

بسم الله الرحمن الرحيم

عليه
السلام
عدد
١
٩
٦
٣

جامعة النجاح الوطنية

كلية الدراسات العليا

قياس تركيز غاز الرادون في هواء منازل مدينة نابلس القديمة - فلسطين

إعداد الطالب

علاء محمد دراغمة

إشراف

الدكتور غسان السفاوريني

قدمت هذه الدراسة استكمالاً لمتطلبات الحصول على درجة الماجستير في
الفيزياء بكلية الدراسات العليا في جامعة النجاح الوطنية

نابلس - فلسطين

1422هـ / 2001م

جامعة النجاة الوطنية

كلية الدراسات العليا

قياس تركيز غاز الرادون في هواء منازل مدينة نابلس القديمة - فلسطين

إعداد الطالب

ملان محمد دراخمة

إشراف

الدكتور غسان السفاريني

واجيزته. ٢٧/١/٢٠٢٠

التوقيع

نوقشت هذه الرسالة بتاريخ: ٢٤/٦/٢٠٢٠

أعضاء لجنة المناقشة :

رئيساً.....
ممتحناً خارجياً.....
عضواً.....

- الدكتور غسان السفاريني
- الدكتور أيمن نظمي الحاج داود
- الدكتور موسى الحسن

الإهداء

إلى ذكرى كل شهيد من شهداء امتنا في تاريخها الطويل، وفي كل قطر

من أقطارها العربية، إلى ذكرى كل شهيد ذاق مرارة الهجرة وضيق

الاغتراب، إلى كل من يحس بعمق النكبة وضرورة الإعداد.

إلى والدي ... والدتي واخوتي الأعزاء

إلى أستاذي الدكتور غسان السفاريني الذي قام بتوجيهي في هذا

البحث.

شكر وتقدير

الحمد لله خالق الانسان ، معلمه البيان ، والصلاة الدائمة على سيدنا محمد نبيه وصفوته من الالكوان ، وعلى آله وصحبه اجمعين ...

فانني عملت جهدي لاجراج هذا البحث بصورته اللائقة ، وعلى هذا فاننا مدين الى اساتذة قسم الفيزياء ، واطص بالذكر الدكتور غسان السفاريني الذي اشرف على هذه الرسالة والذي قام بتقديم التوجيهات السديدة لتجنب الكثير من الصعوبات مع شكري الى الدكتور موسى الحسن ، والدكتور فخري الحسن فاليهم وفاء المعترف بالجميل ، وشكر التلميذ البار .

وكما اهدي جزيل الشكر الى الدكتور علي أبو صبيح الذي قام بإرشادي في هذا البحث. كما أتوجه بالشكر إلى أهلي أهالي مدينة نابلس القديمة على ما قدموه لي من عون ومساعدة لإتمام هذا البحث.

والحمد لله رب العالمين ، والله خير موفق وبه نستعين والسلام عليكم ورحمة الله وبركاته .

فهرس المحتويات

الموضوع	الصفحة
عنوان الدراسة	أ
قرار لجنة المناقشة	ب
الإهداء	ت
شكر وتقدير	ث
فهرس المحتويات	ج
فهرس الجداول	خ
فهرس الأشكال	ذ
ملخص الدراسة	ر
الفصل الأول: مشكلة الدراسة وخلفيتها	
1-1- مقدمة الدراسة	1
2-1- دراسات سابقة	2
3-1- هدف الدراسة	2
4-1- مواضيع الدراسة	3
الفصل الثاني : الإشعاعات النووية وظاهرة النشاط الإشعاعي	
1-2- الإشعاعات	4
2-2- طاقة الربط النووي	4
3-2- أنواع التفكك	5
4-2- التفكك الإشعاعي	8
5-2- السلاسل الإشعاعية الطبيعية	9
6-2- النشاط الإشعاعي الطبيعي في القشرة الأرضية	10
7-2- الإشعاع الطبيعي داخل جسم الإنسان	10
8-2- التفاعل الإشعاع المؤين مع الخلية الحية	11
9-2- تأثير الإشعاع في الكائن الحي	12
10-2- مصادر الأخطار الخارجية والوقاية منها	13
11-2- مسببات الأخطار الداخلية	14
12-2- طرق دخول المواد المشعة للجسم	14

14	13-2- الوقاية من المصادر الداخلية.....
15	14-2- اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاع.....
16	15-2- الكميات المميزة في دراسة الاشعاعات.....
19	16-2- الوحدات المستخدمة لقياس الاشعاعات.....
	الفصل الثالث: غاز الرادون وطرق قياس تركيزه
20	1-3- غاز الرادون ومصادره.....
21	2-3- نظائر غاز الرادون
22	3-3- مشتقات غاز الرادون وخطرها على الإنسان.....
22	4-3- طرق تقليل غاز الرادون
23	5-3- طرق قياس غاز الرادون.....
24	6-3- كواشف الحالة الصلبة
24	7-3- آلية تكوين المسارات
25	8-3- تظهير المسارات
	الفصل الرابع: العمل التجريبي ونتائج الدراسة
23	1-4- مجراع الرادون السلبي
29	2-4- مرحلة توزيع المجراعات على مناطق الدراسة
30	3-4- تظهير المكاشف وعد المسارات
32	4-4- استخراج النتائج
32	5-4- عرض النتائج
52	الفصل الخامس: مناقشة النتائج
63	الفصل السادس: الاستنتاجات والتوصيات
65	المراجع:
70	الملخص باللغة الإنجليزية (Abstract).....

فهرس الجداول

الرقم	الموضوع	الصفحة
1-2	أهم خصائص السلاسل الإشعاعية.	16
2-2	المواد المشعة الموجودة طبيعياً داخل الجسم البشري والجرعات الناتجة عنها.	16
1-4	عدد المجاريح الموزعة والمجموعة والمفقودة التي تم توزيعها على أماكن الدراسة.	30
2-4	المعدل والانحراف المعياري لتركيز غاز الرادون والجرعة المكافئة السنوية في حارة الياسمين.	33
3-4	المعدل والانحراف المعياري لتركيز غاز الرادون والجرعة المكافئة السنوية في حارة الشيخ مسلم.	35
4-4	المعدل والانحراف المعياري لتركيز غاز الرادون والجرعة المكافئة السنوية في حارة القيسارية.	36
5-4	المعدل والانحراف المعياري لتركيز غاز الرادون والجرعة المكافئة السنوية في حارة كنيسة السمرة.	37
6-4	المعدل والانحراف المعياري لتركيز غاز الرادون والجرعة المكافئة السنوية في حارة الأريون.	38
7-4	المعدل والانحراف المعياري لتركيز غاز الرادون والجرعة المكافئة السنوية في حارة سوق الحدادين.	39
8-4	المعدل والانحراف المعياري لتركيز غاز الرادون والجرعة المكافئة السنوية في حارة سوق النصر.	40
9-4	المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لتركيز غاز الرادون في المطابخ وغرف النوم وغرف الجلوس في الحارات المختلفة في مدينة نابلس القديمة.	42
10-4	نتائج تحليل التباين الأحادي لدلالة الفروق بين أماكن قياس الرادون (مطابخ، غرف نوم، غرف جلوس) في حارات مدينة نابلس القديمة.	43
11-4	نتائج اختبار تيوكي للمقارنات البعدية بين المتوسطات الحسابية في تركيز غاز الرادون في المطابخ وغرف النوم، وغرف الجلوس في حارة الياسمين.	44

45	نتائج اختبار تيوكي للمقارنات البعدية بين المتوسطات الحسابية في تركيز غاز الرادون في المطابخ وغرف النوم، وغرف الجلوس في حارة الشيخ مسلم.	12-4
46	نتائج اختبار تيوكي للمقارنات البعدية بين المتوسطات الحسابية في تركيز غاز الرادون في المطابخ وغرف النوم، وغرف الجلوس في جميع الحارات.	13-4
49	المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لتركيز غاز الرادون في المطابخ وغرف النوم وغرف الجلوس تبعاً لمتغير الحارة.	14-4
49	نتائج تحليل التباين الأحادي لدلالة الفروق في تركيز غاز الرادون في الحارات المختلفة في مدينة نابلس القديمة	15-4
50	نتائج اختبار تيوكي للمقارنات البعدية بين المتوسطات الحسابية في تركيز غاز الرادون في الحارات والأماكن المختلفة في مدينة نابلس القديمة.	16-4
60	Lung cancer coefficient risk and working level for male in old city of Nablus.	1-5
61	Lung cancer coefficient risk and working level for female in old city of Nablus.	2-5

ملخص الدراسة

قياس تركيز غاز الرادون في هواء منازل مدينة نابلس القديمة - فلسطين

هدفت هذه الدراسة إلى قياس تركيز غاز الرادون في هواء منازل مدينة نابلس القديمة باستخدام كاشف الحالة الصلبة للمسارات النووية (TASTRAK) المعروفة تجارياً باسم (CR-39) واستخدم في هذه الدراسة (120) مجراعاً من مجاريع الرادون السلبي وتم توزيعها على أماكن الدراسة. وتركت لمدة ثلاث شهور وبعد ذلك تم جمع (89) مجراع من مجاريع الرادون السلبي ومن ثم نزع المكاشيف من المجاريع وتظهيرها كيميائياً باستخدام محلول هيدروكسيد الصوديوم بتركيز (6.25N) ودرجة حرارة مقدارها $(98 \pm 2)^\circ\text{C}$ لمدة ساعة، ثم استخدم مجهر ضوئي لحساب عدد المسارات في وحدة المساحة لكل كاشف على حدة (track/cm^2) ومن ثم حساب تركيز غاز الرادون في كل من أماكن الدراسة.

وكانت النتائج تشير إلى أن معدل تركيز غاز الرادون يتغير بشكل واضح من $(81.31\text{Bq}/\text{m}^3)$ في حارة الياسمين إلى $(135.71\text{Bq}/\text{m}^3)$ في حارة الأريون، وقد وجد أيضاً أن المعدل الكلي لتركيز غاز الرادون في منازل مدينة نابلس القديمة بلغ $(98.8\text{Bq}/\text{m}^3)$ وينتج عن هذا التركيز جرعة فعالة مكافئة مقدارها $(4.94\text{mSv}/\text{y})$ وهي أكبر من المتوسط العالمي للجرعة الفعالة المكافئة والتي تساوي $(1.3\text{mSv}/\text{y})$ وقد أمكن الكشف عن تراكيز عالية لغاز الرادون في بعض الغرف وكان التركيز فيها اعلى من التركيز المسموح به في الولايات المتحدة الأمريكية والذي يساوي $(150\text{Bq}/\text{m}^3)$ ، والسبب في ذلك أن التهوية في هذه الغرف كانت سيئة.

الفصل الأول

مشكلة الدراسة وخلفيتها

1-1 مقدمة الدراسة:

يتعرض الإنسان منذ نشأته إلى جرعات إشعاعية معينة صادرة عن البيئة التي يعيش فيها . وتعرف هذه الجرعات بالجرعات الإشعاعية الطبيعية الناتجة عن البيئة . وتعتبر كل من الأشعة الكونية و الإشعاعات المحلية الصادرة عن التربة و كذلك المواد المشعة الموجودة ضمن تكوين أجسام الكائنات الحية من أهم مصادر الجرعات الإشعاعية الطبيعية .

ولا تشكل هذه الجرعات الطبيعية خطورة ملحوظة حيث أن كمياتها تكون عادة أقل من الحد المسموح للجرعات، و يقدر متوسط الجرعات الإشعاعية المكافئة التي يتعرض لها معظم البشر من المصادر الطبيعية بحوالي (2.4 mSv/y) ، مع تباين ملحوظ نظراً لتفاوت تلك الجرعات الإشعاعية تفاوتاً كبيراً من منطقة إلى أخرى.

ويعتبر غاز الرادون هو المساهم الأكبر في تعرض الإنسان لمصادر الإشعاع الطبيعي و تمثل جرعة التعرض للرادون بمفردها (50%) من إجمالي الجرعة التي يتعرض الإنسان لها سنوياً من جميع المصادر الطبيعية.

وتختلف هذه الجرعة باختلاف المكان وارتفاعه عن سطح البحر وطبيعة التربة ونوع المسكن وعوامل أخرى، وقد تبين من جميع القياسات التي تمت داخل المساكن السكنية وخارجها أن معدلات الجرعة الفعالة داخل السكن تبدو عموماً أعلى من خارج السكن بحوالي (40-45%) في المتوسط . و السبب في ذلك يعود إلى أن مواد البناء المستخدمة في بناء المنازل تحتوي على تراكيز متفاوتة من المواد المشعة الطبيعية.

و يتميز سرطان الرئة كخطر كامن عند تعرض عموم الناس لمنتجات تفكك غاز الرادون داخل المنازل ولقد ثبت أن الجرعة الإشعاعية التي يتعرض لها الإنسان من الرادون نفسه أقل بكثير من تلك التي تصله من مشتقات الرادون. ويعود ذلك إلى أن فترة عمر النصف لعنصر الرادون تعتبر طويلة جداً مقارنة بفترة عمر النصف لمشتقاته (1، 2، 3).

2-1 دراسات سابقة:

لقد جذب خطر الرادون المشع على صحة الإنسان اهتمام الوسط العلمي نظراً لما يسببه من أمراض سرطان الرئة حيث تمت عدة دراسات في مختلف أنحاء العالم لقياس تراكيز غاز الرادون داخل المنازل . ففي الولايات المتحدة الأمريكية وجد أن معدل تركيز غاز الرادون يساوي 50 Bq/m^3 ⁽⁴⁾. وفي إنجلترا كان معدل تركيز غاز الرادون داخل المنازل يساوي 12 Bq/m^3 ⁽⁵⁾ وفي السويد و ألمانيا الغربية كان معدل تركيز غاز الرادون 40 Bq/m^3 ، 52 Bq/m^3 على التوالي⁽⁶⁾. كما أجريت دراسة في المملكة العربية السعودية فكان معدل تركيز غاز الرادون في المنازل يساوي 10 Bq/m^3 ⁽⁷⁾ .

وكذلك أجريت دراسة في مدن الأردن فكان متوسط تركيز غاز الرادون يتغير من $(29.4-99.7) \text{ Bq/m}^3$ ⁽⁸⁾.

وأجريت دراسة في فلسطين وقد وجد أن متوسط تركيز غاز الرادون داخل مباني جامعة الخليل يتغير من (20.5 Bq/m^3) إلى (41.3 Bq/m^3) . وقد وجد متوسط تركيز غاز الرادون في مباني الجامعة الأربعة يساوي (29.8 Bq/m^3) ⁽⁹⁾.

ونظراً لعدم وجود دراسات كافية عن تركيز غاز الرادون في فلسطين . فقد وقع اختيارنا على إجراء هذه الدراسة للتعرف على تركيز غاز الرادون في هواء المنازل الفلسطينية في مدينة نابلس القديمة وذلك من أجل زيادة الوعي الصحي لخطر هذا الغاز لما له من آثار سيئة على صحة المواطنين مثل أمراض سرطانات الرئة .

3-1 هدف الدراسة:

تسعى الدراسة إلى تحقيق الأهداف التالية:

- التعرف على تركيز غاز الرادون في المطابخ وغرف النوم وغرف الجلوس في أحياء مدينة نابلس القديمة.
- التعرف إلى الفروق في تركيز غاز الرادون بين المطابخ وغرف النوم وغرف الجلوس في الحارات المختلفة في أحياء مدينة نابلس القديمة.
- التعرف إلى الفروق في تركيز غاز الرادون في المطابخ وغرف النوم وغرف الجلوس بين الحارات المختلفة في أحياء مدينة نابلس القديمة.

1-4 مواضيع الدراسة :

يتناول الفصل الأول مقدمة الدراسة الرامية للتعرف على المشكلة وأهدافها، أما الفصل الثاني فإنه يستعرض التعرف على الإشعاعات النووية و النشاط الإشعاعي و تأثيرهما على الكائن الحي و طرق الوقاية منهما. كما يتناول الفصل الثالث غاز الرادون ومصادره ومشتقاته ومخاطره وطرق الوقاية منه وطرق قياس تركيزه ويعرض الفصل الرابع العمل التجريبي و نتائج الدراسة و تحليلها أما الفصل الخامس فسيتم مناقشة النتائج و التعليق عليها، وأخيراً يحتوي الفصل السادس الاستنتاجات والتوصيات.

الفصل الثاني

الإشعاعات النووية وظاهرة النشاط الإشعاعي

1-2 الإشعاعات :

اكتشف هنري بيكريل سنة 1896 م ظاهرة النشاط الإشعاعي الطبيعي لليورانيوم ، وقد وجد أن هذا النشاط الإشعاعي لا يعتمد على الحالة الفيزيائية و الكيميائية للمادة ، بل هو من الصفات الذرية التلقائية لعناصر اليورانيوم . ولقد أكملت كوري البحث في خاصية النشاط الإشعاعي لعدد من العناصر الأخرى فأكتشف ثلاثة عناصر أخرى نشطة إشعاعياً أهمها عنصر الراديوم.

و يتميز الكثير من النظائر سواء الطبيعية أو الاصطناعية (أي المجهزة باستخدام المفاعلات أو المعجلات النووية) بخاصية النشاط الإشعاعي (radioactivity) وظاهرة النشاط الإشعاعي هي عبارة عن تفكك (decay) تلقائي لنواة النظير مع إصدار جسيمات نووية مثل جسيمات ألفا و بيتا متبوعة بإشعاعات جاما أحياناً.

وتعرف النظائر التي يحدث فيها هذا التفكك بالنظائر المشعة. وتحدث عملية التفكك في النظائر سواء أكانت في صورة نقية أو ضمن مركبات كيميائية. كما أن عملية التفكك لا تعتمد إطلاقاً على الظروف الطبيعية مثل الحرارة و الرطوبة و حالة النظير⁽⁵⁾.

2-2 طاقة الربط النووي *Binding Energy of the Nucleus*

تحتوي النواة على عدد معين من البروتونات الموجبة الشحنة مما تتولد بين هذه البروتونات قوى تنافر كهروستاتيكية تتناسب عكسياً مع مربع المسافة بينهما، وحيث أن المسافة بين البروتونات في النواة صغيرة للغاية فإنه من المتوقع أن تكون قيمة قوى التنافر كبيرة للغاية، بحيث أن النواة لا تتكون ، وإذا تكونت فإنها سرعان ما تتفكك ولكن بقاء النواة متماسكة يعني أن هناك قوى أخرى للجذب أقوى من قوى التنافر. وهذه القوى تعرف بالقوى النووية وهي تؤثر بين كل من بروتون وبروتون أو نيوترون و نيوترون ، وكذلك بين البروتون و النيوترون إذا وجدت هذه الجسيمات بجوار بعضها ، وقد ثبت فيما بعد أن القوى النووية بين كل هذه الجسيمات مهما

يكن نوعها متكافئة . لذلك فانه من الناحية النووية يمكن اعتبار كل من البروتون و النيوترون جسماً واحداً يطلق عليه اسم نيوكليون (nucleon).

وهكذا تجذب النيكلونات بعضها البعض ما دامت المسافة بين النيكلونات صغيرة (أقل من 10^{-13} cm) فيؤدي ذلك إلى ترابط هذه النيوكليونات وتكوين البناء المترابط المعروف باسم النواة . ولكي تتفكك النواة إلى النيوكليونات المكونة لها فانه يجب منحها كمية معينة من الطاقة . إذ أنسه نتيجة لوجود طاقة الترابط تقل كتلة النواة عن مجموع كتل النيوكليونات المكونة لها ويمكن حساب طاقة الربط حسب العلاقة التالية :-

$$B=(NM_n+ZM_p-M)C^2 \quad (1-2)$$

حيث أن:

B: طاقة الربط النووية	M: كتلة النواة
M _n : كتلة النيوترون	M _p : كتلة البروتون
N: عدد النيوترونات	Z: عدد البروتونات

و تعتبر قيمة طاقة الترابط للنوكلون الواحد بمثابة مقياس لمدى تماسك و استقرار النواة. فكلما زادت هذه القيمة كانت النواة متماسكة و مستقرة ، وكلما قلت هذه القيمة فان هذا يعني أن النواة أكثر تفككاً و غير مستقرة ⁽¹⁰⁾.

3-2 أنواع التفكك *types of decay*

1-3-2 تفكك ألفا α - decay

تتميز أنويه العناصر الثقيلة بانخفاض قيمة طاقة الترابط لكل نيوكليون في النواة . لذلك فان هذه الأنوية غير مستقرة و تتفكك إلى أنويه أخف و أكثر استقراراً . ويعتبر جسيم ألفا نواة عنصر الهيليوم . وعندما ينبعث من نواة عنصر ثقيل بروتونين ونيوترونين فان هذه النواة تكون قد خسرت جسماً من جسيمات ألفا فيتحول العنصر إلى عنصر آخر جديد ، و يكون النقص في العدد الكتلي مقداره أربعة ، أما النقص في العدد الذري يكون مقداره اثنين . فمثلاً عند انطلاق جسيم ألفا من نواة عنصر اليورانيوم (^{238}U) . فان هذه النواة تتحول إلى نواة عنصر آخر هو الثوريوم (^{234}Th) كما في المعادلة التالية :



ولكي تكون النواة مشعة لجسيم ألفا (α -Particles) يجب أن تكون كتلتها أكبر من مجموع كتلتي النواة الوليدة (daughter nucleus) و جسيم ألفا (α - particles) أي يجب أن يتحقق الشرط التالي :

$$(M_p - M_d + M_\alpha) > 0$$

حيث أن :

M_p : كتلة النواة الأصلية ، M_d : كتلة النواة الوليدة

M_α : كتلة جسيم ألفا

ولا يتحقق هذا الشرط إلا لأنويه بعض العناصر الأثقل من عنصر الرصاص . أما أنوية العناصر الأخف فإنها تكون مستقرة بالنسبة لإصدار جسيمات ألفا.

