



Republic of Iraq
Ministry of Higher Education and
Scientific Research
University of Baghdad
College of Education for Pure Science /Ibn
Al-Haitham



Find an Empirical Formula for
Indoor Radon Measurement Emitting
from Building Materials

A Thesis

Submitted to the College of Education for Pure Sciences
Ibn AL-Haitham, University of Baghdad as a Partial Fulfillment of
the
Requirements for the Degree of Master of Science in Physics

BY

Hadeel Ghali Ishnayyin

Supervised by

Prof. Dr. Khalid H. Mahdi

2015 A.C.

1436 A. H.



الإهداء

"أزلي .. نوح .. نوح .. نوح"

إلى خالقي وحرزي وموئلي إلى من إليه عند الإعسار افزعوا إلى من رباني وعلمني
وهداني وأرشدني ووقفني ..
"الله جل جلاله"

إلى من بلغ الرسالة وأدى الأمانة .. ونصح الأمة .. إلى نبي الرحمة ونور العالمين
سيدنا محمد صلى الله عليه وآله الطيبين الطاهرين.

إلى من انهلني المعرفة من فيض علمهما بفضلهما وجودهما وكرمهما ... سيدتي
ومولاتي فاطمة الزهراء (عليها السلام) وسيدي ومولاي باب الحوائج الأمام موسى
بن جعفر (عليهما السلام).

إلى معنى الحب و معنى الحنان والتفاني، وبسمة الحياة وسر الوجود
ومن كان دعاؤها سر نجاحي وحنانها بلسم جراحي.

أمي العزيزة..... القلب الحنون

إلى من كلله الله بالهيبة والوقار، إلى من علمني العطاء بدون انتظار، إلى
من أحمل اسمه بكل افتخار.

أبي العزيز..... القلب الكبير

إلى من تضافروا معي بمحبتهم، ورافقوا عملي بطيب قلوبهم ووفير
دعواتهم و رياحين حياتي.

أخواني الاعزاء النجوم التي لمعت في سمائي

إلى بهيق العلم والمعرفة ، وسؤدد الثقافة

(أ.د خالد هادي مهدي).

لكم جميعا اهدي ثمرة جهدي .

هديل

شكر وتقدير

الحمد لله أهل الحمد ومأواه ، ولله أوكد الحمد وأحلاه ، وأسرع الحمد وأسراه ، وأطهر وأسماه ، وأكرم الحمد وأولاه . الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على سيدنا محمد و اله الطيبين الطاهرين.

يسرني أن أتقدم بفائق الشكر والامتنان إلى أستاذي الفاضل الدكتور خالد هادي مهدي لاقتراحه مشروع البحث ولصبره الجميل معي ... ولتوجيهاته السديدة التي كان لها الأثر الكبير في انجاز هذا البحث.

وأقدم شكري لعمادة كلية التربية / ابن الهيثم و رئاسة قسم الفيزياء و اساتذتها، والى زملائي وزميلاتي في الدراسات العليا ولاسيما زينب ورندي وهدى ، ولا أنسى فضل الطالب عادل محمود الذي تعجز الكلمات عن شكر فضله عليّ جزاه الله خيرا وشكري أيضا للطلبة عباس وحسين ومحمد ونور وورنا والأخت ست سراب وأستاذ عدي طارق، وأستاذة رافت عبد الحسن ، كما أقدم شكري وتقديري إلى مديرية السلامة النووية ولاسيما الدكتور يوسف محسن زاير والأخ ثامر مجيد والأخ هاشم لتعاونهم الكبير معي في انجاز الجزء العملي من هذه الدراسة .

كما أقدم شكري وتقديري إلى الدكتور محمد حسن عبد اللطيف/ قسم الكيمياء ، لما قدمه من مساعدة وتوجيه .

وفي الختام أتقدم بالشكر والتقدير إلى والدي واخواني واخواتي و

إلى كل من فاتني ذكرهم وساهموا بجهد أو كلمة طيبة لدعم هذا العمل داعية من المولى عز وجل إن يوفقهم لما فيه الخير للجميع.

هديل

أقرار لجنة المناقشة

نحن أعضاء لجنة المناقشة الموقعين أدناه نشهد أننا قد أطلعنا على رسالة الماجستير الموسومة بـ { إيجاد علاقة تجريبية للقياسات الخاصة بالرادون المنبعث من مواد البناء داخل الدور السكني } التي تقدمت بها الطالبة (هديل غالي اشنين). وقد ناقشنا الطالبة في محتوياتها وكل ما له علاقة بها فوجدناها جديرة بالقبول لنيل درجة الماجستير علوم في الفيزياء ولجله وقعنا.

رئيس اللجنة

التوقيع:

الاسم: د.فاطمة عبد الامير جاسم

الدرجة العلمية: استاذ

العنوان: كلية التربية للعلوم الصرفة – جامعة بغداد

التاريخ: / / 2015 م

عضو اللجنة

التوقيع:

الاسم: د.علي عبد الوهاب رضا

الدرجة العلمية: مدرس

العنوان: كلية العلوم – جامعة المستنصرية

التاريخ: / / 2015 م

عضو اللجنة

التوقيع:

الاسم: د.مهدي هادي جاسم

الدرجة العلمية: أستاذ مساعد

العنوان: كلية العلوم – جامعة بغداد

التاريخ: / / 2015 م

عضو اللجنة (المشرف)

التوقيع:

الاسم: د. خالد هادي مهدي

الدرجة العلمية: أستاذ

العنوان: كلية التربية للعلوم الصرفة

- جامعة بغداد

التاريخ: / / 2015 م

مصادقة عمادة كلية التربية للعلوم الصرفة (ابن الهيثم) – جامعة بغداد

التوقيع:

الاسم: د.خالد فهد علي

الدرجة العلمية: استاذ مساعد

العنوان: عميد كلية التربية للعلوم الصرفة (ابن الهيثم) - جامعة بغداد

التاريخ: / / 2015 م

إقرار المشرف

اشهد أن إعداد هذه الرسالة الموسومة (إيجاد علاقة تجريبية للقياسات الخاصة بالرادون المنبعث من مواد البناء داخل الدور السكنية) الذي تقدمت بها الطالبة (هديل عالي اشنين) ، قد جرى تحت إشرافي في كلية التربية للعلوم الصرفة (ابن الهيثم) - جامعة بغداد ، وهي جزء من متطلبات نيل درجة الماجستير في علوم الفيزياء.

التوقيع:

اسم المشرف: د. خالد هادي مهدي

المرتبة العلمية: أستاذ

العنوان: كلية التربية للعلوم الصرفة (ابن الهيثم) - جامعة بغداد

التاريخ: / / 2014 م

توصية رئيس لجنة الدراسات العليا

بناء على التوصيات المقررة أرشح هذه الرسالة للمناقشة .

التوقيع:

الاسم: د. محمد عبد النبي ثجيلي.

المرتبة العلمية: أستاذ مساعد.

العنوان: رئيس قسم الفيزياء - كلية التربية للعلوم الصرفة (ابن الهيثم) - جامعة بغداد.

التاريخ: / / 2014 م

الخلاصة

الهدف من هذا البحث هو إيجاد علاقة تجريبية لحسابات تراكيز غاز الرادون داخل الدور السكنية باستعمال عينات من جانبي الكرخ والرصافة لمدينة بغداد ، وإعداد برنامج خاص لإجراء الحسابات الإشعاعية فضلا عن ذلك الحسابات الهندسية التي يقوم بها المهندسون في وطننا حيث وجد إن هناك إهمالاً كبيراً في التصميم والإنشاءات لتأثير تواجد هذا الغاز الصادر من مواد البناء والأرضيات المختلفة في حين نجد أنّ معظم الدول تهتم بمثل هكذا موضوع التي تعمل على اختيار مواد البناء والتصاميم التي تعمل على تقليل تركيزه و مدى تأثيره في الابنية والدور السكنية .لذا تم قياس تراكيز الرادون باستعمال كاشف الأثر النووي في الحالة الصلبة نوع CR-39 وتشير النتائج إلى إن أعلى قيمة لتركيز الرادون كان في النموذج $3R_k$ (زيونة / جانب الرصافة) وبمعدل (13.954 Bq/m^3) وأوطى تركيز كان في النموذج ($4R_k$) (بغداد الجديدة / جانب الرصافة) وبمعدل (7.150 Bq/m^3) والتي تم اعتمادها في إيجاد عامل التصحيح في المعادلة التجريبية التي تم استنباطها من خلال القيم العملية المتوفرة في المصدر [55]. وتأثير عامل الانتشار وكميات مواد البناء المستعملة في البناء وكثافتها ،وبعد تشغيل البرنامج وجد إن معظم القيم التي سجلها هي ضمن المديات المسجلة باستعمال كاشف CR-39. كما تم استعمال جهاز RAD-7 لإجراء التكامل في القياس من خلال استعمال أكثر من تقنية فكانت أعلى قيمة للتركيز (17.7 Bq/m^3) للنموذج $1R_1$ وأدنى قيمة (0.0 Bq/m^3) للنماذج $2R_1, 5R_1, 2K_1, 3K_1$ و $5K_k$ فكانت معظم النتائج تشير إلى أنها ضمن المدى المقبول به و أقل من المعدل (46 Bq/m^3) والمسجل من قبل UNSCEAR، وعند حساب الجرع الإشعاعية المختلفة (تركيز مكافئ الرادون- المتوازن $(EECR_n)$ ، الجرع المكافئة الفعالة (H_{eff}) ، الجرعة الفعالة للنسيج والرئة ، الجرعة السنوية الفعالة) فتبين أنّ معظم النتائج أقل من المعدل (1 mSv/y) المقبول والمسجل من قبل ICRP .

Abstract

The aim of this work is to get an empirical formula for indoor radon concentration measurement by using some samples from Karkh and Rusafa sites of Baghdad city. and establish a program for this calculation in addition of engineering calculations for designs and construction in our country ,where we found very negligence for this calculations espially for radon concentration. many countries interested in this field ,so there is continuous monitoring for radon concentration indoor and building.

Solid state nuclear track detector CR-39 was used in this work , and the results show the highest value was in 3R_k of (Zayouna / Rusafa) with average (13.954 Bq/m³) and then lowest value was in sample 4R_k of (new Baghdad / Rusafa) with average (7.150 Bq/m³) ,This research was correspond for get the correction factor in empirical formula. which we get from the experimental data reference [55], and the effect of diffusion coefficient, the mass of building material and its density.

After running the program, most of the results were in range that recorded by CR- 39. When we used RAD-7 integration in measurement by using more than one technique. The highest value was (17.7 Bq/m³) for the sample 1R₁ and the lowest value was (0.0 Bq/m³) for samples 3K₁ ,2K₁ ,5R₁ ,2R₁ and 5K_k most of the results were in acceptable range and less than average (46 Bq/m³) recorded by UNSCEAR, the calculation of different radioactive doses (equilibrium-equivalent radon concentration (EECR_n), effective dose equivalent (H_{eff}), effective dose to tissue, lung, annual effective dose) were done, the most of results were less than average (1 mSv/y).

فهرست المحتويات

الصفحة	الموضوع	التسلسل
الفصل الأول : مقدمة عامة		
1-3	تمهيد	1-1
3	الدراسات السابقة.	2-1
3-6	الدراسات العالمية.	1-2-1
6-8	الدراسات العربية.	2-2-1
8-12	الدراسات المحلية.	3-2-1
13	الهدف من البحث.	3-1
الفصل الثاني : الجزء النظري		
14-15	النشاط الإشعاعي.	1-2
15	انواع الإشعاع.	2-2
16	الإشعاع غير المؤين .	1-2-2
16	الإشعاع المؤين.	2-2-2
16	جسيمات الفا α .	1-2-2-2
17	جسيمات بيتا β .	2-2-2-2
17	اشعة كاما γ .	3-2-2-2
17-18	الاشعة السينية.	4-2-2-2
18	النيوترونات.	5-2-2-2
18	مصادر الإشعاع.	3-2
18	مصادر الإشعاع الطبيعي.	1-3-2
18-19	الأشعة الكونية .	1-1-3-2
19-24	الإشعاع ذو المنشأ الارضي.	2-1-3-2
25	مصادر الإشعاع الصناعي .	2-3-2
25-26	غاز الرادون.	4-2
26-28	مصادر الرادون.	1-4-2
28-29	غاز الرادون داخل الأبنية.	2-4-2
29-30	مخاطر الرادون.	3-4-2
30-31	استعمالات غاز الرادون.	4-4-2
31-33	معامل انتشار غاز الرادون .	5-4-2
33-34	الكشف عن الرادون.	6-4-2
34-36	كواشف الأثر النووي في الحالة الصلبة.	5-2
36-37	أنواع كواشف الأثر النووي للحالة الصلبة.	1-5-2
37-39	كاشف CR-39 البلاستيكي.	2-5-2
39-42	كيفية تكوين الأثر في الكواشف الصلبة .	3-5-2
42-48	بعض معاملات الأثر المقشوط.	4-5-2
48-50	هندسة الأثر المقشوط .	6-2
50-51	كاشف الرادون Rad-7 .	7-2

فهرست المحتويات

الصفحة	الموضوع	التسلسل
52-53	تحليل طيف RAD-7 .	1-7-2
54	الخلفية والمشاكل المرافقة .	2-7-2
54	تنقية النظام.	3-7-2
55	كفاءة كاشف RAD-7 .	4-7-2
55 -56	التعرض للرادون وخطر الاشعاع	8-2
56	الآثار البيولوجية للإشعاع	9-2
56	التأثير المباشر للإشعاع	1-9-2
57-58	التأثير غير المباشر للإشعاع	2-9-2
الفصل الثالث: الجزء العملي		
59-61	المواد والأجهزة المستعملة	1-3
61-62	تحضير محلول القشط	2-3
62-63	القشط الكيميائي	3-3
63-64	المعاينة المجهرية	4-3
64-65	معايرة الكاشف	5-3
الفصل الرابع: النتائج والمناقشة		
66-85	النتائج	1-4
85-86	المناقشة	2-4
86	الاستنتاجات	3-4
87	التوصيات والاعمال المستقبلية	4-4
88-102	المصادر	

قائمة الجداول

الصفحة	عنوان الجدول	رقم الجدول
33	معامل انتشار غاز الرادون وطول انتشاره في بعض مواد البناء.	1-2
60	بيانات مجموعة النماذج التي تمت فيها الدراسة.	1-3
66 -67	النشاط النوعي المسجل من قبل المصدر [55] لمادة السيراميك .	1-4
67	النشاط النوعي المسجل من قبل المصدر [55] لمادة الاسمنت .	2-4
68	النشاط النوعي المسجل من قبل المصدر [55] لمادة المرمر .	3-4
68	النشاط النوعي المسجل من قبل المصدر [55] لمادة البورسلين .	4-4
69	النشاط النوعي المسجل من قبل المصدر [55] لمادة الكرانيت .	5-4
69	النشاط النوعي المسجل من قبل المصدر [55] لمادة الطابوق .	6-4
69	النشاط النوعي المسجل من قبل المصدر [55] لمادة الجبس .	7-4
70	النشاط النوعي المسجل من قبل المصدر [55] لمادة الموزايك .	8-4
70	النشاط النوعي المسجل من قبل المصدر [55] لمادة الحجر والكونكريت والثرمستون .	9-4
75-76	تراكيز الرادون وكثافة الأثار في داخل الدور في جانب الرصافة.	10-4
76-77	تركيز الرادون وكثافة الأثار في داخل الدور في جانب الكرخ.	11-4
78	تراكيز غاز الرادون داخل الدور في جانبي الكرخ والرصافة .	12-4
81	تركيز الرادون (البرنامج) ومدى و معدل تراكيز الرادون باستعمال كاشف (CR -39).	13-4
82-83	الجرع الاشعاعية لتراكيز الرادون في جانب الرصافة باستعمال كاشف CR -39 .	14-4
83-84	الجرع الاشعاعية لتراكيز الرادون في جانب الكرخ باستعمال كاشف CR -39 .	15-4
85	الجرع الاشعاعية لتراكيز الرادون في جانبي الكرخ والرصافة باستعمال جهاز RAD-7.	16-4

قائمة الأشكال

الصفحة	عنوان الشكل	رقم الشكل
15	الطيف الكهرومغناطيسي.	1-2
22	سلسلة اليورانيوم-238.	2-2
23	سلسلة الثوريوم-232.	3-2
24	سلسلة الهورانيوم-235.	4-2
21	سلسلة انحلال البوتاسيوم - 40 .	5-2
26	مساهمة الرادون في الجرعة الإشعاعية الكلية.	6-2
29	مصادر الرادون داخل الابنية.	7-2
40	مراحل تكون الأثر المستتر.	8-2
41	وخزة الانفجار الأيوني لتكوّن الأثر في المواد اللاعضوية.	9-2
42	تأثير الإشعاع على السلاسل البوليمرية.	10-2
49	حالة السقوط العمودي في الكواشف العضوية.	11-2
50	يوضح حالة السقوط المائل في الكواشف العضوية.	12-2
51	رسم تخطيطي لجهاز Rad-7 .	13-2
53	طيف طاقة الفا في Rad-7.	14-2
58	الضرر الوراثي للإشعاع.	15-2
61	كاشف RAD-7 في احد المنازل.	1-3
63	عملية القشط الكيميائي لكاشف الأثر النووي (CR-39).	2-3
64	اثار جسيمة الفا في كاشف (CR-39).	3-3
65	علاقة كثافة الأثار (ρ_x) مع التعرض للرادون للعينات القياسية.	4-3
71	تعرض الرادون مقابل الفعالية النوعية لمادة السيراميك.	1-4
71	التعرض الرادون مقابل الفعالية النوعية لمادة البورسلين.	2-4
72	تعرض الرادون مقابل الفعالية النوعية لمادة الكرانيت .	3-4
72	تعرض الرادون مقابل الفعالية النوعية لمادة الحجر .	4-4
73	تعرض الرادون مقابل الفعالية النوعية لمادة الأسمنت.	5-4
73	تعرض الرادون مقابل الفعالية النوعية لمادة الطابوق .	6-4
74	تعرض الرادون مقابل الفعالية النوعية لمواد البناء الاخرى .	7-4
79	طيف طاقة الفا لبعض النماذج $4K_k$ و $4K_1$ ، $3K_1$ ، $5R_1$ ، $2R_1$.	8-2

فهرست الرموز

التعريف	الرمز
United Nation Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation	UNSCEAR
International committee or radiation protection	ICRP
Solid State Nuclear Track Detectors	SSNTDs
Linear Energy Transfer	LET
Equilibrium-Equivalent Radon Concentration	EECR _n
Radon Diffusion Coefficient	D
Boltzmann constant = 1.38×10^{-23} j mol / k	K
Bulk Etch Rate	V _B
Dose Equivalent	DE
Quality Factor	Q.F
Relative humidity	RH
Unit of absorbed dose	Rad
Unit of equivalent dose	Rem
Pico Curies per Liter (unit of Specific Activity)	pCi/L

المقدمة

(1-1) تمهيد:

شهد القرن العشرين قفزات تقنية متطورة لخدمة الإنسانية ، وقد رافق هذا التطور بروز مخاطر كبيرة ذات تأثيرات مباشرة على البيئة والتي انعكست بدورها على صحة الإنسان وبيئة المجتمع .وان ابرز هذه المخاطر تتمثل بالفضلات الكيميائية والإشعاعية الناتجة عن الصناعة ،فضلا عن ذلك استعمال مواد البناء في حياتنا اليومية التي تحتوي على مكونات او باعثات إشعاعية ذات أضرار آنية او بطيئة التأثير على الإنسان والبيئة [1].

يتعرض الإنسان إلى الإشعاع بشكل دائم من مصدرين رئيسيين هما المصادر الطبيعية والمصادر التي صنعها الإنسان لأغراض متعددة ،ويشكل تعرض الإنسان إلى المصادر الطبيعية النسبة الأساسية من التعرض مثل الأشعة الكونية (Cosmic Rays) والأشعة الصادرة من العناصر المشعة طبيعي فكل المواد المحيطة بنا تقريبا تحتوي على نسبة ضئيلة من المواد المشعة [2] . و لهذا يتعرض الإنسان إلى مستوى منخفض من الخلفية الإشعاعية، وان للإشعاع تأثيرا في البيئة قد يبقى أثره لسنوات عدة قد يؤثر في التركيب الجيني للإنسان والحيوان فيؤدي إلى خلل وراثي يظهر أثره في الأجيال القادمة ، فضلا عن ذلك فإن اثر هذا يصل إلى الماء والتربة ويدخل إلى السلسلة الغذائية للإنسان والحيوان على حد سواء [3].تنتج المستويات العالية من الإشعاع من مصادر الأشعة والتفجيرات النووية التي تسبب تلوث البيئة اشعاعيا والتي تنعكس آثارها على البشر ،وكان حادث إلقاء القنابل النووية على مدينتي هيروشيما وناكازاكي سنة (1945) بداية لتلوث البيئة الاشعاعي أعقبتها التفجيرات النووية تحت سطح الأرض خلال السنوات (1955 - 1965) ، كما ان للحوادث النووية التي أهمها حادث تشيرنوبل في الاتحاد السوفيتي السابق سنة (1986) أثراً كبيراً في تلوث مساحة شاسعة من الكرة الأرضية ، فضلا عن ذلك العمليات الناتجة من استعمال المصادر المشعة جميعها في المجال الطبي والصناعي والزراعي والتطبيقات الأخر [4] .

يُعد غاز الرادون من أهم الملوثات الإشعاعية البيئية ، كونه مصدراً خطراً على صحة العاملين في المناجم والأنفاق ، وعلى صحة العامة من الناس على حد سواء ، بسبب اتساع نطاق انتشاره في التربة ومواد البناء والمياه الجوفية بما في ذلك مياه الآبار والينابيع المعدنية وكذلك لا تخلو مياه شبكات إسالة المياه في بعض المناطق من هذا الغاز [5].

ان مواد البناء والتربة وبعض الصخور التي تحتوي على كميات قليلة من النظائر الطبيعية لسلسلة اليورانيوم (^{238}U) التي تتضمن الرادون (^{222}Rn) ذو عمر النصف (3.82 day) والباعث لجسيمات ألفا بطاقة (5.49 MeV) والثورون (^{220}Rn) ذو عمر النصف (51.1 sec) من سلسلة الثوريوم-232 الهاعث لجسيمات ألفا بطاقة (6.29 MeV). إذ تعد هذه الغازات ذوات نشاط إشعاعي وتتواجد في الصخور ومواد البناء والأماكن المغلقة والمناجم والأنفاق [6].

ان غاز الرادون تم اكتشافه في عام 1899 من قبل العالمين R.B.Owens و E.Rutherford وهو احد عناصر الجدول الدوري ويقع ضمن مجموعة العناصر النبيلة، وهو غاز مشع عديم اللون والرائحة [7]، وهو خامل كيميائياً لا يتحد مع اي عنصر او مركب اخر في الطبيعة، ويعد من مصادر الإشعاع الذري الطبيعي الذي يتولد في سلسلة تحلل اليورانيوم (^{238}U) [8]، وغاز الرادون أثقل من الهواء بسبعة أضعاف ونصف تقريبا، ان وجود الرادون في منطقة ما يعتمد على وجود اليورانيوم الذي يقدر الجيولوجيون وجوده في القشرة الأرضية (3-4 ppm) وبما ان الرادون هو المصدر الرئيس للرادون في الطبيعة وعمره النصفى (1600 year) فعليه يتوقع وجود الرادون في جميع الخامات التي تحتوي على اليورانيوم [9]، كما انه يساهم مع النويدات الوليدة المشعة الناتجة من انحلاله ب نحو 75% من مكافئات الجرعة المؤثرة السنوية التي يستلمها الأفراد كل على انفراد من المصادر الأرضية، ونحو 50% من جرعتهم من كل من المصادر الطبيعية والصناعية مجتمعة، ان النسبة العظمى من هذه الجرعة قد تعزى إلى استنشاق هذه النويدات المشعة في هواء الدور والمباني بشكل خاص [10]، ان الخطر الكبير يأتي من التعرض للرادون بسبب عمر النصف له، اما بالنسبة للثورون فان عمر النصف له قصير لذلك لا يشكل خطورة كبيرة بقدر الرادون. وقد أثبتت الدراسات بان التعرض لباعث جسيمات ألفا له علاقة مع حالات الإصابة بمرض سرطان الرئة (Lung cancer) اذ انه عند عملية الشهيق ودخول الهواء المشبع بهذا الغاز إلى رئة الإنسان فان نسبة كبيرة منه تترسب على الجدران والغشاء المبطن للجهاز التنفسي مما يؤدي هذا إلى امتصاص جرعة منه بواسطة القصبات الهوائية [11].

جسيمات ألفا المنبعثة من الرادون تحدث عند تصادمها مع ذرات الخلايا المكونة لأعضاء الجسم وأنسجته تأثيرات واضطرابات هائلة فيها فضلاً عن ذلك التأثيرات الكيميائية على المستوى الجزيئي . ويقدر متوسط طول مسار جسيمات ألفا في الأنسجة الرخوة بحدود ($40\mu\text{m}$)، كما إن طاقتها التأينية تزيد بأكثر من ألف مرة على طاقة جسيمات بيتا وهي بذلك تكون أكثر تدميراً للأنسجة البشرية، ومن هنا تأتي مخاطر التعرض للرادون ^{222}Rn ونواتج تحلله. وعلى الرغم مما تقدم فان جزءاً من الجرعة المكافئة الفعالة السنوية التي يتعرض لها الأشخاص المتواجدون في بيئة ذات خلفية إشعاعية اعتيادية

تقدر بحدود (2mSv) في العام، وهذا يأتي بسبب استنشاق الإنسان للرادون ^{222}Rn بمعدل (0.8 mSv) [5]. من الإحصاءات والتقديرات التي أجريت بهذا الصدد وجد ان هناك (200) حالة وفاة في السنة لكل (100000) نسمة من السكان عند التعرض للقراءة الخلفية للرادون ووليداته [11]. لذلك ظهرت الحاجة لدراسة تأثير الإشعاع والكشف عن النشاط الطبيعي والصناعي وعلى مدى تلوث البيئة وكيفية معالجتها، لذا أجريت العديد من البحوث لحساب تراكيز المواد المشعة في التربة والنبات والماء والهواء ومواد البناء وغيرها ومدى تأثير هذه المواد المشعة في الكائنات الحية [12]. وقد استعملت الكثير من التقنيات لقياس مستويات التعرض للإشعاع منها كواشف الأثر النووي في دراستنا الحالية لتحديد تراكيز الرادون المنبعثة من مواد البناء ، وقد تم استعمال هذه التقنية لما تتمتع بها من سهولة ودقة في تحديد العناصر ذات التراكيز المنخفضة جدا. وقد أستعمل في هذه الدراسة كاشف الأثر النووي البوليمري (CR-39) الذي يمتاز بحساسيته العالية في تسجيل آثار شظايا الانشطار [13]. كذلك تم استعمال جهاز RAD-7 المخصص لقياس تركيز غاز الرادون والثورون في الهواء بدقة عالية ولمدى واسع من التراكيز وغالبا ما تكون النتائج المطلوبة فورية ، واهم ميزة في هذا الجهاز هو قدرته على تحديد طاقة جسيمة الفا الكرونييا وهذا يجعل من الممكن التمييز بين نظائر الرادون البولونيوم (^{218}Po) والبولونيوم (^{214}Po) وبين الرادون والثورون [14].

Literature Review

(2-1) الدراسات السابقة:

أجريت بحوث كثيرة ودراسات متعددة لقياس تراكيز غاز الرادون ومعامل انتشاره المنبعث من مواد البناء بكواشف الأثر النووي للحالة الصلبة (SSNTDs) وجهاز RAD-7 وفي أدناه مجموعة من احدث الدراسات العالمية والعربية والمحلية في هذا المضمار:

(1-2-1) الدراسات العالمية :

- عام (1999) أجرى الباحثان Kevin J. R. و Wessam Z. D. قياسات مختبريه لمعامل انتشار غاز الرادون لعينات الكونكريت في الولايات المتحدة الأمريكية، حيث وجد انه $1.08 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ [15].

- عام (2000) قام الباحثان Keller G. and Hoffmann B. بقياس معامل انتشار غاز الرادون وطوله في مواد البناء في المانيا، حيث وجد قيم معامل انتشار الرادون في الكرانيت والكونكريت والحجر الرملي والطابوق والحجر الجيري والجبس وكانت النتائج كالتالي $(2.35, 0.34) \times 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ على التوالي [16].

- عام (2001) قام الباحثان Cozmuta I., van der Graaf E.R. بقياس معامل انتشار غاز الرادون في مواد البناء في هولندا وقد تم تعيين معامل انتشار غاز الرادون في الكونكر يت وكانت قيمة معامل الانتشار هي $4.6 \pm 0.4 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ [17].

- درس الباحث Rahman في عام (2005) تركيز الرادون في مساكن منطقة بوهالبور في باكستان وقد بلغ أعلى تركيز للرادون (96 Bq/m^3) وأدنى قيمة له (29 Bq/m^3) [18].

- قام الباحثان Faheem M. and Matiullah في عام (2008) بقياس تركيز غاز الرادون المنبعث من مواد البناء بوصفها من المصادر الرئيسية لغاز الرادون في المناطق المغلقة ، إذ جمعت عينات من التربة ومواد البناء (الرمل والاسمنت والطابوق والرخام) من مناطق جوجرنوالا وجوجرات وحافظ آباد وسيالكوت ومناطق من إقليم البنجاب في باكستان ، وذلك باستعمال كاشف الأثر النووي في الحالة الصلبة نوع CR-39. وكان معدل انبعاث غاز الرادون (3761 ± 47) $\text{mBq/m}^2 \cdot \text{h}$ في عينات التربة ، في حين كان معدل انبعاثه لعينات (الطابوق والرمل والاسمنت والرخام) هو (292 ± 35) $\text{mBq/m}^2 \cdot \text{h}$ ، (231 ± 30 ، 195 ± 25 ، 212 ± 34) على التوالي [19].

