطان بين الناجين اليابانيين من

القبليتين الذريتين باستثناء سرطان الدم، وكذا الحال بالنسبة لظهور مرض سرطان الرئة بين المتعرضين لغبار الأسبستوس فقد ظهر بشكل رئيس في المدخنين.

وهناك نتائج متناقضة حول التأثير المشترك للتدخين مع الرادون، فبعض هذه النتائج تشير إلى أن التأثير المشترك يزيد على مجموع التأثيرين، وبعضها يشير إلى أن التأثير المشترك يساوي مجموع التأثيرين، أما الدراسات الأحدث وهي الأرجح فتشير إلى أن التأثير المشترك يقل عن مجموع التأثيرين بقليل (28) أي أن الخطر النسبي للإصابة بالمرض بسبب غاز الرادون لغير المدخنين تفوق خطر إصابة المدخنين. ولكن نظرا لكون التدخين هو السبب الرئيس للإصابة بمرض سرطان الرئة فإن الخطر المطلق للإصابة بهذا المرض بين المدخنين تفوق خطر إصابة غير المدخنين. فإذا أخذنا القيمة المطلقة لنسبة الخطر النسبي بين المدخنين وغير المدخنين من الرجال فتبلغ 22,4، وبين الذين تركوا التدخين وغير المدخنين فتبلغ 9,4، أما في النساء فتبلغ النسبتين على التوالي: 11,9 و 4,7 (8).

8 - 4 نتائج حديثة حول تأثير الرادون على القاطنين في المساكن

تستند مخاطر الإصابة بمرض سرطان الرئة الناتج عن استنشاق غاز الرادون وولائه أساسا على ظهور هذا المرض بين عمال المناجم حيث التركيز المرتفع، ولم يكن يعتقد أنه يشكل خطراً على الصحة في الأماكن الأخرى، لقلته تركيزه فيها، ولكن اكتشف تركيز مرتفع لغاز الرادون في العديد من المساكن.

واستنادا إلى دراسة أجريت عام 1997م (64) شملت تحليل نتائج ميدانية في كل من كندا والصين وفنلندا والسويد لنحو 4263 شخصاً من المصابين بسرطان الرئة من عموم الناس غير العاملين في المناجم و6612 شخصاً من الأصحاء للمقارنة، وجد أن احتمال الإصابة بسرطان الرئة يزداد بمقدار 14% إذا عاش الإنسان 30 سنة في مسكن يبلغ تركيز الرادون فيه 150 بيكريل/م³ أو أكثر، وهذه النتيجة مقاربة جداً لما وجد عند عمال المناجم، إذ تقدر الخطورة بنحو 13% (65).

وفي دراسة أحدث (2005م) شملت تحليل نتائج ميدانية لسبع دراسات في أمريكا الشمالية لظهور سرطان الرئة بين عموم الناس وأعطت أدلة مباشرة على ارتباط

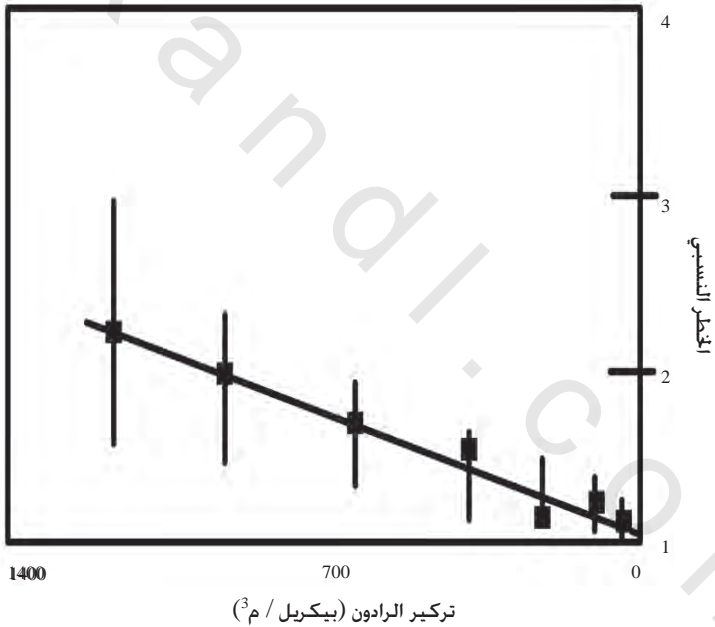
التعرض للرادون في المساكن بظهور مرض سرطان الرئة (66). ففي هذه الدراسة التي شملت 3662 شخصاً مصاباً بسرطان الرئة و4966 من الأصحاء للمقارنة، وحدد نوع مرض سرطان الرئة النسيجي في 3496 من حالات الإصابة، وقيس غاز الرادون في المساكن القديمة والجديدة التي سكنها الأشخاص الذين شملتهم الدراسة، باستخدام كواشف الآثار النووية التي تعطي معدل تركيز غاز الرادون لمدد طويلة، وأخذ في الاعتبار العمر والجنس والتدخين من عدمه. وشملت الدراسة التعاون في تحليل الدراسات السبع منفردة، ثم قورنت كل دراسة مركزياً بعناية، وحلت بطرق متجانسة، وأظهر التحليل المشترك للدراسات زيادة في خطر ظهور مرض سرطان الرئة يتراوح بين 11 و21%، إذا كان معدل غاز الرادون في المساكن يبلغ نحو 110 بيكريل/م³، أثناء مدة تعرض تبلغ من 5 إلى 30 سنة، ويزداد خطر الإصابة بمرض سرطان الرئة مع زيادة التعرض للرادون.