و تجدر الإشارة إلى أن طاقة جسيمات ألفا الصادرة عن نظير معين تتخذ قيمة واحدة ، ولكن إذا تكونت النواة الوليدة (daughter nucleus) في حالات مختلفة من الإثارة فعندئذ تكون طاقات جسيمات ألفا مختلفة ولكنها ذات قيم محددة ، ويمكن حساب طاقة جسيمات ألفا الصادرة من نظير معين باستخدام علاقة اينشتين لتكافؤ الكتلة و الطاقة حيث أن الطاقة الناتجة عن التفكك تعطي بالعلاقة التالية :—

$$Q = \{ (M_p - (M_d + M_\alpha)) \} C^2 \quad (3-2)$$

و تتوزع هذه الطاقة بين جسيم ألفا و النواة و الوليدة بنسب معاكسة لكتلتها . وذلك طبقاً لقانون حفظ الزخم ، أي أن جسيم ألفا يحمل الجزء الأكبر من الطاقة الناتجة عن التفكك في حين تحمل النواة الوليدة جزءاً صغيراً من هذه الطاقة⁽¹¹⁾.

2-3-2 تفكك بيتا β -decay

تحدث عملية تفكك بيتا (β -decay) في النوى المشعة بسبب وجود خلل في النسبة بين البروتونات و النيوترونات و لا تمتلك النواة اللازمة لطرد نويه لتعديل النسبة لذلك يتحول بروتون إلى نيوترون أو يحدث العكس لتعديل النسبة و يوجد ثلاث حالات مختلفة :

3-3-2 التفكك الإلكتروني (Electron decay)

يتحول في هذه العملية نيوترون إلى بروتون داخل النواة و تنطلق أشعة بيتا السالبة (الإلكترونات) لكي تصبح النسبة بين النيوترونات و البروتونات مستقرة ويعبر عن هذا التفكك كالآتي:



4-3-2 التفكك البوزيتروني (Positron decay)

في بعض الأحيان تكون نسبة النيوترونات إلى البروتونات في النظير المعين أقل من النسبة التي تحقق الاستقرار . وفي هذه الحالة يتحول أحد بروتونات النواة إلى نيوترون نتيجة لذلك بوزيترون يحمل شحنة البروتون الموجبة ويعرف تفكك بيتا في هذه الحالة بالتفكك البوزيتروني ويعبر عنه بالعلاقة الآتية:



5-3-2 الأسر الإلكتروني (Electron capture)

يمكن أن يحدث تحول إحدى بروتونات النواة إلى نيوترون بطريقة أخرى ويتم ذلك بان تأسر النواة إلكترونات من الإلكترونات المدارية القريبة من النواة (أي من المدار K وفي أحيان قليلة من المدار L) ويتحد هذا الإلكترون المأسور مع أحد البروتونات فيتكون النيوترون وفي هذه الحالة لا تصدر النواة أيًا من جسيمات بيتا ويعرف تفكك بيتا في هذه الحالة بالأسر الإلكتروني ويعبر عنه كالآتي :



ولقد ثبت فيما بعد أنه عند حدوث أي نوع من تفكك بيتا ينطلق من النواة جسيمات تعرف باسم النيوترينو (neutrino). و النيوترينو (neutrino) جسيم متعادل الشحنة و كتلة السكون له مساوية للصفر تقريباً ($m_\nu = 0$) والنيوترينو المضاد جسيم إذا تلاقى مع جسيمه فانهما يفنيان و ينتج عن هذا الفناء طاقة في شكل إشعاعات كهرب ومغناطيسية و يمكن معرفة إذا كان النظير المعين مستقر أو غير مستقر بالنسبة للنوع الأول من تفكك بيتا بتحقيق الشرط التالي:-

$$z M^A > (z+1) M^A + m_e \quad (7-2)$$

حيث أن:

M_z : كتل النواة الأصلية.

M_{z+1} : كتلة النواة الوليدة.

m_e : كتلة الإلكترون.

6-3-2 تفكك جاما (γ - decay)

عند حدوث تفكك ألفا أو بيتا تكون الأنوية الوليدة في حالة مثارة. (exited state) ويرجع ذلك إلى أن طاقة مكونات النواة تكون أعلى من طاقتها في الحالة المستقرة (ground state). أي أن كتلة النواة في الحالة المثارة تكون أعلى من كتلتها في الحالة المستقرة، فتنقل النواة من الحالة المثارة إلى الحالة أقل إثارة أو إلى الحالة المستقرة بإصدار إشعاعات كهرومغناطيسية تعرف باسم إشعاعات جاما⁽¹²⁾.

4-2 التفكك الإشعاعي (Radioactive decay)

يعتبر التفكك الإشعاعي عملية إحصائية خاضعة لقوانين الفيزياء الإحصائية إذ أنه ليس بالإمكان توقع النواة أو الأنوية التي يمكن أن تتفكك في لحظة معينة. ويمكن التعرف على القوانين الذي تتفكك بموجبه الأنوية انطلاقاً من النظرة الإحصائية.

1-4-2 قانون التفكك الإشعاعي (Radioactive decay law)

من المعروف أن نواة العنصر المشع تضمحل تلقائياً وينتج عن هذا الاضمحلال تغيير في طبيعة النواة. ويطلق على احتمال تفكك نواة معينة في الثانية ثابت الاضمحلال (λ) حيث أن ($0 < \lambda < 1$) ويكون تفكك هذه النواة خلال فترة زمنية قصيرة مقدارها (dt) هو (λdt).

فإذا كان عدد النويات النشطة التي لم تتفكك بعد هو N فإن احتمال التفكك لكل النويات خلال الزمن dt هو ($N\lambda dt$) أي أن عدد النويات dN التي يمكن أن تتفكك خلال هذا الزمن هو:

$$dN = -N\lambda dt \quad (8-2)$$

والإشارة السالبة تعني أن عدد النويات N الباقية دون تفكك يقل كلما زاد الزمن. وبقسمة طرفي المعادلة على N وأخذ تكامل الطرفين مع اعتبار أن عدد النويات النشطة عند الزمن ($t=0$) هو N_0 ينتج أن:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (9-2)$$

حيث أن $N(t)$ عدد النويات المتبقية دون تفكك حتى اللحظة t .

2-4-2 الشدة الإشعاعية للعينة :ـ

يطلق على عدد النويات التي تتفكك في الثانية الواحدة من عينة مشعة اسم الشدة الإشعاعية للعينة .

أي أن الشدة الإشعاعية للعينة تعطي بالعلاقة التالية :ـ

$$A(t) = -\frac{dN(t)}{dt} = \lambda N(t)$$

$$|A(t)| = \lambda N(t) \quad (10-2)$$

• وبتعويض معادلة (9-2) في المعادلة (10-2) ينتج :

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad (11-2)$$

حيث : A : الشدة الإشعاعية للعينة

A_0 : الشدة الإشعاعية للعينة عند $t=0$.

3-4-2 فترة عمر النصف

هو الزمن اللازم لتفكك نصف عدد نوى العينة أي أن

$$N(t) = N_0 / 2 \quad (12-2)$$

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

وعند الزمن $(T=t_{1/2})$

$$N(t_{1/2}) = N_0 e^{-\lambda t_{1/2}} \quad (13-2)$$

وبتعويض معادلة (13-2) في معادلة (12-2) ينتج أن^(13,3) :ـ

$$N_0 e^{-\lambda t} = N_0 / 2$$

$$t_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (14-2)$$

5-2 السلاسل الإشعاعية الطبيعية Natural Radioactive series

تتميز نوى جميع النظائر التي عددها الذري أكبر من (82) بعدم الاستقرار إشعاعياً، والسبب في ذلك زيادة عدد البروتونات في النواة مما يجعل قوى التنافر الكهروستاتيكية كبيرة. ويؤدي هذا بدوره إلى تفكك بعض النظائر عن طريق إصدار جسيمات ألفا، ونتيجة لإصدار هذه

الجسيمات تزداد نسبة النيوترونات إلى بروتونات في النواة مما يؤدي إلى تفكك هذه النوى الوليدة عن طريق إصدار جسيمات بيتا.

وتوجد في الطبيعة ثلاث مجموعات تعرف بسلاسل الإشعاع الطبيعية وهي سلسلة اليورانيوم (^{238}U)، سلسلة الاكتينيوم، سلسلة الثوريوم (^{234}Th)، وهناك مجموعة رابعة هي سلسلة النبتونيوم وهي لا توجد في الطبيعة لأن العمر النصفى لأطول عناصرها عمرا هو ($2.2 \times 10^6 \text{ year}$) وهو أقل بكثير من عمر الكون، والذي يقدر بحوالي ($3 \times 10^9 \text{ year}$) سنة ويبين الجدول (1-2) أهم خصائص هذه السلاسل.

2-6 النشاط الإشعاعي الطبيعي في القشرة الأرضية:

تحتوي القشرة الأرضية على كميات ضئيلة من النويدات المشعة طويلة العمر مثل اليورانيوم (^{238}U)، واليورانيوم (^{235}U)، والثوريوم (^{232}Th) ونويداتهم الوليدة، كما تحتوي على كميات قليلة من نظير البوتاسيوم (^{40}K) المشع الذي يبلغ عمره النصفى ($3 \times 10^{10} \text{ year}$). وتتفكك هذه النويدات مصدرة جسيمات ألفا أو بيتا، وقد يتبع ذلك بإصدار إشعاعات جاما. ولا تمثل جسيمات ألفا أية مخاطر إشعاعية على البشر نظراً لقصر مداها، كذلك لا تمثل جسيمات بيتا مخاطر ملموسة، أما بالنسبة لإشعاعات جاما ذات القدرة الاختراقية العالية فإنها تسهم بشكل ملحوظ في الجرعة الإشعاعية الصادرة عن التربة.

ويعتبر مستوى النشاط الإشعاعي الطبيعي في القشرة الأرضية متقارب جداً في معظم الأماكن، حيث لا يوجد اختلاف من مكان إلى آخر بصفة عامة. ويقدر معدل الجرعة الإشعاعية المكافئة من هذه المصادر بمقدار (0.35 mSv/y).

كذلك اتضح من جميع القياسات التي تمت داخل المساكن السكنية وخارجها إن معدلات الجرعة الفعالة داخل السكن تبدو عموماً أعلى منها خارج السكن بحوالي (40-45% في المتوسط). والسبب في ذلك أن مواد البناء المستخدمة في بناء المنازل تحتوي على تركيزات متفاوتة من المواد المشعة الطبيعية مثل سلسلتي اليورانيوم، والثوريوم^(3, 14).

2-7 الإشعاع الطبيعي داخل جسم الإنسان :

يحتوي جسم الكائن الحي على كميات ضئيلة من النظائر المشعة كالكربون (^{14}C) والبوتاسيوم (^{40}K). فالبوتاسيوم (^{40}K) موجود في الطبيعة مع البوتاسيوم (^{39}K) المستقر بنسبة

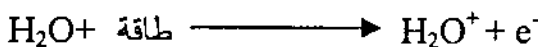
(11.7:1000000) و حيث أن جسم الإنسان البالغ (70kg) يحتوي حوالي (40 g) من البوتاسيوم (^{39}K) فإن ذلك الوزن يحتوي على (0,016 g) من البوتاسيوم (^{40}K) المشع ، وتصدر هذه الكمية من البوتاسيوم المشع حوالي (4200) تفككاً في الثانية الواحدة منها (89%) على شكل جسيمات بيتا بطاقة مقدارها (1.460 Mev) حيث تمتص هذه الطاقة بالكامل داخل الجسم البشري كما تمتص أيضاً (50%) من طاقة إشعاعات جاما. و تؤدي هذه الإشعاعات الى جرعة مكافئة سنوية مقدارها (20 mRem). والجدول (2-2) يبين أهم المواد المشعة الموجودة داخل جسم الإنسان و مقدار الجرعة المكافئة السنوية الناتجة عن كل منها⁽³⁾.

2-8 تفاعل الإشعاع المؤين مع الخلية الحية :

عند سقوط الإشعاعات المؤينة على الخلية فإنها تؤدي إلى تأين بعض مكوناتها و خصوصاً جزيئات الماء (H_2O) الذي يمثل الجزء الأكبر في أي خلية حية . و يؤدي تأين جزيئات الماء إلى حدوث تغيرات كيميائية تؤدي بدورها إلى إحداث تغيرات في تركيب ووظيفة الخلية و يمكن أن تظهر نتائج هذه التغيرات في الإنسان في شكل أعراض إكلينيكية كالمرض الإشعاعي (radiation sickness) أو إعتام عدسة العين (cataract) أو الإصابة بالسرطان على المدى الطويل . و تؤدي الإشعاعات المؤينة إلى إتلاف (damage) الخلية من خلال عدة مراحل مختلفة معقدة نوجزها فيما يلي :

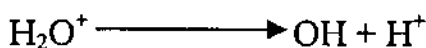
1) المرحلة الفيزيائية Physical stage

حيث تتم هذه المرحلة خلال فترة زمنية قصيرة حوالي (10^{-16}sec) و فيها تنتقل الطاقة من النوع المعين من الإشعاعات إلى جزيئات الماء بالخلية و يحدث التأين طبقاً للتفاعل التالي :

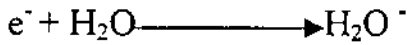


2) المرحلة الفيزيوكيماوية Physico – chemical stage

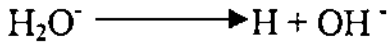
وتتم هذه المرحلة خلال زمن قصير حوالي (10^{-16}sec) بعد حدوث التأين و يحدث خلالها تفاعل الأيونات الموجبة و السالبة مع جزيئات الماء الأخرى فينتج عن هذا التفاعل عدة مركبات جديدة. و بذلك يتحلل أيون الماء الموجب مكوناً أيون هيدروجين موجباً (H^+) و هيدروكسيد (OH) طبقاً للمعادلة التالية:



أما الإلكترون السالب فيمكن أن يتحد مع جزيء ماء متعادل مكوناً بذلك أيون ماء سالب:

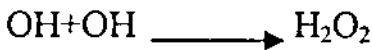


ثم يتحلل أيون الماء السالب مكوناً الهيدروجين و أيون الهيدروكسيد السالب حسب المعادلة التالية:



و تؤدي هذه التفاعلات إلى تكوين كل من OH , H , OH^- , H^+

و أيونات الهيدروجين (H^+) و الهيدروكسيد (OH^-) موجودة دائماً في الماء و لا تشترك في إحداث تفاعلات متتالية، و أما بالنسبة للنواتج الأخرى و هي الهيدروجين (H) و الهيدروكسيد (OH) فهي معروفة بنشاطها الكيميائي الشديد . و يمكن أن يتكون ناتج آخر هو فوق أكسيد الهيدروجين الذي يعتبر عاملاً مؤكسداً قوياً و ذلك طبقاً للتفاعل التالي⁽¹⁴⁾:



٥٦٣٧٨٨

(3) المرحلة الكيميائية Chemical Stage

و تستغرق هذه المرحلة عدة ثوان و يتم خلالها تفاعل نواتج المرحلة السابقة مع الجزيئات العضوية المختلفة في الخلية . فيمكن أن تتفاعل هذه النواتج مع الجزيئات المعقدة التي تتكون منها الكروموسومات فتتحد معها أو تؤدي إلى تكسير تراكيبها السلسلية الطويلة و إحداث بعض التغيرات في الجينات.

(4) المرحلة البيولوجية Biological Stage

و يتراوح زمن هذه المرحلة بين عدة دقائق و عدة عشرات السنوات . و تبدأ في هذه المرحلة ظهور آثار التغيرات الكيميائية التي حدثت في الخلية و بعض هذه الآثار هي:-

- موت الخلية .
- منع أو تأخر انقسام الخلية أو زيادة معدل انقسامها.
- حدوث تغيرات مستديمة في الخلية تنتقل وراثياً إلى الخلايا الوليدة⁽¹⁵⁾.

2-9 تأثير الإشعاع في الكائن الحي

إن التغيرات التركيبية و الوظيفية التي يحدثها الإشعاع المؤين في الأنسجة و الأعضاء تترك في الكائن الحي آثاراً تتوقف في شدتها و ووطأتها على هذا الكائن الحي و على عوامل فيزيائية و كيميائية و حيوية . و تشمل العوامل الفيزيائية نوع الإشعاع و كمية جرعته و شمولية التعرض و معدل توزيع الجرعة الممتصة . أما العوامل الكيميائية فيمكن تقسيمها إلى مجموعتين

هما مجموعة المحسسات (sensitizers) كالأكسجين و الهالوجينات ، ومجموعة الواقيات (protective) والتي تضم السستينين (cysteine) والسـتامين (cysteamine) والجلوتاثيون (glutathione) وغيرها.

و أما العوامل الحيوية فمنها مرحلة دورة الخلية عند التعرض الإشعاعي و نوع النسيج بالإضافة إلى عوامل حيوية أخرى تشمل الجنس و العمر و الحرارة و توازن الهرمونات. وتقسم التأثيرات الحيوية التي يتركها الإشعاع المؤين في الكائن الحي إلى ما يلي :-

1 - التأثيرات الجسدية :

و تظهر أعراضها على جميع أجزاء الجسم عند تعرضه للإشعاع . و التأثيرات الجسدية أما إن تظهر مبكراً و تكون النتيجة الحتمية الموت وذلك عند تعرض الجسم بأكمله لجرعات إشعاعية عالية خلال فترة زمنية قصيرة نتيجة لموت عدد كبير من الخلايا . أو تظهر هذه التأثيرات متأخرة مسببة الموت و ذلك عند تعرض أجزاء من الجسم و ليس الجسم كله لجرعات إشعاعية عالية ومن أهم هذه التأثيرات نقص كريات الدم البيضاء ، إحمرار الجلد و سقوط الشعر . و لكن عند التعرض المتكرر لجرعات إشعاعية قليلة أو متوسطة لفترات زمنية طويلة و متباعدة فإن التأثيرات تظهر في وقت متأخر من حياة الكائن الحي و تدعى هذه التأثيرات بالتأثيرات الجسدية المتأخرة للإشعاع ومن أهمها عتمة عدسة العين ، الشيخوخة، والوفاة المبكرة ، والسرطانات المختلفة الناتجة عن زيادة معدل نمو و انقسام خلايا العضو المصاب.

2 - التأثيرات الوراثية :

تظهر هذه التأثيرات في ذرية الشخص المتعرض للإشعاع وتنتج هذه التأثيرات الوراثية عن إتلاف خلايا الأعضاء التناسلية للشخص المتعرض للإشعاعات المؤينة مما يؤدي هذا التلف الى مجموعة تغيرات في المادة الوراثية للخلية.

10-2 مصادر الأخطار الخارجية و الوقاية منها :

تنتج الأخطار الخارجية عن بعض أنواع الإشعاعات، كجسيمات بيتا والأشعة السينية وأشعة جاما ونيوترونات إذ تتميز بقدرة عالية على الاختراق ويمكنها الوصول إلى أي عضو من الأعضاء، أما جسيمات ألفا فقدرتها هذه الجسيمات على اختراق الهواء و الطبقات الخارجية للجلد ضعيفة جداً .

لذا تعتبر جميع المصادر التي تصدر الإشعاعات والتي تمتلك قدرة على الاختراق بمثابة مصادر للأخطار الخارجية .

- و يخضع التحكم في الأخطار الإشعاعية الخارجية على ثلاث عوامل هي (3):—
- قضاء أقل فترة زمنية ممكنة في الأماكن التي توجد فيها هذه الإشعاعات .
 - الابتعاد قدر الإمكان عن المصادر المشعة إلا في حالة الضرورة القصوى .
 - عزل مصادر الإشعاعات باستخدام الحواجز الواقية.

11-2- مسببات الأخطار الداخلية :—

تتوقف الأخطار الإشعاعية الداخلية على كمية المادة المشعة التي تدخل الجسم أو العضو المعين وكذلك على نوع الإشعاعات التي تصدرها المادة وطاقتها وعلى الخصائص الفسيولوجية للجسم . و تعتبر المواد التي تصدر جسيمات ألفا من أخطر مصادر الأخطار الداخلية و يرجع السبب في ذلك إلى :—

- قدرة جسيمات ألفا الفائقة على التأيين .
- طول العمر النصفى لجميع المصادر المشعة لجسيمات ألفا .
- صغر مدى جسيمات ألفا في الجسم البشري .
- كبر التأثير البيولوجي النسبي لهذه الجسيمات .
- صعوبة إخراج هذه النظائر من الجسم البشري .

12-2 طرق دخول المواد المشعة للجسم :

يتم دخول المواد المشعة إلى الجسم البشري بالطرق التالية :—

- استنشاق الهواء الملوث بالمواد المشعة .
- بلع المواد المشعة أو دخولها مع الطعام بسبب تلوث اليدين .
- الدخول عن طريق الجلد أو الجروح .
- التشعيع المباشر للجلد.