- قام الباحثان Bouzarjomehri F. and Ehrampoosh M.H. في عام (2008) بقياس مستوى الرادون في سرداب الطابق السفلي لمساكن يزد الايرانية ، وذلك باستعمال جهاز RAD-7 إذ تم قياسه في (84) منزلاً من مختلف مناطق مدينة يزد وتراوح تركيز غاز الرادون ($747.4 - 55.5$) Bq/m^3 ، في حين كان متوسط تركيز غاز الرادون هو (137.36 Bq/m^3) [20].

- عام (2009) قام الباحث Narula A.K. وآخرون بقياس معامل انتشار غاز الرادون وطوله في عينات من التربة والطابوق والاسمنت في الهند، وكانت قيم معامل الانتشار لثلاث عينات من التربة هي $3.16, 3.11, 3.37 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ و الطابوق هي $2.31, 2.81, 2.33 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ اما للاسمنت فهي $1.12, 1.15, 1.09 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ [21].

- عام (2010) قام الباحث Chakarvarti S.K. وآخرون باختبار نفاذية مواد البناء لانتشار غاز الرادون ، إذ تم حساب معامل انتشار غاز الرادون وطوله في مواد البناء ومنها الحجر الجيري والرملي والكرانيت والتربة والرمل والاسمنت والجبس وكانت قيم معامل الانتشار لهذه المواد على التوالي ($0.44 \pm 0.09, 2.54 \pm 0.27, 0.06 \pm 0.01, 1.65 \pm 0.21, 1.65 \pm 0.21, 4.29 \pm 0.34, 1.21 \pm 0.05, 2.6$) $\times 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ وبشير النتائج الى ان معامل انتشار غاز الرادون وطوله في مواد البناء هي مقياس لنفاذية الغاز خلالها [22].

- قام الباحثون Rahman N.M. وآخرون في عام (2010) بقياس معدل انبعاث الرادون في مواد البناء المستعملة للزينة في كندا ، وتراوحت معدلات انبعاث غاز الرادون من غير القابلة للكشف الى (312 Bq/m².d) وتشير الدراسة الى ان معدل انبعاث الرادون في كل من البلاط والكرانيت كان اعلى من السيراميك والبورسلين حيث كان معدل انبعاث غاز الرادون بنحو (30 Bq/m².d) للبلاط ، اما للكرانيت فكان بنحو (42 Bq/m².d) [23].

- كما قام الباحث Mehra R. وآخرون في عام (2010) بقياس تركيز غاز الرادون في مياه الشرب وداخل المنازل في قرى وبلدات حي هوشياربور في بنجاب - الهند باستعمال كاشف الرادون الالكتروني RAD-7 ، وتراوحت قيم تر اكيذ الرادون (10-28.2) Bq/m³ وبمعدل (Bq/m³) (20.28) [24].

- عام (2010) قام الباحث Németh C. وآخرون بقياس تر اكيذ الرادون والثورون في المنازل الهنغارية القريبة من منجم اليورانيوم باستعمال كاشف الاثر النووي في الحالة الصلبة (SSNTDs) نوع CR-39، وبينت النتائج ان معدل تركيز الرادون في المنازل هو (152 Bq/m³) [25].

- عام (2011) قام الباحث Hassan N. M. وآخرون بقياس تركيز غاز الرادون والثورون في مواد البناء المستعملة في اليابان، أذ تم قياس معدل انبعاث غاز الرادون والثورون باستعمال جهاز RAD-7، وتشير الدراسة الى ان معدل انبعاث غاز الثورون في عينات الكرانيت يتراوح بين (56±30 mBq/m².s) - (2420±667) وبمتوسط (940±834) mBq/m².s بينما كان معدل انبعاث غاز الرادون يتراوح بين (0.06±0.01) - (0.93±0.07) mBq/m².s وبمتوسط تركيز (0.35±0.32) (mBq/m².s) [26].

- عام (2011) قام الباحث Adelina C .A. بدراسة انتقال غاز الرادون خلال مواد البناء في رومانيا وتشير الدراسة إلى ان قيم معامل انتشار غاز الرادون في الكونكريت يتراوح بين (8.1 x 10⁻⁹ m²/s) و (1.1x10⁻⁷ m²/s) [27].

- عام (2011) قام الباحث Arvela H. وآخرون بقياس تركيز غاز الرادون في (1500) منزل جديد البناء، و منخفض الارتفاع في فنلندا ،وقد تم اختيار المنازل بشكل عشوائي و مثلت % 7 من المنازل التي تلقت رخصة البناء وفي عام 2006. كان معدل تركيز غاز الرادون في جميع المنازل التي بنيت في المدة بين (2006-2008) بنحو (95 Bq/m³)، و متوسط تركيز غاز الرادون (58 Bq/m³) [28].

- في عام (2014) قام الباحث Muntean L.E. وآخرون بقياس تركيز غاز الرادون داخل المنازل خلال اربعة فصول في (12) منزلاً و (7) شقق سكنية في رومانيا باستعمال كاشف الأثر النووي في الحالة الصلبة نوع CR-39 وكان معدل تركيز غاز الرادون الداخلي السنوي $(105 \pm 52) \text{ Bq/m}^3$ وكان معدل تركيز غاز الرادون في الشتاء في المنازل هو (149 Bq/m^3) وفي الصيف هو (65 Bq/m^3) اما في الشقق فكان معدل تركيز غاز الرادون في الشتاء هو (56 Bq/m^3) وفي الصيف هو (46 Bq/m^3) [29].

(2-2-1) الدراسات العربية:

- قام الباحث Rasas M. F. وآخرون في عام (2005) بقياس تركيز غاز الرادون في منازل قطاع غزة باستعمال كاشف الأثر النووي في الحالة الصلبة (SSNTDs) نوع CR-39، وتشير النتائج الى أن تراكيز الرادون في أماكن الدراسة تراوحت بين $(84-13) \text{ Bq/m}^3$ [30].

- عام (2007) قامت الباحثة Al-Mosa T. M. A. بقياس تركيز غاز الرادون في مدارس رياض الأطفال والتمهيدي والابتدائي في مدينة الزلفي بالمملكة العربية السعودية بالاعتماد على تقنية كاشف الآثار النووية في الحالة الصلبة (SSNTDs) نوع CR-39 ، وتم توزيع (392) كاشفًا وبعد (8) أشهر تم جمع (296) عينة ليكون عدد العينات التي تم تحليلها وسلمت من التلف (273) كاشفًا وكان معدل تركيز الرادون هو $(74.67 \pm 3.04) \text{ Bq/m}^3$ [31].

- كما استعمل الباحث Kobeissi M.A. وآخرون في عام (2008) بتحديد تراكيز النويدات المشعة طبيعياً (^{40}K و ^{228}Ac , ^{222}Rn , ^{226}Ra , ^{212}Bi , ^{212}Pb , ^{214}Bi) في عينات من الرمل والاسمنت والحصى والجبس والطلاء التي ستعمل كمواد للبناء في جنوب لبنان . باستعمال تقنية كاشف الاثر النووي في الحالة الصلبة (SSNTDs) نوع CR-39 ، وقد وجد تركيز غاز الرادون في عينات الرمل ، إذ تراوح تركيزه بين $(219 \pm 69) \text{ Bq/m}^3$ - $(1774 \pm 339) \text{ Bq/m}^3$ وبمعدل $(704 \pm 139) \text{ Bq/m}^3$ أما تركيزه في عينات الحصى فقد كان $(52 \pm 9) \text{ Bq/m}^3$ - $(3077 \pm 370) \text{ Bq/m}^3$ وبمعدل $(608 \pm 85) \text{ Bq/m}^3$ [32].

- قام الباحثان Abd El-Zaher M. and Fahmi N. M. في عام (2008) بدراسة تركيز غاز الرادون في مجموعة من الدور السكنية في الإسكندرية في مصر و التي أنشأت من مواد البناء نفسها باستعمال كاشف الأثر النووي نوع (LR-115) ، وقد بلغ متوسط تراكيز الرادون في غرف الجلوس $(50.93 \pm 7.14) \text{ Bq/m}^3$ وفي المطابخ $(82.38 \pm 8.35) \text{ Bq/m}^3$ [33].

- في عام (2008) قام الباحث Al-Awad S.H.M. بدراسة تركيز غاز الرادون في داخل منازل منطقة نجران في السعودية باستعمال كاشف الاثر النووي في الحالة الصلبة (SSNTDs) نوع CR-39، وقد تم توزيع (160) كاشف في (20) منزلا بمنطقة نجران في أربع قرى ، اذ تراوحت تراكيز الرادون بين $9-163 \text{ Bq/m}^3$ وبمتوسط تركيز كلي هو $49 \pm 14 \text{ Bq/m}^3$ [34].

- كما أجرى الباحث شويكاني في عام (2009) دراسة لتحديد معدل انبعاث غاز الرادون من بعض مواد البناء التي تستعمل في الاكساء في سوريا. إذ جمعت (4) عينات من السيراميك و(7) عينات من الرخام من السوق المحلية ، وجرى تحديد تراكيز غاز الرادون فيها باستعمال كاشف الأثر النووي في الحالة الصلبة (SSNTDs) نوع CR-39. وكان أعلى معدل انبعاث لغاز الرادون في عينات الرخام في رخام بلقيس بنحو $(0.034 \text{ Bq/m}^2 \cdot \text{h})$ واقل معدل لرخام شهباء بنحو $(0.016 \text{ Bq/m}^2 \cdot \text{h})$ ، أما عينات السيراميك فكان أعلى معدل انبعاث لغاز الرادون في سيراميك برزا بنحو $(0.045 \text{ Bq/m}^2 \cdot \text{h})$ واقل معدلاً للسيراميك التركي بنحو $(0.02 \text{ Bq/m}^2 \cdot \text{h})$ [35].

- عام (2012) قامت الباحثة Fathiya H. A.Y. بقياس معدل انبعاث الرادون من مواد البناء في محافظة نابلس في فلسطين وذلك باستعمال كاشف الأثر النووي في الحالة الصلبة (SSNTDs) نوع CR-39، وتشير النتائج التي تم الحصول عليها من الدراسة الى ان معدل انبعاث غاز الرادون من عينات الكرانيت والرخام ذو قيمة مرتفعة لهما نسبيا بالمقارنة مع غيرها من مواد البناء (الاسمنت، السيراميك، الخرسانة، حجر البناء) وتراوحت قيم معدلات انبعاث الرادون من العينات المستعملة في الدراسة من $(55.37 \pm 15.01) \text{ mBq/m}^2 \cdot \text{h}$ لعينات الجبس إلى $(589.54 \pm 73.24) \text{ mBq/m}^2 \cdot \text{h}$ لعينات الجرانيت بمتوسط حسابي كلي يساوي $(268.56 \pm 166.21) \text{ mBq/m}^2 \cdot \text{h}$ [36].

- في عام (2012) قام الباحث Hayajneh S.A.R. بدراسة انتشار غاز الرادون في مواد البناء المختلفة في الأردن، حيث وجد معامل انتشار غاز الرادون في الاسمنت الأسود والأبيض والرمل ورمل مسحوق صويلح كالاتي 0.0391 ± 0.0119 , 0.0336 ± 0.0087 , 0.0490 ± 0.0116 , $0.0114 \pm 0.0044 \text{ cm}^2/\text{s}$ على التوالي [37].

- كما قام الباحث العراقي وآخرون في عام (2012) بقياس تركيز غاز الرادون ببعض المدن الليبية وذلك باستعمال كاشف الأثر النووي في الحالة الصلبة (SSNTDs) نوع CR-39، وأوضحت النتائج أن متوسط تركيز الرادون في مدينة طرابلس عاصمة ليبيا نحو (48.8 Bq/m^3) وأن تركيز الرادون بمنطقة الحرشة الواقعة على ساحل البحر الأبيض المتوسط غرب مدينة طرابلس نحو (51.4 Bq/m^3)

وأما تركيز الرادون في منطقة الرجبان بالجبل الغربي الواقعة على بعد نحو (160 km) جنوب غرب مدينة طرابلس نحو (55.5 Bq/m^3) [38].

- عام (2013) قام الباحث Mallah K.B.Y بقياس مستويات غاز الرادون في المدارس الأساسية في محافظة طولكرم في فلسطين ، وذلك باستعمال كاشف الأثر النووي في الحالة الصلبة (SSNTDs) نوع CR-39 ومراقب مستويات غاز الرادون RAD-7 وكانت مستويات غاز الرادون تتغير باستعمال كاشف CR-39 بدءاً من (3.48 Bq/m^3) حتى (210.51 Bq/m^3) وبمعدل تركيز كلي هو (40.42 ± 2.49) Bq/m^3 ، اما باستعمال جهاز RAD-7 فكان معدل تركيز الرادون يتراوح بين (19.8 ± 1.6) - (195 ± 5) Bq/m^3 [39].

(3-2-1) الدراسات المحلية:

- قامت الباحثة مهدي في عام (1986) بدراسة تراكيز غاز الرادون في بعض مواد البناء في محافظة ميسان، باستعمال كاشف الاثر النووي في الحالة الصلبة (SSNTDs) نوع CR-39 وحصلت الباحثة على نتائج تتراوح بين ($46-35$) Bq/m^3 [40].

- وقامت الباحثة توفيق في عام (1996) بدراسة تراكيز غاز الرادون خارج الأبنية في منظمة الطاقة الذرية وكان معدل التراكيز بنحو (61.2 Bq/m^3) [41].

- كما قامت الباحثة سعيد في عام (1998) بتحديد تراكيز الرادون في الأبنية في مدينة بغداد باستعمال كاشف الأثر النووي في الحالة الصلبة (SSNTDs) نوع CR-39، وكان معدل تراكيز غاز الرادون في الأبنية القديمة (42.12 Bq/m^3) اما في الأبنية الحديثة (20.541 Bq/m^3) وكان معدل تركيز غاز الرادون في العمارات السكنية (7.11 Bq/m^3) و في الدور المنفردة (23.47 Bq/m^3) ، اما معدل التركيز في الشتاء فكان بنحو (23.793 Bq/m^3) وصيفا بنحو (14.903 Bq/m^3) [6].

- وقامت الباحثة السنجري في عام (1999) بقياس تراكيز غاز الرادون في مناطق محددة من مدينة الموصل باستعمال كاشف الأثر النووي في الحالة الصلبة (SSNTDs) نوع CR-39 و (LR-115)، وكان معدل التركيز باستعمال كاشف CR-39 شتاء بنحو (68.98 Bq/m^3) وصيفا هو (45.70 Bq/m^3) ، أما باستعمال كاشف LR-115 فكان التركيز شتاء بنحو (59.80 Bq/m^3) وصيفا بنحو (39.55 Bq/m^3) [42].

- قامت الباحثة العاني في عام (2000) بتحديد تراكيز غاز الرادون في بعض مواد البناء في العراق للمنطقة الوسطى والشمالية باستعمال كاشف الأثر النووي في الحالة الصلبة (SSNTDs) نوع CR-39 وكانت النتائج التي حصلت عليها تتراوح بين $(100-33) \text{ Bq/m}^3$ [43].

- درس الباحث Alkhalifa I.J.M. في عام (2006) تركيز غاز الرادون في الدور والمباني السكنية لمركز محافظة بابل في الحلة باستعمال تقنية كواشف الأثر الصلبة النووية (SSNTDs). وقد استعمل كاشف الأثر نوع (LR-115) في هذه الدراسة، وبينت النتائج بأن تراكيز الودون في مركز المدينة يتغير من (5 Bq/m^3) الى (35 Bq/m^3) [44].

- قام الباحثان Alkhalifa I.J. M. and Bakr H. في عام (2007) بدراسة انبعاثية غاز الرادون في اماكن مختلفة من محافظة البصرة وذلك باستعمال كاشف الأثر النووي في الحالة الصلبة (SSNTDs) نوع CR-39، وتم اختيار (20) محطة قياس في اماكن مختلفة لهذه الدراسة واثبتت الدراسة بأن معدل الرغاذية تتغير بشكل كبير من منطقة الى أخرى، وان أعلى قيمة له وجدت في منطقة ابو الخصيب $(0.34 \text{ Bq/m}^2 \cdot \text{h})$ واقل قيمة له في مناطق المعامرة $(0.02 \text{ Bq/m}^2 \cdot \text{h})$ [45].

- قام الباحثان Al-obedy A. A. I. and Al-jubory R. A. M. في عام (2009) بقياس تراكيز غاز الرادون في أبنية مدينة كركوك باستعمال كاشف الأثر النووي نوع (CR-39)، وقد بينت النتائج ان مستويات التراكيز في الملاجئ والحمامات هي اعلى من مستوياتها في غرفة المعيشة وغرفة النوم والمطابخ وخارج البيت، وتراوحت قيم تركيز الرادون $(89.4-36.4) \text{ Bq/m}^3$ [46].

- كما قام الباحثان Abdullah A. and Hussein H. في عام (2010) بدراسة تركيز الرادون وخطر الإصابة بسرطان الرئة في الساحل الأيمن من قضاء الشرقاط وباستعمال المجراع التراكمي الحاوي على الكاشف البلاستيكي في الحالة الصلبة (SSNTDs) نوع CR-39 وتم حساب مستوى تركيز غاز الرادون داخل المباني ومستوى خطورة الإصابة بسرطان الرئة في (16) موقعاً تراوحت تراكيز الودون بين (50.320 Bq/m^3) و (212.34 Bq/m^3) وبمعدل (103.98 Bq/m^3) [47].

- قام الباحث Al-Hamidawi A.A. في عام (2012) بقياس تراكيز غاز الرادون ^{222}Rn والثورون ^{220}Rn في المياه الجوفية والتربة والدور لـ (60) موقعاً في مدينتي الكوفة والنجف الأشرف باستعمال تقنية RAD-7، وبينت النتائج بأن تركيز غاز الرادون في خارج البيوت في مدينة الكوفة تراوح بين $(2.75 \pm 0.5) \text{ Bq/m}^3$ و $(9 \pm 0.816) \text{ Bq/m}^3$ ، أما في مدينة النجف فقد تراوح بين $(1.25 \pm 0.958) \text{ Bq/m}^3$ و $(7.5 \pm 0.578) \text{ Bq/m}^3$ ، وفي داخل البيوت عند المباني القديمة في مدينة

الكوفة تراوح بين $(48.42125 \pm 2.831) \text{ Bq/m}^3$ و $(73.25 \pm 2.2173) \text{ Bq/m}^3$ ، أما في مدينة النجف تراوح بين $(19.5 \pm 1.291) \text{ Bq/m}^3$ و $(85 \pm 2.160) \text{ Bq/m}^3$ ، أما في داخل البيوت عند المبانى الحديثة في مدينة الكوفة تراوح بين $(22.25 \pm 1.708) \text{ Bq/m}^3$ و $(68.75 \pm 2.754) \text{ Bq/m}^3$ ، أما في مدينة النجف تراوح بين $(15.5 \pm 1.291) \text{ Bq/m}^3$ و $(54.25 \pm 0.958) \text{ Bq/m}^3$ [48].

- قامت الباحثة Tawfiq N.F. وآخرون في عام (2012) بقياس تركيز غاز الرادون في محافظة النجف الأشرف باستعمال كاشف الأثر النووي في الحالة الصلبة (SSNTDs) نوع CR-39، بعد ان ظهرت حالات مختلفة من الإصابة بالسرطان في بعض المناطق من محافظة النجف، وقد تعهدت بها العديد من الفرضيات بما في ذلك وجود غاز الرادون في الهواء الموجود داخل المنازل، وتراوحت قيم تركيز الرادون ما بين $(74.2804 \pm 42.6048) \text{ Bq/m}^3$ و $(478.1301 \pm 53.325) \text{ Bq/m}^3$ ، حيث وجد ان معدل تركيز غاز الرادون في محافظة النجف $(183.682) \text{ Bq/m}^3$ ، كما ان ارتفاع معدلات الإصابة بالسرطان في بعض الأحياء يمكن ان يعزى إلى ارتفاع تركيز غاز الرادون في هذه المناطق [49].

- قام الباحثان Najeba F.S. and Mohamad S.J. في عام (2012) بقياس تركيز غاز الرادون في (30) منزلاً في ثلاث محافظات من كردستان العراق وتم قياس تركيز الرادون في المطابخ وذلك باستعمال كاشف الاثر النووي في الحالة الصلبة نوع CR-39، وتراوحت تراكيز غاز الرادون بين (99.947 Bq/m^3) و $(360.112) \text{ Bq/m}^3$ وبمعدل (187.215 Bq/m^3) ، وقد بينت النتائج ان أعلى قيمة له كانت في سيكان و اقل قيمة له في مدينة دوكان [50].

- قام الباحث Karim M.S. وآخرون في عام (2012) بقياس تركيز غاز الرادون في عشرة نماذج من الأسمنت ولبلدان مختلفة مثل (العراق و ايران و مصر و لبنان و تركيا، الاردن) باستعمال تقنية عد آثار جسيمة الفا المنبعثة من غاز الرادون في كاشف الأثر النووي في الحالة الصلبة (SSNTDs) نوع CR-39، وقد أوضحت النتائج ان أعلى معدل لتركيز غاز الرادون في نماذج الاسمنت هو (200 Bq/m^3) ايراني المنشأ، بينما كان اقل معدلاً لتركيز غاز الرادون في نماذج الاسمنت (84.4 Bq/m^3) عراقي المنشأ (نجف)، كذلك فان النتائج بينت ان تركيز غاز الرادون في جميع نماذج الاسمنت كانت ضمن الحدود المقبولة للوكالة الدولية للوقاية من الإشعاع [51].

- عمل الباحث Noor M. A في عام (2013) بقياس تراكيز الرادون ^{222}Rn في المياه الجوفية والترربة وداخل الأبنية لـ (67) موقعاً في مناطق النجف القديمة، الطريق الواصل بين النجف – الحيدرية و المدينة الجامعية لجامعة الكوفة باستعمال تقنية RAD-7 الأمريكية الصنع، وبينت النتائج ان تركيز

غاز الرادون في داخل المباني القديمة في مدينة النجف القديمة تراوح بين $(4.3 \pm 3.04) \text{ Bq/m}^3$ و $(51.1 \pm 31) \text{ Bq/m}^3$ ، أما في داخل المباني الجديدة في مدينة النجف القديمة فأنها يتراوح بين $(2.9 \pm 1.3) \text{ Bq/m}^3$ و $(31.3 \pm 2.8) \text{ Bq/m}^3$ وفي داخل مباني المدينة الجامعية لجامعة الكوفة فأنها يتراوح بين $(4.25 \pm 0.493) \text{ Bq/m}^3$ و $(22.2 \pm 2) \text{ Bq/m}^3$ ، كما وقد تم دراسة بعض العوامل المؤثرة على تراكيز غاز الرادون ^{222}Rn في التربة والمباني مثل تأثير العمق في التربة وتأثير نوع المبنى (قديم أو حديث) وقد استنتج ان تركيز الرادون داخل المباني القديمة اكبر من تركيز الرادون داخل المباني الجديدة [52].

- قامت الباحثة Ali M.J. في عام (2013) بقياس تركيز غاز الرادون في منازل منفصلة ومتعددة الاتجاهات في منطقة الغزالية في بغداد، وتم أيجاد تركيز الرادون باستعمال لكاشف الأثر النووي في الحالة الصلبة (SSNTDs) نوع CR-39، في هذه الدراسة وجد ان معدلات تركيز الرادون يتراوح بين (38.7 Bq/m^3) و (200 Bq/m^3) ، حيث وجد معدل تركيز غاز الرادون لكل من الطابق العلوي وغرفة المعيشة والحمام والمطبخ في الطابق الأرضي لكل منزل من المنازل التي تم فحصها وكانت النتائج كالتالي (128.03 ± 21.65) ، (168.92 ± 33.52) ، (68.32 ± 8.55) ، (46.56 ± 9.13) ، على التوالي، من هذه النتائج استنتج ان أعلى تركيز لغاز الرادون في كل من الحمام والمطبخ للطابق الأرضي وان اقل تركيز في الطابق العلوي لكل منزل [53].

- عام (2013) قام الباحث Al-saadi A.J. بقياس تركيز غاز الرادون في داخل البنايات المتعددة الطوابق وكذلك في الهواء الطلق داخل الحرم الجامعي لجامعة كربلاء باستعمال لكاشف الأثر النووي في الحالة الصلبة (SSNTDs) نوع CR-39، وقد أظهرت النتائج ان تركيز غاز الرادون في داخل بنايات الحرم الجامعي تتراوح بين $(41.881 \pm 2.463) \text{ Bq/m}^3$ و $(95.642 \pm 5.730) \text{ Bq/m}^3$ وبمعدل (70.358 Bq/m^3) ، في حين كان معدل تركيز غاز الرادون في الهواء الطلق خارج البنايات (26.974 Bq/m^3) [54].

- كما عمل الباحث Ridha A.A. في عام (2013) بتحديد تراكيز النويدات المشعة في مواد البناء المستعملة في العراق وتم جمع (78) عينة محلية ومستوردة من مختلف مواد البناء (سيراميك، بورسلين، مرمر، كرانيت، حجر، سمنت، طابوق، جبس، رمل، حصي، كاشي موزايك، ثرمستون، كونكريت والقرميد) المستعملة بشكل واسع في العراق والتمتد افره في المحال التجارية والمقالم والمصانع فضلا عن ذلك البيوت قيد الإنشاء. حيث تم اختيار 54 عينة والتي تمتلك اعلى التراكيز بالنسبة لليورانيوم (^{238}U) لاجل قياسات غاز الرادون وذلك باستعمال كاشف الاثر النووي في

الحالة الصلبة (SSNTDs) نوع CR-39 اذ وجد ان بعض العينات غير امينة للاستعمال كمواد بناء لاحتوائها على تراكيز عالية من غاز الرادون أعلى من الحد المقبول به عالمياً ($200\text{Bq}/\text{m}^3$) لحدود تصل الى الضعف وتراوحت تراكيز غاز الرادون في عينات السيراميك بين ($41.349\text{ Bq}/\text{m}^3$) و ($421.76\text{ Bq}/\text{m}^3$) وبمعدل نحو ($177.975\text{ Bq}/\text{m}^3$) اما في عينات البورسلين بين ($90.969\text{ Bq}/\text{m}^3$) و ($353.538\text{ Bq}/\text{m}^3$) وبمعدل نحو ($246.856\text{ Bq}/\text{m}^3$) وفي عينات الكرانيت بين ($70.294\text{ Bq}/\text{m}^3$) و ($324.59\text{ Bq}/\text{m}^3$) وبمعدل نحو ($222.94\text{ Bq}/\text{m}^3$) وفي عينات الحجر بين ($31.012\text{ Bq}/\text{m}^3$) و ($471.384\text{ Bq}/\text{m}^3$) وبمعدل نحو ($158.679\text{ Bq}/\text{m}^3$) وفي عينات سمنت بين ($64.092\text{ Bq}/\text{m}^3$) و ($126.116\text{ Bq}/\text{m}^3$) وبمعدل نحو ($89.418\text{ Bq}/\text{m}^3$) وفي عينات الطابوق بين ($51.687\text{ Bq}/\text{m}^3$) و ($115.778\text{ Bq}/\text{m}^3$) وبمعدل نحو ($92.539\text{ Bq}/\text{m}^3$) وفي عينات المرمر والجبس والرمل والكاشي وثرمستون والقرميد والكونكريت بين ($31.012\text{ Bq}/\text{m}^3$) و ($150.925\text{ Bq}/\text{m}^3$) [55].

- قام الباحث عطية وآخرون في عام (2013) بتحديد تركيز الرادون في المنازل في محافظة ميسان بلستعمال كواشف الأثر النووية الصلبة (SSNTDs) نوع CR-39، حيث تم اختيار مناطق منتخبة في محافظة ميسان تمتد من شمال المحافظة الى جنوبها لدراسة مدى خطورة المواد المشعة على الإنسان، حيث وجد من النتائج التي تم الحصول عليها في هذه الدراسة ان تركيز الرادون يتراوح ما بين ($131.5\text{ Bq}/\text{m}^3$) و ($281.139\text{ Bq}/\text{m}^3$) [7].

- قام الباحث Almayahi. B.A. وآخرون في عام (2014) بقياس تركيز غاز الرادون في بعض عينات من الطابوق من أقطار مختلفة باستعمال كاشف الأثر النووي في الحالة الصلبة (SSNTDs) نوع CR-39، اذ كان معدل تراكيز كل من الرادون والراديوم على الآتي بنحو ($280\text{ Bq}/\text{m}^3$) و بنحو ($1.72\text{ Bq}/\text{kg}$)، وكان أعلى معدلاً لانبعاث غاز الرادون من طابوق السماوة وقيمة محتوى الراديوم الفعال هي اقل من القيمة المقبول بها عالمياً ($370\text{ Bq}/\text{kg}$) [56].

(3-1)الهدف من البحث:***The Aim of the Present Work***

الهدف من البحث هو ايجاد علاقة تجريبية لحساب تراكيز غاز الرادون المؤثرة داخل الدور السكنية للقياسات التي يقوم بها الفيزيائيون مع الحسابات الهندسية والتصميمية التي تجري لبناء هذه الدور. اذ تم في هذا البحث استعمال الطريقة المتكاملة لحساب تراكيز الرادون داخل الدور، باستعمال طريقتين هما الأولى استعمال كاشف الأثر النووي في الحالة الصلبة (SSNTDs) نوع CR-39 والثانية باستعمال جهاز RAD-7 للدور نفسها ، و حساب أبعادها والمواد التي بنيت بها ، للوقوف على اقرب القيم الفعلية لتراكيز الرادون ، وعمل حسابات تخص القيم المحسوبة لمطلقات هذا الغاز داخل الدور ومن ثم رسم العلاقة بينها و اجراء عملية (Fitting) الملائمة للحصول على علاقات تجريبية تربط هذه القياسات المختلفة ، لذلك تمكن المهندسون من إجراء الحسابات الإشعاعية اضافة الى الحسابات الاخرى كاستدامة الطاقة وغيرها .