وفي دراسة أخرى (2005م) شملت تحليل نتائج 13 دراسة أوروبية، توصل الباحثون إلى أن النتائج وفرت أدلة مباشرة ومعتبرة إحصائياً لارتباط التعرض للرادون بالمساكن بمرض سرطان الرئة (67).

وقد كانت الدراسات الثلاثة عشر لكل من أسترالية، جمهورية التشيك، عموم فنلندا، جنوب فنلندا، فرنسا، ألمانيا الشرقية، ألمانيا الغربية، إيطالية، إسبانية، عموم السويد، غير المدخنين في السويد، عاصمة السويد «ستوكهولم»، المملكة المتحدة، وشملت الدراسة 7148 مصاباً بمرض سرطان الرئة و14208 من الأصحاء للمقارنة، وكان متوافقاً تأكيد مجهري تشخيصي لـ 6310 حالة من أمراض سرطان الرئة، وشملت الدراسة التعاون في تحليل الدراسات الثلاثة عشر، ثم قورنت كل دراسة مركزياً بعناية وحلت بطرق متجانسة.

وقد وجد أن خطر الإصابة بمرض سرطان الرئة يزداد طردياً مع الجرعة الإشعاعية (تركيز الرادون) دون دليل على وجود عتبة لجرعة آمنة (انظر شكل (8 - 1))، وقد وجدت هذه العلاقة حتى عند التركيز الذي يقل عن 200 بيكريل/م³، كما وجد أن الخطر المطلق للمدخنين الحاليين الذين تركوا التدخين حديثاً يزيد كثيراً على

خطر إصابة غير المدخنين، وبعد المطابقة للعمر والجنس ومنطقة السكن والتدخين، فإن خطر الإصابة بمرض سرطان الرئة يزداد بمقدار 8,4% لكل تركيز للرادون مقداره 100 بيكريل/م³. وبعد التصحيح للشك في قياس تركيز الرادون، فإن العلاقة تبقى طردية ولكن يزداد خطر الإصابة بمرض سرطان الرئة إلى الضعف تقريبا (16%) لكل 100 بيكريل/م³ من المعدل المقدر لتركيز الرادون في المساكن. ومن المفيد الإشارة هنا إلى أن الرادون هو المسبب لنحو 9% من الهلاك بمرض سرطان الرئة في أوروبا، وهو المسبب لنحو 2% من الهلاك في جميع أنواع أمراض السرطان. وتقدر منظمة الصحة العالمية (WHO) أن الرادون يشارك في حدوث ما نسبته 6 إلى 15% من حالات مرض سرطان الرئة في العالم (68).



شكل (8 - 1) العلاقة التي وجدت حديثا بين الخطر النسبي للإصابة بمرض سرطان الرئة وتركيز غاز الرادون في المساكن (67).

لقد أثبتت هذه الدراسات الحديثة أن غاز الرادون في المساكن من مسببات مرض سرطان الرئة، وأن خطر الإصابة به يزداد طردياً مع ازدياد تركيز الرادون، وهذه النتائج تنهي النقاش الذي كان يثار حول صحة استنباط خطر الرادون في البيئة من دراسات ظهور أمراض السرطان بين عمال المناجم حيث التعرض للجرعات المرتفعة منه.