13-2 المواد المشعة الداخلية في الجسم:

إذا دخل مصدر الإشعاع إلى الجسم بطريقة الخطأ فلا يمكن تقليل الجرعة أو إزالة الخطر وذلك لاستحالة عزل أو إبعاد المصدر المشع عن الجسم ، وبعد دخوله الجسم فإن مصدر الإشعاع إما أن يتوزع داخل الجسم بانتظام أو يتركز داخل عضو معين يسمى العضو الحرج بالنسبة لذلك المصدر و يكون في هذه الحالة مركزا في العضو الحرج .

ويتناسب معدل الجرعة التي يمتصها العضو الحرج من المصدر مع النشاط الإشعاعي لذلك المصدر ، وكذلك يتخلص العضو من بعض الإشعاعات ومصادرها خلال العمليات البيولوجية ، وتعرف فترة العمر الحيوية (T_B) بالزمن اللازم لكي يتخلص العضو أو الجسم من نصف ذرات العنصر أو المصدر المشع خلال العمليات الحيوية و تعطى فترة نصف العمر الفعالة (T_{eff}) حسب العلاقة التالية:

$$T_{eff} = T_B T_{1/2} / T_B + T_{1/2} \quad (15-2)$$

وللوقاية من الأخطار الداخلية للإشعاع ينصح باتّباع ما يلي^(17,16):

- التقليل ما أمكن من كمية المواد المشعة المتداولة .
- وضع المواد المشعة في حاويين مغلقين على الأقل للتقليل من احتمال انتشار المواد المشعة و حدوث التلوث عند انكسار أو تسرب أحدهما .
- اتباع الخطوات الصحيحة في غسل الملابس الواقية ، وغسل و مراقبة التجهيزات في المختبرات للتأكد من عدم تلوثها.

14-2 اللجنة الدولية للوقاية الإشعاعية (ICRP)

تأسست اللجنة الدولية للوقاية الإشعاعية (ICRP) منذ (1928م). ومنذ ذلك التاريخ كانت هذه اللجنة هي الهيئة الدولية المسؤولة عن وضع الحدود القصوى من الجرعات الإشعاعية التي يسمح بالتعرض لها، وعن إصدار التوصيات الخاصة بهذه الحدود. وتجدر الإشارة إلى أن معظم القوانين والتشريعات الخاصة بالتعرض للإشعاعات المؤينة والتي تسنها معظم الدول تتبثق أساسا عن توصيات هذه اللجنة.

و يمكن تلخيص مبادئ هذا النظام في التالي :-

- لن يتم إقرار نظام معين للتعرض الإشعاعي ما لم يكن وراءه فائدة .

- يجب أن يكون التعرض أقل ما يمكن و أن تؤخذ الظروف الاقتصادية و الاجتماعية في الحسبان .

- يجب ألا يتجاوز الجرعة الفعالة الحدود التي توصى بها اللجنة في آخر توصياتها^(3, 18).

جدول (1-2)

أهم خصائص السلاسل الإشعاعية

اسم السلسلة	النواة النهائية المستقرة للمجموعة	النواة الأطول عمراً في المجموعة و عمرها النصفى
الثوريوم	الرصاص - ^{208}Pb	الثوريوم - 232 ($t_{1/2} = 1.39 \times 10^{10}\text{y}$)
اليورانيوم - راديوم	الرصاص - ^{206}Pb	اليورانيوم - 238 ($t_{1/2} = 4.468 \times 10^9\text{y}$)
الاكتينيوم	الرصاص - ^{207}Pb	اليورانيوم - 235 ($t_{1/2} = 8.12 \times 10^8\text{y}$)
النيبتونيوم	بسموت - ^{209}Pb	النيبتونيوم - 237 ($t_{1/2} = 2.2 \times 10^6\text{y}$)

جدول (2-2)

المواد المشعة الموجودة طبيعياً داخل الجسم البشري و الجرعات الناتجة عنها

اسم النظير	عدد التفككات في الجسم البالغ (في الثانية)	الجرعة المكافئة السنوية ميللي رم
بوتاسيوم 40	4200	20
كربون 14	3210	1
راديوم 226	4 - 5	0.5 - 5
بولونيوم 210	8	0.1 - 1.4 في العظام
سترونشيوم 90	25 - 300	0.4 - 17 في العظام
		0.4 - 4.5 (في النخاع)
المجموع		23.5 - 49

2-15: الكميات المميزة في دراسة الإشعاعات:

1- التعرض:

هو عبارة عن كمية الإشعاعات المؤينة التي يتعرض لها جسم الكائن الحي وتقاس بوحدة

الروينجن (Roentgen).

2- الجرعة الممتصة:

هي عبارة عن كمية الطاقة التي امتصها الجسم من الإشعاعات التي تعرض لها وتقاس بوحدة الراد (Rad).

3- التأثير البيولوجي النسبي (RBE):

هو عبارة عن نسبة الجرعة الممتصة من إشعاعات جاما عند طاقة معينة إلى الجرعة الممتصة من أي نوع آخر من الإشعاعات بحيث يكون التأثير البيولوجي عندها واحد. ويختلف التأثير البيولوجي النسبي للإشعاعات باختلاف طاقتها وباختلاف نوع ودرجة التلف البيولوجي الناتج عنها وكذلك باختلاف نوع النسيج والعضو.

4- معامل النوعية (Q):

هو عبارة عن متوسط الأثر البيولوجي النسبي لجسم الإنسان ككل. ويستخدم هذا المعامل لأغراض الوقاية الإشعاعية لجسم الإنسان ككل.

5- الجرعة المكافئة للإنسان Roentgen equivalent man:

عبارة عن حاصل ضرب الجرعة الممتصة في معامل النوعية.

$$\text{Roentgen equivalent (rem)} = \text{Dose (in rads)} \times Q$$

6- العامل الوزني للإشعاع Radiation weight factor:

أوصت اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاع باستخدام مصطلح العامل الوزني للإشعاعات (W_R) بدلاً من معامل النوعية (Q) حيث ارتبط معامل النوعية بأنه متوسط التأثيرات البيولوجية النسبية على الجسم كله عندما تأثر الإشعاعات في نقطة محدودة من كل عضو أو نسيج، أما العامل الوزني للإشعاع فقد أخذ في الحسبان الجرعة الممتصة في كامل العضو أو النسيج.

7- الجرعة المكافئة للعضو أو النسيج Equivalent Dose (H_T):

مع استخدام العامل الوزني للإشعاع أوصت اللجنة الدولية للوقاية الإشعاعية استخدام الجرعة المكافئة للعضو أو النسيج بدلاً من مكافئ الجرعة للإنسان. وتحدد الجرعة المكافئة لعضو أو نسيج من أنسجة الجسم البشري من خلال العلاقة التالية:

$$H_T = \sum W_R D_{TR} \quad (16-2)$$

حيث D_{TR} : الجرعة الممتصة من النوع المعين من الإشعاعات في النسيج أو العضو المعين. حيث يتم جمع الجرعات المكافئة في النسيج المعين من الإشعاعات المختلفة للحصول على الجرعة المكافئة الكلية في النسيج.

8- العامل الوزني للنسيج أو العضو (W_T) :

يعتمد احتمال الإصابة بالتأثيرات العشوائية للإشعاع (كالسرطان أو التأثيرات الوراثية) على نوع العضو أو النسيج المتعرض للإشعاع، ولحساب احتمال إصابة الجسم البشري بهذه التأثيرات فإنه يجب تحديد مدى اسهام كل عضو من أعضاء وأنسجة الجسم في هذا الاحتمال. ولعمل ذلك فإنه يجب وزن الجرعات المكافئة للأنسجة والأعضاء البشرية بمعامل خاص يطلق عليه اسم العامل الوزني للنسيج أو العضو، فعند تشعيع الجسم البشري بشكل متجانس من الإشعاع يكون العامل الوزني للنسيج أو العضو هو نسبة اسهام هذا العضو في احتمال الإصابة في التأثير العشوائي للإشعاع.

9- الجرعة الفعالة (H_E) :

هي مجموع حاصل ضرب الجرعة المكافئة لكل نسيج أو عضو في قيمة العامل الوزني لهذا النسيج أو العضو طبقاً للعلاقة التالية:

$$H_E = \sum W_T H_T \quad (17-2)$$

حيث W_T : العامل الوزني للنسيج.

H_T : الجرعة المكافئة في النسيج.

10- الجرعة الفعالة الجماعية (E_C) :

هي عبارة عن مجموع الجرعات الفعالة التي تودع في مجموعة بشرية محدودة. وعند تساوي متوسط الجرعة الفعالة التي تودع في جميع أفراد المجموعة تكون الجرعة الفعالة الجماعية هي عبارة عن حاصل ضرب متوسط الجرعة الفعالة للفرد (E) في عدد الأفراد المعرضين، وتقاس الجرعة الفعالة الجماعية بوحدة (Man Sievert).

11- معدل الجرعة (Dose Rate) :

هو عبارة عن قيمة الجرعة التي يحصل عليها العضو أو الإنسان في وحدة الزمن عند وجوده في مكان ما. وتقاس بوحدة الجراي والسيفرت أو (الراد والرم).

12- الحد الأقصى المسموح للجرعة (MPD) :

هو عبارة عن قيمة الجرعة الإشعاعية الفعالة سواء المتراكمة خلال فترات زمنية طويلة أو الناتجة عن تعرض واحد لفترة قصيرة. والتي يكون احتمال الإصابة بأضرار عشوائية نتيجة لها احتمالاً ضعيفاً وذلك في ضوء المعلومات المتوفرة في حينها^(14، 16).

2-16: الوحدات المستخدمة لقياس الإشعاعات:

1- كوري (Ci):

هو الشدة الإشعاعية (عدد التفككات في الثانية الواحدة) لغرام واحد من الراديوم وتساوي (3.7×10^{10}) تفكك في الثانية.

2- البيكريل (Bq):

هو عبارة عن تفكك نووي واحد في الثانية.

$1 \text{ Bq} = 1$ تفكك في الثانية.

3- الروينجن (R):

وحدة التعرض لاشعة جاما والاشعة السينية وهي مبنية على أساس التأين الذي تحدثه هذه الاشعة في الهواء. ويحدث التعرض لوحدة الروينجن شحنة في الهواء مقدارها $(0.0002584 \text{ Coulomb})$ في كل كيلوغرام من الهواء، أو شحنة مقدارها وحدة الكهرباء الساكنة (e.s.u) في كل cm^3 تحت ظروف معيارية من الضغط ودرجة الحرارة.

$$1R = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/Kg}$$

4- الراد (Rad):

عبارة عن وحدة الجرعة الممتصة من اشعاع مؤين وتمثل هذه الوحدة كمية من الطاقة مقدارها (100 إرج) ممتصة من قبل غرام واحد من أي مادة. أي أن الراد يسبب حوالي (2×10^{12}) تأيناً في الغرام الواحد من المادة.

5- الجراي Gray:

وحدة النظام الدولي (S.I) لقياس الجرعة الممتصة، وهذه الوحدة تمثل كمية من الطاقة مقدارها جول واحد ممتصة في كيلوغرام واحد من المادة، وتساوي (100 راد).

6- رم (Rem):

وهي الوحدة القديمة لقياس الجرعة المكافئة في نسيج حيث تكون الجرعة المكافئة بوحدة هي الرم هي مجموع حاصل ضرب المعامل الوزني للإشعاع في الجرعة الممتصة بوحدة الراد.

7- سيفرت (SV):

هي وحدة قياس الجرعة المكافئة في النظام الدولي (S.I) حيث تكون الجرعة المكافئة بوحدة سيفرت عندما يتم التعبير عن الجرعة الممتصة بوحدة الجراي (Gray)⁽³⁾.

$$1 \text{ SV} = 100 \text{ rem}$$

الفصل الثالث

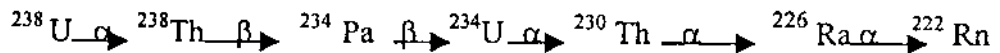
غاز الرادون وطرق قياس تركيزه

1-3 غاز الرادون و مصادره:

يعتبر غاز الرادون المساهم الأكبر في تعرض الإنسان لمصادر الإشعاع الطبيعي وهو غاز عديم اللون و الطعم و الرائحة، و يثقل الهواء بسبعة أضعاف و نصف و ينتمي إلى مجموعة العناصر الخاملة كيميائياً.

وينحدر غاز الرادون من سلسلة اليورانيوم (^{238}U) الموجود في صخور القشرة الأرضية لذلك فإن معدل تدفق الرادون يختلف من منطقة إلى أخرى و ذلك بسبب اختلاف تركيز الرادون من منطقة إلى أخرى نظراً لاختلاف التربة و الصخور الموجودة في القشرة الأرضية التي تعتبر المصدر الرئيسي لليورانيوم.

ونظراً لأن فترة عمر النصف لليورانيوم طويلة جداً ، فإن إنتاج الرادون يبقى مستمراً وبشكل طبيعي، و ينتج الرادون من سلسلة اليورانيوم الطبيعي وفقاً للمعادلة النووية الآتية⁽⁹⁾:



ويعتمد معدل تدفق غاز الرادون من صخور القشرة الأرضية إلى الهواء الجوي على نوعية التربة و الصخور ومدى سماحتها لمرور غاز الرادون من خلالها . ويتسرب غاز الرادون من الأرض إلى الهواء الجوي لأن تركيزه في هواء التربة يبلغ عشرات أضعاف تركيزه في الهواء الجوي، وبالإضافة إلى ذلك فإن عملية تسرب الرادون تتم تحت تأثير عوامل كثيرة من أهمها الضغط ، درجة الحرارة ، الرطوبة و الرياح.

ويبلغ معدل تركيز غاز الرادون داخل المباني ثمانية أضعاف تركيزه في الخارج في الأجواء المعتدلة من العالم، ويعتمد تركيز الرادون داخل المباني على نوعية التربة و نوع الجدران و أسلوب التهوية، ففي المباني المفتوحة ذات التهوية المستمرة يكون تركيز غاز الرادون داخل المباني متقارباً لتركيزه في الهواء الطلق. أما في الأماكن المغلقة التي لا يتجدد هوائها باستمرار بغية ترشيد استهلاك الطاقة في عمليات التكيف فيمكن أن يصل فيها الرادون لمستويات خطيرة.

كذلك تعتبر بعض مصادر المياه الجوفية مصدراً للرادون حيث يكون الرادون ذائب في الماء و يتصاعد عند استخدام الماء، كما تتميز بعض مصادر الغاز الطبيعي المستخدم في المنازل بوجود تركيزات من غاز الرادون تتصاعد إلى الجو عند احتراق ذلك الغاز⁽³⁾.

3-2 نظائر غاز الرادون

يوجد لغاز الرادون ثلاث نظائر مشعة هي الرادون (^{222}Rn) و ينتج عن سلسلة اليورانيوم (^{238}U) بعد تفكك سلسلة الراديوم (^{226}Ra)، و الأكتينيون (^{219}Rn) الذي ينتج عن تفكك سلسلة اليورانيوم (^{235}U) بعد تفكك الراديوم (^{223}Ra) ثم الثورون (^{220}Rn) الذي ينتج عن تفكك سلسلة الثوريوم (^{232}Th) بعد تفكك الراديوم (^{226}Ra) ويوضح الشكل (1-3)، (2-3)، (3-3) السلاسل الإشعاعية لكل من اليورانيوم ^{238}U ، (^{235}U)، و الثوريوم (^{232}Th)^(20، 21).

ولا يمثل الاكتينيون (^{219}Rn) مخاطر بشرية محسوسة نظراً لقلية اليورانيوم (^{235}U) في الطبيعة، و انخفاض فترة عمر النصف له و التي تبلغ (3.92sec)، ولذلك فإننا نهمل الجرعة الإشعاعية الناتجة من (^{219}Rn). عند حساب الجرعة الإشعاعية الناتجة عن الرادون.

وبالرغم من أن النشاط الإشعاعي لكل من اليورانيوم (^{238}U) والثوريوم (^{232}Th) تقريباً متساو إلا أننا نهمل مساهمة الثورون (^{220}Rn) الناتج من سلسلة كثل الثوريوم نظراً لأن فترة عمر النصف للثورون صغيرة جداً و تبلغ (55 sec) حيث أنه سيتحلل معظمه في التربة قبل أن يتدفق إلى الهواء الجوي، أما نظير الرادون (^{222}Rn) فيمثل أكبر المخاطر على الإطلاق نظراً لأنه يتميز بعمر نصفي طويل نسبياً (3.82 day)^(6، 9، 22)

3-3 مشتقات غاز الرادون و خطرها على الإنسان

إن معظم الجرعة الإشعاعية للرادون (^{222}Rn) مصدرها مشتقات الرادون و ليس غاز الرادون نفسه و يعود السبب في ذلك أن مشتقات الرادون مشعة أيضا و لكنها لا تشبه غاز الرادون حيث أنها ذرات صلبة لعناصر ثقيلة تلصق نفسها بكل ما تلامسه ، مما جعل الخطر الرئيسي ينبع من استنشاق مشتقات الرادون أو ذرات الغبار المحملة لمشتقات الرادون المشع لجسيمات ألفا (α). و يعتبر كل : ^{218}Po و ^{214}Po من أهم مشتقات الرادون المشع ، علماً بأن طاقة جسيم ألفا (α) المنبعث من ^{214}Po تساوي (7.69 Mev) في حين طاقة جسيم ألفا المنبعث من ^{218}Po تبلغ (6 Mev) .

وتكمن خطورة مشتقات الرادون في أنها تتحلل بسرعة قبل أن تستطيع الرئة التخلص من هذه المشتقات و يعود السبب في ذلك إلى فترة عمر النصف لمشتقات الرادون صغيرة جداً فهي تبلغ (3.05 min) و ($1.6 \times 10^{-4} \text{ sec}$) (23) لكل من ^{218}Po و ^{214}Po على التوالي. وتتمثل خطورة مشتقات الرادون المشع عند تحللها وقذفها لخلايا الرئة بجسيمات ألفا (α) التي تمتلك طاقة عالية مما يؤدي إلى تأين خلايا الرئة و إحداث تغير في الخلايا التي تتعرض لها و هذا يؤدي إلى حدوث انقسام و نمو غير طبيعي من الخلايا السرطانية في الرئة، هذا وقد ثبت أن الجرعة الإشعاعية التي يتعرض لها الإنسان من مشتقات الرادون المشع أكبر بكثير من تلك التي تصله من الرادون نفسه (26,25,24).

3-4 طرق تقليل تركيز الرادون

هناك عدة طرق مستخدمة للتقليل من تركيز الرادون في الأماكن ذات النسبة العالية للتركيز من هذا الغاز المشع ، أحدهما بإزالة مصدر الرادون إن أمكن مثل مخلفات مناجم اليورانيوم من المناطق القريبة من أساسات المباني ، أو بغلق القنوات التي يدخل منها الرادون إلى المباني كالشقوق و منتجات مواسير المياه و المجاري ، ويمكن ذلك أيضا بتهوية التربة أسفل المبنى وخاصة المباني التي يوجد تحتها فراغ وذلك مسا بين الأرضية و للطابق الأرضي، أو بتهوية المبنى عن طريق النوافذ .

أما الطريقة الأخرى المستخدمة فهي معالجة هواء المبنى بتهويته من السرادون عن طريق استخدام المراوح العمودية التي تزيد من حركة الهواء عن طريق الحمل. و لتجنب حدوث تراكيز عالية للرادون في المباني التي ستبنى في المستقبل فينصح بتجنب استخدام مواد البناء التي تطلق كميات كبيرة من هذا الغاز المشع ، و تجنب بناء المباني في الأراضي ذات الإشعاعية العالية للرادون ، لأن نسبة ما يتسرب منه إلى داخل المبنى . ستكون مرتفعة و هذا يؤدي بالتالي إلى رفع تركيزه (27,3) .

3-5 طرق قياس غاز الرادون:

3-5-1 تمهيد:

يقوم مبدأ الكشف عن الإشعاعات على استخدام ظاهرة التأين أو الإثارة للذرات أو الجزيئات لمادة الكاشف عند سقوط الإشعاعات عليه، فعند سقوط الجسيمات الثقيلة على مادة الكاشف يتكون عدد من الأزواج الألكترونية - الأيونية في المادة حيث يتناسب عدد هذه الأزواج تناسباً طردياً مع طاقة الجسيمات الساقطة، وعند تجمع الإلكترونات أو الأيونات الناتجة عن التأين وقياس الشحنة الكهربائية الناتجة عن هذا الأزواج يمكن معرفة عدد هذه الجسيمات الساقطة وطاقتها.

وهناك أنواع أخرى من الكواشف تقوم أساساً على أساس التغيرات الكيميائية التي تحدثها الإشعاعات عند سقوطها على بعض المركبات الكيميائية وقياس هذه التغيرات الناتجة يمكن الكشف عن كمية الإشعاعات وقياسها.

وعموماً يتوقف نوع الكاشف المستخدم على نوع وكثافة وطاقة الإشعاعات المطلوب الكشف عنها⁽³⁾. وتتميز مثل هذه الأنواع من الكواشف بحساسية ضعيفة.