الجزء النظري

Radioactivity

(1-2) النشاط الإشعاعي :

يعود تاريخ اكتشاف النشاط الإشعاعي في عام (1896) وذلك من قبل العالم الفرنسي (هنري بيكرل) الذي ابتداء ملاحظاته بتأثير لوح التصوير الفوتوغرافي بواسطة اليورانيوم، وفي عام (1898) اكتشفت السيدة (ماري كوري) عنصر الراديوم. وبعد ذلك تمكن الإنسان من التعرف على خواص الأشعة وأثارها الضارة على الإنسان وكذلك الاستعمالات السلمية وغير السلمية لها. وفي ضوء التطورات التي لحقت بها اكتشفت أعداد كبيرة من المواد المسماة بالنظائر التي تمتاز بصفات إشعاعية مختلفة. والنظائر هي صورة مختلفة للعنصر الكيميائي الواحد انويتها لها عدد البروتونات نفسها ولكنها تختلف في عدد النيوترونات وبذلك فلها تختلف بالأوزان الذرية مع انها تتشابه بالأع داد الذريغ [57]. يتمتع الكثير من العناصر الطبيعية والاصطناعية (المجهزة عن طريق التفاعلات النووية) بخاصية تعرف باسم النشاط الإشعاعي وتتبع هذه الخاصية من عدم استقرار هذه العناصر ، إذ تسمى هذه العناصر بالنظائر المشعة وإنما تخضع لعملية تحول تلقائي إلى ذرات أكثر استقرارا وتعرف ذلك بعملية الإشعاع. وتعرف عملية التحول هذه بالتحلل أو الاضمحلال ويصاحبها انبعاث جسيمات ألفا (α) أو جسيمات بيتا (β) و أشعة كاما (γ) [57]. ويخضع اضمحلال النوى المشعة لقانون أسي (Exponential Law) [58].

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad \dots(1-2)$$

إذ ان :

N_0 : يمثل عدد نويدات نواة الأم عند الزمن ($t = 0$)

N : يمثل عدد نويدات نواة الأم المتبقية عند الزمن (t)

λ : ثابت الانحلال (المعدل الزمني للانحلال (decay rate) $\lambda = \frac{0.693}{t_{1/2}} \text{ sec}^{-1}$)

t : زمن الانحلال (الزمن المار على الانحلال من بدئه حتى وقت القياس)

وتصنف النظائر الموجودة في الطبيعة الى نوعين أساسيين اعتمادا على النسب بين

عدد البروتونات والنيوترونات هما:

أ - نظائر مستقرة (*stable isotopes*):

هي النوع الغالب من النظائر في الطبيعة ومن أمثلتها نظائر الأوكسجين والكبريت.

ب - نظائر مشعة (*radioactive isotopes*):

هي اقل وفرة في الطبيعة ويرجع سبب نشاطها الإشعاعي الى احتواء نوياتها على طاقة زائدة تجعل ذراتها تعمل دائما وتلقائيا على التخلص من ها. ويلاحظ ان بعض العناصر تكون بعض نظائرها مستقرة كما في حالة الأوكسجين وبعضها تكون كل نظائرها مشعة كما في حالة اليورانيوم و ^{238}U ، ^{235}U ، ^{234}U وبعضها يكون خليطا من النظائر ال مستقرة والمشعة مثل الكربون الذي يتكون في كثير من المواد من النظيرين ^{12}C ، ^{13}C المستقرين والنظير ^{14}C المشع [59].

Types of Radiation

(2-2) أنواع الإشعاع :

يمكن التمييز بين انواع الإشعاع من خلال العديد من المعلمات (parameters) مثل الشحنة والكتلة وكذلك كمية الطاقة ، فيسمى الإشعاع ذو مستوى الطاقة المنخفضة بالإشعاع غير المؤين . اما الإشعاع ذو مستوى الطاقة العالية فيسمى بالإشعاع المؤين ويعد الطيف الكهرومغناطيسي مثلا جيدا لتغير طاقة الإشعاع [60] كما هو موضح بالشكل (1-2).



الشكل (1-2) الطيف الكهرومغناطيسي [60].

(1-2-2) الإشعاع غير المؤين : *Non- Ionizing Radiation*

هو نوع من انواع الإشعاع الكهرومغناطيسي الذي يمتلك أطوالاً موجية طويلة بنحو ($100 <$ نانومتر)، وطاقة فوتون قليلة (اقل من 12.4 eV). وتكون هذه الطاقة كافية لتحريك الذرات حول جزيئات المادة او تسبب لها الاهتزاز ولكنها غير كافية لاقتلاع الالكترونات مثل الموجات الراديوية و الموجات الدقيقة و الضوء المرئي [61، 62].

(2-2-2) الاشعاع المؤين: *Ionizing Radiation*

تتميز هذه الإشعاعات بامتلاكها طاقة تكفي لتأيين (اقتلاع الالكترون) او تهيج ذرات المادة التي تتفاعل معها [62] ، وامتلاكها أطوالاً موجية قصيرة . ان الإشعاعات المؤينة مقارنة بغيرها من الإشعاعات يمكنها ايداع كمية كبيرة من الطاقة في مساحة صغيرة ، وفي الواقع فان الطاقة الناتجة عن كل تأين التي قيمتها اكثر من (33eV) كافية لكسر الروابط الكيميائية بين اثنين من ذرات الكربون (مثلاً)، ولذا فإن كل الإشعاعات المؤينة قادرة بشكل مباشر او غير مباشر على ازالة الالكترونات من معظم الذرات ، وأيضا يمكن ان تكون هذه الإشعاعات جسيمية (مثل جسيمات الفا وغيرها) أو كهرومغناطيسية (مثل الأشعة السينية وأشعة كاما) [63]، ومن هذه الإشعاعات :

(1-2-2-2) جسيمات الفا α : *Alpha Particles*

هي عبارة عن نواة ذرة الهيليوم ^4He ، المكونة من بروتونين ونيوترونين .وهي بذلك عبارة عن جسيمات مشحونة موجبة الشحنة تبلغ شحنتها ضعف شحنة البروتون ،لذا فان يمكن التحكم في مسارها باستعمال مجالات كهربائية او مغناطيسية ، كما يمكن تعجيلها باستعمال المعجلات النووية الى قيم عالية للطاقة [64] ، و تنبعث جسيمات الفا من عمليات الانحلال التي تحصل في نوى العناصر الثقيلة مثل اليورانيوم – 238 والراديوم - 226 والثوريوم - 232 ، تكون قيمة الانتقال الخطي للطاقة (LET) لجسيمات الفا عالية ، على الرغم من ان جسيمات الفا نشيطة جدا الا ان الكتلة الكبيرة لهذه الجسيمات تجعلها تتحرك ببطئ في الهواء . ويتم ايقاف هذه الجسيمات عن طريق قطعة من الورق او عن طريق الطبقة الخارجية من الجلد من دون ان تمثل اي خطر خارجي ع لى الإنسان .ولكن عند دخول هذه الجسيمات الى داخل الجسم وذلك عن طريق الاستنشاق او الابتلاع فانها تمثل خطرا جسيما على الانسجة والخلايا داخل الجسم [62, 63].

Beta Particles**(2-2-2-2) جسيمات بيتا β :**

تنقسم جسيمات بيتا الى نوعين : هما جسيمات بيتا السالبة (الالكترونات) وجسيمات بيتا الموجبة (البوزترونات) والبوزترون هو عبارة عن جسيم مساو في كتلته للإلكترون ، ولكن شحنته موجبة .ولما كانت هذه الجسيمات مشحونة فانه يمكن التحكم في مسارها باستعمال المجالات الكهربائية والمغناطيسية ، كما يمكن تعجيلها الى طاقات عالية وتنتمي جسيمات بيتا الى فئة الجسيمات المشحونة الخفيفة [61] ، يتعرض الإنسان لجسيمات بيتا اما من مصادر طبيعية واما من مصادر صناعية مثل الكربون - 14 والستريونيوم - 90. ان قيمة الانتقال الخطي للطاقة (LET) لجسيمات بيتا متوسطة ، تمتلك هذه الجسيمات قدرة على الاختراق اكثر من جسيمات الفا ولكنها اقل ضررا منها ولكن يزداد خطر هذه الجسيمات عندما يتم استنشاقها او ابتلاعها .و يمكن ايقاف هذه الجسيمات من خلال طبقة رقيقة من الملابس ، او بضعة مليمترات من الألمنيوم [63,62].

Gamma Ray**(3-2-2-2) أشعة كاما γ :**

هي عبارة عن موجات كهرومغناطيسية بطول موجي قصير جدا يتراوح بين $1000-3$ Å أو أقل ، لأنها موجات كهرومغناطيسية فلا يصاحب في انطلاقها تغير في العدد الكتلي أو العدد الذري ولذلك لا يتغير العنصر ، ولكنها تنتج عن اعادة ترتيب النيوكليونات داخل النواة بعد انبعاث جسيمات الفا وبيتا . وهي تنبعث خلال العمليات النووية كالتفاعلات النووية .ومن مصادرنا الطبيعية الشمس (المفاعل الاندماجي كبير) والمواد المشعة الأرضية مثل الراديوم ومن مصادرنا الصناعية مثل السيزيوم- 137 الكوبلت المشع-60 واليود المشع-131 [65] ، والتي هي من نواتج الأنتشار أو التشعيع بالمفاعلات ، و تكون قيمة الانتقال الخطي للطاقة (LET) لأشعة كاما منخفضة ، ان لهذه الجسيمات القدرة على الاختراق بصورة عالية ، اذ يمكن ان تمر بسهولة خلال الجسم او تمتصها الانسجة مما يمثل خطراً على الجسم بأكمله. ويتم ايقافها باستعمال معادن كثيفة مثل الرصاص [63,62] .

 χ - Ray**(4-2-2-2) الأشعة السينية :**

الأشعة السينية هي موجات كهرومغناطيسية ، ونرى ان اشعة كاما والأشعة السينية تمازان بالخصائص نفسها ولكنهما تختلفان في الاصل ، اي ان اشعة كاما تنبعث من نواة الذرة عند انتقال النواة من حالة مثارة الى حالة اقل اثارة او الى الحال الأرضية ، اما الأشعة السينية فهي لا تنبعث على الاطلاق من النواة ، وإنما تنبعث اما عن اعادة ترتيب الالكترونات بين مدارات الذرة او عند حدوث انكباح شديد [64] ، وتمتلك الأشعة السينية قدرة اختراق اقل من اشعة كاما .و تستعمل الأشعة

السينية في مجالات كثيرة كما في الطب والصناعة وغيرها من المجالات الأخرى لذلك تعد الأشعة السينية واحدة من أكبر مصادر التعرض للإشعاع الصناعي ، وللحماية من هذه الأشعة تستعمل مواد كثيفة مثل الرصاص أيضاً وكما في حالة أشعة كاما [62,63].

(5-2-2-2) النيوترونات : *Neutrons*

هي جسيمات غير مشحونة وهي مؤينة ولكن بصورة غير مباشرة إذ تقوم هذه الجسيمات أولاً بإعطاء طاقتها كلياً أو جزئياً إلى الجسيمات المشحونة في المادة عن طريق التصادم (الاستطارة) معها ، وبعد ذلك تقوم الجسيمات المشحونة السريعة الناتجة بإعطاء طاقتها إلى المادة بطريقة الإشعاعات المؤينة نفسها بصورة مباشرة [66]، وتكون قيمة الانتقال الخطي للطاقة (LET) للنيوترونات عالية وتمتلك النيوترونات قدرة اختراق عالية ، ولكن لعدم امتلاكها شحنة يتم إيقافها بمواد ذات عدد ذري قليل تسمى المهدئات (مواد خفيفة مثل الماء وشمع البرافين) ، لأنها تتفاعل عن طريق التصادم ولاسيما مع نوى الذرات ذات المساحة العرضية الكبيرة مقارنة بالالكترونات [63].

(3-2) مصادر الإشعاع : *Radiation's Source*

تعرض الكائنات إلى عدد من مصادر الإشعاع التي تتوزع في البيئة وهناك م صدران رئيسان للإشعاع في البيئة [67].

1-المصادر الطبيعي للإشعاع .

2- المصادر الصناعية للإشعاع .

(1-3-2) المصادر الطبيعية للإشعاع: *Natural Radiation Sources*

يعود الجزء الأكبر من الإشعاع الذي يستلمه سكان العالم إلى المصادر الطبيعية، التي لا يمكن تجنب التعرض الناتج من أغلبها مثل الأشعة الكونية والعناصر المشعة في القشرة الأرضية مثل اليورانيوم والثوريوم والبوتاسيوم والراديوم [67] ويمكن تقسيم المصادر الطبيعية إلى :

(1-1-3-2) الأشعة الكونية: *Cosmic Ray*

تتألف الأشعة الابتدائية التي تتولد في الفضاء الخارجي والتي ترتبط م بصورة متساوية م ع أعلى الجو من (87%) بروتونات و (11%) جسيمات ألفا و (1%) من نوى لها عدد ذري يتراوح بين

(4-26) ونحو (1%) الكترونات ذات طاقة عالية جداً. وتسمى الأشعة الكونية قبل تفاعلها مع الغلاف الجوي بالأشعة الأولية (Primary Cosmic Rays) وبعد تفاعلها تسمى بالأشعة الثانوية (Secondary Cosmic Rays)، تنتج العديد من النويدات المشعة الموجودة على سطح الأرض وفي الجو عن طريق تفاعل الأشعة الكونية مع النوى في الجو مثل الكربون ^{14}C ، البريليوم ^{7}Be ، ^{10}Be ، الصوديوم ^{22}Na ، الفسفور ^{32}P ، ^{33}P ، الكبريت ^{35}S ، الكلور ^{36}Cl [71]. تتفاعل النيوترونات السريعة مع النتروجين في الغلاف الجوي مكونة التريتيوم (الهيدروجين الثقيل المشع) أما بعد انخفاض طاقة النيوترونات إلى المستوى الحراري فأنها تتفاعل مع النتروجين أيضا وتعطي الكربون-14 المشع.

إذ أن المحتوى الكلي للنتروجين في القشرة الأرضية ثابت تقريبا، لذا فلن كمية كلا من الكربون-14 والتريتيوم المشعين تكون ثابتة أيضا في القشرة الأرضية نظرا لأن معدل تكون هذه النويدات المشعة ثابت وكذلك معدل تحللها [68].

2-1-3-2) الإشعاع ذو المنشأ الأرضي : Terrestrial Radiation

وهي اشعة منبعثة من النويدات البدائية المشعة طبيعيا (Primordial Radionuclide) والموجودة في القشرة الارضية واغلب النويدات المشعة الطبيعية تعود الى متسلسلات اليورانيوم- 238 والثوريوم-232 واليورانيوم-235 ومن غير هذه المتسلسلات تتوافر في الطبيعة عناصر آخر مثل البوتاسيوم-40 والروبيديوم-87 وغيرهما المشعة طبيعيا وتمتاز النظائر المشعة التي تنتمي الى احدى هذه المتسلسلات بأعمار نصف مختلفة ولا يقل العدد الذري لاي منها عن ا لعدد الذري للرصاص الذي ينتهي اليه المتسلسلات كافة. وتوجد الان في الطبيعة ثلاث متسلسلات مشعة هي اليورانيوم، الثوريوم والاكينيوم وثبت وجود سلسلة النبتونيوم التي انتهت من الطبيعة بسبب قصر عمر نظائرها وتبعث هذه السلاسل جسيمات الفا بصورة رئيسة فضلا عن ذلك جسيمات بيتا وأشعة كاما. وتقسم النويدات المشعة ذات المنشأ الأرضي الى قسمين هما [69,70]:

أ - المصادر الإشعاعية الأرضية المتسلسلة :

يقصد بالمتسلسلة (series) مجموعة من العناصر المشعة التي تكونت بفعل سلسلة متتابعة من الانحلالات الإشعاعية تبدأ بالعنصر الام وتنتهي بالنوييدة الوليدة او البنت وتمتثل جميع انوية النظائر في هذه السلاسل بعددها الذري الاكبر من 82. و ان العناصر الثقيلة جميعها تتوزع الى السلاسل الآتية [71]:

Uranium Series**أولاً: سلسلة اليورانيوم - 238 :**

تبدأ هذه السلسلة بنظير ^{238}U الذي يمتلك عمر نصف مقداره $(4.5 \times 10^9 \text{ years})$ وتعاني نويدات هذه السلسلة العديد من الانحلالات باعثة فيها جسيمات (α) او (β) ويصاحب معظمها انبعاث (γ) لتنتهي هذه السلسلة بالنظير المستقر الرصاص - 206، كما مبين في الشكل (2-2). يوجد اليورانيوم -238 في الطبيعة بنسبة (99.27%) . و بحسب العدد الكتلي لهذه السلسلة من الصيغة $(4n+2)$ إذ أنّ (n) هنا عدد صحيح يميز الأعداد الكتلية لنظائر هذه السلسلة الذي يقبل القسمة على 4 والباقي 2 [73,72]. تتميز هذه السلسلة بأن غاز الرادون-222 هو أحد النظائر الوليدة الذي يتميز بكونه غازاً ساماً مشعاً . ويبلغ عمر النصف له نحو (3.82 day) وهو النواة الوليدة لانحلال النواة الراديوم-226 وهو غاز غير مرئي و عديم الطعم والرائحة . إن وجود الراديوم-226 في هذه السلسلة بوصفه النظير المشع المهم ، ويعد الدليل على وجود اليورانيوم-238 في النموذج الذي يحتويه خلال قياس أشعة (γ) الناتجة عن انحلاله [75,74].

Thorium Series**ثانياً : سلسلة الثوريوم - 232 :**

تبدأ هذه السلسلة بنظير ^{232}Th الذي يمتلك عمر نصف $(1.4 \times 10^{10} \text{ years})$ ، اذ تعاني هذه الأم العديد من الانحلالات لتنتهي بالنظير المستقر الرصاص 208 ، كما مبين في الشكل (2-3)، ويوجد الثوريوم في الطبيعة متوافراً (100%) ولكن بتراكيز قليلة . بحسب العدد الكتلي لهذه السلسلة من الصيغة $(4n)$ ، اذ ان (n) عدد صحيح يميز الأعداد الكتلية لنظائر هذه السلسلة [73,72]. وتضم هذه السلسلة غاز الثورون-220 (Thoron) وهو الاسم الاصطلاحي للرادون-220 ويرمز له Tn ، بعمر نصف مقداره (51.1 sec) وكما تمتاز هذه السلسلة باحتوائها على نظائر باعثة لأشعة كما بطاقات مميزة [70].

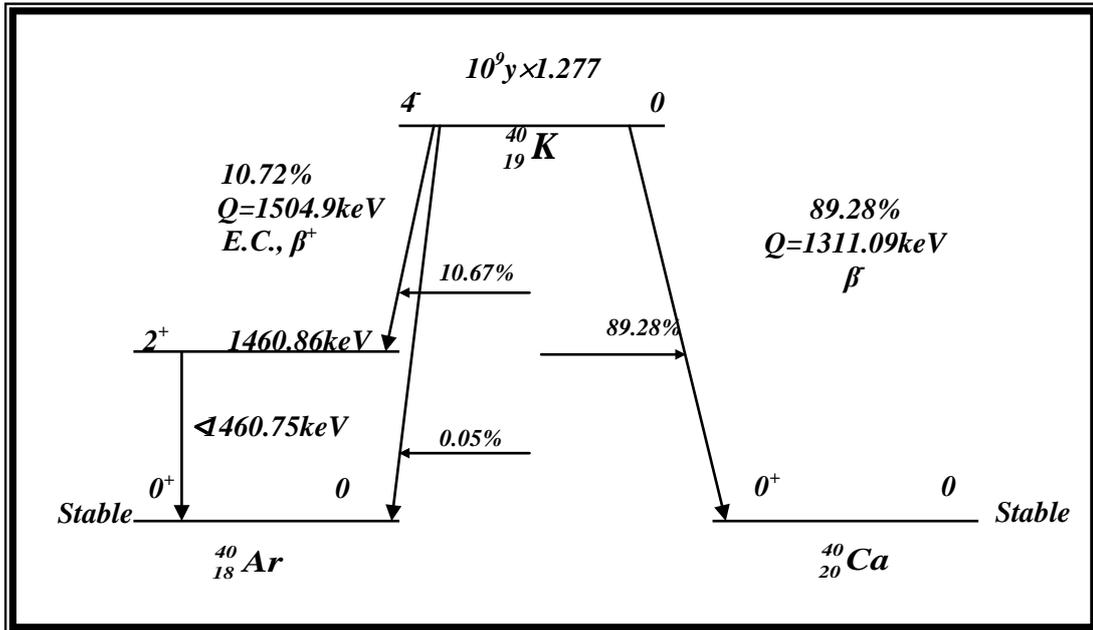
Uranium Series**ثالثاً : سلسلة اليورانيوم - 235 :**

ان النظير الام لهذه السلسلة هو ^{235}U وعمر النصف له هو $(7.1 \times 10^8 \text{ years})$ ووفرتة (0.721%) ويعاني العديد من الانحلالات ال تي تنتهي بالنظير المستقر الرصاص-207 كما هو موضح بالشكل (2-4). بحسب العدد الكتلي لهذه السلسلة من الصيغة $(4n+3)$ وهذا يعني ان العدد الكتلي يقبل القسمة على 4 ويكون الباقي نحو3 [73,72]. وتتميز هذه السلسلة بوجود غاز الاكتينيون -219 وهو النظير المشع للرادون ورمزه Ac وعمر نصف قصير جدا (3.55 sec) ، كما تمتاز أيضا بأن التحلل الإشعاعي لنظائرها لا يصاحبه انبعاث أشعة كما ذات طاقات متميزة بخلاف السلاسل الأخر

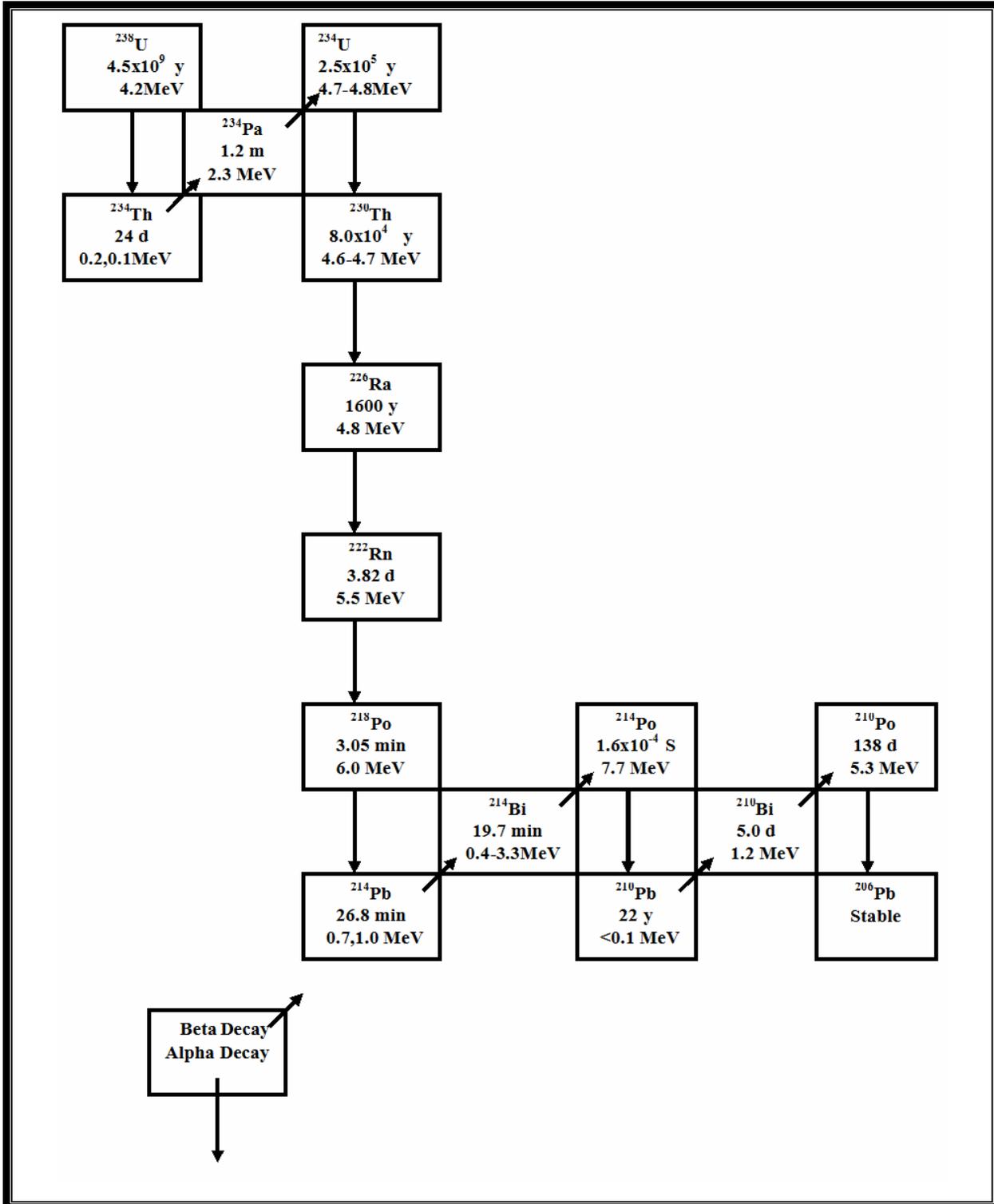
المصحوبة بانبعثات أشعة كاما بطاقات متميزة [69]. بعد اكتشاف الانشطار النووي وانتاج عنصر النبتونيوم-93، وجد ان هذا العنصر هو عضو في المتسلسلة المترابحة $(4n+1)$ المبتدئة نبتونيوم-237 وتنتهي بالنتاج المستقر البزموت-209 [70].

ب - المصادر الإشعاعية الأرضية المنفردة:

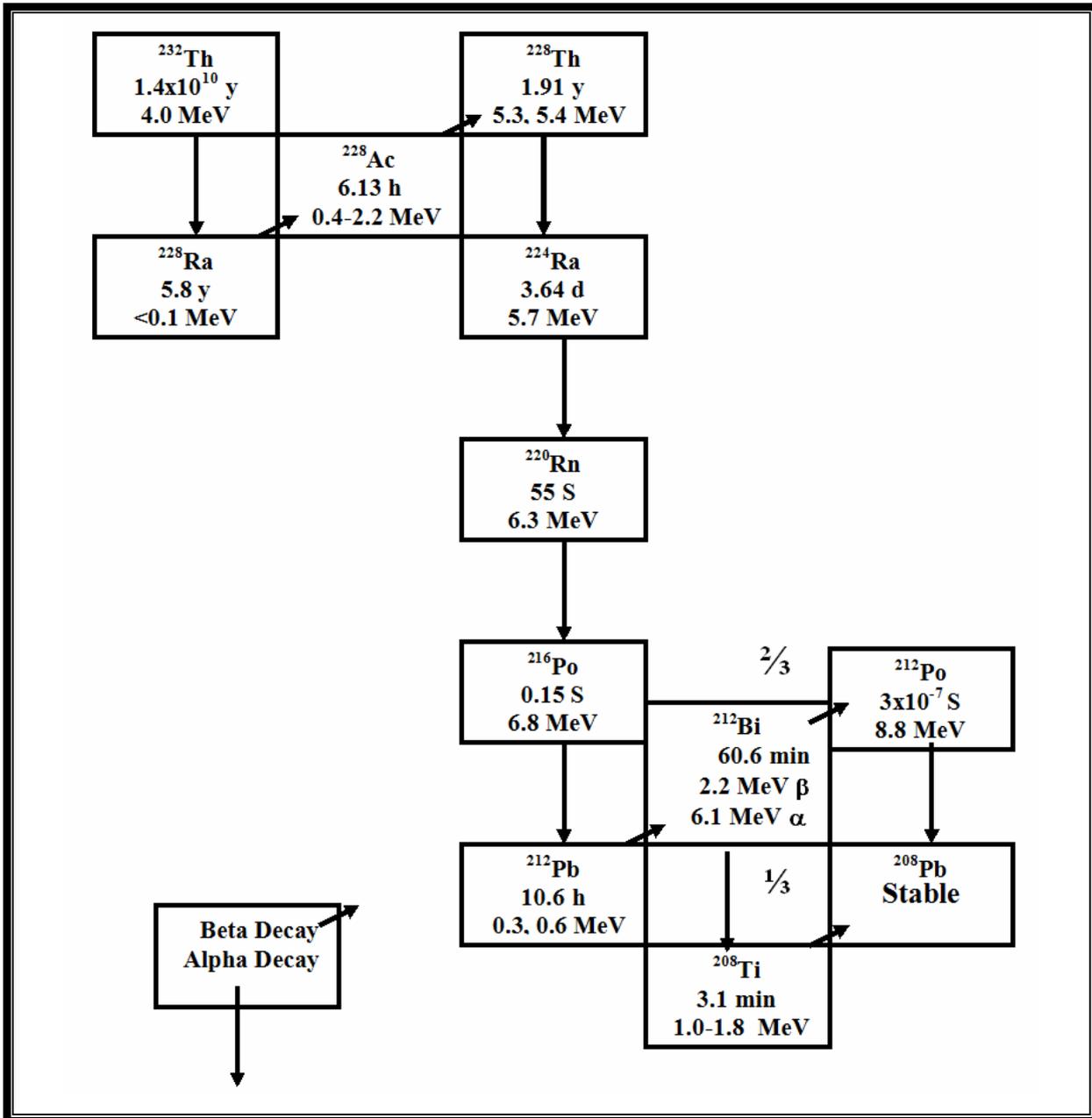
وهي تتمثل بالمصدر المشع الذي يتحول الى نظير مستقر بصورة مباشرة ، مثل الربيديوم 87- والذي يمتلك عمر نصف مقداره 47.5 بليون سنة و البوتاسيوم ^{40}K الذي يعد من مكونات القشرة الأرضية وله عمر نصف يقارب عمر الأرض والذي يبلغ $(1.28 \times 10^9 \text{ years})$ [77,76]. ويمكن تميز اضمحلاله عن اضمحلال النويدات المشعة في السلاسل المذكورة سابقا من خلال الخط الكامي المفرد ذي الطاقة (1460.75 keV) ، اذ ان 89.28% من نوى (^{40}K) تنحل ببعث جسيم بيتا (β^-) مكونة بذلك (^{40}Ca) ونسبة 10.72% منها تنحل بالأسر الالكتروني وبعث اشعة كاما بطاقة (1460.75keV) مكونة (^{40}Ar) كما في الشكل الآتي [78, 79].