3-5-2 المواد والطرق المستخدمة في قياس تركيز غاز الرادون:

تتوفر طرق عديدة مختلفة لقياس تركيز غاز الرادون ومنتجات تفككه، ومن الضروري أن تجرى مراقبة للمناطق والأماكن التي تحتوي على تراكيز عالية لغاز الرادون، حيث ينبغي أيضاً معرفة مدى الإقامة في هذه المناطق بغية التمكن من تقدير التعرض الكلي لغاز الرادون، ويتم مراقبة منطقة ما وإجراء قياس لتركيز غاز الرادون فيها إما عن طريق أخذ عينات أنية أو بواسطة مراقبة طويلة الأمد، وقد تبين أن تقنيات القياس طويلة الأمد تقدم معلومات أكثر واقعية ودقة، وبناء على ذلك تصنف الأجهزة المستخدمة وفق آلية عملها إلى صنفين هما: الأجهزة السلبية (Passive Instruments) والأجهزة الفعالة (Active Instruments) وقد اختيرت في هذه الدراسة الأجهزة السلبية لأنها لا تعتمد على الزمن حيث أنه يمكن استخدامها لفترات زمنية طويلة، بينما الأجهزة الفعالة تعتمد على الزمن ونحتاج إلى طاقة لاستخراج الرادون بينما الأجهزة السلبية تعتمد على الانتشار الطبيعي لغاز الرادون⁽²⁸⁾.

3-6 كواشف الحالة الصلبة:

تقسم كواشف الحالة الصلبة للمسارات النووية (SSNTDS) إلى نوعين: النوع الأول كواشف الحالة الصلبة البلورية مثل الكوارتز، والنوع الثاني كواشف الحالة الصلبة البلاستيكية مثل نيترات السيليلوز (LR-115) وكربونات الأليل دايجيليكول المتعددة المعرفة تجارياً باسم (CR-39) وتستخدم هذه الكواشف (SSNTDS) للأسباب التالية:

- استجابتها العالية لجسمات ألفا.
- عدم استجابتها للإشعاع المؤين (جاما، بيتا).
- يمكن استخدامها لقياس تركيز غاز الرادون في أي فترة زمنية.
- لا تتأثر هذه الكواشف بالظروف البيئية مثل الرطوبة ودرجة الحرارة.
- إضافة إلى ذلك تعتبر أيضاً غير حساسة بشكل كاف للقياس على المدى القصير وهذا يعزى إلى مساحة الكاشف الصغيرة⁽⁶⁾.

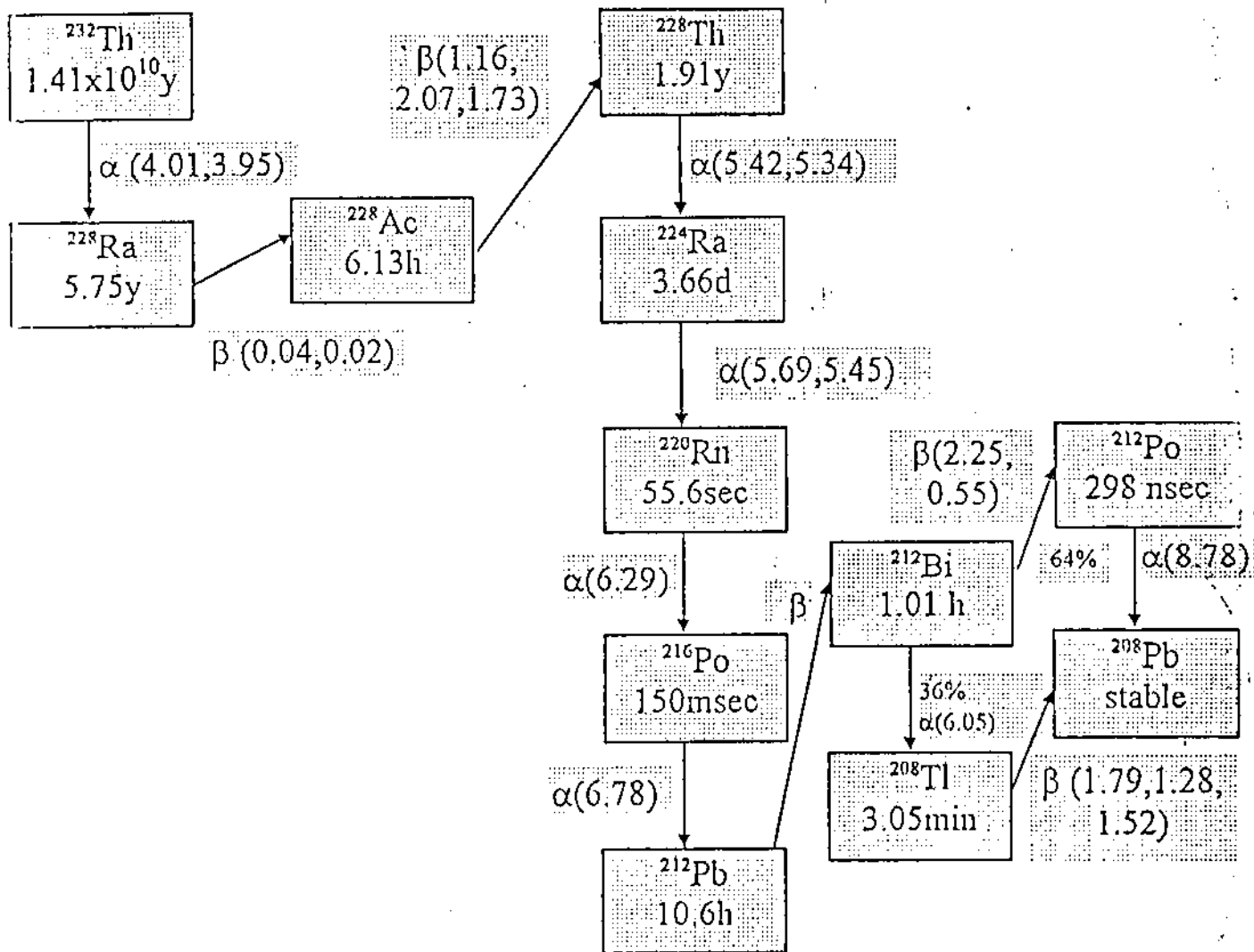
3-7 آلية تكوين المسارات:

تتكون كواشف (SSNTDS) من مواد عازلة أو شبه موصلة ضعيفة حيث أن هذه الكواشف تحتفظ بالمسار الذي يحدثه الجسم المشحون عند سقوطه على مادة هذه الكواشف ونظراً لأن قطر هذه المسارات صغير جداً يتراوح بين (10nm-30nm) فإنها لا تسرى إلا تحت المجهر وذلك بعد معالجتها كيميائياً وتسمى عملية المعالجة بعملية الحفر (Etching). وتمتاز كواشف الحالة الصلبة بأنها ذات سلاسل جزئية طويلة مما يجعل استجابتها لتكوين المسارات سهلة فعند سقوط الجسيمات المشحونة على كواشف الحالة الصلبة فإن هذه الجسيمات تفقد جزء من طاقتها بسبب التأيين والتهيج الذي يحدثه الجسم المشحون مع مكونات الكاشف وتفقد هذه الجسيمات جزء من طاقتها بسبب التفاعل مع مادة الكاشف مما يؤدي إلى تحطيم لبعض الروابط بين الذرات والجزئيات وينتج عن التدمير لمنطقة الكاشف الذي يمر منه الجسم المشحون مساراً (Track) ويعتمد التدمير في كاشفات الحالة الصلبة على نوع مادة الكاشف وطبيعة الجسم المؤين الساقط على مادة الكاشف، فعند سقوط الجسيمات المؤينة (جسيمات ألفا) على مادة الكواشف البلاستيكية فإنه يتكون داخل المادة البلاستيكية جزئيات متأينة وأخرى مثارة، ونتيجة لذلك يتحرر عدد من الإلكترونات الناتجة في عملية التأيين وتتحد هذه الإلكترونات مع الجزئيات لتكوين أيونات سالبة أو بعض الأيونات الموجبة لتكوين جزئيات مثارة، وعند حصول هذه الجزئيات على طاقة اهتزازية فإن الروابط بين الجزئيات قد تتحطم وتتحول إلى جزئيات متعادلة ومجموعة حرة مما ينتج سلاسل محطمة من الجزئيات وبالتالي انقاص للوزن الجزيئي لمادة الكاشف وظهور المسارات في مادة الكاشف^(29,30).

3-8 تظهير المسارات:

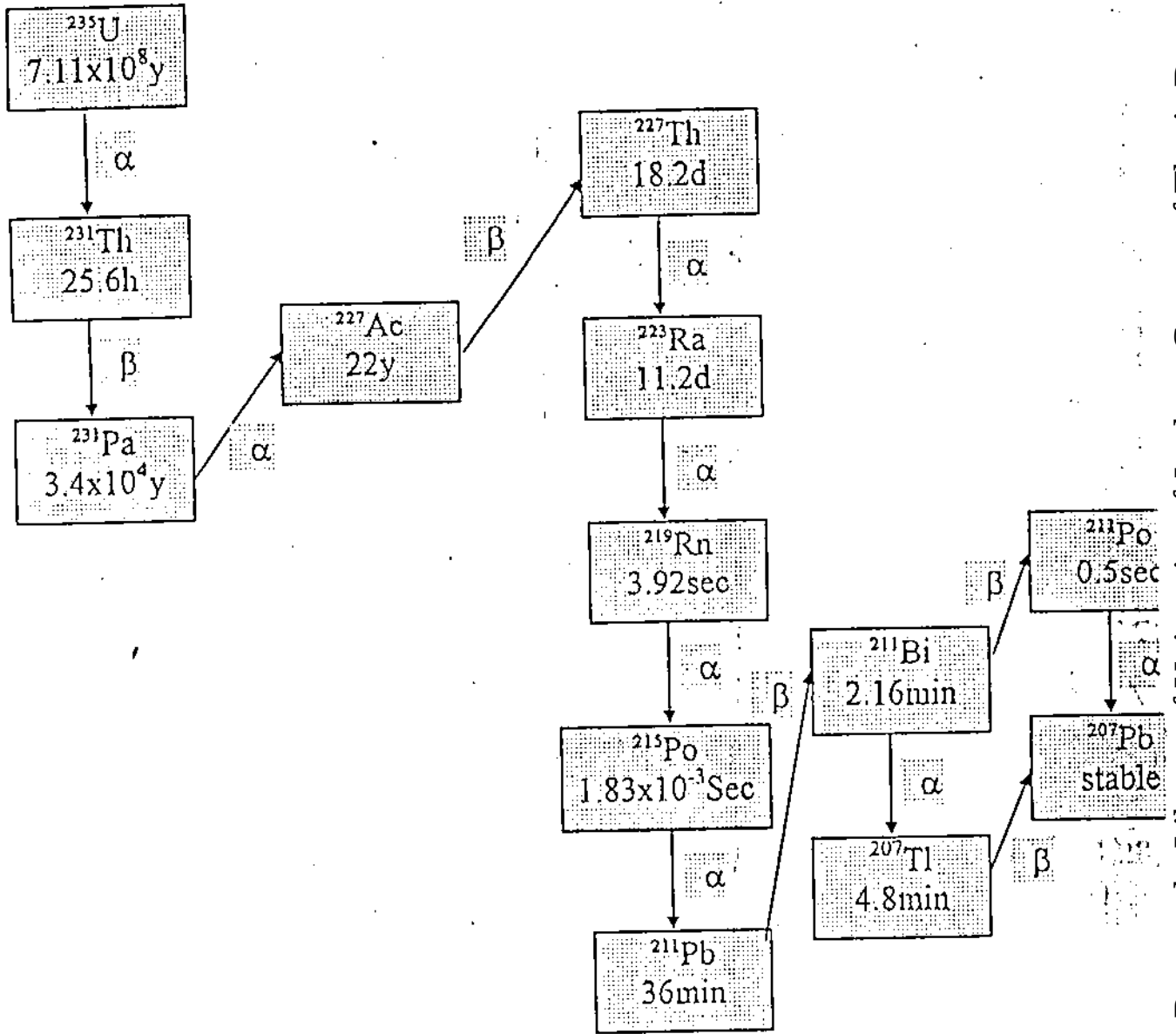
تعتبر كواشف الحالة الصلبة (CR-39) من أكثر الكواشف البلاستيكية شيوعاً وصيغته الجزيئية ($C_{12}H_{18}O_{17}$) فعند سقوط جسيمات ألفا على مادة الكاشف فإنها تستطيع أن تحدث مساراً في مادة هذا الكاشف إذا كانت طاقتها أكبر من (0.1 MeV) وأقل من (20MeV) ونظراً لكون المسارات التي تتركها جسيمات ألفا ذات قطر صغير فإنه لا يمكن رؤية هذه المسارات تحت المجهر إلا بعد تظهيرها بطرق كيميائية، ويتم ذلك عن طريق تثبيت المسار وتكبيره حيث أن بعض المحاليل الكيميائية تعمل على حفر مادة الكاشف ويكون معدل حفر المنطقة المدمرة أكبر من حفر المنطقة غير المدمرة وذلك لأن معدل استجابة مادة الكاشف للمحلول الكيميائي يعتمد على مقدار الأيونات المتكونة في منطقة المسار وعلى خواص الجسم المشحون الساقط على مادة الكاشف.

ومن الجدير بالذكر أن كل كاشف له ميزاته الخاصة به أثناء الحفر، ومن هذه الميزات نوع المحلول الكيميائي الحافر وتركيزه وزمن الحفر ودرجة الحرارة. ويستخدم محلول هيدروكسيد البوتاسيوم (KOH) أو هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) لتظهير المكاشف البلاستيكية بتركيز يتراوح (1-12M) وبزمن يختلف من كاشف إلى آخر وعند درجة حرارة تتراوح C° (40-100)^(30,29).



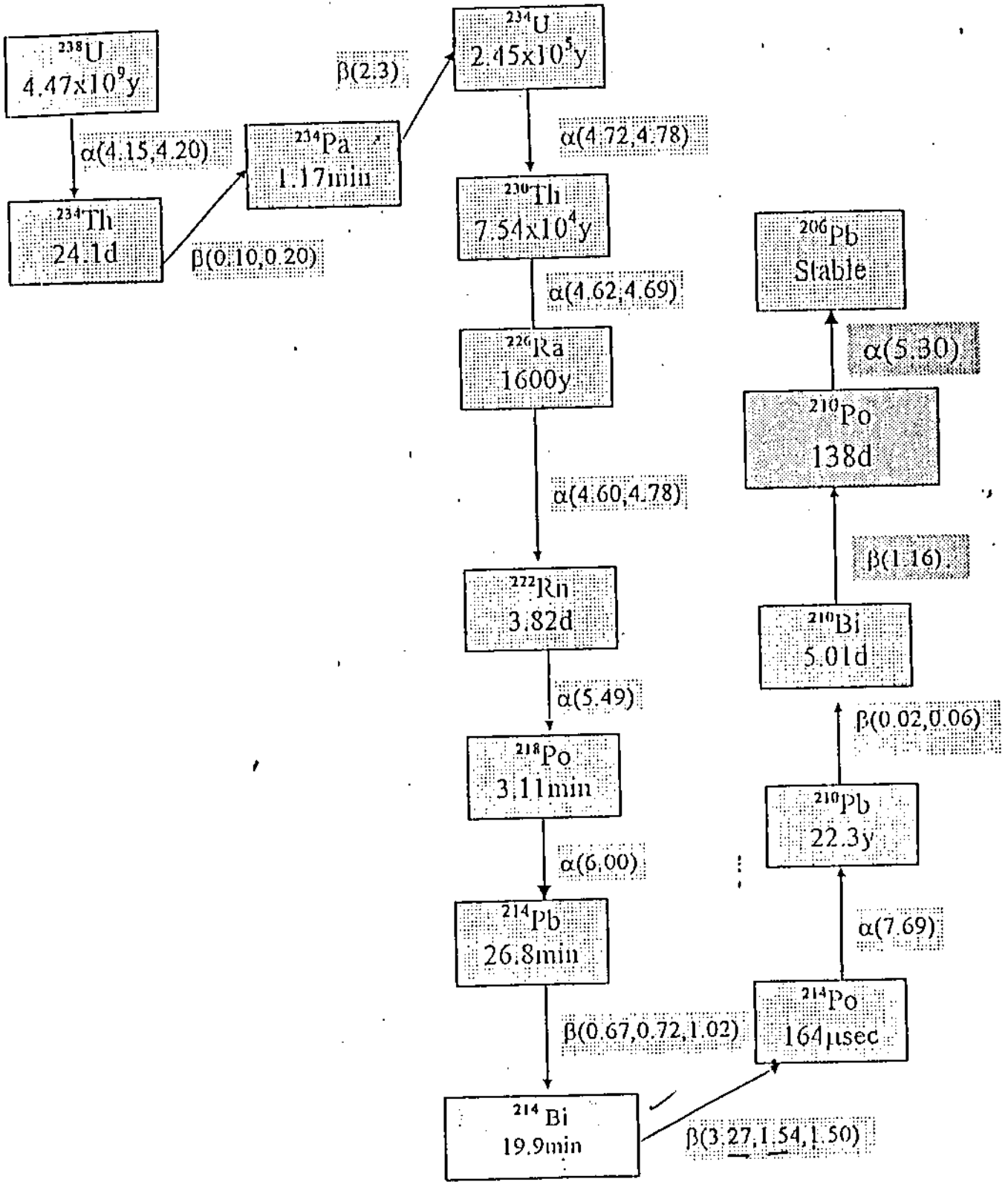
الشكل (1-3)

سلسلة ^{232}Th الإشعاعية مبيناً عليها نوع التحلل وطاقة الجسيم الناتج عن التحلل بوحدة (MeV)، وكذلك فترة عمر النصف لنواتج التحلل



الشكل (2-3)

يمثل ^{235}U سلسلة الإشعاعية مبيناً عليها نوع التحلل وطاقة الجسيم الناتج عن التحلل
بواحدات (MeV) وكذلك فترة عمر النصف لنواتج التحلل



الشكل (3-3)

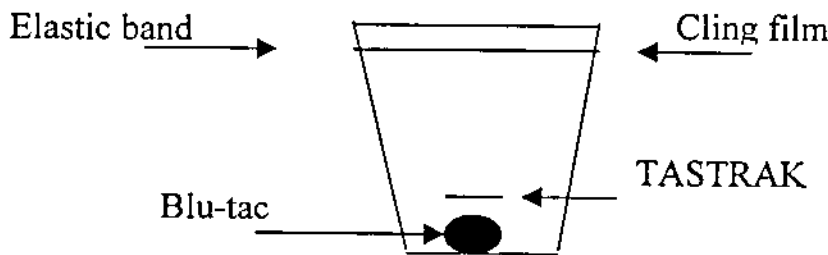
يمثل ^{238}U سلسلة الإشعاعية مبيناً عليها نوع التحلل وطاقة الجسيم الناتج عن التحلل
بواحدات (MeV) وكذلك فترة عمر النصف لنواتج التحلل

الفصل الرابع

العمل التجريبي ونتائج الدراسة

1-4 مجراع الرادون السلبي

لقد تم تجهيز (120) مجراعا من مجارع الرادون السلبية باستخدام مكاشيف بلاستيكية من مادة ((Poly Ally Diglcol Carbonate)) المعروفة تجاريا باسم CR-39 وتم الحصول على هذه الكواشف جاهزة من (Track System Analysis Limited TSAL) في إنجلترا و كانت أبعاد كل كاشف (1.5cm x 1.5cm) وأعطى كل كاشف رقما مميزا له عن الكواشف الأخرى لتسهيل جمع المعلومات الخاصة بالدراسة و بعد ذلك تم تثبيت كل كاشف في منتصف قاع علبة بلاستيكية و ذلك باستخدام لاصق بوجهين بحيث يكون الوجه الذي يحمل الرقم المميز بالكواشف متجها لأعلى و بعد ذلك تم تغطية العلبة البلاستيكية بغطاء بلاستيكي حتى لا يدخل الغبار و الشوائب داخل المجراع و بذلك تكون المجاريع جاهزة للاستخدام وقياس تركيز غاز الرادون في هواء مدينة نابلس القديمة والشكل (1-4) يوضح المقطع العرضي لمجراع الرادون السلبي^(30,9).



الشكل (1-4)

المقطع العرضي لمجراع الرادون السلبي

2-4 مرحلة توزيع المجاريع على مناطق الدراسة

بعد الإنتهاء من تجهيز المجاريع تم توزيعها في مدينة نابلس القديمة حيث تم تقسيم مدينة نابلس القديمة إلى سبع مناطق بحيث تكون الدراسة شاملة والجدول (1-4) يبين التفاصيل المتعلقة بالأماكن وعدد المجاريع الموزعة والمجموعة والمفقودة بسبب عبث الناس فيها بدافع حب الإستطلاع. وقد تركت المجاريع في أماكن الدراسة لمدة ثلاثة شهور وهي تشرين أول وتشرين ثاني وكانون أول. وكانت توضع المجاريع على إرتفاع (1.5m) من أرضية المكان الذي وضعت فيه، حيث أن المجاريع في كل حارة وزعت على كل من غرف

النوم وغرف الجلوس والمطابخ حتى يمكن اختبار تركيز غاز الرادون وعلاقته بمعدل التهوية في كل من غرف النوم والجلوس والمطابخ .