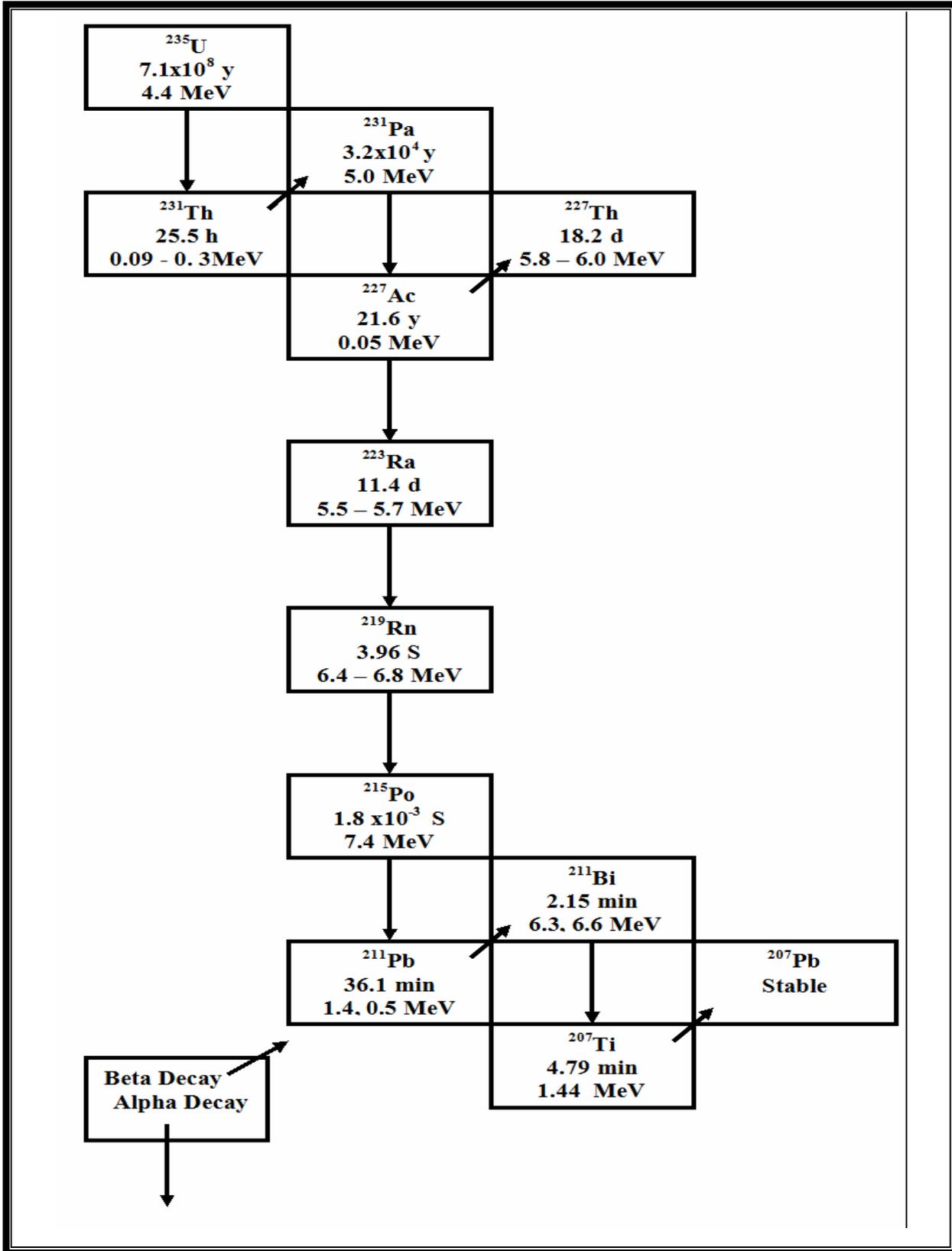
الشكل (5-2) سلسلة انحلال البوتاسيوم - 40 [78].



شكل (2-2) سلسلة اليورانيوم-238 [80].



شكل (2-3) سلسلة الثوريوم-232 [80].



شكل (4-2) سلسلة اليورانيوم-235 [80].

(2-3-2) المصادر الصناعية للإشعاع: Artificial Radiation Sources

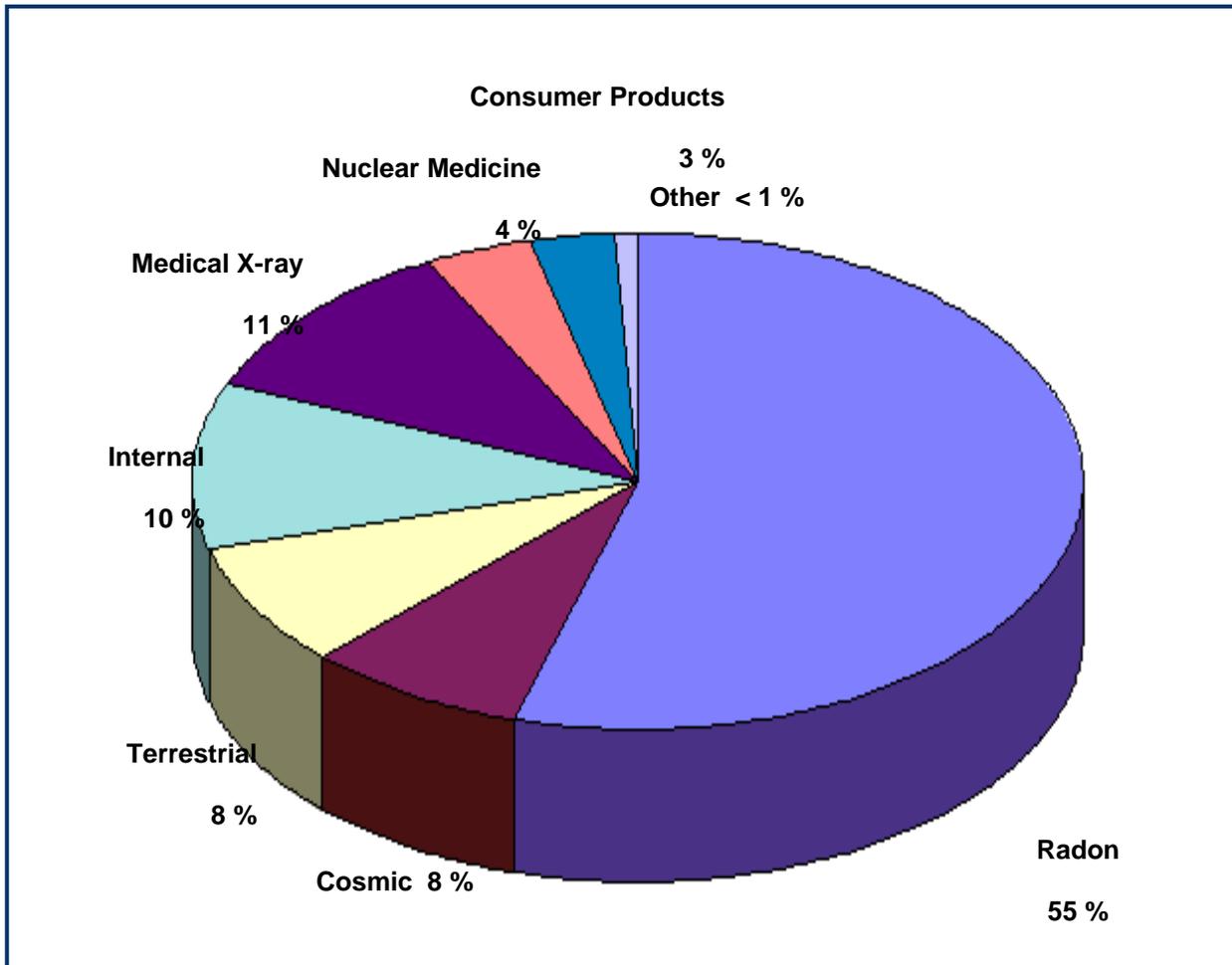
تسمى العناصر التي لم يعثر عليها في الطبيعة بل أمكن الحصول عليها اصطناعيا (بالنظائر المشعة الاصطناعية) [81] فقد تمكن العلماء من إنتاج ما يزيد على أكثر من ألف وثلاثمائة نظير نشط إشعاعيا ، وتنتج هذه النظائر الأخيرة عن قصف النظائر المستقرة بأنواع مختلفة من الجسيمات النووية مثل جسيمات ألفا والبروتونات والنيوترونات وأشعة كاما ، وتستعمل لهذا الغرض المفاعلات النووية بوصفها مصدرا للنيوترونات أو المعجلات بوصفها مصدرا للجسيمات المشحونة الثقيلة ، وكذلك بوصفها مصدرا لإشعاعات كاما أو النيوترونات السريعة [64]. كما تضم المواد المشعة الناتجة من توليد الطاقة الكهروضوئية التي تضم تعدين اليورانيوم وطحنه وتصنيع الوقود النووي ، وتشغيل المحطات الكهروضوئية، واستخلاص الوقود النووي، وخزن النفايات المشعة ورميها الناتجة عن توليد الطاقة الكهروضوئية ، فضلا عن ذلك العناصر المشعة المطلقة عن منشآت البحوث النووية وتجارب الأسلحة النووية [82].

(4-2) غاز الرادون : Radon Gas

الرادون هو عنصر غازي تم اكتشافه في عام 1899 من قبل العالمين R.B.Owens و E.Rutherford [7] ، والرادون غاز عديم اللون والطعم والرائحة ، ونصف قطره الذري هو 1.34 انكستروم [83]. ينتمي غاز الرادون إلى مجموعة الغازات النبيلة (Noble gases) في عناصر الجدول الدوري الذي يضم غازات الهليوم والنيون والأرغون والكريبتون والزينون الخ ، ويبلغ عدده الذري (86) ، ونقطة غليانه (-61.8°C) ونقطة انجماده (-71.0°C) وكثافته (9.73 kg.m^{-3}) ، فذرة الرادون كباقي الغازات النادرة نادرة ما تتفاعل. لذلك يمكنها أن تنتشر بسهولة عبر المواد النافذة للغازات كلها ، لأنها خاملة كيميائيا وبسبب هذه الخواص يصعب الكشف عنه ، لذلك يعتمد في كشفه بشكل رئيس على كشف الأشعة المرافقة لتفككه وتفكك وليداته . إن غاز الرادون أثقل من الهواء بسبع مرات ونصف مما يؤدي إلى وجوده في الأسفل دائما، وهو يختلط تقريبا بشكل متجانس مع الهواء الداخلي للمنازل ، إذ يكون تركيز الرادون داخل المنازل بشكل عام أعلى من 2 إلى 10 مرات منه في الخارج ، لذا فإنه غالبا ما يهمل التعرض للرادون خارج المنازل [84] .

تخمن اللجنة العلمية لتأثيرات الأشعة التابعة للأمم المتحدة The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation(UNSCEAR) أن الرادون يساهم مع النويدات الوليدة المشعة الناتجة عن انحلاله نحو ثلاثة أرباع مكافئات الجرعة المؤثرة السنوية التي

يتسلمها الإنسان كل على حدة من المصادر الطبيعية الأرضية و نحو أكثر من نصف الجرعة الكلية من جميع المصادر الطبيعية والصناعية مجتمعة وترجع النسبة العظمى من هذه الجرعة إلى استنشاق هذه النويدات المشعة مع الهواء في الدور والمباني بصورة خاصة [75, 85] ويوضح الشكل (2-6) مساهمة الرادون في الجرعة الإشعاعية الكلية .



الشكل (2-6) مساهمة الرادون في الجرعة الإشعاعية الكلية. [86]

Sources of Radon

(1-4-2) مصادر الرادون:

إن المصادر الأساسية للرادون هي التربة والصخور والماء ومواد البناء.

أولاً: التربة والصخور:

إن نحو 80% من غاز الرادون المنبثق إلى الوسط الخارجي ينتج من الطبقة العليا للأرض، كما هو معلوم فإن وجود الراديوم - 226 لذا يكون اليورانيوم -238 هو السبب في انبعاث الرادون من التربة ،

وجود اليورانيوم في كل من التربة و صخور القشرة الأرضية ، يتفاوت بشكل كبير من مكان إلى آخر بحسب طبيعة الصخر أو التربة .وان الصخور الموجودة في القشرة الارضية تحوي نحو 0.7pCi/g [87]. والتربة نحو 0.7pCi/g [87]. حيث تحوي الصخور النارية الحامضية و فوق الحامضية، مثل عائلة الجرانيت نسبة عالية من كل من اليورانيوم والثوريوم مقارنة بالصخور الرسوبية باستثناء الصخور الفوسفاتية التي هي أكثر إشعاعية . ومعدل تحرر غاز الرادون منها متفاوت تبعاً لتركيز الراديوم فيها. كما يتحرر غاز الرادون من التربة الحاوية على نسب عالية منه، إلى الجو لاسيما في مناطق الضغط الجوي المنخفض، أما في المناطق التي يرتفع فيها الضغط الجوي فقد يتحرك غاز الرادون من الجو إلى التربة. كذلك فإن المنازل تعمل عمل المدخنة بسحبها غاز التربة من أسفل المنزل، ومن الأراضي القريبة منه. وإذا كانت أرضيات المباني خرسانية فإنها تمنع تخلل غاز الرادون من الأرض ، إلا إذا كانت هناك فتحات أو شروخ في الأرضيات الخرسانية تسمح بتخلل الغاز . والعوامل التي تؤثر على حركة غاز الرادون في التربة هي: المسامية و النفاذية وما تحويه من رطوبة ، كما تعتمد على حجم حبيبات التربة [88].

ثانياً: الماء:

يُحجّ الرادون متوسط الذوبان في الماء وكلما ازداد معدل الذوبان كانت درجة حرارة الماء منخفضة، تمتص المياه الجوفية كميات من الرادون عند مرورها على طبقات الصخور والتربة بباطن الأرض، وعند تدفق الماء او تعرضه لارتفاع في درجات حرارته فهذا يساعد على تحرر الرادون منه، إذ يتغير معدل ذوبان الرادون بالماء عند الضغط الجوي العادي مع تغير درجة الحرارة فيزداد ذوبان الرادون بالماء مع انخفاض درجة الحرارة [89]. وتعتمد كمية الرادون في الماء بشكل رئيس عند استعمالها على عاملين : الأول : هو المواصفات الجيولوجية، والثاني : مصدر الماء المستعمل [87]. فبالنسبة للعامل الأول، فلقن كمية الرادون تعتمد على مواصفات الصخور الموجودة ونوعها. أما نوع الماء المستعمل فهو عامل مهم جداً، إذ وجد أن الرادون الناتج عن الماء ي شكل مشكلة في المنازل التي تستعمل مياه الآبار بشكل مباشر، بينما لا تكون مشكلة بحد ذاتها في المنازل التي تعتمد على شبكة المياه العامة. وذلك لأنه غالباً ما يتم حفظ مياه الشبكة العامة من أجل المعالجة ومن ثم التخزين وبعد ذلك التوزيع، وخلال هذه المدة يتفكك غاز الرادون ونواتج تفككه المنحلة في الماء قبل أن يصل المنازل، يتم فقدان الرادون بسرعة من المياه السطحية إلى الجو بواسطة الان تشار ولذلك تشارك الم حيطات بنحو (1%) من كمية الرادون الصادرة إلى الوسط الخارجي ويعود السبب في ذلك إلى أن محتوى ماء البحر من اليورانيوم و الراديوم أقل بكثير من محتوى التربة والصخور . وأما في المياه الجوفية فيعزى وجود

الرادون إلى تفكك الراديوم الموجود في الصخور والتربة الذي انحل في هذه المياه وإلى الرادون المنحل والنتائج عن تفاعل الراديوم غير الموجود على تماس مع هذه المياه [90].

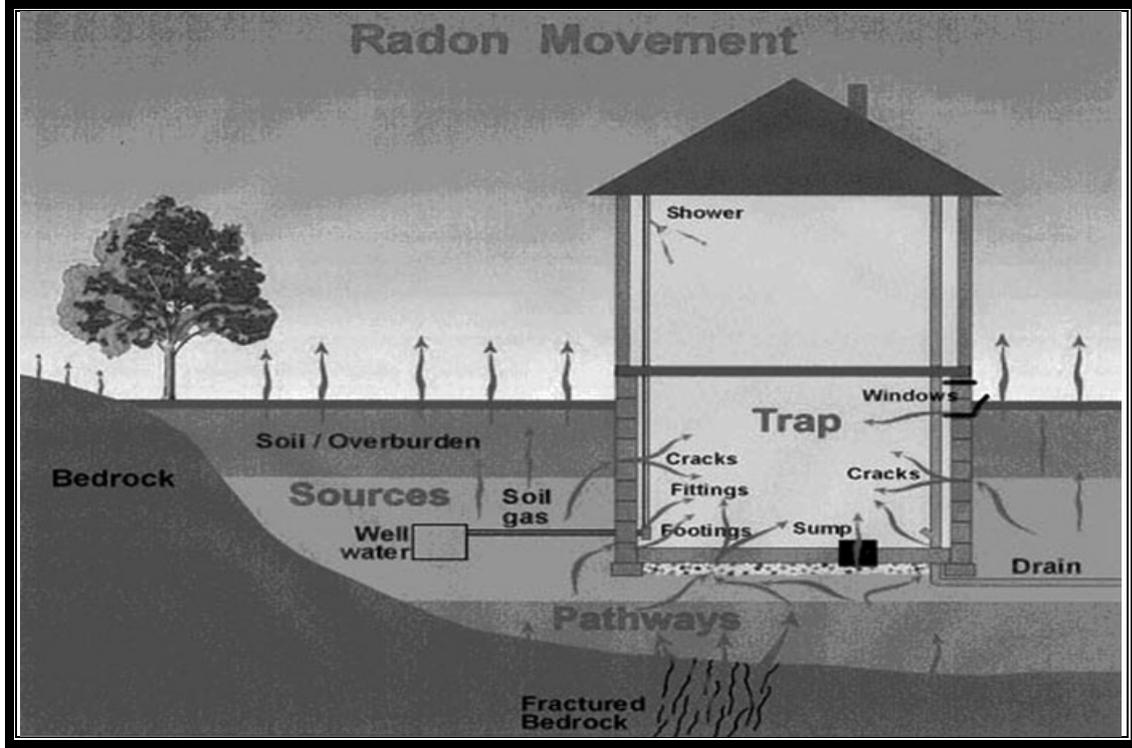
ثالثاً: مواد البناء:

ان معظم المواد الإنشائية لمواد البناء (Construction materials) حاوية على كمية معينة من اليورانيوم والراديوم الباعث لغاز الرادون ^{222}Rn وتكون بعض هذه المواد ذات فعالية إشعاعية أكثر من غيرها كفوسفات الجبس والكونكريت المشبع بحجر الشب وحجر الصوان والأحجار الفلورية، أما مواد الجبس الطبيعي والخشب فهما ذات فعالية إشعاعية أقل، لذا فإن أكثر من (40%) من الفعاليات الإشعاعية توجد داخل الأبنية بسبب إن جدران هذه الأبنية وسقفها وأرضيتها مصنوعة من الرمل والصخور والإسمنت والأتربة، وهذه المواد تحتوي على كميات من العناصر المشعة الطبيعية مثل (^{40}K و ^{232}Th و ^{238}U). وإن التربة الموجودة تحت البيوت يمكن أن تكون مصدر مهم للرادون ولاسيما عند وجود تصدعات في البناء الأساس [91]، ويعد الخشب من مواد البناء التي تحتوي على كمية منخفضة جداً من الراديوم ولا يعد مصدراً للرادون [92].

(2-4-2) غاز الرادون داخل الأبنية:

يدخل الرادون المباني بشكل رئيس من الأرض عن طريق الفراغات الموجودة في هيكل المبنى، كما يدخلها بدرجة أقل من مواد البناء ومن الماء الذي يغذي المبنى ومن غاز الطبخ المستعمل وتراكم الرادون داخل المباني هو عادة أعلى مما في خارجها. فلذا كان معدل دخول الرادون ثابتاً، فإن تركيز الرادون في المبنى يعتمد وبشكل كبير على معدل التهوية فيه. فإذا قل معدل التهوية فإن تركيز الرادون سيتضاعف. ومن هنا ينشأ الخوف من أن تقود وسائل حفظ الحرارة أو البرودة في المنازل لغرض توفير استهلاك الطاقة إلى ارتفاع تراكيز غاز الرادون [84]. وتزداد تراكيز غاز الرادون في الأماكن المغلقة بشكل أكثر عن الأماكن المكشوفة وفي الشتاء أكثر عما في الصيف، إذ إن الأماكن المغلقة وقلة التهوية تجعل الأمور أكثر سوءاً لأنها تؤدي إلى تجمع الغاز داخل هذه الأماكن المغلقة، لأن تركيز غاز الرادون الناتج في الهواء يتغير بتغير معدل التهوية، إذ تبلغ نسبة ما يتعرض له الناس من غاز الرادون في الأماكن المغلقة نحو (10) أضعاف ما يتعرضون له في الأماكن المفتوحة ولاسيما في فصل الشتاء وفي البلدان الباردة بسبب غلق الأبواب والنوافذ، وذلك للحفاظ على دفء المكان فيصبح تسرب غاز الرادون صعباً مما يؤدي إلى تزايد تركيزه وتزايد الجرعة الإشعاعية إلى مستويات عالية نوعاً ما [89]. إن تركيز الرادون يختلف باختلاف أنواع مواد البناء المستعملة اعتماداً على منشأها، وهناك عوامل

أخر تؤثر على تراكيز الرادون داخل الأبنية منها مسامية المواد وسمك الجدران وتصميم المساكن وموقعها الجغرافي [93]. ويبين الشكل (7-2) مصادر الرادون داخل الأبنية.



شكل (7-2) مصادر الرادون داخل الأبنية [94].

Risk of Radon

(3-4-2) مخاطر الرادون:

يشع الرادون ($^{222}_{86}\text{Rn}$) في الهواء جسيمة ألفا ونواة ($^{218}_{84}\text{Po}$) المشحون كهربائياً وتلتصق بذرات التراب أو الغبار وبقطرات الماء في الجو والمواد الموجودة على سطح الأرض، ، لذا يكون الهواء الذي يتواجد فيه الرادون حاوياً على ذرات غبار محملة بنواتج تحلل الرادون ذات النشاط الإشعاعي العالي. وتلتصق مخلفات غاز الرادون بجميع الأسطح في الطبيعة بما فيها الهواء والترربة [95]، وهناك طريقتان يمكن للرادون ونواتج تفككه ان تدخل الى جسم الإنسان لاسيما الجهاز التنفسي والهضمي فالأخير لا يمثل خطورة ، لان وجود الطعام في المعدة ولو بسمك في حدود الملليمتر يمكن ان يوقف معظم جسيمات الفا الناتجة عن تفكك الرادون ووليداته، اما في حالة استنشاق وليدات الرادون العالقة في الهواء فإنها اذا دخلت الجهاز التنفسي تلتصق بجدار الرئتين [97,96] وتترسب قطرات الماء في الخلايا المخاطية التي تغطي القصبة الهوائية ، لذلك نلاحظ في عملية دخول غاز الرادون ومخلفاته إلى الرئتين القسم الأكبر منه يبقى في الخلايا المخاطية والقسم الباقي يخرج خارج الجسم بعملية الشهيق

والزفير وقسم قليل جدا يذهب إلى المجرى الدموي وإلى الأنسجة الشحمية ، ولأن القسم الأكبر من مخلفات غاز الرادون تبقى في المجاري التنفسية فإن هذه المخلفات تبتث جسيمات ألفا القصيرة الحياة المنبعثة من النويات الم شعة التي تسبب أضرارا بايولوجية عند ترسبها في داخل الجسم وفي الخلايا الحساسة لأنسجة القصبات الهوائية مسببة حدوث سرطان الرئة الذي يبدأ في خلايا القصبات الهوائية. إن هذا الخطر لا يكمن في التعرض لغاز الرادون وجسيمات ألفا التي تنبعث من انحلاله الإشعاعي فحسب وإنما من الخطر الذي تحمله النظائر المشعة الأخر التي تتولد بين ($^{222}_{86}Rn$) و ($^{206}_{82}Pb$) نتيجة التحولات لغاز الرادون في سلسلة انحلال ($^{238}_{92}U$) وهذه النظائر هي نظير ($^{218}_{84}Po$) ونظير ($^{214}_{82}Pb$) المشع و ($^{214}_{83}Bi$) إلى أن يصل إلى ($^{214}_{84}Po$) الذي يتحول إلى نظير ($^{210}_{82}Pb$) ومن ثم إلى نظير ($^{206}_{82}Pb$) المستقر، وهو ما يؤدي إلى تغييرات كيميائية في الخلية [97]. و الإشعاع قد يؤدي إلى تلف الحمض النووي (DNA) مباشرة من قبل تهجير الإلكترونات من جزيء الحمض النووي أو بشكل غير مباشر عن طريق تغيير تركيب جزيئات أخر في الخلية والتي قد تتفاعل مع الحمض النووي ومما يؤدي إلى تلف الخلية أو تغيير نمو الخلية وحدث طفرة وراثية [60]، لقد قدر أن نحو 6% من حالات الإصابات بسرطان الرئة في المملكة المتحدة يمكن أن تعزى إلى غاز الرادون. كما ورد في التقرير الرابع للجنة المؤلفة من أجل دراسة التأثير البيولوجي للأشعة المؤينة أن نحو 10% من الإصابات السرطانية نتيجة غاز الرادون كما أظهرت بعض الدراسات أنه يمكن أن يعزى ظهور بعض أنواع السرطانات مثل اللوكيميا وسرطان الكلية و البروستات التي تصيب الأشخاص والسبب يعود إلى تعرضهم لغاز الرادون [85].

(4-4-2) استعمالات غاز الرادون :

يستعمل غاز الرادون في الكشف عن الخامات المعدنية فقد لاحظ علماء الأرض منذ سنين عديدة وجود علاقة طردية بين غاز الرادون والعديد من الظواهر الجيولوجية مثل وجود خام اليورانيوم، و الكشف عن التراكيب الجيولوجية المختلفة، والمناطق الحرارية تحت سطح الأرض، ففي المناطق التي يزداد فيها تركيز اليورانيوم فإن تحرر الرادون يزداد معه ، كذلك وجدت نسب مرتفعة لغاز الرادون في العديد من مناجم الذهب والقصدير والفلورسبار (CaF_2) والحديد، فإذا كان تركيز خام اليورانيوم مرتفعا بحيث يكون ذا جدوى اقتصادية فإن غاز الرادون يكون موجودا بتركيز يزيد أضعاف المرات عن تركيزه في المناطق الأخر ، لهذا يعتمد حاليا عمال المناجم إلى تهوية مناجم اليورانيوم وغيرها من المناجم بشكل مستمر ، لتقليل تركيز غاز الرادون ووليداته فيها، كما يعتمد عمال المناجم إلى لبس

الكمادات الهوائية وتتم مراقبتهم لغرض التعرف على مقدار تعرضهم للإشعاع ولاسيما غاز الرادون [98].

أن الخلفية الإشعاعية يمكن أن تتفاوت بشكل كبير في أنحاء العالم، والسبب في ذلك هو الاختلافات في طبيعة السطوح، وقرب أو بعد سطح الخام، وبسبب الفروق في الطبيعة الجيولوجية في المناطق المختلفة، ويستعمل الرادون في التنقيب عن النفط والغاز إذ إن قياس تراكيز عالية لغاز الرادون قرب سطح الأرض هو دليل على وجود خامات هيدروكاربونية إضافة إلى وجود خامات الهيرانيوم، إذ أن الغازات التي تتسرب عن الخامات البترولية تتحرك نحو الأعلى محدثة بذلك جريانا تصاعديا (Up flow) قرب سطح الأرض حيث يقاس الرادون، وهكذا فإن قياس توكيز غاز الوادون قرب سطح الأرض قد يدل وبصورة غير مباشرة على وجود خامات النفط والغاز عند عمق معين في باطن الأرض [99] ويمكن عن طريق الرادون التنبؤ بالبراكين والزلازل لاسيما في المدة التي تسبق البراكين والزلازل، إذ يكون مصحوبا بزيادة مفاجئة لتراكيز الرادون نتيجة لحدوث انضغاطات واجهادات في القشرة الأرضية مع ارتفاع في درجات الحرارة وتساعد هذه العوامل على نقل غاز التربة من الأعماق إلى سطح الأرض. وقد وجدت علاقة إحصائية لحدوث الزلازل مع تركيز غاز الرادون في التربة، إذ وجد أن هذا ممكن أن يحدث في الصخور ذات المحتوى (100 ppm) من اليورانيوم بعمق مئات الأمتار [100].

(5-4-2) معامل انتشار غاز الرادون: Radon Diffusion Coefficient

إن انتشار غاز الرادون في المنازل هو عملية تتحدد بوساطة تدرج تركيز الرادون خلال مواد البناء بين مصدر الرادون والهواء المحيط، وانتشار الرادون وانتقاله خلال الأوساط المختلفة عملية معقدة وتتأثر بعدة عوامل منها المسامية و النفاذية ومعامل الانتشار، فزيادة المسامية تزيد المساحة الهوائية داخل المواد لانتشار الرادون خلالها [23,22]، النفاذية هي قدرة مكون ما مثل التربة والصخور على السماح لغاز الرادون بالمرور فيه من خلال المسام أو الشقوق، قد تكون نفاذية التربة العامل الأهم في تحديد حركة غاز الرادون من خلالها، وتتفاوت النفاذية عشرات الأضعاف حتى في النوع الواحد من التربة. وتشمل النفاذية عمليتي الانتشار والحمل، وهما عمليتان مهمتان كلاهما و على حدة، والعملية الأولى هي الغالبة في انتشار غاز الرادون من الأرض إلى الجو على مستوى العالم. و الذي يقدر أعلى حد له في الهواء الطلق بنحو ($10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$)، في حين تتراوح في العديد من الرمال الحاوية على نسب متفاوتة من التربة ما بين $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (3-1)، أما في بعض أنواع الطين والغرين فتتفاوت بين 10^{-7} - $10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ [88].