جدول (4-1)

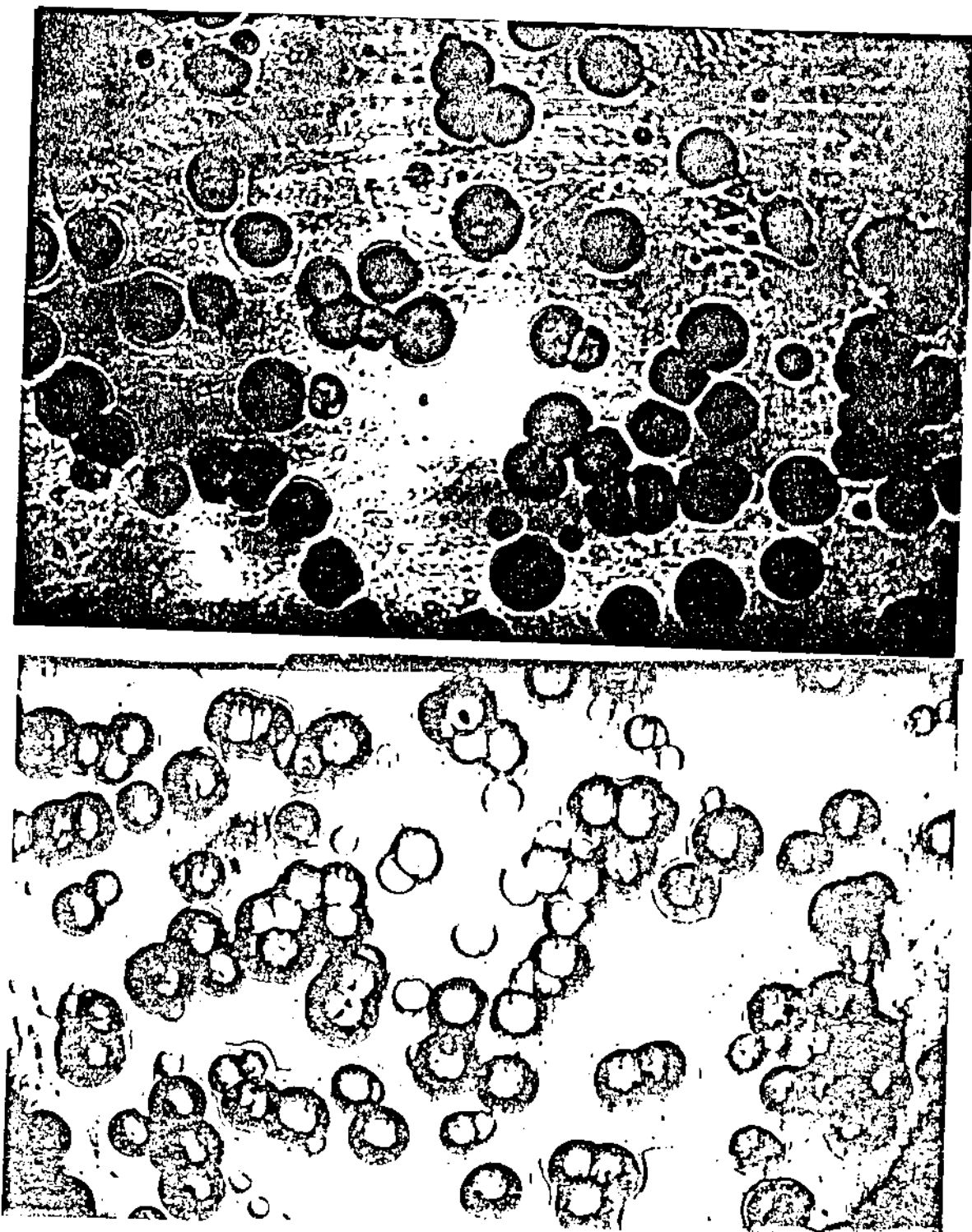
عدد المجاري الموزعة و المجموعة و المفقودة التي تم توزيعها على أماكن الدراسة

الموقع	عدد المجاري الموزعة	عدد المجاري المجموعة	عدد المجاري المفقودة
حارة الياسمين	16	12	4
حارة الشيخ مسلم	34	27	7
حارة القسارية	17	12	5
حارة السمرة	15	11	4
حارة الأريون	12	8	4
سوق الحدادين	13	8	5
حارة النصر	13	11	2
المجموع	120	89	31

3-4 تظهير الكواشف وعد المسارات

بعد انتهاء الفترة الزمنية المحدودة تم جمع المجاري من المواقع التي وزعت عليها وبعد ذلك تم نزع المكاشف من هذه المجاري وتظهيرها كيميائياً باستخدام محلول هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) وتركيز (6.25N) وفي درجة حرارة مقدارها $(98 \pm 2)^\circ\text{C}$ لمدة ساعة. و بعد الإنتهاء من عملية التظهير تم اخراج الكواشف من المحلول و غسلها بالماء المقطر للتخلص من بقايا الحفر المتخلفة على سطح الكواشف ثم جففت لتصبح جاهزة لمعرفة عدد المسارات في كل وحدة مساحة و ذلك باستخدام مجهر ضوئي حيث تمت عملية عد المسارات يدوياً.

و يبين الشكل (4-2) صورة فوتوغرافية للمسارات التي تظهر على الكواشف و هذه المسارات صورت باستخدام مجهر ضوئي عند تكبير مقداره (100) مرة موصولا مع كاميرا فوتوغرافية.



الشكل (2-4)

صورة فوتوغرافية للمسارات التي تظهر على الكواشف أثناء تعرضها لمشتقات غاز
الرادون في منازل مدينة نابلس القديمة

4-4- استخراج النتائج

ولاستخراج تركيز غاز الرادون في هواء مدينة نابلس القديمة تم أولاً حساب متوسط عدد المسارات لكل مساحة منظورة على كل كاشف على حده وبمعرفة المساحة المنظورة لكل قوة تكبير تم حساب متوسط عدد المسارات لكل وحدة مساحة من الكواشف حيث كانت مساحة المنظر تساوي ($0,025434\text{cm}^2$) عند قوة التكبير (100) ولإيجاد تركيز غاز الرادون (C) بوحدة Bq/m^3 في كل من أماكن الدراسة نستعمل العلاقة التالية⁽⁹⁾:

$$C = C_0 \times \bar{\sigma}_{\text{track}} / t \quad (1-4)$$

حيث:

C_0 : تركيز غاز الرادون في حجرة المعايرة ($C_0 = 5.3\text{Bq/m}^3$)

t : الفترة الزمنية التي تعرضت لها المكاشف لغاز الرادون في أماكن الدراسة.

$\bar{\sigma}_{\text{track}}$: كثافة المسارات السطحية (track/cm^2).

5-4 عرض النتائج

هدفت الدراسة إلى قياس تركيز غاز الرادون في مدينة نابلس القديمة، لتحقيق ذلك تم قياس تركيز غاز الرادون في المطابخ وغرف النوم وغرف الجلوس في سبعة أماكن في مدينة نابلس القديمة هي: (حارة الياسمين، حارة الشيخ مسلم، حارة القسارية، كنسية السمرة، حارة الأريون، حارة سوق الحدادين، وحارة النصر)، وفيما يلي عرضاً للنتائج التي توصلت إليها أسئلة الدراسة:

- ما هو تركيز غاز الرادون في المطابخ وغرف النوم وغرف الجلوس في الحارات المختلفة في مدينة نابلس القديمة؟

- هل توجد فروق ذات دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha = 0.05$) في تركيز غاز الرادون في المطابخ وغرف النوم وغرف الجلوس في الحارات المختلفة في مدينة نابلس القديمة؟

- هل توجد فروق ذات دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha = 0.05$) في تركيز غاز الرادون في المطابخ وغرف النوم وغرف الجلوس تعزى لمتغير الحارة؟

أولاً: النتائج المتعلقة بالسؤال الأول:

ما هو تركيز غاز الرادون في المطابخ وغرف النوم وغرف الجلوس في الحارات في مدينة نابلس القديمة؟

للإجابة عن السؤال تم إجراء قياسات لغاز الرادون في المطابخ وغرف النوم وغرف الجلوس في السبعة أماكن في مدينة نابلس القديمة. وتم استخراج معدل تركيز غاز الرادون والانحراف المعياري، وأيضاً الجرعة المكافئة السنوية وتبين الجداول من (2-4) إلى (8-4) هذه القيم المدروسة وذلك حسب كل حارة مدروسة:

■ حارة الياسمين:

الجدول (2-4)

المعدل والانحراف المعياري لتركيز غاز الرادون
والجرعة المكافئة السنوية في حارة الياسمين

رقم الكاشف	مكان القياس	تركيز الرادون Bq/m ³	الجرعة المكافئة السنوية mSv/y
321	غرف نوم	100.1	5.01
243	غرف نوم	88.3	4.42
337	غرف نوم	64.8	3.24
319	غرف نوم	53	2.7
52	غرف نوم	94.2	4.7
253	غرف جلوس	56.4	3.3
248	غرف جلوس	48.9	2.5
323	غرف جلوس	60.1	3.01
332	غرف جلوس	53.6	2.07
256	مطابخ	88.3	4.42
242	مطابخ	106	5.3
62	مطابخ	153.1	7.7
المعدل		81.31	4.03
الانحراف المعياري		30.11	1.56

يتضح من الجدول (4-2) أن معدل تركيز الرادون في حارة الياسمين وصل إلى (81.31 Bq/m^3) وكانت أعلى قيمة في المطابخ حيث وصلت إلى (153.1 Bq/m^3) . وكانت أقل قيمة (48.9 Bq/m^3) وبهذا يكون مدى تركيز غاز الرادون في حارة الياسمين بين $(153.1-48.9 \text{ Bq/m}^3)$.

وفيما يتعلق بالانحراف المعياري وصل إلى (30.11 Bq/m^3) وهو عال مما يبين أنه يوجد هناك تشتت في القياسات وذلك بسبب اختلاف أماكن القياس.

أما فيما يتعلق بالجرعة المكافئة السنوية فقد وصل المعدل إلى (4.03 mSv/y) والانحراف المعياري للجرعة المكافئة السنوية (1.56 mSv/y) وتراوح المدى ما بين $(7.7-2.5 \text{ mSv/y})$ حيث كان أعلى جرعة مكافئة في المطابخ (7.7 mSv/y) وأقل جرعة مكافئة كان في غرف الجلوس (2.5 mSv/y) .

■ حارة الشيخ مسلم:

الجدول (3-4)

المعدل والانحراف المعياري لتركيز غاز الرادون

والجرعة المكافئة السنوية في حارة الشيخ مسلم

رقم الكاشف	مكان القياس	تركيز الرادون Bq/m ³	الجرعة المكافئة السنوية mSv/y
306	غرف نوم	88.3	4.42
307	غرف نوم	89.3	4.5
94	غرف نوم	147.2	7.4
82	غرف نوم	54.2	2.7
83	غرف نوم	118.4	5.9
299	غرف نوم	70.7	3.53
267	غرف نوم	111.9	5.6
275	غرف نوم	106	5.3
292	غرف نوم	76.6	3.83
312	غرف جلوس	51.8	2.6
304	غرف جلوس	54.2	2.7
311	غرف جلوس	77.7	3.9
302	غرف جلوس	53	2.6
308	غرف جلوس	117.8	5.9
303	غرف جلوس	88.3	4.4
390	غرف جلوس	64.8	3.2
258	غرف جلوس	100	5.01
278	غرف جلوس	76.6	3.8
301	مطابخ	135.4	6.8
309	مطابخ	88.3	4.4
313	مطابخ	106	5.3
268	مطابخ	164.9	8.3
286	مطابخ	100.1	5.01
287	مطابخ	111.9	5.6
296	مطابخ	121.9	6.1
265	مطابخ	94.2	4.7
295	مطابخ	133.1	6.7
المعدل		96.39	4.75
الانحراف المعياري		29.68	1.45

يتضح من الجدول (4-3) أن معدل تركيز الرادون في حارة الشيخ مسلم وصل إلى (96.39Bq/m^3) وكانت أعلى قيمة في المطابخ حيث وصلت إلى (164.9Bq/m^3) . وكانت أقل قيمة في غرف الجلوس حيث كانت (51.8Bq/m^3) وبهذا يتراوح المدى لقياس تركيز غاز الرادون في حارة الشيخ مسلم بين $(164.9-51.8\text{Bq/m}^3)$.
أما فيما يتعلق بالجرعة المكافئة السنوية فقد وصل المعدل إلى (4.75mSv/y) وتراوح المدى بين $(8.3-2.6\text{mSv/y})$ حيث كان أعلى جرعة مكافئة في المطابخ (8.3mSv/y) وأقل جرعة مكافئة في غرف الجلوس (2.6mSv/y) .

■ حارة القيسارية:

الجدول (4-4)

المعدل والانحراف المعياري لتركيز غاز الرادون
والجرعة المكافئة السنوية في حارة القيسارية

رقم الكاشف	مكان القياس	تركيز الرادون Bq/m^3	الجرعة المكافئة السنوية mSv/y
245	غرف نوم	102.5	5.1
60	غرف نوم	107.8	5.4
75	غرف نوم	100.1	5.01
76	غرف نوم	94.2	4.7
79	غرف نوم	101.3	5.1
254	غرف جلوس	76.6	3.8
54	غرف جلوس	78.3	3.9
246	غرف جلوس	55.9	2.8
259	غرف جلوس	83.6	4.2
289	مطابخ	111.9	5.6
320	مطابخ	26.5	1.33
262	مطابخ	147.2	7.4
المعدل		90.49	4.52
الانحراف المعياري		30.18	5.28

يتضح من الجدول (4-4) أن معدل تركيز الرادون في حارة القيسارية وصل إلى (90.49 Bq/m^3) وكانت أعلى قيمة في المطابخ حيث وصلت إلى (147.2 Bq/m^3) . وكانت أقل قيمة أيضاً في المطابخ (26.5 Bq/m^3) وبهذا يتراوح المدى بين (26.5 Bq/m^3) - (147.2) .

أما فيما يتعلق بالجرعة المكافئة السنوية فقد وصل المعدل إلى (4.52 mSv/y) وتراوح المدى بين $(1.33 - 7.4 \text{ mSv/y})$ حيث كان أعلى جرعة مكافئة في المطابخ (4.7 mSv/y) وأقل جرعة مكافئة كذلك في المطابخ (1.33 mSv/y) .

■ حارة كنيسة السمرة:

الجدول (5-4)

المعدل والانحراف المعياري لتركيز غاز الرادون
والجرعة المكافئة السنوية في حارة كنيسة السمرة

رقم الكاشف	مكان القياس	تركيز الرادون Bq/m^3	الجرعة المكافئة السنوية mSv/y
327	غرف نوم	76.6	3.8
331	غرف نوم	58.3	2.9
328	غرف نوم	64.8	3.3
324	غرف نوم	106	5.3
333	غرف جلوس	147.3	7.4
329	غرف جلوس	53	2.7
316	غرف جلوس	135.4	6.8
336	غرف جلوس	88.3	4.4
317	مطابخ	82.4	4.1
318	مطابخ	164.9	8.3
339	مطابخ	182.6	9.1
المعدل		105.71	5.28
الانحراف المعياري		54.19	2.26

يتضح من الجدول (4-5) أن معدل تركيز الرادون في حارة كنيسة السمرة وصل إلى (105.71 Bq/m^3) وكانت أعلى قيمة في المطابخ (182.6 Bq/m^3) . وأقل قيمة في غرف الجلوس (53 Bq/m^3) وبهذا تراوح المدى بين $(182.6-53 \text{ Bq/m}^3)$. أما فيما يتعلق بالجرعة المكافئة السنوية فقد وصل المعدل إلى (5.28 mSv/y) وتراوح المدى بين $(9.1-2.7 \text{ mSv/y})$ حيث كان أعلى جرعة مكافئة في المطابخ (9.1 mSv/y) وأقل جرعة مكافئة في غرف الجلوس (2.7 mSv/y) .

■ حارة الأريون:

الجدول (4-6)

المعدل والانحراف المعياري لتركيز غاز الرادون
والجرعة المكافئة السنوية في حارة الأريون

رقم الكاشف	مكان القياس	تركيز الرادون Bq/m^3	الجرعة المكافئة السنوية mSv/y
66	غرف نوم	90.7	4.5
53	غرف نوم	253.2	14.7
59	غرف نوم	206	10.3
64	غرف نوم	70.7	3.54
241	غرف جلوس	94.2	4.7
270	غرف جلوس	100.1	5
68	مطابخ	106	5.3
67	مطابخ	164.9	8.26
المعدل		135.72	6.78
الانحراف المعياري		65.16	3.27

يتضح من الجدول (4-6) أن معدل تركيز الرادون في حارة الأريون وصل إلى (135.72 Bq/m^3) وكانت أعلى قيمة في غرف النوم حيث وصلت إلى (253.2 Bq/m^3) وأقل قيمة (70.7 Bq/m^3) كذلك في غرف النوم، وبهذا تراوح التركيز بين $(253.2-70.7 \text{ Bq/m}^3)$.

أما فيما يتعلق بالجرعة المكافئة السنوية فقد وصل المعدل إلى (6.78mSv/y) وتراوح المدى بين (8.26-97.54mSv/y) حيث كان أعلى جرعة مكافئة في المطابخ (8.26mSv/y) وأقل جرعة مكافئة في غرف النوم (3.54mSv/y).

■ حارة سوق الحدادين:

الجدول (4-7)

المعدل والانحراف المعياري لتركيز غاز الرادون والجرعة المكافئة السنوية في حارة سوق الحدادين

رقم الكاشف	مكان القياس	تركيز الرادون Bq/m ³	الجرعة المكافئة السنوية mSv/y
91	غرف نوم	100.7	5.04
96	غرف نوم	170.8	8.5
103	غرف نوم	102.5	5.1
105	غرف نوم	202.6	10.1
100	غرف جلوس	83.6	4.2
101	غرف جلوس	47.7	2.4
89	مطابخ	81.9	4.1
264	مطابخ	55.9	2.8
المعدل		105.71	5.28
الانحراف المعياري		54.19	2.69

يتضح من الجدول (4-7) أن معدل تركيز الرادون في حارة سوق الحدادين السمرة وصل إلى (105.71 Bq/m³) وتراوح المدى بين (47.7 Bq/m³ - 202.6) حيث كانت أعلى قيمة في غرفة النوم (202.6 Bq/m³) وأقل قيمة (47.7 Bq/m³) في غرف الجلوس. وفيما يتعلق بالجرعة المكافئة السنوية فقد وصل المعدل إلى (5.28 mSv/y) وتراوح المدى بين (2.4mSv/y-10.1) حيث كان أعلى جرعة مكافئة في غرف النوم (10.1mSv/y) وأقل جرعة مكافئة في غرف الجلوس (2.4mSv/y).

■ حارة سوق النصر:

الجدول (8-4)

المعدل والانحراف المعياري لتركيز غاز الرادون
والجرعة المكافئة السنوية في حارة سوق النصر

رقم الكاشف	مكان القياس	تركيز الرادون Bq/m ³	الجرعة المكافئة السنوية mSv/y
257	غرف نوم	112.5	5.6
93	غرف نوم	108.9	5.4
65	غرف نوم	87.7	4.4
81	غرف نوم	187.9	9.4
63	غرف نوم	64.8	3.2
106	غرف جلوس	70.7	3.5
102	غرف جلوس	94.2	4.7
266	غرف جلوس	88.3	4.4
88	مطابخ	123.7	6.2
109	مطابخ	60.7	3.03
92	مطابخ	94.2	4.7
المعدل		99.41	4.95
الانحراف المعياري		35.37	2.01

يتضح من الجدول (8-4) أن معدل تركيز الرادون في حارة سوق النصر وصل إلى (99.41Bq/m³) وتراوح المدى بين (187.9-60.7Bq/m³) حيث كانت اعلى قيمة في غرفة النوم (187.9Bq/m³) وأقل قيمة في المطابخ (60.7Bq/m³).

وفيما يتعلق بالجرعة المكافئة السنوية فقد وصل المعدل إلى (4.94mSv/y) وتراوح المدى بين (9.4-3.03 mSv/y) حيث كان أعلى جرعة مكافئة في غرف النوم (9.4 mSv/y) وأقل جرعة مكافئة في المطابخ (3.03 mSv/y).

ثانياً: النتائج المتعلقة بالسؤال الثاني:

هل توجد فروق ذات دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha = 0.05$) في تركيز غاز الرادون في المطابخ وغرف النوم وغرف الجلوس في الحارات المختلفة في مدينة نابلس القديمة؟

للإجابة عن السؤال استخدم المتوسط الحسابي والانحراف المعياري وتحليل التباين الأحادي (One-Way ANOVA) واختبار تيوكي (Tukey Test) للمقارنات البعدية (Post-hoc) بين المتوسطات الحسابية ونتائج الجدول (4-9) تبين المتوسط الحسابي والانحراف المعياري لتركيز غاز الرادون في المطابخ وغرف النوم وغرف الجلوس في الحارات المختلفة في مدينة نابلس القديمة، بينما يبين الجدول (4-10) نتائج تحليل التباين الأحادي.