فكلما زادت النفاذية زادت معها قدرة غاز الرادون على الحركة. ومعامل انتشار الرادون للمواد هو قدرة غاز الرادون على التحرك خلال تلك المواد عندما يكون التدرج بالتركيز هو القوة الدافعة، ويتناسب معامل الانتشار مع المسامية ونفاذية الوسط، ويعتمد على توزيع الحجم الحبيبي ودرجة الضغط ومحتوى الماء في التربة ويخضع معامل الانتشار خلال المواد للمعادلة الآتية [23,22].

$$N=N_0 \exp (- \sqrt{\lambda/D) X \quad \dots(2-2)$$

اذ أنّ :

N : يمثل تركيز الرادون في أي زمن t على مسافة X من المصدر.

N_0 : يمثل تركيز الرادون عند المصدر .

λ : ثابت انحلال الرادون ($\lambda = 2.1 \times 10^{-6} \text{ sec}^{-1}$).

إذا كان N_2, N_1 هما تركيز الرادون على مسافة X_2, X_1 من المصدر على التوالي، عندئذ وباستعمال معادلة (2-2) فإن معامل الانتشار D يعطى بالمعادلة الآتية [23,22] :

$$D= \lambda [(X_2 - X_1)/ \ln(N_1/N_2)]^2 \quad \dots(3-2)$$

أما طول الانتشار فيعطى بالمعادلة الآتية:

$$L=\sqrt{D/\lambda} \quad \dots(4-2)$$

إذ أنّ:

L : طول الانتشار

D : معامل الانتشار .

يبين الجدول (1-2) معامل انتشار غاز الرادون وطوله في بعض مواد البناء [23, 16].

جدول (1-2) معامل انتشار غاز الرادون وطول انتشاره في بعض مواد البناء [23,16].

المواد	معامل الانتشار $\times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	طول الانتشار $\times 10^{-3} \text{ m}$	التقييم
الجبس	2.64±0.11	1.11±0.37	نافذ
الحجر الرملي	2.54±0.27	1.09±0.05	نافذ
سمنت	1.21±0.05	0.76±0.02	قليل النفاذية
كرانيت	0.06±0.01	0.17±0.01	غير نافذ
التربة	1.65±0.21	0.88 ±0.05	قليل النفاذية
رمل	4.29±0.34	1.42±0.46	نافذ
طابوق	0.35±0.59	400±20	نافذ
كونكريت	0.65±0.81*	430± 20.74*	نافذ

* هذه القيم تمثل المعدل بالنسبة للكونكريت .

(2-4-6)الكشف عن الرادون:

يتميز غاز الرادون بكونه غازاً مشعاً ، لذا فان عملية الكشف عنه وقياس تراكيزه في المواد (كالهواء والتربة والمياه، الخ) سوف تستند بصورة رئيسية إلى استعمال الكواشف النووية و تقسم هذه الكواشف الى نوعين هما :

1- الكواشف غير الفعالة Passive Detectors: وهي كواشف بسيطة التركيب والاستعمال .ولا تحتاج الى مجهزات قدرة بخلاف الأجهزة الالكترونية [6] ولها القابلية على تسجيل آثار جسيمات ألفا الناتجة عن انحلال الرادون بصورة مباشرة من دون أي فعل من المستعمل [101] وتستعمل في طريقة القياس طويلة الأمد ، قد استعملت كواشف الأثر النووي للحالة الصلبة (SSNTDs) على نطاق واسع، كونها تمتاز بكفاءتها العالية في القياس ومن أكثر الكواشف الصلبة استعمالاً هو كاشف CR-39 و LR-115 type II نوع II والماكروفول [102] وتم استعمال كاشف الاثر النووي نوع CR-39 في دراستنا الحالية.

2- الكواشف الفعالة Active Detectors: وهي عكس الكواشف السلبية إذ أنها لا تستغني عن القدرة الكهربائية في أثناء عملها وتنتمي كواشف أشباه الموصلات الى هذا النوع . وتستعمل الكواشف الفعالة في القياسات قصيرة الأمد ، إذ يتم حساب تراكيز الرادون أنيا وتستعمل هذه الطريقة من أجل مراقبة

التغيرات في مستوى انبعاث الرادون للمواقع الجيولوجية وفي التنبؤ بالزلازل. ويستعمل في هذه الطريقة العداد التناسبي (Proportional Counter) [103] أو العداد الوميضي (Scintillation Counter) لقياس جسيمات ألفا، وتستخدم أيضاً حجرات التأين (Ionization Chamber) وكواشف الحاجز السطحي (SBD) وتم استعمال جهاز Rad-7 في دراستنا الحالية.

إن هذين الصنفين والمذكورين أنفاً يمتازان بحساسيتهما العالية لجسيمات ألفا التي تنبعث من الرادون إلا أن الصنف الأول من الكواشف يكون مفضلاً عن الصنف الثاني في حالة القياسات طويلة الأمد أو التي تجري في ظروف بيئية قاسية أو في أماكن بعيدة لا تتوفر فيها القدرة الكهربائية.

(5-2) كواشف الأثر النووي في الحالة الصلبة:

Solid State Nuclear Track Detectors (SSNTDs)

أكتشفت هذه الكواشف في نهاية الخمسينيات ثم تطورت كثيراً حتى أصبحت تستعمل على مدى واسع في العديد من المجالات العلمية المختلفة [104].

تبلورت فكرة كواشف الأثر النووي للحالة الصلبة في عام (1958) عندما لاحظ (Young) الذي كان يعمل في مؤسسة أبحاث الطاقة الذرية في (Harwell) ببريطانيا أن بلورة فلوريد الليثيوم (LiF) الموضوعات بتماس مع لوحة من اليورانوم المشعة بالنيوترونات الحرارية قد ظهرت عليها آثار من الحفر (Pits) وذلك بعد قشطها بخليط من حامض الهيدروفلوريك والخليك، وقد وجد أن عدد الآثار يتناسب مع عدد الشظايا المنشطرة في لوح اليورانوم [105].

وفي عام (1959) لاحظ الباحثان (Barnes and Silk) اللذان كانا يعملان في مؤسسة أبحاث الطاقة الذرية في بريطانيا بوساطة المجهر الإلكتروني النافذ أضراراً خطية في صفائح المايكا الرقيقة المقصوفة بشظايا الانشطار (Fission Fragments) التلقائي الناتجة عن اليورانوم [106].

وفي بداية الستينيات قام فريق من العلماء (Fleischer, Price and Walker) من الشركة العامة للإلكترونيات ومركز تطوير الأبحاث في نيويورك بتطوير ما توصل إليه كل من (Barnes and Silk)، إذ سجلا ولاحظا آثار تصادم الشظايا في المايكا وتمكننا عن طريق استعمال عملية القشط أو التحفير الكيميائي إظهار هذه الآثار المتسببة عن شظايا الانشطار.

تعد كواشف الأثر النووي الصلبة إحدى الوسائل التي تسرع عمل للكشف عن الإشعاعات الجسيمية. إذ تعرف كواشف الأثر النووي بأنها تلك المواد الصلبة العازلة أو شبه الموصلة والتي لها القابلية على الاحتفاظ بتأثير الإشعاع الساقط المؤين في هذه المواد لمدة طويلة تحت ظروف اعتيادية من درجة الحرارة والضغط. إن تأثير الإشعاع يظهر على شكل تلف في التركيب الداخلي لهذه الكواشف نتيجة التغير الملحوظ في واحد أو أكثر من المتغيرات التي يمكن قياسها في هذه المواد، إن التلف الذي يحدثه الإشعاع داخل مادة الكاشف يمكن إظهاره ومشاهدته بطريقة مباشرة باستعمال المجهر الإلكتروني، أو بطريقة غير مباشرة وذلك بمعاملة هذه الكواشف بمواد كيميائية قاشطة مناسبة، أو عن طريق القشط بالبلازما. ويمكن الوقوف على التغيرات التي تحصل داخل مادة الكاشف نتيجة مرور الإشعاعات الجسيمية المشحونة بها وذلك بقياس عدد من المعلمات (Parameters) مثل عدد الآثار وكثافتها وأقطارها والتي يمكن من خلالها تحديد نوع الجسيم الساقط (شحنته وكتلته وطاقته). وهناك أنواع عديدة من كواشف الأثر النووي مثل المايكا والزجاج وعدد من المواد البلاستيكية مثل (LR-115, CN-85, CR-39) ولها القابلية على كشف الإشعاعات الجسيمية كالبروتونات وجسيمات ألفا وشظايا الانشطار ممن كتلتها أكبر من كتلة الإلكترون. كما أن لهذه المواد القابلية على الكشف عن النيوترونات من خلال قياس الآثار التي تحدثها البروتونات المرتدة من سقوط النيوترونات [107].

وهناك العديد من المميزات الإيجابية التي تتصف بها كواشف الأثر النووي بشكل عام منها ما يأتي:

- بسيطة التركيب والاستعمال ولها قابلية مرونة هندسية كما انها قوية.
- لا تحتاج الى مجهزات قدرة بخلاف الاجهزة الالكترونية [6].
- إنها غير حساسة للأشعة الكهر ومغناطيسية المؤينة مثل أشعة لظما والأشعة فوق البنفسجية، وحتى الإلكترونات لا تؤدي إلى تكوين أضرار وتلف (آثار) في هذه الكواشف ولكن الجرعات العالية منها تؤدي إلى تأثيرات مهمة في الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمادة الكاشف. كما أن لها القابلية على خزن تأثيرات الإشعاع (التلف) لمدة طويلة في الظروف الاعتيادية من درجة حرارة وضغط، إذ أن درجات الحرارة العالية تعمل على التئام الأثر (Healing) كلياً أو جزئياً مما يقلل من عدد الآثار المتكونة فيها [109,108].
- إنها تعد منظومة متكاملة لقياس ال جرع الأشعاعية، إذ يمكن استعمالها بوصفها مجاريع شخصية (Personal dosimeters) قلمية الشكل يمكن حملها من قبل الأفراد لقياس الإشعاع [110].
- تعد من الكواشف غير الفعالة (السلبية) التراكمية (Passive or negative detectors)، إذ تمتاز

- بمرونة هندسية عالية ويمكن إعدادها بأشكال وأحجام مختلفة تتلاءم وطبيعة الدراسة [104].
- حساسة للجسيمات المشحونة الثقيلة كسظايا الانشطار اذ يمكنها تسجيل وتميزها عن الجسيمات المشحونة الخفيفة ذات الخلفية العالية ($^1\text{H}, ^2\text{H}, ^3\text{He}, ^4\text{He}$) وجسيمات β وأشعة X و أشعة كاما والنيوترونات [6].
- غير قابلة للذوبان باستعمال المذيبات الكيميائية ولكن يقل سمكها عن طريق التحلل (Degradation)
- لها حساسية وكفاءة عاليتان قد تصل إلى 100% كما في المايكا، لذا فهي تستعمل في قياس الدفع النيتروني أو في قياس الجرعات النيترونية الحرارية وشبه الحرارية والمتوسطة والسريعة وذلك بقياس الآثار التي تخلفها البروتونات المرتدة أو عن طريق جسيمات ألفا الناتجة من التفاعل (n, α) [111].

لقد أثبتت العديد من الدراسات ان الكاشف العضوي (CR-39) هو أكثر الكواشف حساسية ويستطيع ان يسجل الآثار الناتجة عن البروتونات حتى تلك التي لها طاقة واطئة والنيوترونات ودقائق ألفا والايونات الثقيلة وغيرها، فضلا عن ذلك ما تمتاز به هذه الكواشف من إمكانية بقاء الآثار النووية عليها لمدة طويلة شرط عدم تعرضها الى درجة حرارة أكثر من (90°C) في أثناء الخزن. وكذلك فإنها عالية التجانس وذات حساسية عالية للإشعاع فضلا عن ذلك عدم تأثرها بالضوء ودرجات الحرارة المعتدلة وسهولة استعمالها، اذ إنها لا تتطلب منظومة الكترونية [112]

(1-5-2) أنواع كواشف الأثر النووي للحالة الصلبة:

Types of Solid State Nuclear Track Detectors

تصنف كواشف الأثر النووي الى صنفين رئيسيين هما:

Inorganic Detectors

أولاً: الكواشف اللاعضوية

الكواشف اللاعضوية هي التي لا يدخل في تركيبها عنصرا الكربون والهيدروجين وترتبط ذرات جزيئاتها بأواصر أيونية، من أنواع هذه الكواشف المايكا وكاشف الزجاج اللذين يستعملان لتسجيل أثر النيوترونات ولاسيما في المفاعلات النووية وتتمتاز هذه الكواشف بقابليتها على تحسس سظايا الانشطار أيضا. وتعامل هذه الكواشف اللاعضوية عند عملية القسط الكيميائي بمحلول حامض الهيدروفلوريك HF بتركيز (48 %) ودرجة حرارة بحدود $20 - 25$ °C [104].

ثانياً: الكواشف العضوية:**Organic Detectors (Plastics)**

الكواشف العضوية هي التي يدخل عنصر الكربون والهيدروجين في تركيبها وهي أكثر تحسناً لايونات من الكواشف غير العضوية إذ تتحسس بجميع الايونات فضلا عن ذلك الايونات الخفيفة، وهي عبارة عن مواد بوليمرية والبوليمرات هي جزيئات كبيرة متكونة من وحدات صغيرة متكررة ومرتبطة مع بعضها البعض تدعى بالمو نومر (Monomer)، وتتكون وحدات المونومر في معظم اللدائن من ذرات مرتبطة مع بعضها بأصرة تساهمية تغلب عليها أصرة هيدروجين كاربون (H-C) التي تكون سهلة الكسر عند تعرضها للإشعاع [114,113]

إن من ابرز أنواع الكواشف العضوية هي الكواشف السليلوزية ، إذ تتضمن أنواعا متعددة مثل نترات السليلوز (CN-85) و(LR-115) واسيتات السليلوز (CA-80-15)، وتمتاز هذه الكواشف باحتوائها على النتروجين في تركيبها الكيميائي ويستعمل هيدروكسيد الصوديوم NaOH بعياريه (4N) وبدرجة حرارة (50 °C) ولمدة (3-4) ساعات لقشط هذه الأنواع من الكواشف . يعد كاشف الماكروبول من الكواشف العضوية أيضا وهو عبارة عن بولي كربونيت (Ploy Carbonate) وهو من الكواشف الجيدة في تسجيل أثر النيوترونات وشظايا الانشطار ويستعمل في معايرة غاز الرادون وقياس تراكيز اليورانيوم . وتجري عملية القشط لهذا الكاشف عادة بمزج (80 %) من هيدروكسيد البوتاسيوم KOH مع (20 %) من الايثانول عند درجة حرارة (40 °C) ولمدة (4) ساعات. وكذلك كاشف الليكسان الذي يستعمل في الكشف عن شظايا الانشطار (Fission fragment) والجسيمات المشحونة ويشترك مع الماكروبول في بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية ، وله القدرة على التمييز بين الأيونات الثقيلة ، ويمكن الاحتفاظ بالكاشف بعد تشعيه لمدة طويلة تحت ظروف مختلفة من ضغط وحرارة [115].

أما كاشف الأثر النووي البلاستيكي الصلب CR-39 فهو احد الكواشف العضوية المهمة التي تستعمل في الكثير من المجالات، لتمييزه بخصائص عدة أدت إلى اختياره في دراستنا الحالية.

(2-5-2) كاشف CR-39 البلاستيكي:

أكتشف الكاشف (CR-39) عام (1978) من قبل (Gartwright and Shirck and Price) في جامعة كاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية وهو من كواشف الأثر النووي العضوي و صيغته الجزيئية (C₁₂H₁₈O₇) ويرمز له (CR) وهو مختصر من (Columbia Resin). وتبلغ كثافته

(1.32 g.cm^{-3}) وله جهد تأين مقداره (70.2 eV) وهو لا يذوب في المذيبات الكيميائية وأن ه اقل معدلاً للشحنة ويمكن الكشف عنها باستعمال هذا الكاشف هو تقريبا ($Z/\beta \approx 6$) [116].

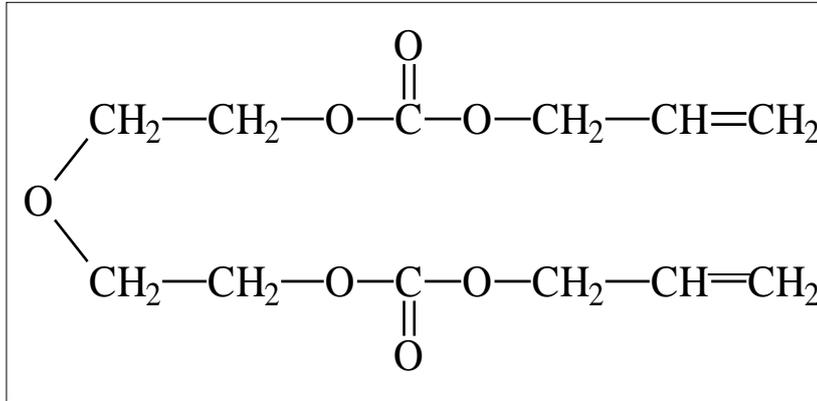
إذ أن :

Z : شحنة الجسيم الساقط.

β : النسبة بين سرعة الجسيم الى سرعة الضوء ($\beta = v/c$).

يستعمل هذا الكاشف على مدى واسع في تطبيقات كواشف الأثر النووي (SSNTDs) بسبب حساسيته العالية، يصنع الكاشف من بلمرة المونومر السائل (Allyl Diglycol Carbonate) ذي التركيب الهيدروجيني ($\text{C}_{12}\text{H}_{18}\text{O}_7$) [117].

ويحتوي التركيب العام للمونومر على اثنين من مجاميع الاليل (Allyl) وه ي ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2$) كما في التركيب الآتي.



يتبلر كاشف الأثر (CR-39) بهيئة تركيب شبكي في ثلاثة اتجاهات ، لذا فهو أكثر تحسناً للإشعاع وتزيد روابط الكربون الضعيفة من حساسيته للإشعاع ، لأنها تتكسر بسهولة عند تعرضها له [118].

إن أهم مميزات وخصائص هذا الكاشف فضلا عن ذلك الخصائص العامة للكواشف هي:

- حساسية عالية جدا للإشعاع ، كما انه ذو استقرارية حرارية عالية ومترابطة ومتبلورة جزئيا.
- ذو شفافية بصرية عالية وكذلك له قدرة تحليلية عالية (High Resolution).
- يمتلك تجانسا (Homogeneity) وتمائلا (Isotropy) عالين في الخواص.
- لا يتأثر بالعوامل الجوية من درجة حرارة ورطوبة عند خزنه لأوقات طويلة تحت الظروف

الطبيعية ولا يذوب في المحاليل الكيميائية القاشطة التي تعمل على تحلله باستعمال محلول القشط المناسب، اذ يعمل المحلول القاشط على تكسر السلاسل البوليمرية والتقليل من سمكه وذلك بعملية القشط الكيميائي لذا فهو مقاوم للمذيبات [119].

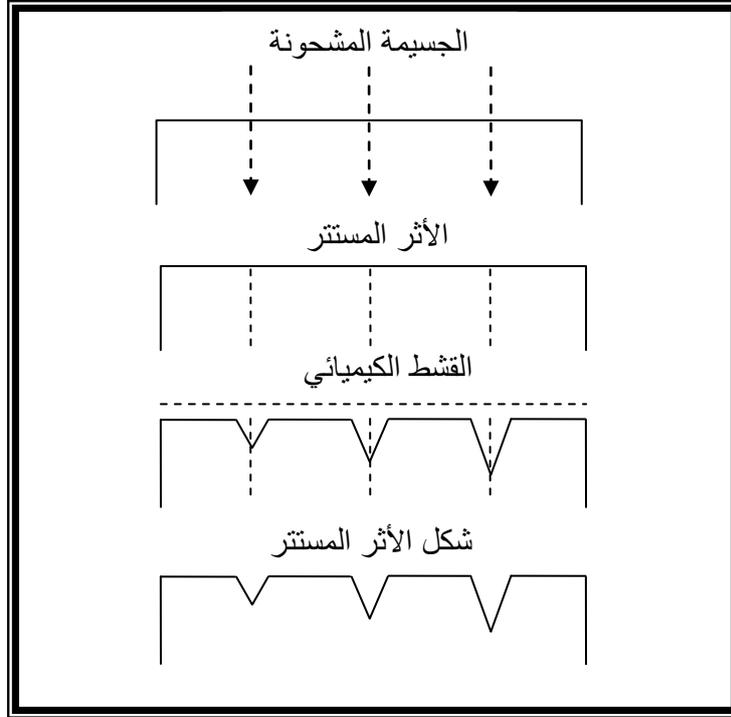
- تعمل قابلية سلاسله البوليمرية على الانحلال عند تعرضه للأشعة الكهرومغناطيسية أو الأشعة الجسيمية بسبب ضعف الروابط الكيميائية فيه.
- لقد وجد أن أعظم فقدان للطاقة في الكاشف CR-39 ($550 \mu\text{m}$) عند السقوط العمودي لجسيمات ألفا يحدث عند مدى الطاقة $(1.5-1)\text{MeV}$ تقريبا، وإن أقل طاقة يمكن أن يتحسسها الكاشف تقرب من 200keV باستعمال القشط الكيميائي الاعتيادي وهي تمثل طاقة العتبة الدنيا للكاشف [121,120].
- وجد أن كاشف CR-39 يحصل فيه تعقيم تام و يميل لونه الى الاصفرار عند تسخينه الى درجة حرارة 180°C لمدة ساعة، إذ يبدأ بالتحلل بشكل كامل أثناء معاملته بالقاشط الكيميائي مما يتعذر الحصول على الآثار [122,120] وأنه لا يتأثر بدرجات الحرارة خلال التسخين الى نحو 120°C .
- أظهر كفاءة وحساسية عاليتين عند استعمال القشط الكهروكيميائي في إظهار آثار جسيمات ألفا وتكبيرها والحصول على عملية التشجر للآثار المتكونة. كما وجد أن حد العتبة الطاقية الدنيا يقرب من 100keV باستعمال القشط الكهروكيميائي مقارنة بـ 200 keV في حالة استعمال القشط الكيميائي الاعتيادي [123,112]. فالكاشف CR-39 يمتلك طاقتي عتبة دنيا (E_{\min}) وعليا (E_{\max})، إذ وجد أنه يمكن الكشف عن جسيمات ألفا ذات طاقة أكبر من 100keV وأقل من 20MeV [124].

إن الظروف المثلى لإظهار الآثار في الكاشف CR-39 هو استعمال المحلول NaOH أو KOH بتركيز 6.25 mole/l الى جانب استعمال محاليل آخر مثل $\text{LiOH:H}_2\text{O}$ ؛ Ba(OH)_2 ؛ $\text{Ba(OH)}_2:8\text{H}_2\text{O}$ [125,104].

(3-5-2) كيفية تكوين الآثار في الكواشف الصلبة:

عند مرور الجسيمات المشحونة الثقيلة (البروتونات، وجسيمات ألفا، وشظايا الانشطار) خلال المادة العازلة فإن ذلك يؤدي الى تكون مسارات ضيقة من التلف الإشعاعي تعرف بالآثار المستترة تتمثل بالعيوب الذرية وفجوات الشبكة وتكسرات السلاسل الجزيئية [126]، وتكون على شكل آثار نحيفة تسمى بالآثار المستترة (Latent Tracks) ويمكن ملاحظة المناطق التالفة اما باستعمال المجهر الالكتروني مباشرة أو باستعمال المجهر الضوئي بعد معاملتها بما دة كيميائية تعمل على حفر مناطق

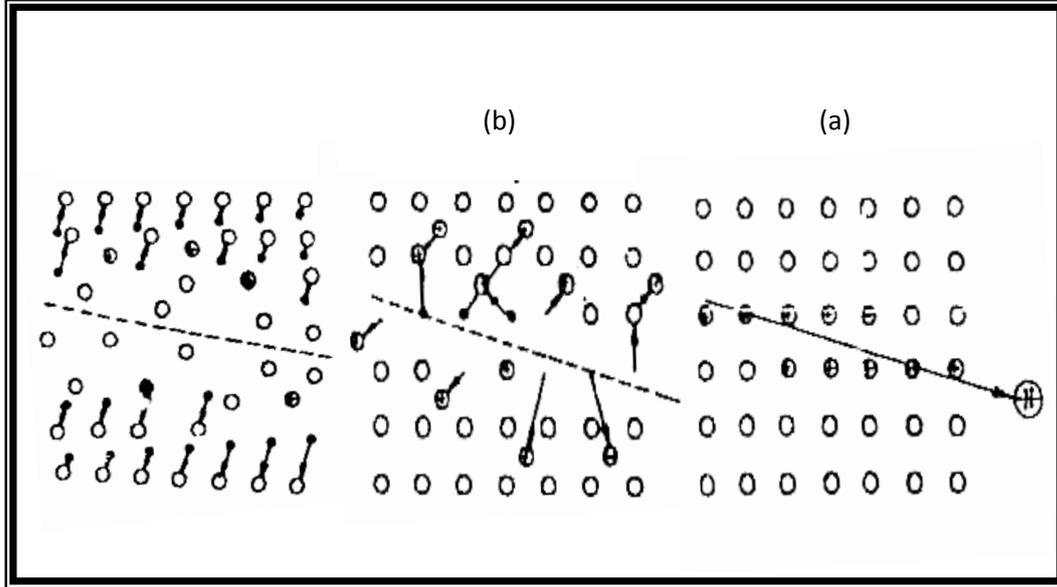
التلف المتكونة وإظهارها. ومن الخصائص المهمة لكواشف الأثر النووي للحالة الصلبة (SSNTDs) هي إمكانية توسع الحد الأدنى من كثافة الضرر على طول قلب الأثر بواسطة تقنية القشط (Etching Technique) والشكل (8-2) يبين مراحل تكون الأثر المستتر [127].



الشكل (8-2) مراحل تكون الأثر المستتر [127].

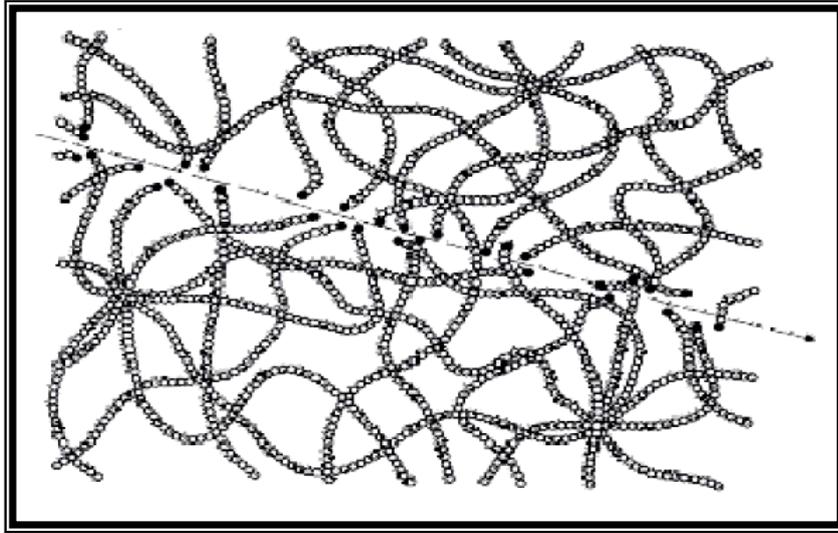
ان شكل المرطقة التالفة (المتضررة) ونوعها لا يعتمدان على متغيرات الجسيمات الساقطة (كتلتها وطاقتها وشحنتها) فحسب بل على نوع المادة الكاشفة الصلبة أيضا [104]. وتوجد أثنان من الميكانيكيات التي يمكن قبولها في تفسير تكون الاثر المستتر في المواد الصلبة العازلة أحدهما في المواد اللاعضوية مثل البلورات والزجاج والأخرى في المواد العضوية مثل البوليمرات. ففي حالة المواد الصلبة اللاعضوية (Inorganic) فإن نظرية وخزة الانفجار الايوني Ion Explosion Spark التي وضعها العالم Fleischer [113] في عام (1965) حقق نجاحا في تفسير تكوين الأثر المستتر التي تنص على أن الجسيمة المشحونة الثقيلة تنتج عنها عدداً هائلاً من التأيينات الابتدائية على طول مسارها مولدة ايونات موجبة الشحنة كما في الشكل (9-2) (a) هذه الايونات تضرب بشدة الكترولونات الذرات المتصادمة الواقعة حول المناطق المجاورة لمسارها فتنتج منطقة اسطوانية مليئة بالايونات الموجبة فتتأفر مع بعضها بشدة كما في الشكل (9-2) (b) فإذا كانت قوة التنافر اكبر من قوة تجاذب ذرات المادة الصلبة فينتج عن ذلك تشوه في الشبكة المنتظمة للذرة مخ لفاً وراها قلباً اسطوانياً فارغاً يمكن مشاهدتها مباشرة بالمجهر الالكتروني او بالمجهر الضوئي بعد معالجتها كيميائياً بعملية القشط ويمثل

الشكل (9-2) (c) الشد والتهدة المرنة داخل نسيج المادة نتيجةً لانتشار الإجهاد على نحوٍ واسع [104].



الشكل (9-2) (a) وخزة الانفجار الأيوني لتكوّن الأثر في المواد اللاعضوية [113] a: التآين b: التنافر والإزاحة c: الشد والتهدة

أما في المواد العضوية (Organic) فإن التأثير الرئيس للأشعة على البوليمرات هو انحلالها أو تشابك جزيئاتها (Cross-Linking) بعضها مع البعض، وهذان التأثيران يمثلان التغيرات الرئيسية في خواص البوليمرات، وان سقوط الإشعاع عليها يؤدي إلى تهيج هذه الجزيئات وتآينها وهذا يؤدي إلى قطع الروابط (Bonds) بينها، وأحداث تلف (Damage) في مادة البوليمر كما مبين في الشكل (10-2)، ويعرف هذا التلف بالأثر المستتر (Latent Track). وان هذه المناطق التالفة تظهر عليها قابلية أكثر للتفاعل مع المحاليل القلوية مثل هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) مقارنة بالمناطق السليمة، لذا فإن المحلول الكيميائي يخرق المناطق المشععة بسرعة محدثاً أثراً يزداد عمقه ويتسع قطره مع زيادة زمن القشط ويمكن مشاهدة الآثار للإشعاع المؤين بعد إظهارها تحت المجهر الضوئي [105].