حيث أن المتوسط الحسابي يمثل القيمة التي تمثل مجموعة القيم لتركيز غاز الرادون وتجمعها حول نقطة معينة، بينما يمثل الانحراف المعياري تشتت القيم وبعدها عن المتوسط الحسابي، وبالنسبة لتحليل التباين الأحادي فهو اختبار إحصائي يستخدم لمعرفة الفروق في أثر متغير مستقل وهو الحارة في الدراسة الحالية على متغير تابع وهو تركيز الرادون، وذلك من أجل معرفة التأثير هل له معنى أم لا وبمستوى دلالة ($\alpha = 0.05$) التي تعبر عن نسبة الخطأ المسموح به وبتقة (0.95)، ويرمز له عادة بحرف (F) نسبة إلى العالم (Fisher) الذي أوجده، وفي حالة وجود الفروق ولتحديد بين أي من الحارات بالتحديد كانت الفروق في تركيز غاز الرادون يتم استخدام اختبار بعدي ومن أشهر هذه الاختبارات اختبار (Tukey Test).

الجدول (4-9)

المتوسط الحسابي والانحراف المعياري لتركيز غلظ الرادون في المطبخ وغرف النوم وغرف الجلوس في الحارات المختلفة في مدينة نابلس القديمة

المكان القوس الحارات	المطابخ				غرف النوم				غرف الجلوس				المعدل العام			
	أعلى قيمة Bq/m ³	أقل قيمة Bq/m ³	الانحراف Bq/m ³	المتوسط Bq/m ³	أعلى قيمة Bq/m ³	أقل قيمة Bq/m ³	الانحراف Bq/m ³	المتوسط Bq/m ³	أعلى قيمة Bq/m ³	أقل قيمة Bq/m ³	الانحراف Bq/m ³	المتوسط Bq/m ³	أعلى قيمة Bq/m ³	أقل قيمة Bq/m ³	الانحراف Bq/m ³	المتوسط Bq/m ³
حارة الياستين	153	48.90	30.11	81.31	65	48.90	7.72	57	100	53	20.21	80.08	153	48.90	30.11	81.31
حارة الشيخ مسلم	164.9	51.80	29.68	96.39	117	51.8	22.89	76.02	147	54020	28.15	95.84	164.9	51.80	29.68	96.39
حارة القصارية	147	26.50	30.18	90.49	83	55.90	12.17	73.60	107	94.20	4.88	101.16	147	26.50	30.18	90.49
حارة كنيسة السمرة	182	53	45.18	105.41	147	53	43.55	106	106	58.30	21.12	76.42	182	53	45.18	105.41
حارة الأربعون	253	70.70	65.16	135.72	100	94.20	4.17	97.15	253	70.70	88.47	155.15	164	106	41.64	135.45
حارة سوق الحافلين	202	47.70	54.19	105.71	83	47.70	25.38	65.65	202	100.70	50.82	144.15	81	55.90	18.38	68.90
حارة النصر	187	60.70	35.37	99.41	94	70.70	12.22	84.40	187	64.80	46.33	112.36	123	60.70	31.52	92.86
المعدل العام			38.98	98.80			25.74	79.92			43.50	101.78				

الجدول (4-10)

نتائج تحليل التباين الأحادي لدلالة الفروق بين أماكن قياس الرادون (مطبخ، غرف نوم،
غرف جلوس) في حارات مدينة نابلس القديمة

الحارات	مصدر التباين	درجات الحرية	مجموع مربعات الانحراف	متوسط الانحراف	ف	مستوى الدلالة*
حارة الياسمين	بين الحارات	2	594.14	2970.07	6.62	0.01*
	داخل الحارات	9	4035.46	448.38		
	المجموع	11	9975.61			
حارة الشيخ مسلم	بين الحارات	2	7675.53	3837.76	6.04	0.007*
	داخل الحارات	24	15228.22	634.50		
	المجموع	26	22903.75			
حارة القسارية	بين الحارات	2	1779.02	889.51	0.97	0.41
	داخل الحارات	9	8242.42	915.82		
	المجموع	11	10021.44			
حارة كنيسة السمرة	بين الحارات	2	7668.86	3834.43	2.40	0.15
	داخل الحارات	8	12750.56	1595.82		
	المجموع	10	20419.43			
حارة الأريون	بين الحارات	2	4485.53	2242.76	0.44	0.66
	داخل الحارات	5	25237.14	5047.42		
	المجموع	7	29722.67			
حارة سوق الحدادين	بين الحارات	2	11830.09	5915.04	3.38	0.11
	داخل الحارات	5	8731.65	1746.33		
	المجموع	7	20561.74			
حارة النصر	بين الحارات	2	1642.85	821.42	0.40	0.67
	داخل الحارات	8	10874.45	1359.30		
	المجموع	10	12517.31			
المجموع الكلي (الحارات مجتمعة)	بين الحارات	2	1635.62	8178.31	6.06	0.004*
	داخل الحارات	78	105250.09	1349.36		
	المجموع	80	121606.72			

*ف الجدولية عند مستوى الدلالة ($\alpha = 0.05$) تساوي (4.26).

يتضح من الجدول (4-10) ما يلي:

- لا توجد فروق ذات دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha = 0.05$) في تركيز غاز الرادون في غرف النوم وغرف الجلوس في أماكن (حارة القسارية، حارة كنيسة السمرة، حارة الأريون، حارة سوق الحدادين، وحارة النصر).

- وجود فروق ذات دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha = 0.05$) في تركيز غاز الرادون في المطابخ وغرف النوم، وغرف الجلوس، في أماكن (حارة الياسمين، حارة الشيخ مسلم) والدرجة الكلية للحرارة مجتمعة.

ومن أجل تحديد بين من كانت الفروق استخدم اختبار تيوكي للمقارنات البعدية بين المتوسطات الحسابية (Tukey Post-hoc Test)، ونتائج الجداول (11-4) (12-4) (4-13) تبين ذلك.

- حارة الياسمين:

الجدول (11-4)

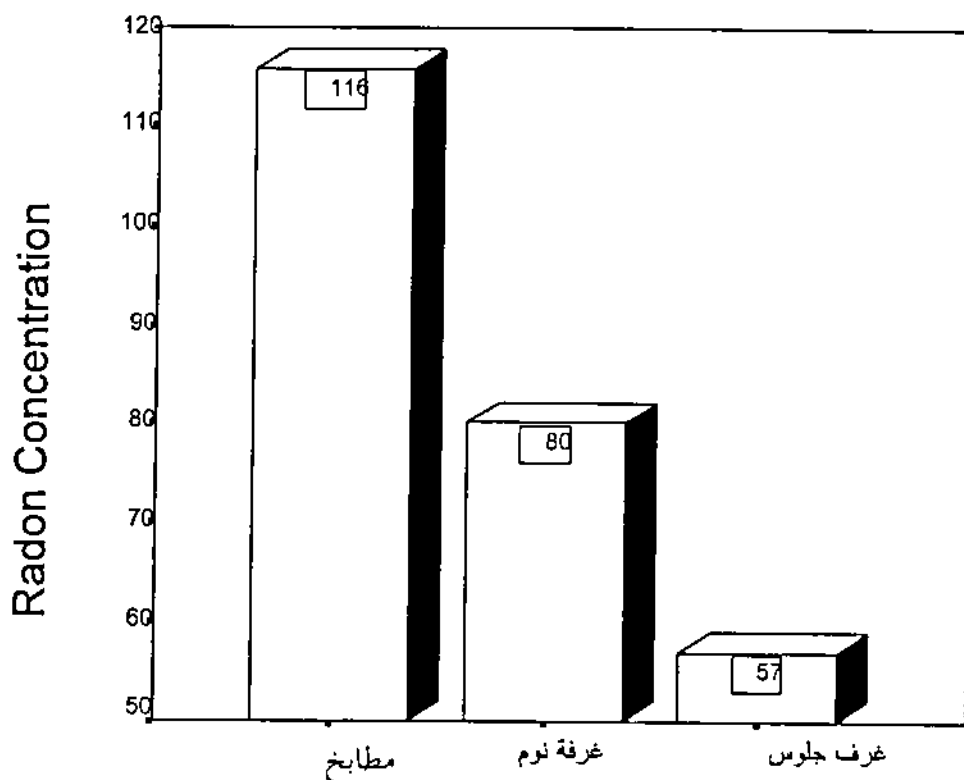
نتائج اختبار تيوكي للمقارنات البعدية بين المتوسطات الحسابية في تركيز غاز الرادون في المطابخ وغرف النوم، غرف الجلوس في حارة الياسمين

مكان القياس	الوسط الحسابي Bq/m ³	المطابخ	غرف النوم	غرف الجلوس
المطابخ	115.80		35.72	*58.80
غرف النوم	80.08			23.08
غرف الجلوس	57			

* دال إحصائياً عند مستوى ($\alpha = 0.05$).

يتضح من الجدول (11-4) أنه لا توجد فروق ذات دلالة إحصائية عند مستوى ($\alpha = 0.05$) في تركيز غاز الرادون في حارة الياسمين بين المطابخ وغرف النوم وكذلك بين غرف النوم وغرف الجلوس، بينما كانت الفروق الدالة إحصائياً عند مستوى ($\alpha = 0.05$) في تركيز الرادون بين المطابخ وغرف الجلوس لصالح المطابخ حيث وصل الوسط الحسابي إلى (115.80 Bq/m^3) بينما وصل الوسط الحسابي في غرف الجلوس إلى (57 Bq/m^3).

وتظهر مثل هذه الفروق في الشكل البياني رقم (3-4)



الشكل رقم (3-4)

المتوسط الحسابي لغاز الرادون في المطابخ وغرفة النوم وغرفة الجلوس في حارة الياسمين

- حارة الشيخ مسلم:

الجدول (12-4)

نتائج اختبار تيوكي للمقارنات البعدية بين المتوسطات الحسابية في تركيز غاز الرادون في المطابخ وغرفة النوم، غرف الجلوس في حارة الشيخ مسلم

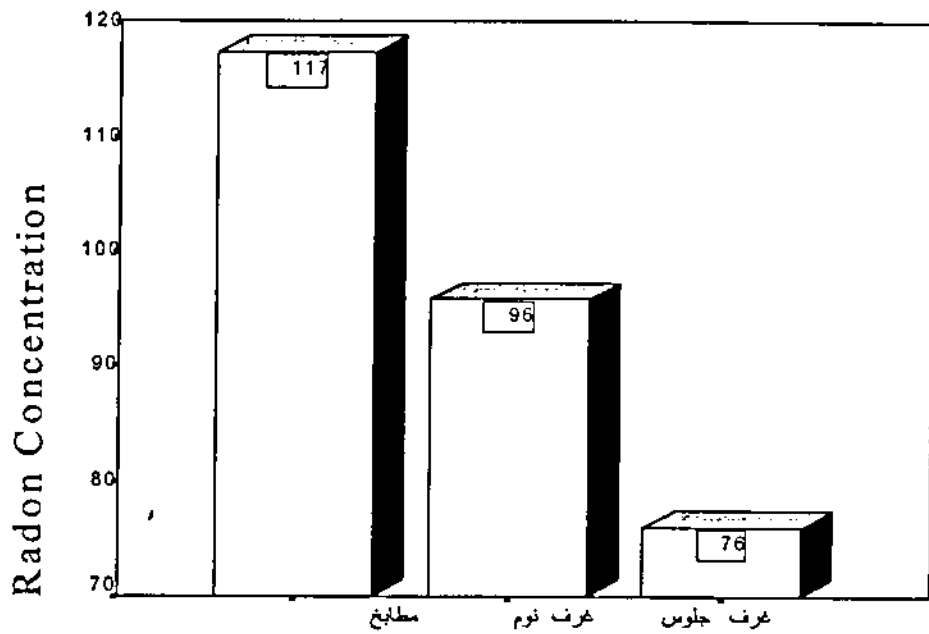
مكان القياس	الوسط الحسابي Bq/m³	المطابخ	غرفة النوم	غرفة الجلوس
المطابخ	117.31		21.46	*41.28
غرفة النوم	95.84			19.82
غرفة الجلوس	76.06			

* دال إحصائياً عند مستوى $(\alpha = 0.05)$.

يتضح من الجدول (12-4) أنه لا توجد فروق ذات دلالة إحصائية عند مستوى $(\alpha = 0.05)$ في تركيز غاز الرادون في حارة الشيخ مسلم بين المطابخ وغرفة النوم وكذلك

بين غرف النوم وغرف الجلوس، بينما كانت الفروق دالة إحصائياً عند مستوى $(\alpha = 0.05)$ في تركيز الرادون بين المطابخ وغرف الجلوس لصالح المطابخ حيث وصل الوسط الحسابي إلى (117.31 Bq/m^3) بينما وصل الوسط الحسابي في غرف الجلوس إلى (76.06 Bq/m^3) .

وتظهر مثل هذه الفروق في الشكل البياني رقم (4-4)



الشكل رقم (4-4)

المتوسط الحسابي لغاز الرادون في المطابخ وغرف النوم وغرف الجلوس في حارة الشيخ مسلم

- الحارات مجتمعة:

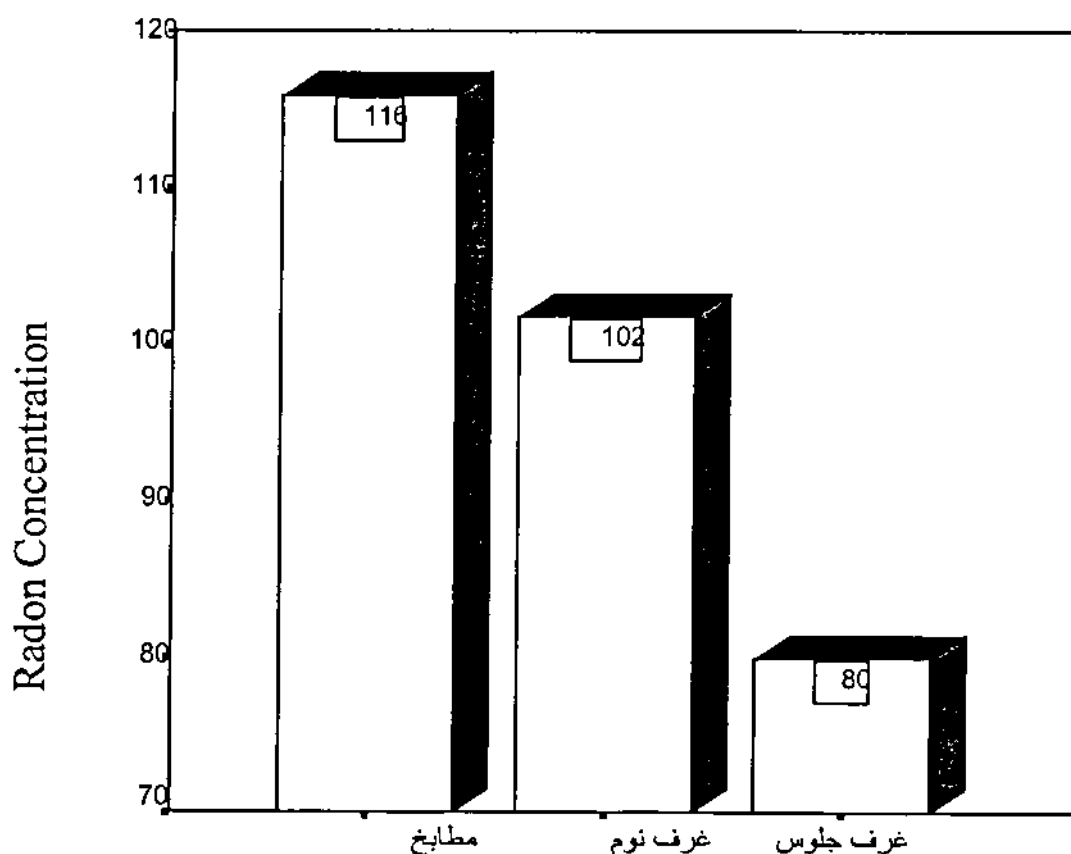
الجدول (4-13)

نتائج اختبار تيوكي للمقارنات البعدية بين المتوسطات الحسابية في تركيز غاز الرادون في المطابخ وغرف النوم، غرف الجلوس في جميع الحارات

مكان القياس	الوسط الحسابي	المطابخ	غرف النوم	غرف الجلوس
المطابخ	116.008		14.22	*36.08
غرف النوم	101.78			21.85
غرف الجلوس	79.92			

* دال إحصائياً عند مستوى $(\alpha = 0.05)$.

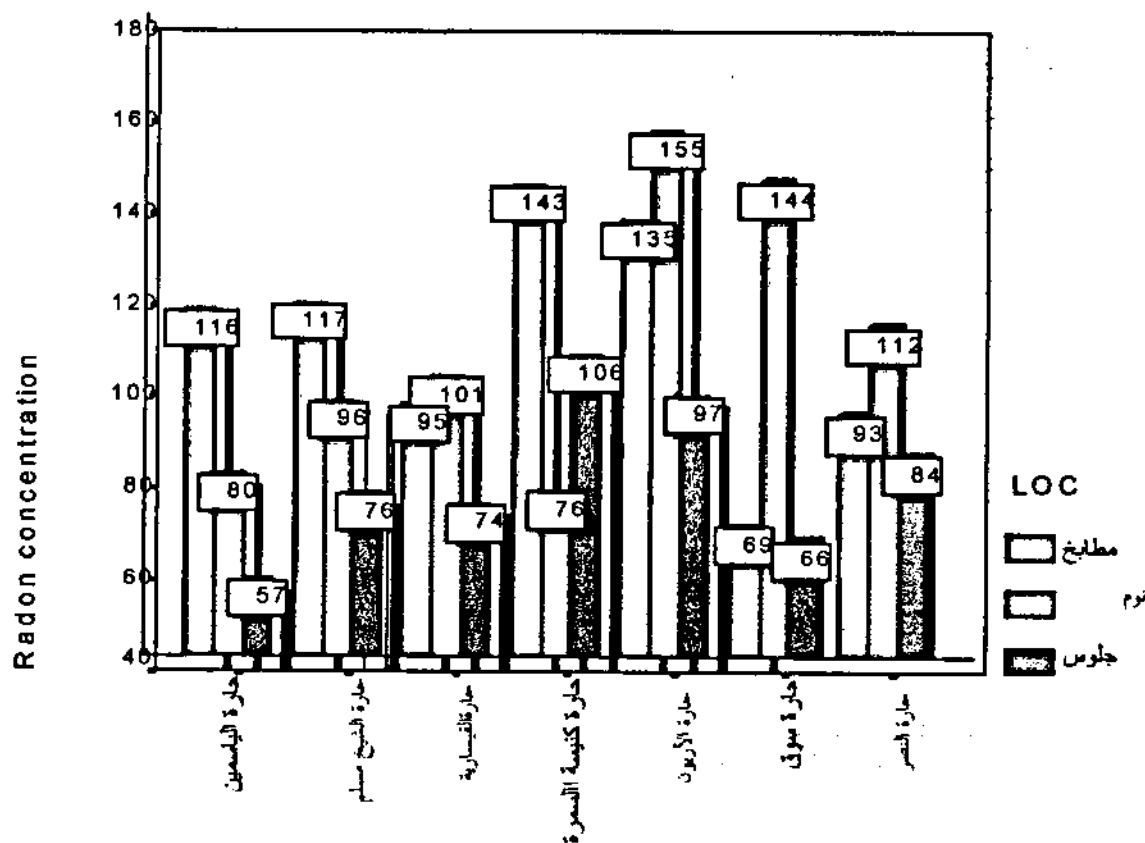
يتضح من الجدول (4-13) أنه لا توجد فروق ذات دلالة إحصائية عند مستوى $(\alpha = 0.05)$ في تركيز غاز الرادون في جميع مناطق مدينة نابلس القديمة مجتمعة بين المطابخ وغرف النوم وكذلك بين غرف النوم وغرف الجلوس، بينما كانت الفروق دالة إحصائياً عند مستوى $(\alpha = 0.05)$ في تركيز الرادون بين المطابخ وغرف الجلوس لصالح المطابخ حيث وصل الوسط الحسابي في المطابخ إلى (116.008Bq/m^3) بينما وصل الوسط الحسابي إلى (79.92Bq/m^3) في غرف الجلوس كما يشير الجدول (4-9). وتظهر مثل هذه الفروق الشكل البياني رقم (4-5)



الشكل رقم (4-5)

المتوسط الحسابي لغاز الرادون في المطابخ وغرف النوم وغرف الجلوس في الحارات مجتمعة

ومن أجل معرفة أعلى المتوسطات الحسابية لتركيز غاز الرادون في المطابخ وغرف النوم وغرف الجلوس في كل منطقة من المناطق فقد تم رسمهم وتجميعهم في شكل بياني واحد كما هو مبين في الشكل البياني رقم (4-6).



الشكل البياني رقم (4-6)

المتوسط الحسابي لتركيز غاز الرادون في المطابخ وغرف النوم وغرف الجلوس في الحارات المدروسة

ثالثاً: النتائج المتعلقة بالسؤال الثالث:

هل توجد فروق ذات دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha = 0.05$) في تركيز

غاز الرادون في المطابخ وغرف النوم وغرف الجلوس تعزى لمتغير الحارة؟

للإجابة عن السؤال تم استخدام المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية وتحليل التباين الأحادي (One -Way ANOVA) وبين الجدول (4-14) نتائج المتوسط الحسابي لقياس

تركيز غاز الرادون في مختلف مناطق الدراسة، أما الجدول (4-15) فإنه يبين نتائج تحليل التباين الأحادي.

الجدول (4-14)

المتوسط الحسابي والانحراف المعياري لتركيز غاز الرادون في المطابخ وغرف النوم وغرف الجلوس تبعاً لمتغير الحارة

الحارة	الوسط الحسابي Bq/m ³	الانحراف المعياري Bq/m ³
حارة الياسمين	81.31	30.11
حارة الشيخ مسلم	96.39	29.68
حارة القسارية	90.49	30.18
حارة كنيسة السمرة	105.41	45.18
حارة الأريون	135.72	65.16
حارة سوق الحدادين	105.71	54.19
حارة النصر	99.41	35.37

٥٦٣٧٨٨

الجدول (4-15)

نتائج تحليل التباين الأحادي لدلالة الفروق في تركيز غاز الرادون في الحارات المختلفة في مدينة نابلس القديمة

مصدر التباين	درجات الحرية	مجموع مربعات الانحراف	متوسط الانحراف	ف	مستوى الدلالة *
بين الحارات	6	16346.47	2724.41	2.11	0.05 *
داخل الحارات	82	105560.25	1287.32		
المجموع	88	121906.72			

يتضح من الجدول (4-15) أنه توجد فروق ذات دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha = 0.05$) في تركيز غاز الرادون بين الحارات والأماكن المختلفة للحارات في مدينة نابلس القديمة.

لتحديد بين أي من الحارات والأماكن كانت الفروق استخدم اختبار تيوكي للمقارنات البعدية بين المتوسطات الحسابية (Tukey post-hoc Test) ونتائج الجدول (16-4) تبين ذلك.

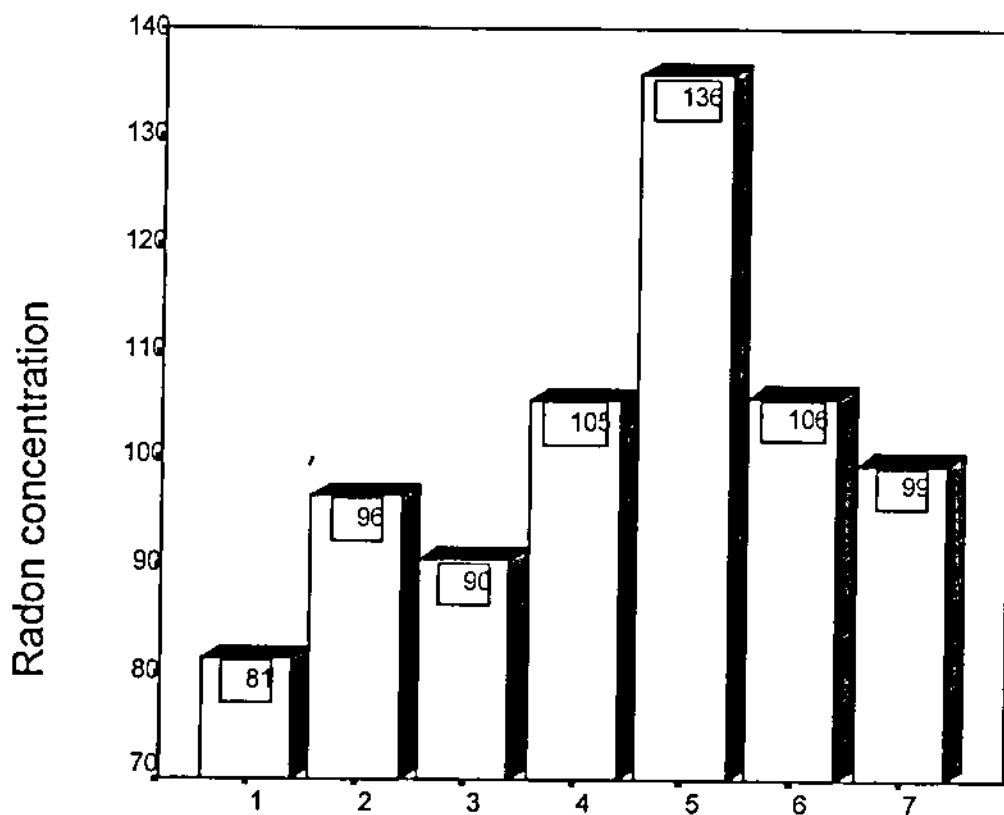
الجدول (16-4)

نتائج اختبار تيوكي للمقارنات البعدية بين المتوسطات الحسابية لتركيز غاز الرادون في الحارات والأماكن المختلفة في مدينة نابلس القديمة

الحارة	الوسط الحسابي Bq/m ³	حارة الياسمين	حارة الشيخ مسلم	حارة القيسارية	حارة كنيسة السمرة	حارة الأريون	حارة سوق الحدادين	حارة النصر
حارة الياسمين	81.31		15.07-	9.17	24.1-	54.40-	24.4-	18.10-
حارة الشيخ مسلم	96.39			5.90	9.02	39.33	9.32-	3.02-
حارة القيسارية	90.49				14.92-	45.23-	15.22-	8.92-
حارة كنيسة السمرة	105.41					30.30-	0.30-	6
حارة الأريون	135.72						30.01	36.30
حارة سوق الحدادين	105.71							6.3
حارة النصر	99.41							

* دال إحصائياً عند مستوى $(\alpha = 0.05)$.

يتضح من الجدول (4-16) أنه توجد فروق ذات دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha = 0.05$) في تركيز غاز الرادون بين حارة الياسمين وحارة الأريسون لصالح حارة الأريون حيث كان الوسط الحسابي في حارة الياسمين (81.3 Bq/m^3) بينما كان التركيز في حارة الأريون (135.72 Bq/m^3) والفرق بين المتوسطين (54.40 Bq/m^3) ويبين الشكل (4-7) المقارنات الأخرى بين المتوسطات الحسابية لتركيز غاز الرادون في الحارات لمدينة نابلس القديمة.



الشكل (4-7)

تركيز غاز الرادون في حارات مدينة نابلس القديمة.

1. حارة الياسمين.
2. حارة الشيخ مسلم.
3. حارة القسارية.
4. حارة كنيسة السمرة.
5. حارة الأريون.
6. حارة سوق الحدادين.
7. حارة النصر.

الفصل الخامس

مناقشة النتائج

تبين من خلال عرض النتائج أن هنالك اختلاف في تركيز غاز الرادون من منطقة إلى أخرى ويعود هذا الاختلاف إلى عدة عوامل رئيسية أهمها: معدل التهوية والتي لها دور كبير في اختلاف تركيز غاز الرادون من منطقة إلى أخرى، كذلك مساحة المنزل، نوعية المواد المستخدمة في البناء مثل نوعية الدهان التي تلعب دورا كبيرا في اختلاف تركيز غاز الرادون من منطقة إلى أخرى، وكذلك الظروف الجوية التي لها أثر كبير في اختلاف تركيز غاز الرادون من منزل إلى آخر ومن منطقة إلى أخرى⁽³⁾.

والآن سوف نبدأ بمناقشة النتائج مناقشة تفصيلية حيث نلاحظ من الجدول (4-2) أن أعلى قيمة لتركيز غاز الرادون في حارة الياسمين كان في المطبخ الذي وضع فيه كاشف رقم (62) وبلغ مقداره (153.1 Bq/m^3)، كما كانت أقل قيمة لتركيز غاز الرادون في هذه الحارة في غرفة الجلوس التي وضع فيها كاشف رقم (248) وبلغ مقداره (48.9 Bq/m^3)، ويعود السبب في اختلاف تركيز غاز الرادون إلى أن المطابخ كانت بشكل عام مساحتها صغيرة مقارنة مع باقي الغرف مما أدى إلى وجود تهوية سيئة في المطابخ وبالتالي ارتفاع تركيز غاز الرادون فيها.

ونلاحظ من نفس الجدول أن معدل تركيز غاز الرادون في هذه الحارة بلغ مقداره (81.31 Bq/m^3) وينتج عن هذا التركيز جرعة فعالة مكافئة مقدارها (mSv/y) (4.03).

ويتضح من الجدول (4-3) أن أعلى قيمة لتركيز الرادون في حارة الشيخ مسلم كانت في المطبخ الذي وضع فيه كاشف رقم (268) وبلغ مقداره (164.9 Bq/m^3) وكانت أقل قيمة في غرفة الجلوس الذي وضع فيها كاشف رقم (312) حيث بلغ مقداره (51.8 Bq/m^3) ويعود السبب إلى ارتفاع تركيز غاز الرادون في المطابخ عنه في باقي الغرف إلى التهوية السيئة والرطوبة عالية. وكذلك نلاحظ من الجدول (4-3) أن معدل تركيز غاز الرادون في حارة الشيخ مسلم بلغ حوالي (96.39 Bq/m^3) وينتج عن هذا التركيز جرعة فعالة مكافئة مقدارها (4.75 mSv/y).

أما في حارة القيسارية كما يشير الجدول (4-4) بلغ معدل تركيز الرادون (90.49 Bq/m^3) وينتج عن هذا التركيز جرعة فعالة مقدارها (4.45 mSv/y) وكان أعلى قيمة لتركيز غاز الرادون في المطبخ الذي وضع فيه الكاشف رقم (262) وبلغ مقدار تركيزه حوالي (147.2 Bq/m^3)، بينما كانت أقل قيمة أيضا في المطبخ الذي وضع فيه الكاشف رقم (320) وبلغ مقدار تركيز الرادون فيه حوالي (26.5 Bq/m^3)، والسبب في ذلك أن مساحة بعض المطابخ كانت كبيرة وتحتوي على شبابيك ذو حجم مناسب وكبير نسبيا مما أدى إلى أن تكون التهوية فيها جيدة وبالتالي انخفاض تركيز غاز الرادون فيها، أما الحال في كنيسة السمرة كما يشير الجدول (4-5) فإن أعلى قيمة لتركيز غاز الرادون كان في المطبخ الذي وضع فيها كاشف رقم (339) وبلغ مقداره (182.6 Bq/m^3) بينما كانت أقل قيمة في غرفة الجلوس الذي وضع فيها كاشف رقم (329) وبلغ مقداره (53 Bq/m^3) ويعود السبب في اختلاف تركيز غاز الرادون في هذه الحارة إلى أن المطابخ كانت التهوية فيها سيئة مما أدى إلى ارتفاع تركيز غاز الرادون فيها عن باقي الغرف. في حين بلغ معدل تركيز غاز الرادون في كنيسة السمرة (105.71 Bq/m^3) وينتج عن هذا التركيز جرعة فعالة مكافئة مقدارها (5.28 mSv/y).

ويتبين نلاحظ من الجدول (4-6) أن أعلى قيمة لتركيز الرادون في حارة الأريون كانت في غرفة النوم الذي وضع فيها كاشف رقم (53) وبلغ مقداره (Bq/m^3) 253.2 وكانت أقل قيمة أيضا في غرفة النوم الذي وضع فيها كاشف رقم (64) وبلغ مقداره (70.7 Bq/m^3)، ويعود السبب في ارتفاع تركيز غاز الرادون في هذه الحارة أنها كانت مكتظة بالمباني وكانت معظم غرف النوم موجودة في الطابق الأرضي وكانت أرضيتها غير مبلطة مما يؤدي إلى زيادة تسرب غاز الرادون إلى داخل المنازل مباشرة⁽²⁵⁾.

أما بالنسبة لحارة سوق الحدادين فيرنا الجدول (4-7) بأن أعلى قيمة لتركيز الرادون في غرفة النوم الذي وضع فيها كاشف رقم (105) وبلغ مقداره (202.6 Bq/m^3) في حين كانت أقل قيمة في غرفة الجلوس التي وضع فيها كاشف رقم (151) وبلغ مقداره (47.7 Bq/m^3) والسبب في أعلى قيمة يعود إلى المساحة

الصغيرة والرطوبة العالية، وكما نلاحظ من نفس الجدول أن معدل تركيز الرادون في حارة سوق الحدادين بلغ (105.7 Bq/m^3) ينتج عنه جرعة فعالة مكافئة مقدارها (5.28 mSv/y).

أما بالنسبة لحارة النصر كما يشير الجدول (4-8) فكانت أعلى قيمة لتركيز الرادون في غرفة النوم الذي وضع فيها كاشف رقم (81) وبلغ مقداره (187.9 Bq/m^3) في حين كانت أقل قيمة لتركيز غاز الرادون في المطبخ الذي وضع فيه كاشف رقم (109) وبلغ مقداره (60.7 Bq/m^3)، ويتضح من نفس الجدول أن معدل تركيز غاز الرادون في حارة النصر بلغ مقداره (99.41 Bq/m^3) وينتج عن هذا التركيز جرعة فعالة مكافئة مقدارها (4.95 mSv/y). ويعود السبب في اختلاف تركيز غاز الرادون في هذه الحارة إلى أن بعض الغرف كانت التهوية فيها سيئة مما يؤدي إلى ارتفاع تركيز غاز الرادون فيها وبعض الغرف كانت التهوية فيها جيدة مما أدى إلى انخفاض تركيز غاز الرادون فيها.

يتضح من الجدول (4-9) أن أعلى تركيز لغاز الرادون في غرف النوم بلغ (253 Bq/m^3)، في حين كان أقل تركيز لغاز الرادون في غرف النوم (53 Bq/m^3)، وكان معدل تركيز غاز الرادون في غرف النوم (101.78 Bq/m^3) وبلغ الانحراف المعياري لتركيز غاز الرادون في غرف النوم (43.50 Bq/m^3)، كما كان أقل تركيز لغاز الرادون في المطابخ (26.5 Bq/m^3)، فيما كان أعلى تركيز في المطابخ (182 Bq/m^3)، أما معدل تركيز غاز الرادون في المطابخ (116.008 Bq/m^3)، وبلغ الانحراف المعياري لتركيز غاز الرادون في المطابخ (36.92 Bq/m^3). ونلاحظ من نفس الجدول أن أقل تركيز لغاز الرادون في غرف الجلوس كان (47.7 Bq/m^3)، كما أن أعلى تركيز لغاز الرادون في غرف الجلوس (147 Bq/m^3) وكان الانحراف المعياري لتركيز غاز الرادون في غرف الجلوس حوالي (25.74 Bq/m^3)، ويبدو أن معدل تركيز غاز الرادون في المطابخ أعلى من معدل تركيز غاز الرادون في غرف النوم والجلوس ويعود السبب في ذلك إلى أن التهوية في المطابخ كانت سيئة، أما بالنسبة لتركيز غاز الرادون في داخل منازل مدينة نابلس القديمة فقد بلغ المعدل الكلي لتركيز غاز الرادون (98.8 Bq/m^3)، كما أننا نلاحظ من الجدول إياه أن المتوسط العام

لتركيز غاز الرادون في المطابخ بلغ (116.008 Bq/m^3)، وفي غرف النوم (101.78 Bq/m^3)، في غرف الجلوس (79.92 Bq/m^3)، ويعود ارتفاع تركيز غاز الرادون في المطابخ عنه في باقي الغرف إلى أن معدل مساحة المطابخ أقل من معدل مساحة الغرف الأخرى كذلك كانت الشبائيك ذات حجم صغير في المطابخ مقارنة مع باقي الغرف كذلك كانت الرطوبة فيها عالية، وهذه العوامل مجتمعة تفسر زيادة تركيز غاز الرادون في المطابخ عن باقي الغرف الأخرى.

كما نلاحظ من الجدول (4-9) أن أعلى متوسط لتركيز غاز الرادون بلغ في المطابخ كان في حارة كنيسة السمرة وكان مقداره (143.3 Bq/m^3)، في حين كان أقل متوسط لتركيز غاز الرادون في المطابخ التابعة لحارة سوق الحدادين وبلغ مقداره (68.9 Bq/m^3)، ويعزى السبب في ذلك أن مساحة المطابخ التابعة لحارة كنيسة السمرة كانت صغيرة مقارنة مع باقي المطابخ في الحارات الأخرى وهذا يؤدي إلى أن يكون معدل التهوية سيئاً في هذه المطابخ.

وكما نلاحظ من الجدول نفسه أن أعلى متوسط لتركيز غاز الرادون في غرف النوم كان في حارة الأريون وبلغ مقدارها (155.15 Bq/m^3)، وكان أقل متوسط لتركيز غاز الرادون في غرف النوم التابعة لحارة كنيسة السمرة (76.42 Bq/m^3)، وبعد الدراسة تبين أن معظم غرف النوم التي وضعت فيها المكاشيف في حارة الأريون كانت في الطابق الأرضي مما يؤدي إلى ارتفاع تركيز غاز الرادون فيها عن بقية غرف النوم في الحارات الأخرى.

ونلاحظ من الجدول (4-9) أن أعلى متوسط لتركيز الرادون في غرف الجلوس كان في حارة السمرة وبلغ مقداره (106 Bq/m^3)، وكان أقل متوسط لتركيز غاز الرادون في غرف الجلوس في حارة الياسمين حيث بلغ (57 Bq/m^3). ويعود ارتفاع تركيز غاز الرادون في غرف الجلوس في حارة السمرة إلى أن الغرف كانت أرضيتها غير مبلطة مما يؤدي إلى زيادة تركيز غاز الرادون فيها عن بقية غرف الجلوس في الحارات الأخرى.

ومن الجدول (4-9) نلاحظ أن متوسط تركيز غاز الرادون في مختلف الحارات يتراوح بين (135.72 Bq/m^3) في حارة الأريون إلى (81.31 Bq/m^3) في حارة الياسمين، ويعود ارتفاع تركيز غاز الرادون في حارة الأريون عنه في باقي الحارات

إلى أن معظم الكواشف التي وزعت في هذه الحارات كانت موضوعاً في الطابق الأرضي، كذلك فإن معظم منازل هذه الحارة كانت أيضاً غير مبلطة، وهذا يؤدي إلى زيادة تسرب الرادون من الأرضية إلى المنازل مباشرة كذلك كان معدل التهوية في هذه الحارة سيئاً مقارنة مع بقية الحارات، ونلاحظ من نفس الجدول أن متوسط تركيز غاز الرادون أيضاً كان عالي في حارة السمرة وبلغ مقداره (105.41 Bq/m^3) وحارة سوق الحدادين حيث بلغ مقداره (105.71 Bq/m^3) ويعود السبب في ارتفاع تركيز الرادون في هذه الحارات أن معدل التهوية كان سيئاً كذلك كانت الطرق بين المنازل لا تحتوي على طبقة من الأسفلت وهذا يزيد من تسرب غاز الرادون في هذه الحارات عنه في باقي الحارات الأخرى.

وكذلك فإن الحارات التي كان فيها تركيز الرادون عالياً وهي حارة الآريون وحارة السمرة وحارة الحدادين كانت مكتظة بالمباني وهذا يؤدي إلى أن تكون التهوية فيها سيئة.

أما في حارة الياسمين فكان متوسط تركيز الرادون منخفضاً مقارنة مع باقي الحارات ويعود السبب في ذلك إلى أن الكواشف التي وزعت في هذه الحارة كان معظمها موضوعاً في الطوابق العلوية وهذا يعزى إلى أن التهوية فيها أفضل من باقي الحارات.

كذلك نلاحظ من الجدول (4-11) أنه توجد فروق ذات دلالة إحصائية ($\alpha = 0.05$) في مستوى تركيز غاز الرادون بين المطابخ وغرف الجلوس في حارة الياسمين حيث بلغ متوسط تركيز الرادون في المطابخ (115.8 Bq/m^3) بينما كان المتوسط في غرف الجلوس (57 Bq/m^3)، ويعود السبب في ارتفاع تركيز غاز الرادون في المطابخ عنه في غرف الجلوس إلى أن التهوية في المطابخ كانت سيئة مقارنة مع غرف الجلوس، ويمثل الشكل رقم (4-3) هذه الفروق.

ويتضح من الجدول (4-12) أنه توجد فروق ذات دلالة إحصائية في مستوى تركيز غاز الرادون في حارة الشيخ مسلم بين المطابخ وغرف الجلوس لصالح المطابخ ووصل متوسط تركيز غاز الرادون في المطابخ (117.31 Bq/m^3) بينما وصل في غرف الجلوس إلى (76.06 Bq/m^3) ويعود ارتفاع تركيز غاز الرادون في المطابخ

عنه في غرف الجلوس إلى نفس الأسباب المذكورة ومثل هذه الفروق تظهر في الشكل رقم (4-4).

كما نلاحظ من الجدول (4-13) أنه توجد فروق ذات دلالة إحصائية في تركيز غاز الرادون بين المطابخ وغرف الجلوس في جميع مناطق نابلس القديمة لصالح المطابخ وبلغ مقداره (116.008 Bq/m^3) وفي غرف الجلوس بلغ مقداره (79.92 Bq/m^3) ويعود السبب إلى ارتفاع تركيز غاز الرادون في المطابخ عنه في الغرف الأخرى إلى أن التهوية في المطابخ تكون دائمة سيئة وقد تبين من دراسات سابقة أن أفران الطبخ ومواسير المياه تساعد في زيادة تركيز غاز الرادون في المطابخ عنه عن باقي الغرف⁽²⁷⁾، ويمثل الشكل رقم (4-5) الفروق في تركيز غاز الرادون في جميع مناطق نابلس القديمة.

ونلاحظ من خلال عرض النتائج السابقة أن أعلى قيمة لتركيز غاز الرادون كان مقداره (253 Bq/m^3)، وبعد الدراسة تبين أن المنزل الذي كان فيه هذا التركيز عالياً يعاني من التهوية السيئة وكذلك كانت الأرضية غير مبلطة والجدران لا تحتوي على طبقة من الدهان وكان يوجد خلف هذا المنزل حمامات مياه، وقد تبين من دراسات سابقة أن هذه العوامل تؤدي إلى ارتفاع تركيز غاز الرادون⁽²⁾.