الشكل (2-10) تأثير الإشعاع على السلاسل البوليمرية [113].

(2-5-4) بعض معاملات الأثر المقشوط:

Bulk Etch Rate (V_B)

أولاً: معدل القشط على سطح الكاشف:

معدل القشط العام هو مقدار مايزال من سطح الكاشف خلال عملية التفاعل الكيميائي بين المادة القاشطة ومادة الكاشف مما يؤدي الى تقليل سمكه مع تقدم عملية القشط ويعد معدل القشط معلماً من معالم الكاشف ، إذ يعتمد على عوامل عدة منها نقاوة المادة الأساسية التي يصنع منها الكاشف ، ومدى تجانسها، وتمائل خواصها، وطبيعة جزيئات الكاشف البوليمري، وظروف بلمرته خلال عملية الإنتاج، فضلاً عن ذلك اعتماده على العوامل البيئية في أثناء تشييع الكاشف، إذ وجد أن عملية التسخين لها تأثير كبير على V_B في كواشف الأثر النووي، فضلاً عن ذلك التأثير الملحوظ للإلكترونات والأشعة الكهرومغناطيسية المؤينة في الكاشف. وإلى جانب كون V_B معلماً كشفياً، فإنه يعد أيضاً معلماً قشطياً مهماً إذ يعتمد على نوع المحلول الكيميائي القاشط، وتركيزه، ودرجة حرارته، [129,128] ويعرف من خلال حساب سمك الطبقة المزالة (h) في زمن القشط (t) إذ ان [130]:

$$V_B = \frac{h}{t} \quad \dots\dots(5-2)$$

وهناك طرائق متعددة لقياس V_B منها مباشرة وذلك باستعمال المجهر الإلكتروني لقياس قطر الأثر وطوله ومن ثم حساب V_B وهناك طرائق آخر غير مباشرة منها ما يأتي:

أ - طريقة قياس سمك الكاشف : فيها يستعمل المجهر الضوئي لحساب سمك الكاشف، قبل وبعد عملية القشط والفرق يمثل المقدار (H) ، وهو يمثل (2h) ، بعدها نحصل على V_B خلال العلاقة [130].

$$V_B = \frac{H}{2t} \quad \dots(6-2)$$

ب - طريقة قياس قطر الأثر: تستعمل هذه الطريقة غالبا مع الجسيمات المسببة للتأين العالي في الكاشف من قبل شظايا الانشطار (Fission Fragment) . ويمكن حساب قطر الأثر (d) باستعمال المجهر الضوئي وعدسات خاصة ذات تدرج ، ومن ثم يحسب V_B من العلاقة [131]:

$$V_B = \frac{d}{2t} \quad \dots(7-2)$$

باعتبار أن $d=2h$

ج - طريقة تغيير الكتلة : يتم في هذه الطريقة حساب كتلة الكاشف قبل وبعد عملية القشط بواسطة ميزان حساس . واستعمال المعادلة الآتية لحساب V_B [132]:

$$V_B = \frac{1}{2\rho A} \frac{\Delta m}{\Delta t} \quad \dots(8-2)$$

اذ أنّ :

ρ = كثافة الكاشف .

A = مساحة الكاشف (مساحة وجه الكاشف).

Δm = التغير في الكتلة ($\Delta m = m_2 - m_1$) خلال عملية القشط .

t = زمن القشط (طول مدة القشط) .

د- طريقة قياس طول- قطر الاثر Le-d: طريقة أخرى حديثة لقياس معدل القشط العام V_B وهي طريقة قياس طول -قطر الأثر Le-d هذه الطريقة صعبة مقارنة بالطرائق السابقة في عملية حساب V_B ، لأنها تتطلب الحصول على صور للأثار المتكونة في الكاشف، وتتطلب قياسا دقيقا لكل من قطر الأثر (d) وطوله (Le) تجريبيا بشكل مباشر، وهي ليست بالعملية السهلة ويجب إجراء القياسات خلال المرحلة الأولى لنمو الأثر وهي مرحلة النمط المخروطي المنتظم لحين وصول رأس الأثر إلى نهاية مدى الجسيم في الكاشف ، إذ يتم حساب معدل القشط العام V_B من العلاقة [133]:

$$V_B = \frac{d^2}{4t Le} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4Le^2}{d^2}} \right] \quad \dots(9-2)$$

$$d = 2V_B t \sqrt{\frac{(V_T - V_B)}{(V_T + V_B)}} \quad \dots(10-2)$$

اذ ان :

Le : طول الاثر.

d: قطر فتحة الاثر .

t: زمن القشط.

وعموما فإن معدل القشط العام V_B للكاشف يمتلك قيمة واحدة وقد تكون محددة تحت الظروف القشبية والبيئية المستعملة وضمن سمك مزال قليل من سطح الكاشف في حين أن قيمته قد تتغير عند زيادة زمن القشط لهدة طويلة عندما يزال سمك كبير من سطح الكاشف وتجدر الإشارة هنا إلى أن V_B له قيمة واحدة لا تعتمد على الاتجاه (scalar) ضمن الظروف المستعملة من محلول قاشط وعا مل بيئي مؤثر إذا كانت مادة الكاشف متجانسة (Homogenous) ومتماثل الخواص (Isotropic) مثل كواشف البولي كاربونيت (CR-39 و PM-355). وفي هذه الحالة تظهر فتحة الأثر دائرية الشكل للسقوط العمودي لجسيمات على الكاشف لأن V_B له القيمة نفسها (scalar) باتجاهي القشط على مستوى سطح الكاشف، فيما يمتلك V_B قيمتين (directional vector) ضمن الظروف المستعملة للكواشف غير المتجانسة (non-homogenous) وغير متماثلة الخواص (non-isotopic) مثل (المايكا) إذ يلاحظ أن فتحة الأثر تكون على شكل متوازي أضلاع ، لأن V_B يختلف باختلاف اتجاهي القشط على مستوى سطح الكاشف [135,134].

إن وحدة قياس معدل القشط العام V_B هي $(\mu\text{m}\cdot\text{hr}^{-1})$.

Track Etch Rate (V_T)

ثانياً: معدل القشط على طول الأثر

معدل قشط الأثر V_T (Track Etching Rate) يعرف بأنه مقياس لما يزال من مادة الكاشف في وحدة الزمن بفعل المحلول الكيميائي القاشط وباتجاه عمق الأثر وعلى طول مسار الجسيم المشحون القاصف داخل مادة الكاشف، ويعد معلماً قشيباً وكشفياً في آن واحد ، إذ يعتمد على تركيب الكاشف

وعلى نوع المحلول القاشط وتركيزه ودرجة حرارته [136]، وقد وجد ان V_T تزداد اسيا مع زيادة درجة الحرارة على وفق العلاقة الآتية [130]:

$$V_T = B \exp\left(-\frac{E_T}{kT}\right) \quad \dots(11-2)$$

إذ ان:

B: ثابت.

E_T : طاقة التنشيط بوحدات الجول لسرعة القشط على طول الأثر V_T .

k: ثابت بولتزمان ($1.381 \times 10^{-23} \text{J.K}^{-1}$).

T: درجة الحرارة المطلقة لمحلول القشط (كلفن).

ان وحدات قياس معدل القشط على طول الأثر V_T هي $\mu\text{m/hr}$.

ولقياس سرعة القشط على طول الأثر V_T نجد أولاً قطر الأثر (d) وذلك بوساطة قياس قطر الأثر لاقوات زمنية مختلفة ورسم العلاقة بين قطر الأثر (d) وزمن القشط (t) وان ميل العلاقة هو المعدل الزمني لتغير قطر الأثر [130]:

$$V_d = \left(\frac{\Delta d}{\Delta t}\right) \quad \dots(12-2)$$

إذ ان:

V_d : سرعة نمو الأقطار: وهو مقياس لتوسع أقطار أثار الجسيمات الساقطة لوحدة الزمن في أثناء

عملية القشط، اما معدل القشط على طول الأثر فيحسب من العلاقة الآتية [137]:

$$V_T = V_B \left[\frac{1 + \left(\frac{V_d}{V_B}\right)^2}{1 - \left(\frac{V_d}{V_B}\right)^2} \right] \quad \dots(13-2)$$

ان كلا من V_T و V_B يتأثران بتغير درجة الحرارة ونوع العلاقة هي علاقة أسية كما سبق الذكر . وقد ادخل الباحثان (Somogyi , Hunyadi) عامل تأثير تركيز محلول القشط فكانت العلاقة كالآتي:

$$V_B = f_B C^{n_B} \exp\left(-\frac{E_B}{kT}\right) \quad \dots(14-2)$$

اذ ان:

f_B : ثابت يعتمد على نوع الكاشف ويساوي ($8.2 \times 10^{11} \mu\text{m/hr}$) لكاشف (CR-39).

C: تركيز محلول القشط.

n_B : ثابت يعتمد على الكاشف، ويساوي (2/3) لكاشف (CR-39) في حالة استعمال محلولي

NaOH و KOH.

E_B : طاقة التنشيط بوحدات الجول لسرعة قشط سطح الكاشف (V_B).

أما معدل القشط على طول الأثر V_T فان العلاقة تكون كالآتي [138]:

$$V_T = f_T C^{n_T} \exp\left(-\frac{E_T}{kT}\right) \quad \dots(15-2)$$

اذ ان:

f_T : ثابت ويساوي ($9.5 \times 10^{11} \mu\text{m/rh}$) لكاشف (CR-39).

n_T : ثابت ويساوي (7/4) لكاشف (CR-39).

E_T : طاقة التنشيط بوحدات الجول لسرعة القشط على طول الأثر V_T .

Etching Rate Ratio (V)

ثالثا: معدل القشط النسبي

هو النسبة بين سرعة قشط الأثر إلى سرعة قشط سطح الكاشف وتكون ممثلة بالعلاقة الآتية:

$$V = \frac{V_T}{V_B} \quad \dots(16-2)$$

تعطى علاقة قطر الأثر (d) بمعدلات سرعة القشط كالآتي (في حالة السقوط العمودي) بالصيغة الآتية [104، 139]:

$$d = 2V_B \cdot t \left[\frac{V-1}{V+1} \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots(17-2)$$

ومن المعادلتين السابقتين نستنتج ان علاقة حول القشط النسبي بقطر الأثر كالآتي [140, 137]:

$$V = \frac{V_T}{V_B} = \frac{1+(d/2V_B \cdot t)^2}{1-(d/2V_B \cdot t)^2} \quad \dots(18-2)$$

ويمكن حساب معدل القشط النسبي تجريبياً برسم العلاقة بين قطر الأثر d والزمن المستغرق للقشط (t) لآوقات زمنية مختلفة وحساب ميل الخط المستقيم وتطبيق العلاقة الآتية [141,104]:

$$V = \left[\frac{4V_B^2 + (\text{Slope})^2}{4V_B^2 - (\text{Slope})^2} \right] \quad \dots(19-2)$$

رابعاً: الزاوية الحرجة للقشط : θ_c (The Critical Angle)

الزاوية الحرجة θ_c هي أقل زاوية يمكن عندها إظهار الأثر المستتر بالمحاليل القاشطة ، وتعطى بالعلاقة الآتية [104]:

$$\theta_c = \sin^{-1} (V_B / V_T) \quad \dots (20-2)$$

وتكون محددة بالقيمة:

$$\theta_c = \sin^{-1} (V)^{-1} \leq \theta \leq 90 \quad \dots (21-2)$$

ولتشكيل أثر قابل للقشط يجب أن تكون $\theta_c < \theta$ (زاوية رأس المخروط) ، وترتبط الزاوية الحرجة مع حساسية الكاشف بعلاقة عكسية ، إذ أن حساسية الكاشف تزداد بنقصان قيمة الزاوية الحرجة .

إن أقل زاوية حرجة لقشط الكواشف العضوية هي بحدود $(2^\circ - 5^\circ)$ ، أما الكواشف غير العضوية فتكون الزاوية الحرجة لها بحدود $(25^\circ - 40^\circ)$ [104].

خامساً: كفاءة الكاشف لتسجيل الأثر (η) :

هي النسبة بين عدد الآثار التي يسجلها الكاشف إلى عدد الجسيمات الساقطة على الكاشف [104] ، وتعطى بالعلاقة الآتية :

$$\eta = 1 - (V_B / V_T) \quad \dots(22-2)$$

$$\eta = 1 - \sin \theta_c \quad \dots(23-2)$$

إن قيمة الكفاءة للكواشف العضوية عالية وهي بحدود % (85 - 95) ، بينما للكواشف غير العضوية تتراوح بين % (40-60) ، وكاشف CR-39 هي بحدود % (90 - 93).
ويمكن زيادة الكفاءة باستعمال طريقة القشط الكهروكيميائي أو بتعريض الكاشف للأشعة الكهرومغناطيسية قبل تعرضها للإشعاع النووي [140] .

(6-2) هندسة الأثر المقشوط :

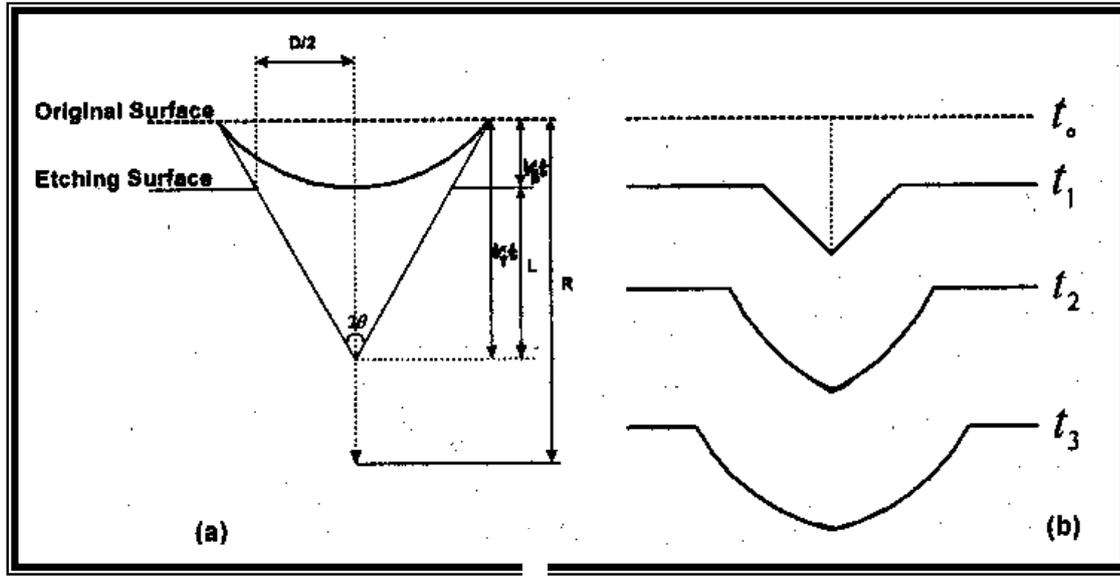
يزودنا الشكل الهندسي للأثر بمعلومات مناسبة حول طاقة الجسيم المتأين ومداه فضلاً عن ذلك شكل توسيع الحفر المقشوفة وقطرها ومعدلها كدوال للزمن . ويعتمد الشكل الهندسي على زاوية سقوط الجسيم بالنسبة لسطح الكاشف والمحددة بالعلاقة (23-2) ، والتي يجب أن يتحقق بها الشرطان الآتيان للحصول على تسجيل جيد للأثار :

$$V_T > V_B \quad (2) \quad \theta > \theta_c \quad (1)$$

ففي حالة السقوط العمودي الشكل (11-2) فإن $\theta = 90^\circ$ ، إذ يهاجم المحلول الفاشط السطح العام في المواد ا لمتجانسة (الكواشف العضوية) المعدل نفسه وفي جميع الاتجاهات بصورة متماثلة (Isotropic) ، لهذا يمكن أخذ V_B على أنه ثابت ، كما تؤخذ القيمة المتوسطة لـ V_T في المواد المتجانسة . ويمكن تعريف طول الأثر خلال الشكل (10-2) وبالمعادلة الآتية :

$$L = (V_T - V_B) t \quad \dots(24- 2)$$

عندما تكون $V_B = V_T$ فإن $L = 0$ وكذلك من المعادلة (24 -2) فإن $d = 0$



الشكل (11-2) حالة السقوط العمودي في الكواشف العضوية [143].

أما في حالة السقوط المائل أي $\theta \neq 90^\circ$ الشكل (12-2) ، فإن الأثر يمر بثلاثة أطوار متميزة

هي [147]:

- 1 - الطور المخروطي Conical Phase .
- 2 - الطور الانتقالي Transition Phase .
- 3 - الطور الكروي Spherical Phase .

من الشكل (12-2) إذا كان XY تمثل السطح الأفقي للكاشف و PO يمثل اتجاه سقوط الجسيم المشحون باعتبار سرعة القشط V_T على طول الأثر و V_B سرعة القشط في الأماكن الأخرى من السطح . فالزمن اللازم ليصل القشط السطح X_1Y_1 يكون :

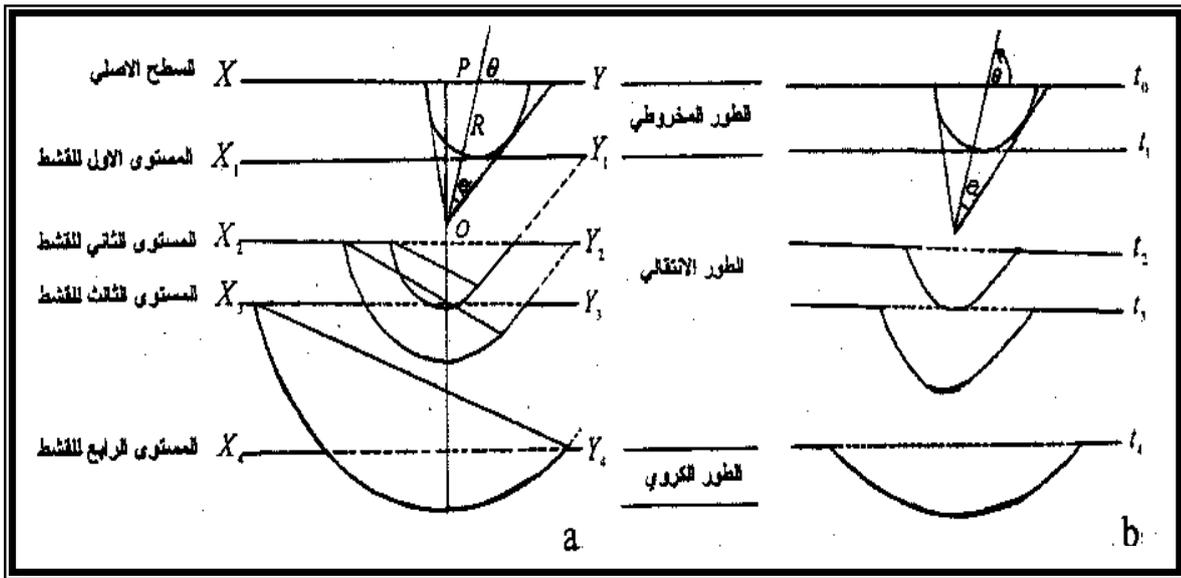
$$t_1 = PO / V_T \quad \dots (25-2)$$

وعندها يكون ضمن الطور المخروطي وفتحة السطح لبقعة القشط بيضوية (Ellipse) .

في الزمن t_2 يصل القشط العام المستوى X_2Y_2 وتصير بقعة القشط بيضوية وجزئياً دائرية عند

الجزء الآخر وهو الطور الانتقالي ، أما الطور الكروي فهو الطور الأخير حيث تصبح بقعة القشط

دائرية في المستوى X_4Y_4 وتتوسع فتحة الأثر مع زمن القشط .



الشكل (12-2) يوضح حالة السقوط المائل في الكواشف العضوية [144].

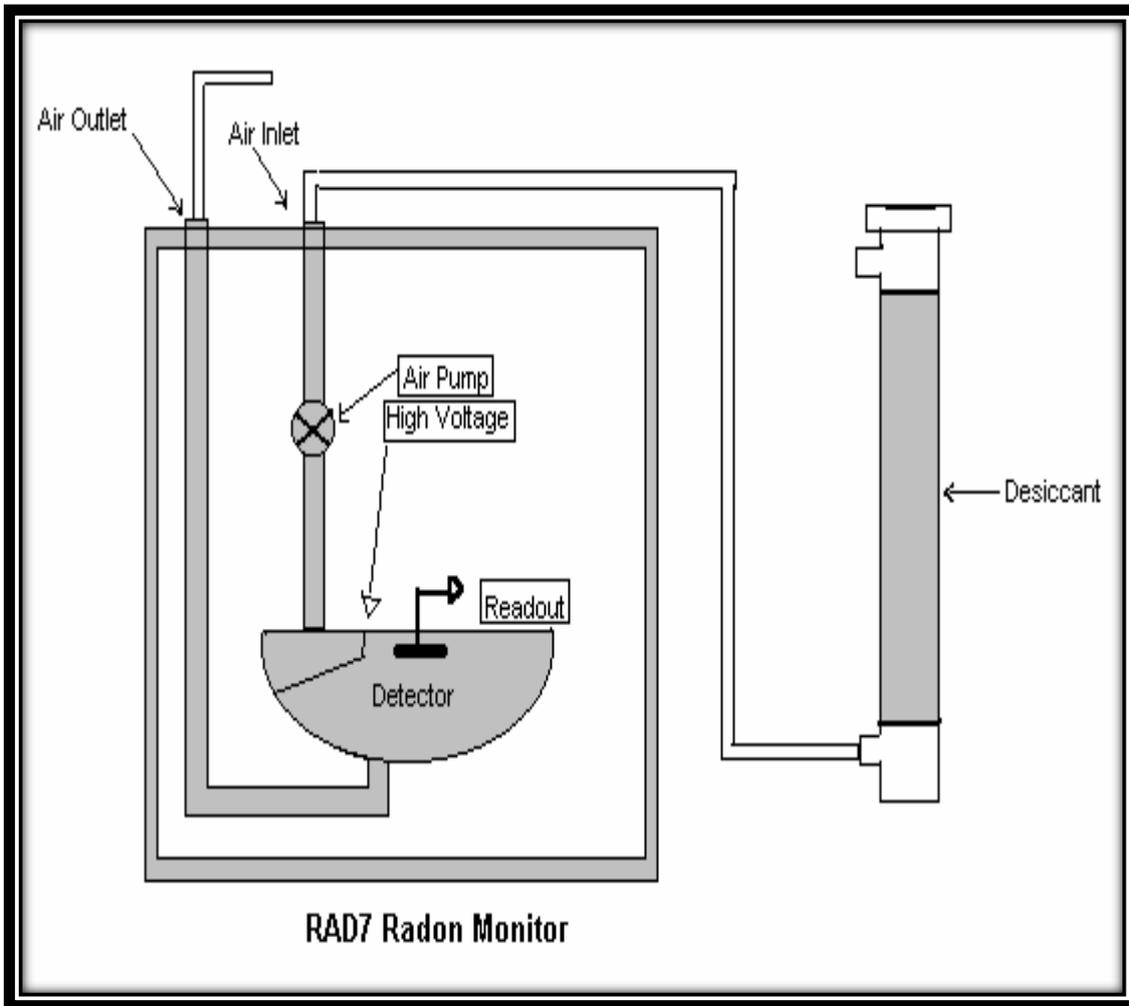
Radon Monitor

(7-2) كاشف الرادون Rad-7 :

يستعمل Rad-7 كاشف الفا ويكون مصنوع من السيليكون، والمادة شبه الموصلة تحول أشعة الفا الناتجة من انحلال النويدات المشعة مثل (^{218}Po , ^{214}Po) إلى إشارة كهربائية، ومن الفوائد المميزة لهذا الكاشف هو قدرته على التمايز بين الرادون ونواتجه من خلال طاقة الفا الناتجة عنه وعن نواتجه وبهذه الطريقة يمكن توصيف النويدات المشعة إذ ان طاقة الفا الناتجة عن (^{218}Po) تكون 6.00 MeV و(^{214}Po) تكون 7.69 MeV و... الخ)، كاشف Rad-7 يمتلك خلية عينة داخلية نحو (0.7 liter) لها شكل نصف كروي كما مبين في الشكل (12-2) طلي السطح داخل نصف الكرة بموصل كهربائي ومجهز بقدرة عالية لتشحن الموصل الداخلي بجهد في حدود (2500-2000) فولت نسبة إلى الكاشف [145] وهذا يخلق مجال كهربائي خلال الخلية المجال الكهربائي يدفع الجسيمات الموجبة الشحنة إلى الكاشف في الخلية بشكل دوري، تترك ذرة غاز الرادون المتحللة داخل الخلية وراءها ^{218}Po موجبة الشحنة التي تعجل إلى الكاشف وتصطدم به، نويدة ^{218}Po تملك نصف عمر قصير نسبياً وعندما يتحلل سيكون لديه 50% فرصة لدخول الكاشف حيث تنتج عنه إشارة كهربائية، كما يمكن تحديد طاقة جسيمة الفا، الإشارة الكهربائية المسجلة من انحلال النويدات المشعة يتم تضخيمها وترشيحها وتخزين طبقاً إلى قوتها، أنّ الأنماط المختلفة لوظيفة Rad-7 تسمح بكشف الرادون من إشارة ^{218}Po لكن يمكن أيضاً تحديد تركيز الثورون من إشارة ^{216}Po وإشارات ^{218}Po و ^{216}Po تنشأ من انحلال الفا ^{218}Po بطاقة الفا 6.00 MeV و ^{216}Po بطاقة الفا 6.78 MeV وطاقتا الفا من نواتج الانحلال الأخر تهمل،

الثورون ينبعث من انحلال سلسلة الثوريوم والنواة اللاحقة من الانحلال، اذ تتضمن انبعاث بيتا لكن جهاز Rad-7 غير حساس لانحلال بيتا .

كاشف Rad-7 يحدد تركيز غاز الرادون من خلال قياس النشاط الإشعاعي لنواتج الانحلال [146]، والكاشف ينتج عنه طيف الذي سيوضح لاحقا في الفقرة القادمة ،واهم ما يميز الطيف هو غياب القمة 5.49 MeV في الطيف والسبب في ذلك هو أن غاز الرادون ينحل في الهواء في خلية الكاشف وليس على السطح او بالقرب من الكاشف وأن وظيفة المجففة في الشكل (2-13) هي امتصاص الرطوبة التي يتم ضخها في الأنابيب للحفاظ على الهواء الجاف نسبيا ،مع ذلك فان الرادون ربما يمتص من قبل حبيبات مجففة وهذا سيشكل مشكلة في تراكيز الرادون العالية جدا وفي هذه الحالة يجب تنقية كاشف Rad-7 [147,146].

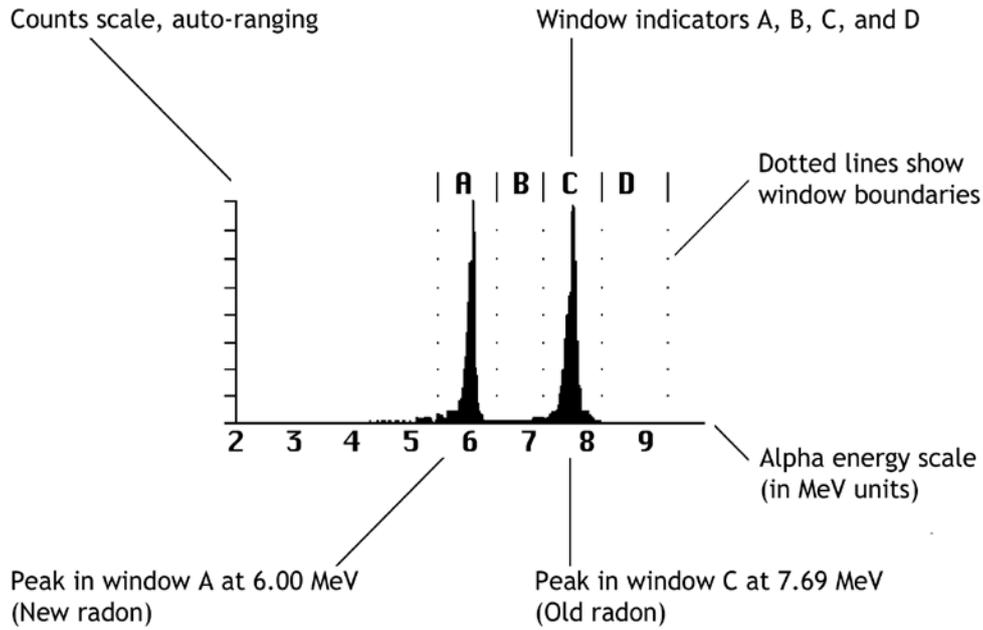


شكل (2-13) رسم تخطيطي لجهاز Rad-7 [146].

(1-7-2) تحليل طيف RAD-7 :**RAD-7 Spectrum Analysis**

الإشارة الكهربائية تنتج عنه في الكاشف بسبب أشعة الفا حيث يتم تضخيمها وتكون ملائمة بوساطة مجموعة من الدوائر الإلكترونية في الكاشف لكي تحول إلى شكل رقمي ، و RAD-7 يملك معالج دقيق الذي يستلم الإشارة إليه ويخزنها في ذاكرة الكاشف. الإشارة المخزونة ترافق انحلال نويدات مشعة محددة ، وفي عملية تراكم الكثير من هذه الإشارات يتشكل الطيف ، والطيف في RAD-7 يمكن ان يسمح للطاقات من $0 - 10$ MeV والجزء المهم في الطيف يكون واضح في المنطقة $6 - 9$ MeV السبب في ذلك هو ان اغلب نواتج الرادون والثورون تنتج أشعة الفا في هذا المدى .