ومن خلال عرض النتائج نلاحظ أن المعدل الكلي لتركيز غاز الرادون في منازل مدينة نابلس القديمة قد بلغ (98.8 Bq/m^3) وينتج عن هذا التركيز جرعة فعالة مكافئة مقدارها (4.94 mSv/y).

وبمقارنة تركيز غاز الرادون في منازل مدينة نابلس القديمة مع النتائج التي تم التوصل إليها في أماكن مختلفة من العالم، نلاحظ أن معدل تركيز غاز الرادون في داخل منازل مدينة نابلس القديمة أعلى من معدل تركيز غاز الرادون في المملكة العربية السعودية بتسعة إلى عشرة أضعاف ويعود السبب في ذلك إلى أن الظروف المناخية التي أجريت بها الدراسة في المملكة العربية السعودية كانت خلال فصل الصيف ومع استخدامات المكيفات والمراوح العمودية داخل المنازل فإن ذلك يؤدي إلى وجود التهوية الجيد وبالتالي يؤدي إلى انخفاض تركيز غاز الرادون في المملكة العربية السعودية⁽³¹⁾.

وقد وجد أيضا أن التصميم المنزلي وظروف المنزل والمواد المستخدمة في البناء تلعب دورا على اختلاف تركيز غاز الرادون في الأماكن المختلفة، فمثلا فإن تركيز غاز الرادون في منازل مدينة نابلس القديمة أقل من معدل تركيز غاز الرادون في منازل بلدة المقارعية في الأردن حيث بلغ مقدراه (119.9Bq/m^3) ويعود السبب في ذلك إلى نوعية التربة المحيطة بمنازل بلدة المقارعية إذ تحتوي على نسبة عالية من اليورانيوم وكذلك فإن نفاذيه تربة المقارعية لغاز الرادون عالية⁽³⁰⁾، وأيضا فإن طبيعة الموقع الجغرافي والمناخ ونوعية التصميم للبناء من حيث عدد النوافذ ونوعية مواد البناء تلعب دور كبير في اختلاف تركيز غاز الرادون في بلدة المقارعية عنه في مدينة نابلس القديمة.

أما في الولايات المتحدة الأمريكية فقد بلغ معدل تركيز غاز الرادون (50Bq/m^3) وهو أقل من معدل تركيز غاز الرادون في منازل مدينة نابلس القديمة، ويعود السبب إلى التهوية السيئة بسبب الأبنية المكتظة وطريقة البناء في مدينة نابلس القديمة.

وتشير الدلائل أن المعدل الكلي لتركيز غاز الرادون في منازل مدينة نابلس القديمة أقل من المستوى المسموح به في الولايات المتحدة الأمريكية الذي يبلغ (150Bq/m^3) . ولكن بنفس الوقت فقد أمكن الكشف عن تراكيز أعلى من المستوى المسموح به في الولايات المتحدة الأمريكية ويعود السبب في ذلك إلى التهوية السيئة. أما بالنسبة للجرعة المكافئة الكلية والتي بلغت (4.94mSv/y) فإنها أعلى من المعدل العالمي للجرعة الفعالة والتي تساوي (1.3mSv/y) ⁽³²⁾.

وكما ذكرنا سابقاً فإن زيادة تركيز غاز الرادون يؤدي إلى زيادة احتمال الإصابة بسرطان الرئة وسنقوم بحساب معامل الخطر للإصابة بسرطان الرئة بناء على المعادلة التالية:

$$\text{Lung Cancer Coefficient Risk} = 1.5 \times 10^{-4} / (\text{WLM/ Life}) \quad (1-5)$$

حيث (WLM): مستوى العمل الشهري.

وقد قمنا بوضع الفرضيات التالية الخاصة بالذكور والإناث في المناطق التي تم دراسة تركيز غاز الرادون فيها من حيث متوسط العمر ومدة العمل أو البقاء في المنزل.

- متوسط عمر الرجال = 60year.
- متوسط عمر الإناث = 65year.
- الرجل يعمل بمعدل (8) ساعات يومياً.
- المرأة تبقى طوال الوقت في البيت (لا تعمل).
- الفترة الزمنية التي بدأ العيش بها في المنزل = 20year.

وبناء على الفرضيات السابقة يمكن حساب عدد السنوات التي يمكث بها كلا من الذكور والإناث داخل المنزل طوال فترة حياتهما.

$$\frac{\text{Working years}}{\text{Life}} = 27 \text{ year} \quad \text{for male}$$

$$\frac{\text{Working years}}{\text{Life}} = 45 \text{ year} \quad \text{for female}$$

وأيضاً يمكن حساب عدد الشهور التي يبقى بها الذكور والإناث داخل المنزل طوال السنة.

$$\frac{\text{Working month}}{\text{Year}} = 8 \text{ months} \quad \text{for male}$$

$$\frac{\text{Working month}}{\text{Year}} = 12 \text{ months} \quad \text{for female}$$

وبناءً على المعلومات السابقة يتم حساب ما يلي:

Working level month per life (WLM/Life) & Working level month per year (WLM/year)

وذلك باستخدام المعادلات التالية⁽²¹⁾:

$$\frac{WLM}{life} = \frac{WLM}{year} \times \frac{working\ years}{life} \quad (2-5)$$

$$\frac{WLM}{Year} = \frac{WLM}{Year} \times \frac{working\ months}{Year} \quad (3-5)$$

$$WLM = WL \times \frac{hours\ exposed}{working\ months} \quad (4-5)$$

$$WL = F \times \frac{C_{RN}}{100} \quad (5-5)$$

F: equilibrium factor between radon and its short –lived which is taken to be (0.5)⁽⁸⁾.

C_{RN} : radon concentration in PCi /L (PCi/L = 37 Bq/m³)

ومن خلال المعادلة (1-5) يتم حساب (Lung cancer coefficient risk) والجدول (1-5)، (2-5) يوضح معامل الخطر للإصابة بسرطان الرئة للذكور والإناث على التوالي الناتج من تركيز غاز الرادون في هواء مدينة نابلس القديمة.

الجدول (1-5)

Lung cancer coefficient risk and working level for male in old city of Nablus

الموقع	تركيز غاز الرادون Pci/L	مستوى العمل WL	مستوى العمل الشهري WLM	مستوى العمل الشهري في السنة WLM/Y	مستوى العمل الشهري طول الحياة WLM/ life	معامل الخطر للإصابة بسرطان الرئة lung cancer -4 risk x 10
حارة الياسمين	2.198	0.01099	0.01399	0.248	6.7	10.04
حارة الشيخ مسلم	2.61	0.01303	0.0367	0.244	7.934	11.9
حارة القسارية	2.5	0.0122	0.0345	0.28	7.45	11.2
حارة السمرة	2.85	0.01424	0.0402	0.3214	8.7	13.02
حارة الأريون	3.67	0.01834	0.0517	0.4137	11.17	16.76
حارة الحدادين	2.86	0.0143	0.04028	0.3223	8.7	13.1
حارة النصر	2.69	0.0157	0.0379	0.3031	8.183	12.3
المعدل العام	2.67	0.134	0.38	0.301	8.13	12.2

الجدول (2-5)

Lung cancer coefficient risk and working level for female in old city of Nablus

الموقع	تركيز غاز الرادون Pci/L	مستوى العمل WL	مستوى العمل الشهري WLM	مستوى العمل الشهري في السنة WLM/Y	مستوى العمل الشهري طول الحياة WLM/ life	معامل الخطر للإصابة بسرطان الرئة lung cancer risk x 10 ⁻⁴
حارة الياسمين	2.198	0.01099	0.0465	0.56	25.13	37.7
حارة الشيخ مسلم	2.61	0.01303	0.055	0.66	29.8	44.8
حارة القسارية	2.5	0.0125	0.053	0.64	28.6	42.9
حارة السمرة	2.85	0.143	0.060	0.72	32.6	48.9
حارة الأريون	3.67	0.018	0.077	0.93	41.96	63
حارة الحدادين	2.86	0.0143	0.061	0.73	32.7	49.1
حارة النصر	2.69	0.0134	0.057	0.68	30.8	46
المعدل العام	2.67	0.0134	0.0565	0.687	30.5	45.8

وتجدر الإشارة إلى أن التعرض لتراكيز عالية ولمدة طويلة خطراً على صحة الإنسان، إذ يؤدي زيادة احتمالية الإصابة بسرطان الرئة⁽²¹⁾. فلو تتبعنا الجدول (1-5) المتعلق بـاحتمالية الإصابة بسرطان الرئة للذكور وعلاقته مع تركيز غاز الرادون لوجدنا أن أعلى تركيز لغاز الرادون في حارة الأريون (3.67 Pci/L)، وهذا يؤدي إلى زيادة احتمالية الإصابة بسرطان الرئة بمعدل (0.1676%). في المقابل كان أقل تركيز لغاز الرادون في حارة الياسمين (2.198 Pci/L)، وعليه يكون احتمالية الإصابة بسرطان الرئة بمعدل (0.1004%) في حين بلغ المعدل العام لتركيز غاز الرادون في مدينة نابلس القديمة (2.67 Pci/L) وهذا يؤدي إلى احتمالية الإصابة بسرطان الرئة بمعدل (0.122%).

في المقابل نلاحظ من الجدول (2-5) أعلى معامل للإصابة بسرطان الرئة في حارة الأريون (3.67 Pci/L)، وهذا يؤدي إلى احتمالية الإصابة بسرطان الرئة بمعدل (0.63%)، أما بالنسبة لحارة الياسمين والتي كان فيها أقل تركيز لغاز الرادون (2.198 Pci/L)، فإن احتمالية الإصابة بسرطان الرئة كانت بمعدل (0.377%)، أما بالنسبة

للمعدل العام لتركيز غاز الرادون بلغ (2.67 Pci/L) وهذا يؤدي إلى زيادة احتمالية الإصابة بسرطان الرئة بمعدل (0.458%) للإناث.

وبعد الدراسة ومن خلال عرض النتائج في الجدولين السابقين تبين أن معامل الإصابة بسرطان الرئة يتناسب طردياً مع تركيز غاز الرادون. وكما نلاحظ أيضاً من نفس الجدولين أن احتمالية الإصابة بسرطان الرئة عند الإناث أكبر منها عند الذكور ويعزى السبب في ذلك إلى أن الإناث تمكث في داخل المنازل أكثر من الذكور وهذا يؤدي إلى التعرض بشكل أكبر إلى غاز الرادون أكثر من الذكور، وبالتالي ازدياد احتمالية الإصابة بسرطان الرئة.

الفصل السادس

الاستنتاجات والتوصيات

تشير النتائج التي تم الحصول عليها أن أعلى تركيز لغاز الرادون كان في حارة الأريون وبلغ معدله (135.72Bq/m^3) والذي ينتج عنها جرعة فعالة مكافئة مقدارها (6.79mSv/y) وأقل تركيز لغاز الرادون كان في حارة الياسمين حيث كان معدله يساوي (81.31Bq/m^3) والذي ينتج جرعة فعالة مكافئة مقدارها (4.07mSv/y) كما لاحظنا زيادة تركيز غاز الرادون في المطابخ عنه في غرف النوم والجلوس في مدينة نابلس القديمة حيث كان متوسطه في المطابخ يساوي (116.008Bq/m^3) والذي ينتج جرعة فعالة مكافئة سنوية مقدارها (5.8mSv/y) في حين بلغ معدل تركيزه في غرف النوم وغرف الجلوس (101.78Bq/m^3) و (79.92Bq/m^3) على التوالي، وينتج عن هذه التراكيز جرعة فعالة مكافئة سنوية مقدارها (5.09mSv/y) و (3.99mSv/y) على الترتيب وقد وجد أن معدل تركيز غاز الرادون الكلي في هواء مدينة نابلس القديمة كان حوالي (98.8Bq/m^3) أو (2.7Pci/L) وينتج عن هذا التركيز جرعة فعالة سنوية مقدارها (4.94mSv/y).

وتجدر الإشارة أن بعض المنازل تحوي تراكيز عالية لغاز الرادون والذي يعتبر أعلى من التركيز المسموح به في الولايات المتحدة الأمريكية والذي يساوي (150Bq/m^3).

وبناء على ما تقدم لا بد أن نقترح بعض التوصيات التي يمكن اتباعها لكي نتمكن من تقليل مستوى تركيز غاز الرادون في هواء منازل مدينة نابلس القديمة والتي من الممكن اتباعها بشكل عام في فلسطين، وذلك باتباع الخطوات الآتية:

- 1- تهوية المنازل بشكل جيد مع مراعاة جعل مساحة النوافذ كبيرة نسبياً وزيادة عددها.
- 2- طلاء الجدران بطلاء بلاستيكي بشكل جيد لمنع تسرب غاز الرادون من الجدران إلى داخل المنازل.

- 3- استخدام البلاط والأسمنت المسلح أو السجاد والمكيت في تغطية أرضية المنازل لأن ذلك يقلل من تسرب غاز الرادون من التربة إلى داخل المنزل مباشرة^(33,34).
- 4- رفع أرضية المباني عن الأرض وعدم جعلها متصلة مباشرة مع التربة لتقليل تسرب غاز الرادون إلى داخل المنازل لأن التربة غنية باليورانيوم المشع الذي يعتبر المصدر الرئيسي لغاز الرادون.
- 5- تغطية الطرق بين الحارات بطبقة من الأسفلت لأنقاص تسرب غاز الرادون من باطن الأرض إلى الهواء الخارجي.
- 6- معالجة هواء المباني بتنقيته من غاز الرادون عن طريق استخدام المراوح العمودية التي تزيد من حركة الهواء عن طريق الحمل^(33,34).
- 7- تجنب استخدام مواد البناء التي تطلق كميات كبيرة من هذا الغاز المشع في المباني التي تقام وامكانية إضافة شرط جديد من قبل البلديات لترخيص الأبنية وهو الحصول على مستوى تركيز غاز الرادون في الأحياء السكنية المخططة مستقبلاً.
- 8- ضرورة أن يكون هناك دراسات لاحقة حتى يتم تعزيز هذه الدراسة التي تعتبر الخطوة الأولى في قياس تركيز غاز الرادون في داخل منازل دولة فلسطين.

أعمال مقترحة:

إن هذه الدراسة لم تأخذ كافة التفاصيل الخاصة بالمنازل في الاعتبار من حيث حجم المنزل ومساحة الغرف وعمر البناء وعدد أفراد الأسرة وتأثير الضغط داخل وخارج المنزل إلا أنها تبقى دراسة تمهيدية مهمة، نأمل أن يعقبها دراسات مستقبلية تأخذ التفاصيل المذكورة أعلاه في الاعتبار. كذلك اقترح إجراء دراسات أخرى لقياس تركيز غاز الرادون في هواء مدن فلسطينية أخرى.

Reference

- 1- David Austen and Wytze Brouwer .(1996). Radioactive balloons : experiments on radon concentration in schools or homes. New Approaches, 4, 97-107.
- 2- Ahmed, J.U, IAEA Bulletin. (1991). High levels of natural radiation : Report of an international conference in Ramser , 33(2), 36-38.
- 3- محمد فاروق احمد ، احمد محمد السريع .(1998). اسس الفيزياء الاشعاعية ، المملكة العربية السعودية : جامعة الملك سعود .
- 4- B.L. Chohen .(1986). Health phys, 51,175.
- 5- L. Brown, B.M.R. Green, J.C.H. Miles and A.D. wrixon. (1984). In Proconf. On indoor Air stokholm Sweden. 20-24.
- 6- G. Fulan, L. Tommasino. (1993). Radon Monitoring in radioprotection, Environmental and or Erth Sciences, World scientific publishing Co.Pte.Ltd.
- 7- Falah A. Abu Jard . (1988). Nucl. Tracks meas. 15, (1-4), 525.
- 8- K. Abu murad, B. Al – Bataina , A. Ismail, M.Kullab, and A. Aloosy . (1997). A study radon levels. In Jordenian dwellings during an autumn season, Radiation protection Dosimery, 69, 3, 221-226.

- 9- Fakhri L. Hasan .(1996). Indoor radon concentration measurements at Hebron university campus : Acase study. (1996) . An-Najah J. Res, 4 (10), 92-107.
- 10- Raymond A.serway .(1990). Physics for science and engineers with modern physics (3rded.) (PP.1343-1408). U.S.A: Raymond A. Serway.
- 11- Kennths, Kranc. (1988). Introduction to Nuclear physics (PP.160-361). New York. Wiley.
- 12- Irving Kaplan .(1962). Nuclear physics (2nd Edition) (PP. 197-442). Reading, Mass: Addison- Wisely.
- 13- Ralphe. Lapp, Howard L.Andrews.(1972). Nuclear Radiation' physics, (4th Edithion) (PP. 100-250). Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice, Hall. Inc.
- 14- محمد فاروق احمد محمد ، د. احمد محمد السريع .(1982). الاشعاعات المؤينة خصائصها وتأثيرها واستخداماتها ، المملكة العربية السعودية: جامعة الملك سعود.
- 15- فخري اسماعيل حسن .(1980). الاشعاع المؤين وظاهرة النشاط الاشعاعي . الجزائر: ديوان المطبوعات الجامعية .
- 16- احمد محمد خليل ، الاشعاع المؤين ، خصائصه واستخداماته وتأثيراته الحيوية ، الاردن : جامعة اليرموك .

- 17- William. Ehmann, and Dinee. Vace .(1991). Radiochemistry and Nuclear Methods of Analysis. (pp. 1-200). U.K: John Wisely and Sons Inc.
- 18- ICRP .(1991). The (1990) Recommendation of the International commission on Radiological protection, ICRP publication 26, pergamon press, Newyork.
- 19- G. Jonsson. (1995). Radon gas – Where from and what to do? Radiation Measurements, 25, 1-4 , 537 – 546.
- 20- NCRP Report (77). (1984). Exposures from the Uranium Series with Emphasis on Radon and Its Daughters National council on Radiation protection and Measurements, Bethesda, Maryland.
- 21- NCRP Report (97). (1988). Measurement of Radon and Radon Daughters in Air. National Council on Radiation protection and Measurement, Bethesda, Maryland.
- 22- Jasimuddin , U. Ahmed .(1994). Radon in the human environment : Assessing the picture , IAEA Bulletin, 36(2) (32).
- 23- Rirchad, H.M and Gesse. T .(1997). Health phys.33, 577.
- 24- D.A Holaday .(1969). Helth phys. 16, 547 .
- 25- F. Abu- Jarad, J.H. Fremlnu and R.K. Bull .(1980). Phys, Med. Bio, 25, 43 , 683.

- 26- J.B. Bcenner.(1989). Radon Risk and Remedy, Freeman, W.H. and Company, Freeman W.H. and Company, Newyork and oxford.
- 27- Householders Guide.(1988). Department of the environment (3thedi). U.K.
- 28- ابراهيم عثمان ، محمد حشري ، غسان رجا ، تقدير أولي لمستوى تركيز الرادون في منازل ومكاتب منطقتين مختلفتين في سورية ، تقرير علمي نشر في المؤتمر الدولي الذي عقد في رامسار - ايران تشرين الثاني (1990) ، حول السويات العليا للاشعاع الطبيعي .
- 29- S.A. Durran, R.K., Bull. (1987). Solid State Nuclear Track Detection, "principles Method and Application" pergamon press.
- 30- Naiema Ahmed Mohammed Khader, B. AL- Bataina .(1998) measurement of Radon levels in soil and dwellings of AL. Mukaria Town AL- ShoBack, Yarmouk University Faculty of Science- Department of Phys.
- 31- F. Abu- Jarad and M.I Al- Jarallh .(1986). Radiation protection Dosimetry. 14, 3, 243.
- 32- E. Toth. F. Deak C.S. Gyurkocza, R. Kucz, C.s Suko G.Toth, N. vojda. (1997). Radon Variations in a Hungarian Village, Environmental Geology. 31, (1/2) (123-127).

- 33- Leo M. Lowe and Douglas B. Chambers .(1996). Comment on ICRP recommendations on radon and revised background doses from radon. *Environmental International*, 22, Suppl. 1, S1037 – S1044.
- 34- F. Abu-Jarad and R.G Sextro.(1998). *Nucl Tracks Radiat Meas.* 15, (1-4), 535.

Abstract

Indoor Radon Concentration Measurement in Homes in Old City of Nablus

The indoor radon concentrations in the old city of Nablus have been measured by using Solid State Nuclear Track Detectors (SSNTDs). After ninety days, the (SSNTDs) were collected and etched chemically by (6.25 N) NaOH solution for an hour at a temperature of $(98 \pm 2)^\circ \text{C}$.

The number of tracks per unit area in each detector was measured by using an optical microscope with 100 magnification power.

It was found that the radon concentrations vary between (81.31 Bq/m^3) to (135.72 Bq/m^3) .

The values of the average radon concentration inside the kitchens, sleeping and setting rooms are (116.01 Bq/m^3) , (101.78 Bq/m^3) , and (79.92 Bq/m^3) , respectively.

The total average radon concentration in homes in the old city of Nablus is found to be equal (98.8 Bq/m^3) which corresponds to an average effective dose equivalent of (4.94 mSv/y) , which is higher than the globally accepted value of (1.3 mSv/y) . Poor ventilation is believed to be the main reason for the elevated indoor radon concentrations in the homes of Nablus old city