يكون الطيف مقسم على 200 قناة حيث تمثل 50 keV (0.05 MeV) لكل قناة ،مثاليا في الطيف أدناه لقمم الفا 6.00 MeV تكون حادة كالإبرة ممثلة كما في الشكل (2-14) ،لكن هذه ليست الحالة مع RAD-7 بسبب الضوضاء الإلكترونية في الكاشف والمضخم ،والسبب الاخر لتوسيع القمم هو ان بعض جسيمات الفا تدخل الكاشف بزوايا صغيرة .ان زيادة درجة الحرارة تسبب الضوضاء الإلكترونية وبدوره يؤثر على ذيل القمم ،ان تحليل الطيف يكون سهلا بسبب ان الكرونيات RAD-7 تم تصنيعها لتجميع 200 قناة في 8 نوافذ، حيث تدرج النوافذ بشكل H – A في الترتيب الابجدي ،النافذة A تغطي مدى الطاقة $5.40 - 6.40$ MeV لذلك فان جسيمات الفا بطاقة 6.00 MeV الناتجة من انحلال ^{218}Po سوف تسقط في هذه المنطقة ،وكل العد المكتشف في هذه المنطقة يقسم بوساطة العمر (المدة الزمنية التي استغرقت لجمع البيانات) والتي تعطي معدل العد الذي تم خزنه في ذاكرة الكاشف [149,48] .



شكل (14-2) طيف طاقة الفا في RAD-7 [147]

يتم طباعة الطيف بواسطة RAD-7 بعد دورة التشغيل التي تشمل نوافذ A – D ويمكن ملاحظة ذلك في شكل (14-2)، تشكل النوافذ E – H نافذة مركبة O . النافذة O هي المجموع الكلي لعمليات العد الناتجة عن مدى الطاقات لنوافذ E – H. النوافذ المختلفة تحتوي ما يأتي :

- أ - نافذة A : العد الكلي من انحلال ^{218}Po .
- ب - نافذة B : العد الكلي من انحلال ^{216}Po .
- ت - نافذة C : العد الكلي من انحلال ^{214}Po .
- ث - نافذة D : العد الكلي من انحلال ^{212}Po .

نافذة A تستعمل لإيجاد تركيز الرادون الجديد في الكاشف بينما نوافذ B وD لحساب تركيز الثورون والنافذة C العد للرادون القديم في الكاشف والعدادات من النافذة المركبة يسبب الضوضاء في النظام.

[149,48].

(2-7-2) الخلفية والمشاكل المرافقة :***Background and Associated Problems***

ان القراءة الخلفية للكاشف دائما مهمة ، اذ يمكنها في وقت ما ان تقلل او زوال في تقدير القراءة الحقيقية وان الشركة المنتجة لمراقب الرادون RAD-7 تحاول جعل المراقب يتأثر قليلا جدا بالقراءة الخلفية وكذلك بالنسبة لبعض المشاكل المحتملة [148]، أن نواتج انحلال الرادون والثورون غالبا ما تساهم ان في التأثير على الخلفية في RAD-7. وهذا يسبب مشاكل عند محاولة قياس تركيز الرادون الأقل مباشرة بعد قراءة عالية ، هذه المشكلة تحل جزئيا بسبب قدرة الكاشف على تمييز هذه الطاقات والمشكلة الاخرى والجديرة بالملاحظة هي ^{210}Pb وهو العامل الحاسم في معظم الأجهزة بسبب ميوله للتراكم (عمره النصف الطويل) ، وهذه ليست مشكلة مع RAD-7 بسبب كون ^{210}Pb باعث بيتا ، ان إحدى النويدات المشعة في أعقاب انحلال ^{210}Pb هو ^{210}Po وهو باعث ألفا . ويتم تجاهل هذا في حساب القيمة النهائية بسبب تمييز الطاقة في الطيف . والمشكلة الاخرى المحتملة وجدت في تحليل البيانات ، في هذا العمل الذي قد يشمل عملية إعداد (تهيئة) لجهاز RAD-7 لقياسات غاز الرادون ، الهواء يمكن أن يتسرب خلال عملية تهيئة الجهاز حتى لو تم أخذ بعض الاحتياطات للحد منه ، وتنصح الشركة المنتجة استعمال Teflon™ tape عند تجميع الجهاز . لكن السلامة قد تكون موضع تساؤل في مثل هذا الإعداد [149].

Purging the System**(3-7-2) تنقية النظام :**

بعد إجراء عملية قياس التربة والماء والهواء فان خلية العينة الداخلية في RAD-7 تبقى حاوية على الرادون الذي تم قياسه سابقا أن الرادون ما زال موجودا عند إجراء عملية قياس جديدة ، وهذا سوف يؤثر سلبا على القياس الجديد وسريكون مصدر قلق عندما يكون تركيز الرادون في القياس الماضي أعلى نسبيا من القياس التالي، وللتحضير لقياس الماء التالي ينبغي لنا ازالة الرادون بصورة كلية من RAD-7 وهواء وملحقات الهواء الموصلة بضمنها رأس المرشح والأنابيب ، هذا الإجراء يعرف بتنقية النظام . ولتنقية النظام ، ينبغي أن يكون هناك مصدر للرادون هواء او غاز خامل . بالنسبة لمعظم الهواء المحيط بنا يكون جيدا وكافيا بوضع RAD-7 في دورة تنقية مع الإيعاز (اختبار التنقية) إذ يسمح للمضخة بطرد الهواء النظيف من خلال النظام بأكمله ل 10 دقائق على الأقل ، بعد قياس تراكيز الرادون العالية جدا ، يجب تنقية النظام لمدة 20 دقيقة على الأقل و زمن التنقية 30 دقيقة يجب أن تكون طويلة كفاية لإزالة غاز الرادون بعد القياس في $100000 \text{ pCi.L}^{-1}$ [146].

Efficiency of the RAD-7 detector : كفاءة كاشف RAD-7 (4-7-2)

تعتمد كفاءة كاشف RAD-7 على رطوبة الغرفة ، فالرطوبة العالية تعمل على تسجيل عد قليل والسبب في ذلك هو ان الجسيمات المؤينة يكون لها مدى صغير عند الرطوبة العالية بسبب تأين بيث- بلوخ Bethe-Bloch-Ionization ، وهذا التأين يعتمد على كثافة الجسيمات فإذا كانت الرطوبة عالية فان كثافة الجسيمات سوف تصبح كبيرة ولذلك سوف يقل المدى . وفي كل مدة قياس يتم تسجيل رطوبة الغرفة وينبغي أن تكون اقل من 10% [149,146].

(8-2) التعرض للرادون وخطر الإشعاع :

Radon exposure and radiation hazards

عند مقارنة التعرض للرادون ونواتجه مع التعرض من مصادر الإشعاع الأخر فمن الضروري تقدير الجرعة الفعالة للتعرض لغاز الرادون . سابقا تم القيام بذلك باستعمال مقياس الجرعة الإشعاعية لتقدير الجرعة الممتصة من خلايا الشعب الهوائية للرئة وتطبيق حسابات ICRP للجرعة الفعالة (مكافئ الجرعة الفعالة) ، ويمثل تركيز الرادون الداخلي في المقاطع ($EECR_n$) تركيز الرادون المكافئ – الم توازن ويحسب بالعلاقة الآتية [150].

$$EECR_n = F \times AR_n \quad \dots(26-2)$$

إذ ان

F: عامل التوازن ، $F=0.45$ [151].

AR_n : تركيز الرادون الداخلي الفعال .

تم حساب الجرعة المكافئة المستلمة بواسطة الشعب الهوائية لمناطق من رئتي الإنسان تم حسابها باستعمال عامل التحويل $1.0 \times 10^{-5} \text{ mSv per Bq.h/m}^3$ [150]. مع الأخذ بنظر الاعتبار اختلاف الخصائص الفيزيائية لغاز الرادون ونواتج انحلاله ، فهو غاز نبيل ويتواجد باستمرار في هواء الرئع باستمرار بتوكيز ($XR_{n,air}$) ، كما انه يذوب جزئيا في الأنسجة الرخوة. باعتبار ان م عامل الذوبان في الأنسجة الرخوة 0.4 وعلى فرض ان نواتج انحلال قصيرة العمر في الأنسجة التي يتواجد فيها الرادون فان العلاقة الآتية تصح للأنسجة الأخر غير التي في الرئة وهي مشتقة من المصدر [151].

$$D_{\text{soft tissues}} (\text{nGyh}^{-1}) = 0.005 X_{Rn,air} (\text{Bq m}^{-3}) \quad \dots(27-2)$$

وفي حالة الرنتين فان محتوى الرادون في هواء الرئتين يجب ان يؤخذ في الحساب وعلى فرض ان حجم الهواء في الرنتين هو $(3.2 \times 10^{-3} \text{ m}^3)$ (كمرجع الإنسان) و بلفترض ان نواتج الانحلال قصيرة العمر فأنها ستبقى في الرنتين ولذا فان معدل الجرعة بالنسبة لأشعة ألفا تحسب بالعلاقة الآتية.

$$D_{\text{lung}} (\text{nGyh}^{-1}) = 0.04 X_{\text{Rn,air}} (\text{Bq m}^{-3}) \quad \dots(28-2)$$

وبأخذ عامل النوعية 20 لأشعة الفا وتطبيق عامل الترجيح 0.12 للرنتين و 0.88 للأنسجة الأخرى. معدل مكافئ الجرعة الفعالة يعطى بالعلاقة الآتية [150].

$$H_{\text{eff}} (\text{nSvh}^{-1}) = 0.18 X_{\text{Rn,air}} (\text{Bq m}^{-3}) \quad \dots(29-2)$$

(9-2) الآثار البيولوجية للإشعاع: *Biological Effects of Radiation*

تتألف جميع الكائنات الحية من تراكيب بالغة الصغر تعرف بالخلايا و الخلية عبارة عن كتلة هلامية من الساييتوبلازم يحيط بها الغشاء الخلوي و تتوسطها النواة المحتوية على الكروموسومات الحاملة للصفات الوراثية [153,152]، و يعتمد التأثير البيولوجي للإشعاع على عدة عوامل منها نوع الإشعاع وطريقة التعرض له سواء كان خارجي أو داخلي ، وحساسية العضو المتعرض للإشعاع وقابليته لتخزين المواد المشعة في حالة التعرض الداخلي .ويكون تأثير الإشعاع على خلايا الجسم بطريقتين ، طريقة مباشرة وطريقة غير مباشرة ، ففي الطريقة المباشرة يتم تكسير الروابط بين الذرات المكونة لجزيئات المادة الحية نتيجة التأين وبالأخص نواة الخلية مسببا موتها أو تغير جيني بها أما التأثير غير المباشرة فينتج عن تحلل الماء الذي يشكل ما نسبته % (70 – 80) من الجسم الحي وهذا بدوره ينتج مواد كيميائية سامة تؤثر على الخلية والخلايا المجاورة [67].

(1-9-2) التأثير المباشر للإشعاع: *Direct Effect of Radiation*

التأثير المباشر للإشعاع يحدث نتيجة تأين أو إثارة ذرات المادة المكونة للخلية الحية والذي يمكن أن يحدث في مكان ما من الجسم المتعرض للإشعاع ، ويكون الجزء المتضرر من الإشعاع هو نواة الخلية او المادة الوراثية فيها نتيجة تكسير الروابط بين جزيئات المادة ، مؤديا لموت الخلية أو التغير في الشفرة الوراثية ،مما ينتج عنه تشكل طفرة قد تكون سرطانية في الخلية ، أو حدوث تشوهات في الخلية أو فقدان المادة الوراثية قدرتها على نقل المعلومات الوراثية للخلايا الجديدة .فعند حدوث هذه الطفرات فمن الممكن أن تكون في الجينية مسببة في انتقال هذه الطفرة الى الجيل القادم أو في الخلايا الجسدية مسببة

انتقال هذه الطفرة الى الخلايا المتولدة. ومن هنا فان التأثير البيولوجي المباشر للإشعاع يتمثل بالأغلب في تكون هذه الطفرات وانتقالها أو تطورها الى طفرات أخرى [67].

(2-9-2) التأثير غير المباشر للإشعاع : Indirect Effect of Radiation

ان الإشعاع النووي له طاقة كافية ليسبب التأين ، يؤلف الماء القسم الأكبر من الخلايا ، كما يؤدي التأين الى تغيرات جزيئية مكوناً أصنافاً كيميائية هي التي تضر مادة الكروموسوم . في حين يأخذ الضرر شكلاً ، من اشكال التغيرات في تركيب الخلية ووظيفتها . ان العمليات التي تؤدي الى الضرر الاشعاعي معقدة ولكن اعادة اعتبارات يمكن اجمالها بأربع مراحل هي [67] :

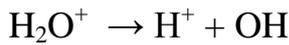
أ - المراحل الفيزيائية الابتدائية : The physical stage

وتتم خلال زمن قصير للغاية حوالي (sec 10^{-16}) من لحظة دخول الإشعاع للخلية . وخلال هذه المرحلة تنتقل الطاقة من الإشعاع الى جزيء الماء ، ويحدث التأين ، كما يأتي [64]:

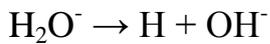
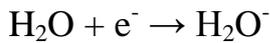


ب - المرحلة الفيزيائية الكيميائية : The physico - chemical stage

تدوم لمدة حوالي (sec 10^{-6}) ، تتفاعل خلالها الأيونات مع جزيئات ماء اخرى ينشأ عنها عدد من النواتج الجديدة . يتحلل الايون الموجب الى :



او يرتبط الايون السالب (الالكترون) مع جزيئة ماء متعادلة التي تتحلل فيما بعد :



وبالتالي فان نواتج التفاعلات هي H^+ و OH^- و H° و OH° لا يؤدي الايونان (H^+ و OH^-) دوراً في التفاعلات اللاحقة . تدعى النواتج الاخرى (H° و OH°) بالجذور الحرة ، التي لها الكترون غير مزدوج وتكون فعالة كيميائياً . قد يتحد الجذر الحر (OH°) مع بعضه البعض مكوناً بيروكسيد الهيدروجين (H_2O_2) الذي يعتبر عاملاً مؤكسداً قوياً ، كما موضح في التفاعل الاتي [154] :



The chemical stage

ج - المرحلة الكيميائية :

تستغرق هذه المرحلة عدة ثوان ، وعندما تكون المركبات (H° ، OH° و H_2O_2) في الخلية تتفاعل مع المركبات العضوية الاخرى في الخلية مثل الكروموسومات ، فتؤدي الى تكسير جزيئات السلسلة الطويلة [64].

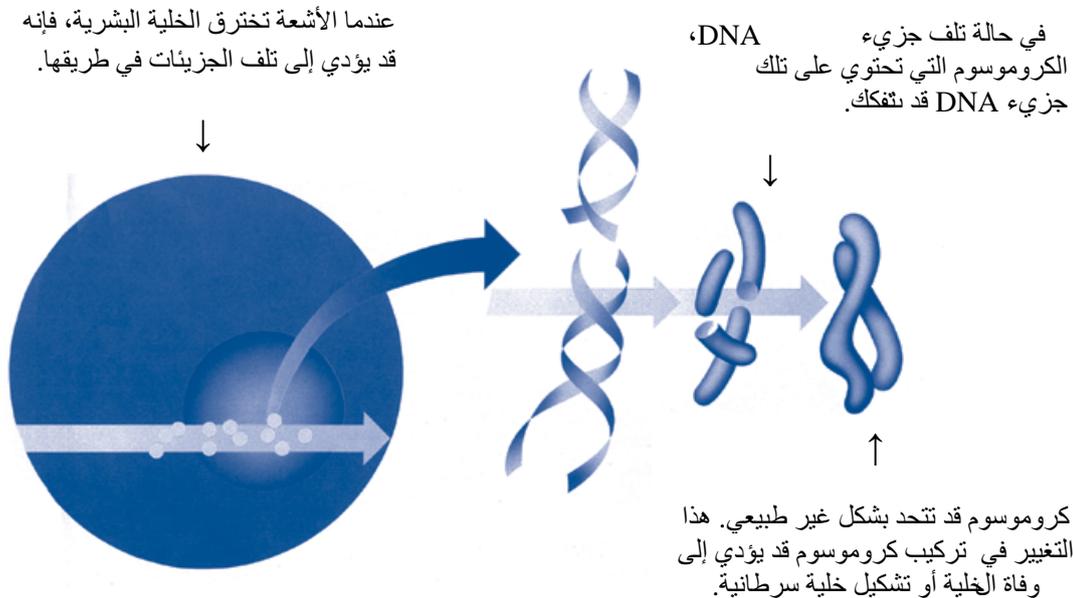
The biological stage

د- المرحلة البيولوجية :

تختلف الفترة الزمنية لهذه المرحلة من عشرات الدقائق الى عشرات السنوات معتمدة على الاعراض المعينة ، ويمكن ان ينتج الاشعاع في الخلية المنفردة التأثيرات التالية :

- 1 - الموت المبكر .
- 2 - منع أو تأخير انقسام الخلية .
- 3 - الطفرات الوراثية التي تنتقل الى الخلايا الوليدة [154] .

والشكل التالي يوضح الضرر الوراثي من الإشعاع .



الشكل (2-15) الضرر الوراثي للإشعاع [60].

الجزء العملي

Materials an Apparatus : **(1-3) المواد والأجهزة المستعملة :**

Water Bath : **1- الحمام المائي:**

لتسخين محلول القشط (NaOH) استعمل حمام مائي نوع (Memmert) المائي الصنع ، بمدى درجات حرارة $^{\circ}\text{C}$ (100-0) وبدقة $(\pm 1^{\circ}\text{C})$ ، وكانت درجة الحرارة الملائمة لظروف القشط لكاشف CR-39 هي (60°C) ، ويحتوي على محرار لقياس درجة الحرارة وقرص دائري مثبت عليه درجات الحرارة للحصول على درجة حرارة معينة بإدارة القرص على الدرجة المطلوبة . تتم عملية القشط بتعليق الكاشف داخل محلول القشط الموضوع في دورق داخل الحمام المائي الذي يغلق بعناية لكي لا يتبخر المحلول في أثناء عملية القشط لتغيير تركيزه ، بعد زمن القشط يتم غسل الكاشف بالماء المقطر وتجفيفه ثم تبدأ مرحلة القراءة المجهرية.

Optica Microscop : **2- المجهر الضوئي :**

المجهر الضوئي المستعمل لعد الآثار من نوع (Novel) صيني الصنع يحتوي على عدستين عينيتين قوة تكبير كل منهما (10X)، وأربع عدسات شينية بقوة تكبير (10X، 20X، 40X، 100X) تحديد قوة التكبير للمجهر بوساطة العلاقة التالية :
قوة التكبير = تكبير العدسة العينية × تكبير العدسة الشينية.

Sensitive Balance : **3- الميزان الحساس:**

الميزان المستعمل من نوع (stanlon 462al) انجليزي الصنع وهو ميزان حساس جداً استعمل لحساب وزن بلورات هيدروكسيد الصوديوم.

4- الكاشف CR-39 :

استعمل كاشف الأثر النووي CR-39 بسمك $(250\mu\text{m})$ وبمساحة تقريبية $(2 \times 1)\text{cm}^2$. ويكون هذا الكاشف على هيئة طبقة من البلاستيك مغطاة من الوجهين بمادة بلاستيكية أخرى (نايلون) ، لوقايتها من الخلفية الإشعاعية ومن التشوهات الحاصلة نتيجة التعرض للاجهادات الخارجية تتم ازالتها عند استعمال الكاشف. وتم نشر كواشف الأثر النووي CR-39 في داخل الهور وعددها 10 في جانبي الكرخ والرصافة 5 في كل جانب في مناطق مخ تلفة لغرفتي المعيشة والمطبخ لمدة شهرين . وقد تم تعليق 4 كواشف في كل غرفة ووضعت الكواشف في قطع من الإسفنج وتم تعليقها على ارتفاع 1.5m من سطح الأرض وتم حساب أبعاد كل غرفة ومعرفة المواد التي بنيت بها كم في الجدول (1-3) يوضح بيانات مجموعة النماذج التي تمت فيها الدراسة .

جدول (1-3) بيانات مجموعة النماذج التي تمت فيها الدراسة .

رمز النموذج	الموقع	نوع الغرفة	الأبعاد (الطول×العرض×الارتفاع) (m ³)	نوع مواد البناء (الارضية ، السقف، الجدران)
1R _k	مدينة الصدر	مطبخ	5×2×3.25	(سيراميك،سمنت،جبس)
1R _l		غرفة جلوس	8×4×3.25	(سيراميك ،سمنت ،سيراميك+جبس)
2R _k	الغدير	مطبخ	6×3×2.60	(كاشي موزايك ،سمنت ،جبس + سيراميك)
2R _l		غرفة جلوس	9×3.5×2.60	(كاشي موزايك ،سمنت ، جبس)
3R _k	زيونة	مطبخ	6×3.25×3	(كاشي موزايك ،سمنت،سيراميك)
3R _l		غرفة جلوس	10×5.40×3	(كاشي موزايك مطعم بالمرمر ، سمنت، سيراميك + فابيونو)
4R _k	بغداد الجديدة	مطبخ	4.22×1.65×2.60	(كاشي، شيلمان +طابوق، تغليف بلاستيك)
4R _l		غرفة جلوس	3.93×3.82×2.75	(كاشي ،شيلمان + طابوق،تغليف بلاستيك)
5R _k	الأمين	مطبخ	4×3.5×2.80	(كاشي موزايك ،سمنت، فرفوري +جبس)
5R _l		غرفة جلوس	6.5×3.5×2.80	(كاشي موزايك ،سمنت،جبس)
1K _k	الغزالية	مطبخ	4.80×5.25×2.72	(كاشي، سمنت، فرفوري + جبس)
1K _l		غرفة جلوس	6.91×3.83×2.72	(كاشي ،سمنت، جبس)
2K _k	المنصور	مطبخ	4.20×2.10×3	(كاشي موزايك، شيلمان +طابوق ،فرفوري +جبس)
2K _l		غرفة جلوس	6×5×3	(كاشي موزايك ،شيلمان + طابوق ،جبس)
3K _k	شارع حيفا	مطبخ	4.45×3.45×2.15	(كاشي ،سقف ثانوي ،كونكريت)
3K _l		غرفة جلوس	8×5×2.70	(كاشي ،سمنت، كونكريت)
4K _k	حي العامل	مطبخ	3×4×3.5	(سيراميك ،سمنت، سيراميك)
4K _l		غرفة جلوس	4×4×3.5	(سيراميك، سمنت ،جبس)
5K _k	الحرية	مطبخ	2.5×4×3	(كاشي ومرمر ،سمنت ،سيراميك)
5K _l		غرفة جلوس	4×3×3	كاشي ومرمر ،سمنت،جبس (وطابوق)

Chemical Material

5- المادة الكيميائية :

لإجراء عمليات القشط الكيميائي استعملت مادة هيدروكسيد الصوديوم NaOH التي تكون على هيئة حبيبات نصف كروية الشكل وتمتلك نقاوة تصل إلى 99.5 % تقريباً .

6- كاشف الرادون Rad-7:

جهاز RAD-7 صنع في شركة (Durrige Co.,(USA) والذي يمكنه قياس تركيز غاز الودون من خلال ثلاث طرائق وهي القياس المباشر للرادون في الهواء وقياس الودون في النماذج

المطحونة والتربة وقياس غاز الرادون في الماء وفي هذا البحث استعملت الطريقة الأولى للقياس، وقد تم قياس غاز الرادون في الهواء داخل الدور والمذكورة بياناتها في الجدول (3-1) والحصول على قراءات ضمن نصف ساعة من القياس ، كما في الشكل (3-1) إذ كانت نتائج القياس المطلوبة فورية ويمتاز هذا الجهاز في قدرته على تحديد طاقة جسيمة الفا الكترونيا وهذا يجعل من الممكن التمييز بين نظائر الرادون (^{218}Po بطاقة جسيم الفا 6.00 MeV و ^{214}Po بطاقة جسيم الفا 7.69 MeV....الخ) وبين الرادون والثورون ، [13] وتنبغي تجفيف كاشف RAD-7 بهواء جديد لمدة عشر دقائق وذلك بربط وحدة التجفيف في حلقة مغلقة مع RAD-7 لذا يمر الهواء الخارج عبر المجففة ويعود إلى الداخل ويلاحظ دائماً بان تدفق الهواء يكون بالطريق نفسه خلال المجففة فإذا كانت نسبة الرطوبة اقل من 6% نبدأ الاختبار حيث تشتغل المضخة لمدة خمس دقائق وتسحب الرادون من الهواء ويتم تسليمه إلى غرفة القياس في RAD-7 ومن ثم يكرر لست دورات لمدة خمس دقائق للدورة الواحدة وبذلك تبلغ مدة الاختبار 30 دقيقة وفي نهاية كل تشغيل سيطبع RAD-7 الخلاصة المتضمنة متوسط تركيز الودون ، الانحراف المعياري. وقراءة نسبة الرطوبة ودرجة الحرارة داخل الجهاز وتاريخ إجراء الاختبار وزمنه بالإضافة إلى رقم التشغيل وعدد الدورات ثم يعطي المخطط البياني والطيف المتراكم .



شكل (3-1) كاشف RAD-7 في احد المنازل .

Preparation of Etching Solution**(2-3) تحضير محلول القشط:**

لقد أكدت اغلب البحوث المنشورة ان محلول هيدروكسيد الصوديوم NaOH من القواعد القلوية القوية التي لها القدرة على التفاعل مع كواشف الأثر البلاستيكية (polymers) وقد تم في هذه الدراسة استعمال المحلول القاشط NaOH الذي يحضر بعبارية (6.25 mole/l) والتي نحصل عليها من إذابة (62.5gm) من NaOH في (1 0.25) من الماء المقطر باستعمال قنينة حجميه على ان يراعى انخفاض مستوى الماء في القنينة نتيجة الحرارة العالية المتولدة من عملية الإذابة حيث يضاف الماء الى القنينة بعد ان يتم التوازن الحراري مع المحيط .

يحسب وزن حبيبات هيدروكسيد الصوديوم باستعمال المعادلة الآتية [80]:

$$W(\text{gm}) = N \times V_w \times W_{\text{eq}} \quad \dots (1-3)$$

اذ ان W_{eq} يمثل الوزن الجزيئي لـ (NaOH) ويحسب :

$$W_{\text{eq}} = m(\text{Na}) + m(\text{O}) + m(\text{H}) \quad \dots (2-3)$$

اذ ان m تمثل كتلة العناصر

$$W_{\text{eq}} = 22.98977 + 15.9994 + 1.00794 = 39.99711 \text{ gm/mole}$$

V حجم الماء المقطر المطلوب وهو w وان (1 0.25).

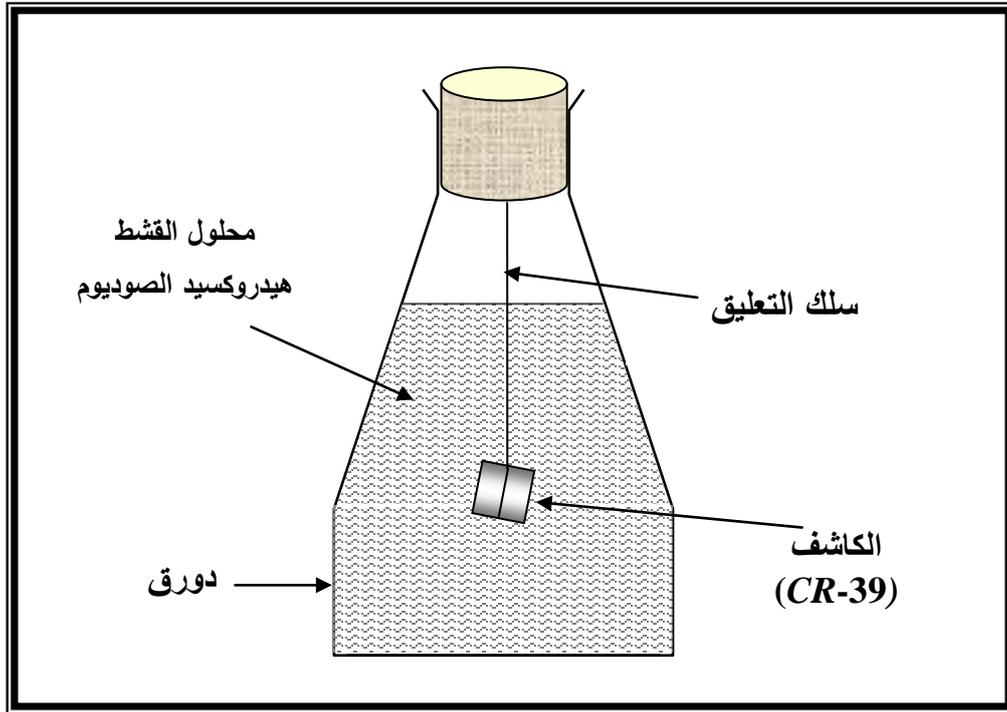
و N العبارية المطلوبة وهي (6.25 mole/l) .

$W(\text{mg})$ وزن حبيبات هيدروكسيد الصوديوم وبتعويض الأرقام أعلاه نجد ان :

$$W(\text{gm}) = 6.25 \text{ mole/l} \times 0.25 \text{ l} \times 40 \text{ gm/mole} = 62.5 \text{ (gm)}$$

Chemical Etching**(3-3) القشط الكيميائي:**

بعد إجراء عملية التعرض لمدة شهرين ، تؤخذ كواشف الأثر لإجراء عملية القشط الكيميائي لها باستعمال محلول هيدروكسيد الصوديوم المائي (NaOH) وعبارية (6.25 mole/l) ولإجراء عملية القشط الكيميائي ، يتم وضع وعاء المحلول القاشط في حمام مائي لغرض تسخينه لدرجة (60°C) ويعلق كاشف CR-39 ليوضع داخل محلول القشط ولمدة 6 ساعات ، مع ملاحظة إحكام إغلاق سدادة الدورق المخروطي ، لمنع تبخير المحلول خلال عملية القشط وتغيير تركيزه بعد انتهاء مدة القشط يؤخذ الكاشف ليغسل بالماء المقطر ويجفف . كما في الشكل (2-3) .



الشكل (2-3) يوضح عملية القشط الكيميائي لكاشف الأثر النووي (CR-39) [80].

Microscopic Viewing

(4-3) المعاينة المجهرية:

يتم في هذه المرحلة الكشف عن الآثار وذلك باختيار التكبير المناسب (قدرة التكبير كانت تساوي 400) ومن ثم عد الآثار لوحدة المساحة باستعمال عدسة خاصة مقسمة إلى عدة مربعات لحساب معدل عدد الآثار تؤخذ 10 محاولات لكل نمودج ، كما تحسب مساحة المربع ويقسم معدل عدد الآثار (N_{ave}) للنمودج (x) على وحدة المساحة المحسوبة (A) لنحصل على كثافة الآثار ρ_x .

$$\rho_x = \frac{N_{ave}}{A} \quad \dots (3-3)$$



شكل (3-3) اثار جسيمة الفا في كاشف (CR-39).

(5-3) معايرة الكاشف :

Detector calibration

تمت معايرة الكاشف بوضعه في داخل علبة وعلقت داخل غرفة حجمها (21m^3) . تم تشيعها بمصدر الراديوم (Ra-226) الباعث لغاز الرادون بفاعلية اشعاعية $(5\mu\text{Ci})$ ، وتم تعريض الكاشف لمدة زمنية مختلفة ثم اجريت عملية القشط الكيميائي باستعمال محلول (NaOH) بعبارية (6.25 mole/l) وبدرجة حرارة (60°C) وحسبت كثافة الاثار (ρ_s) للعينات القياسية. رسمت العلاقة البيانية بين المعدل الزمني للتعرض للرادون (E_x) بوحدات $(\text{Bq/m}^3)\cdot\text{day}$ وكثافة الأثار (ρ_s) بوحدات (Track/mm^2) وكانت العلاقة خطية كما في الشكل (4-3). وتم حساب التعرض للرادون في العينات المجهولة باستعمال العلاقة الآتية :

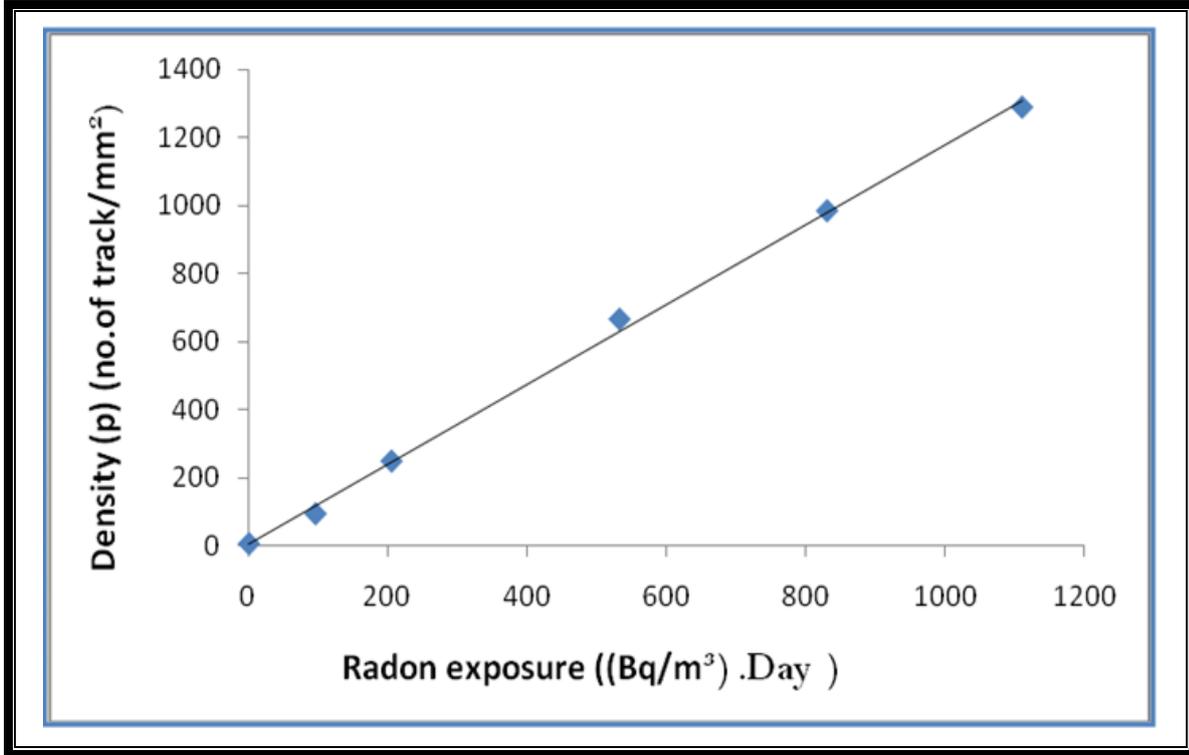
$$\frac{\rho_x}{\rho_s} = \frac{C_x}{C_s} \quad \dots (4-3)$$

$$E_x = \left(\frac{E_s}{\rho_s}\right) \times \rho_x = \rho_x / \text{Slope} \quad \dots (5-2)$$

ويتم إيجاد التركيز (C_x) كالآتي :

$$Cx = \frac{E_x}{t} \dots(6-2)$$

المدة الزمنية الكلية للعينات المعرضة لغاز الرادون . t:حيث



الشكل (4-3) علاقة كثافة الاثار (ρ_x) مع التعرض للرادون للعينات القياسية [93].

النتائج والمناقشة

(1-4) النتائج :

أ- عملية الملائمة :

بالاعتماد على البيانات المسجلة من قبل المصدر [55] والمرتببة بالجدول (1-4)، (2-4)، (3-4)، (4-4)، (5-4)، (6-4)، (7-4)، (8-4) و(9-4). والتي تمثل تركيز الرادون في الهواء مع الفعالية النوعية لمواد البناء المختلفة حيث تم تحويل الفعالية النوعية لليورانيوم (Bq/kg) الى وحدات (Bq/m^3) و إجراء عملية الملائمة Fitting الجديدة لهذه البيانات كما موضح في الشكل رقم (1-4) ، عملية الملائمة لمادة السيراميك وكذلك لبقية المواد وتمثل الأشكال (2-4)، (3-4)، (4-4)، (5-4)، (6-4) و(7-4) عملية الملائمة لمواد البناء الإسمنت والمرمر والبورسلين والكرانيت والطابوق والجبس والموزايك والكونكريت والثرمستون على التوالي . من هذه الاشكال نجد السلوك الخطي يبين تعرض الرادون وتركيز ^{238}U .

الجدول (1-4) النشاط النوعي المسجل من قبل المصدر [55] لمادة السيراميك .

Sample Code	Country of Origin	^{238}U (Bq/kg)	^{238}U (Bq/m^3)
Cer1	Egypt	31.535±5.6	35350.735 ±6277.6
Cer2	Egypt	20.464±4.5	22940.144±5044.5
Cer3	Egypt	48.948±7.0	54870.708±7847
Cer4	Iran	51.554±7.2	57792.034±8071.2
Cer5	Iran	56.900±7.5	63784.9±8407.5
Cer6	China	65.895±8.1	73868.295±9080.1
Cer7	China	62.940±7.9	70555.74±8855.9
Cer8	Spain	79.865±8.9	89528.665±9976.9
Cer9	Spain	47.029±6.9	52719.509±7734.9
Cer10	Spain	74.368±8.6	83366.528±9640.6
Cer11	Syria	32.084±5.7	35966.164±6389.7
Cer12	Syria	54.155±7.4	60707.755±8295.4
Cer13	U.A.E	31.317±5.6	35106.357±6277.6

يتبع ←

تابع جداول (1-4) النشاط النوعي المسجل من قبل المصدر [55] لمادة السيراميك .

Sample Code	Country of Origin	^{238}U (Bq/kg)	^{238}U (Bq/ m ³)
Cer14	U.A.E	76.295±8.7	85526.695±9752.7
Cer15	K.S.A	29.669±5.4	33258.949±6053.4
Cer16	Italy	37.694±6.1	42254.974±6838.1
Cer17	Vietnam	76.923±8.8	86230.683±9864.8
Cer18	Vietnam	114.530±10.7	128388.13±11994.7
Cer19	Oman	23.370±4.8	26197.77±5380.8
Cer20	Lebanon	41.288±6.4	46283.848±7174.4
Cer21	Jordan	50.041±7.1	56095.961±7959.1
Cer22	Brazil	72.174±8.5	80907.054±9528.5
Cer23	Tunisia	66.050±8.1	74042.05±9080.1
Cer24	Portugal	98.478±9.9	110393.838±11097.9
Ave.	-----	55.982±7.3	62755.822±8183.3
Min.	-----	20.464±4.5	22940.144±5044.5
Max.	-----	114.530±10.7	128388.13±11994.7

الجدول (2-4) النشاط النوعي المسجل من قبل المصدر [55] لمادة الاسمنت .

Sample Code	Country of Origin	^{238}U (Bq/kg)	^{238}U (Bq/ m ³)
Cem1	Iraq/Anbar	33.000±5.7	49698±8584.2
Cem2	Iraq/ Sulaymaniyah	43.646±6.6	65730.876±9939.6
Cem3	Iraq/Baghdad	21.040±4.6	31686.24 ±6927.6
Cem4	Iraq/Falujah	37.244±6.1	56089.464±9186.6
Ave.	-----	33.733±5.8	50801.898±8734.8
Min.	-----	21.040±4.6	31686.24 ±6927.6
Max.	-----	43.646±6.6	65730.876±9939.6

الجدول (3-4) النشاط النوعي المسجل من قبل المصدر [55] لمادة المرمر .

Sample Code	Country of Origin	²³⁸ U (Bq/kg)	²³⁸ U (Bq/m ³)
Mar1	Turkish	3.733±1.9	9556.48±4864
Mar2	Turkish	7.686±2.8	19676.16±7168
Mar3	Turkish	7.348±2.7	18810.88±6912
Mar4	India	5.085±2.3	13017.6±5888
Mar5	India	3.344±1.8	8560.64±4608
Mar6	India	6.040±2.5	15462.4±6400
Mar7	Iran	4.080±2.0	10444.8±5120
Mar8	Iran	5.183±2.3	13268.48±5888
Mar9	Iran	2.158±1.5	5524.48 ±3840
Mar10	China	14.011±3.7	35868.16±9472
Mar11	Pakistan	9.102±3.0	23301.12 ±7680
Mar12	Italy	5.208±2.3	13332.48±5888
Mar13	Greek	3.474±1.9	8893.44±4864
Ave.	-----	5.881±2.4	15055.36±6144
Min.	-----	2.158±1.5	5524.48 ±3840
Max.	-----	14.011±3.7	35868.16±9472

الجدول (4-4) النشاط النوعي المسجل من قبل المصدر [55] لمادة البورسلين .

Sample Code	Country of Origin	²³⁸ U (Bq/kg)	²³⁸ U (Bq/m ³)
Por1	China	112.228±10.6	269347.2±25440
Por2	China	97.881±9.9	234914.4±23760
Por3	Spain	46.947±6.9	112672.8±16560
Por4	U.A.E	31.468±5.6	75523.2±13440
Por5	Italy	102.315±10.1	245556±24240
Ave.	-----	78.168±8.6	187603.2±20640
Min.	-----	31.468±5.6	75523.2±13440
Max.	-----	112.228±10.6	269347.2±25440

الجدول (5-4) النشاط النوعي المسجل من قبل المصدر [55] لمادة الثوانيت .

Sample Code	Country of Origin	²³⁸ U (Bq/kg)	²³⁸ U (Bq/ m ³)
Gra1	China	38.763±6.2	104660.1±16740
Gra2	China	60.926±7.8	164500.2±21060
Gra3	China	3.080±1.8	8316 ±4860
Gra4	China	43.849±6.6	118392.3±17820
Gra5	India	94.159±9.7	254229.3±26190
Gra6	Iran	44.825±6.7	121027.5±18090
Gra7	Brazil	66.630±8.2	179901±22140
Ave.	-----	50.319±6.7	135861.3±18090
Min.	-----	3.080±1.8	8316 ±4860
Max.	-----	94.159±9.7	254229.3±26190

الجدول (6-4) النشاط النوعي المسجل من قبل المصدر [55] لمادة الطابوق .

Sample Code	Country of Origin	²³⁸ U (Bq/kg)	²³⁸ U (Bq/ m ³)
Brk1	Iraq/Dialah	31.985±5.7	57381.09±10225.8
Brk2	Iran	32.112±5.7	57608.928±10225.8
Brk3	Iran	24.038±4.9	43124.172±8790.6
Brk4	Iran	25.085±5.0	45002.49 ±8970
Ave.	-----	28.305±5.3	50779.17±9508.2
Min.	-----	24.038±4.9	43124.172±8790.6
Max.	-----	32.112±5.7	57608.928±10225.8

الجدول (7-4) النشاط النوعي المسجل من قبل المصدر [55] لمادة الجبس .

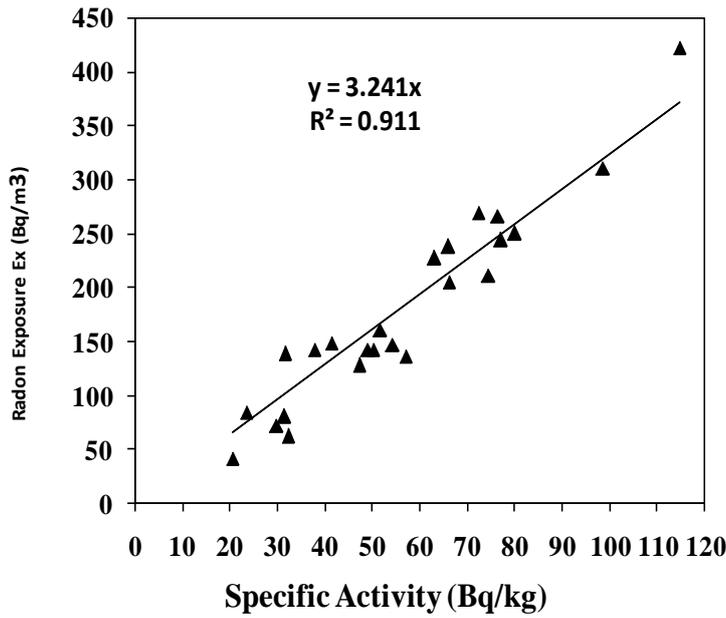
Sample Code	Country of Origin	²³⁸ U (Bq/kg)	²³⁸ U (Bq/ m ³)
Gyp1	Iraq/Baghdad	6.110±2.5	14053 ±5750
Gyp2	Iraq/Sulaymaniyah	10.149±3.2	23342.7 ±7360
Gyp3	Iraq/Falujah	12.378±3.5	28469.4±8050
Ave.	-----	9.546±3.1	21955.8 ±7130
Min.	-----	6.110±2.5	14053 ±5750
Max.	-----	12.378±3.5	28469.4±8050

الجدول (8-4) النشاط النوعي المسجل من قبل المصدر [55] لمادة الموزايك .

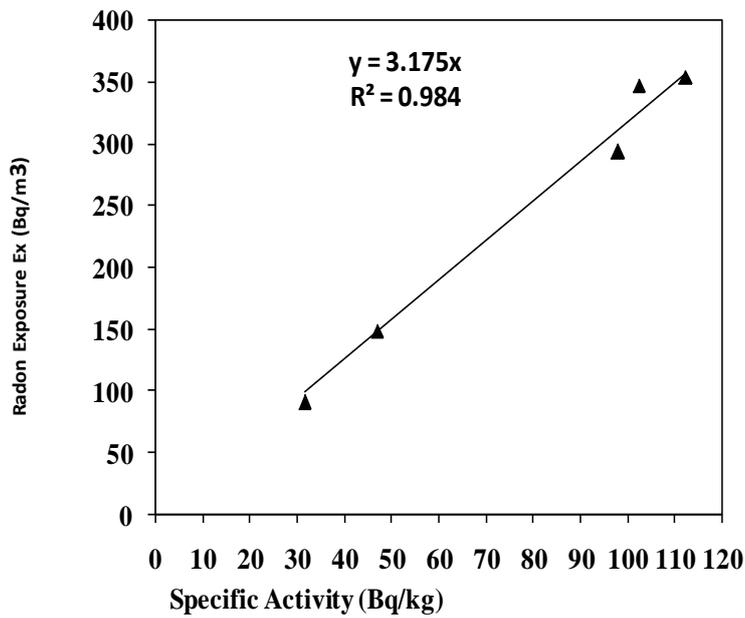
Sample Code	Country of Origin	²³⁸ U (Bq/kg)	²³⁸ U (Bq/ m ³)
Mos1	Iraq/Baghdad	15.902±4.0	44525.6±11200
Mos2	Iraq/Baghdad	10.837±3.3	30343.6 ±9240
Mos3	Turkish	6.125±2.5	17150 ± 7000
Mos4	Turkish	7.593 ±2.8	21260.4 ±7840
Mos5	Iran	4.721±2.2	13218.8 ±6160
Ave.	-----	9.036±2.9	25300.8 ±8120
Min.	-----	4.721±2.2	13218.8 ±6160
Max.	-----	15.902±4.0	44525.6±11200

الجدول (9-4) النشاط النوعي المسجل من قبل المصدر [55] لمادة الحجر والكونكريت والثرمستون .

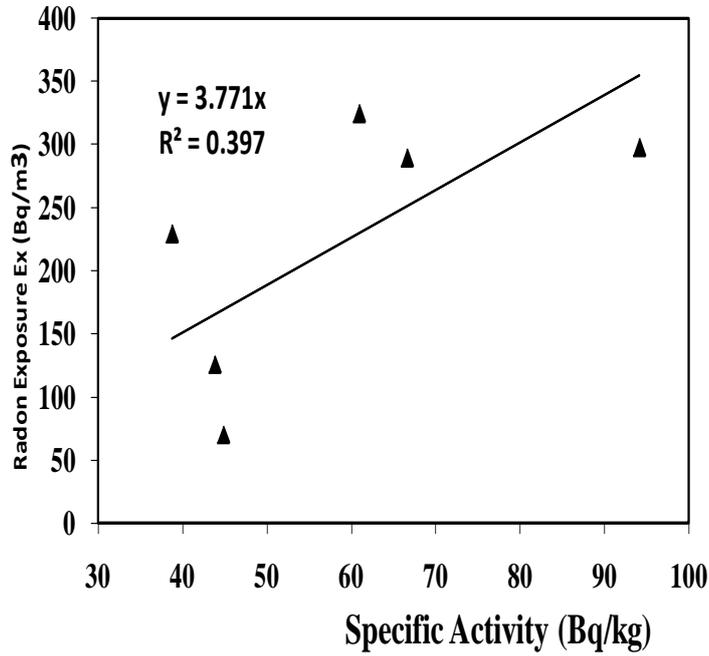
Sample Code	Country of Origin	²³⁸ U (Bq/kg)	²³⁸ U (Bq/ m ³)
Sto1	Iraq/ Sulaymaniyah	11.457±3.4	18331.2±5440
Sto2	Iraq/Balad	201.753±14.2	322804.8±22720
Sto3	Iraq/Mosul	6.358±2.5	10172.8±4000
Sto4	Iraq/Mosul	23.933±4.9	38292.8±7840
Sto5	Iraq/Heet	5.100±2.3	8160±3680
Sto6	Iraq/Mosul	21.910±4.7	35056±7520
Sto7	Iraq/Mosul	15.113±3.9	24180.8±6240
Ave.	-----	40.803±5.1	65285.5±8205.7
Min.	-----	5.100±2.3	8160±3680
Max.	-----	201.753±14.2	322804.8±22720
Con1	Iraq/Dialah	16.458±4.1	38231.934±9524.3
Thr1	Iraq/Najaf	39.546±6.3	71973.72 ±11466



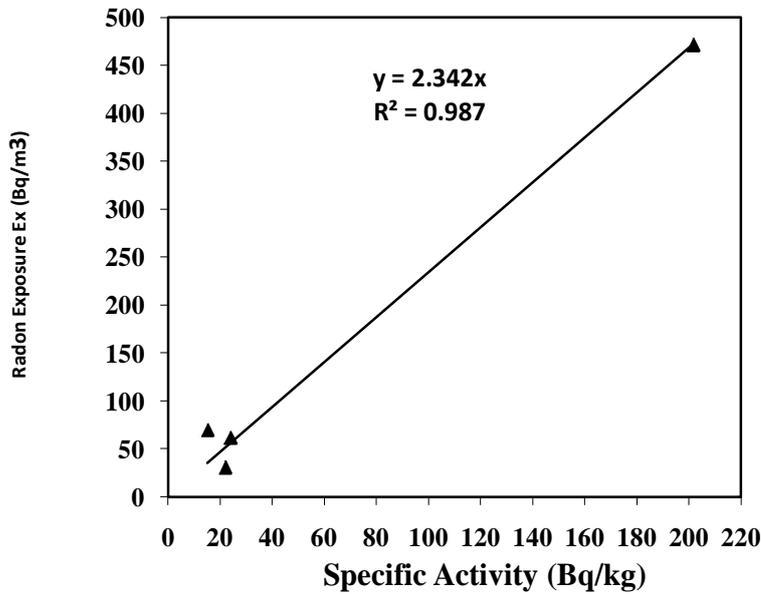
شكل (1-4) تعرض الرادون مقابل الفعالية النوعية لمادة السيراميك.



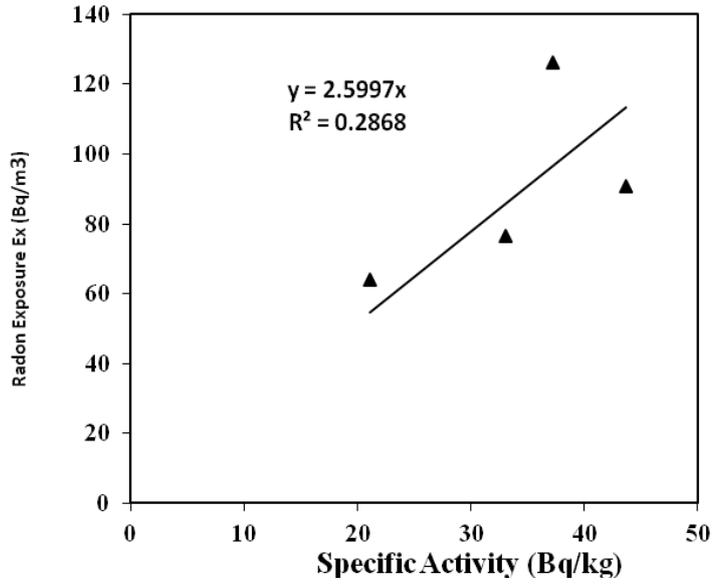
الشكل (2-4) التعرض الرادون مقابل الفعالية النوعية لمادة البورسلين.



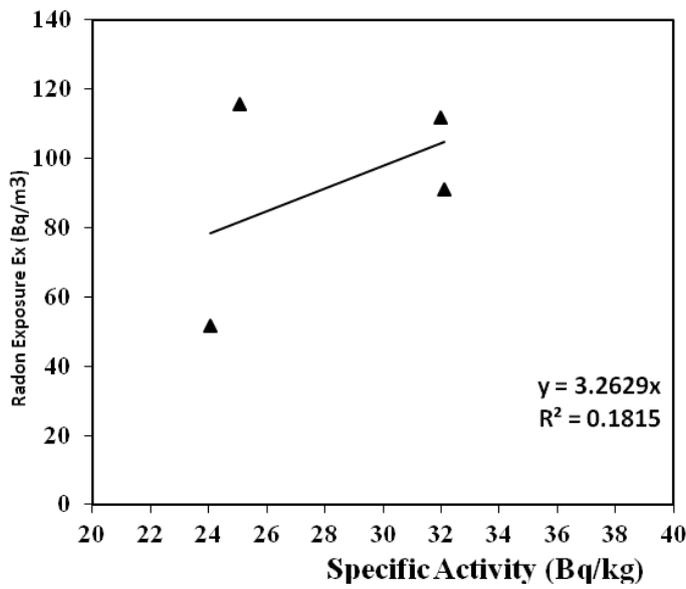
الشكل (3-4) تعرض الرادون مقابل الفعالية النوعية لمادة الكرانيت .



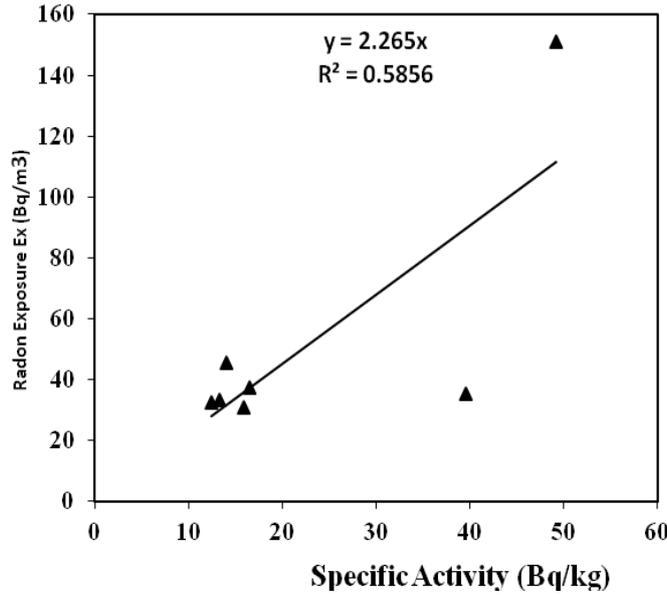
الشكل (4-4) تعرض الرادون مقابل الفعالية النوعية لمادة الحجر.



الشكل (5-4) تعرض الرادون مقابل الفعالية النوعية لمادة الأسمنت.



الشكل (6-4) تعرض الرادون مقابل الفعالية النوعية لمادة الطابوق.



الشكل (7-4) تعرض الرادون مقابل الفعالية النوعية لمواد البناء الأخرى .

ب - حساب تراكيز الرادون باستعمال كاشف CR-39:

بعد توزيع كواشف الأثر النووي CR-39 على الدور والمذكورة بياناتها في الجدول (1-3) لمدة شهرين تم جمع الكواشف وإجراء عملية ا لقسط الكيميائي لها باستعمال محلول (NaOH) والمعاينة المجهرية للحصول على كثافة الأثار ومن ثم حساب تراكيز غاز الرادون من خلال المقارنة مع النماذج القياسية باستعمال العلاقة بين كثافة أثار جسيمات الفا مع التراكيز المعلومة لغاز الرادون في العينات القياسية ،حيث كانت العلاقة خطية كما في الشكل (4-3) ومن ميل الرسم البياني تم حساب تراكيز غاز الرادون للعينات المجهولة من العلاقتين (4-3)(5-3)، اذ ادرجت نتائج قياس تراكيز غاز الرادون بالجدولين (10-4) و(11-4).

الجدول (10-4) تراكيز الرادون وكثافة الآثار في داخل الدور في جانب الوصافة .

تركيز الرادون (Bq/m ³)	الانحراف المعياري	كثافة الآثار (Track/mm ²)	الموقع	رمز النموذج
12.716	4.855	448.225	مدينة الصدر	1R _k -1
11.331	5.055	399.408		1R _k -2
11.415	7.598	402.366		1R _k -3
8.687	6.165	306.213		1R _k -4
11.037±3.322	....	....	....	المعدل
7.973	6.815	281.065	مدينة الصدر	1R _l -1
9.904	4.926	349.112		1R _l -2
8.855	5.021	312.130		1R _l -3
		تلف		1R _l -4
8.911±2.985	....	....	....	المعدل
8.813	7.165	310.651	الغدير	2R _k -1
14.520	10.233	511.834		2R _k -2
12.296	3.773	433.432		2R _k -3
14.017	7.763	494.083		2R _k -4
12.412±3.523	....	....	....	المعدل
14.184	5.095	500	الغدير	2R _l -1
12.170	7.409	428.994		2R _l -2
11.960	6.485	421.598		2R _l -3
7.218	4.492	254.438		2R _l -4
11.383±3.374	....	....	....	المعدل
14.100	8.618	497.041	زيونة	3R _k -1
15.192	7.510	535.503		3R _k -2
17.038	4.789	600.592		3R _k -3
9.484	4.926	334.319		3R _k -4
13.954±3.736	....	....	....	المعدل
11.666	6.596	411.243	زيونة	3R _l -1
9.946	5.926	350.592		3R _l -2
15.653	6.056	551.775		3R _l -3
7.596	3.665	267.751		3R _l -4
11.215±3.349	....	....	....	المعدل
7.701	8.407	271.456	بغداد الجديدة	4R _k -1
4.574	4.433	161.243		4R _k -2
6.673	7.218	235.207		4R _k -3
9.652	6.11	340.237		4R _k -4
7.150±2.674	....	....	....	المعدل

يتبع ←

تابع جدول (10-4) تراكيز الرادون وكثافة الآثار في داخل الدور في جانب الرصافة .

تركيز الرادون (Bq/m ³)	الانحراف المعياري	كثافة الآثار (Track/mm ²)	الموقع	رمز النموذج
15.443	8.456	544.379	بغداد الجديدة	4R _I -1
13.597	10.679	479.290		4R _I -2
12.422	8.249	437.870		4R _I -3
12.086	10.053	426.036		4R _I -4
11.387±3.375	....	....	....	المعدل
14.201	7.633	500.592	الأمين	5R _k -1
14.940	10.906	526.627		5R _k -2
7.680	6.684	270.710		5R _k -3
4.777	3.534	168.391		5R _k -4
10.400±3.225	....	....	....	المعدل
10.407	7.193	366.864	الأمين	5R _I -1
12.254	4.590	431.953		5R _I -2
11.834	7.146	417.160		5R _I -3
9.904	8.099	349.112		5R _I -4
11.100±3.332	....	....	....	المعدل

الجدول (11-4) تركيز الرادون وكثافة الآثار في داخل الدور في جانب الكرخ.

تركيز الرادون (Bq/m ³)	الانحراف المعياري	كثافة الآثار (Track/mm ²)	الموقع	رمز النموذج
7.806	5.441	275.148	الغزالية	1K _k -1
7.428	3.129	261.834		1K _k -2
8.183	2.915	288.462		1K _k -3
8.855	3.604	312.130		1K _k -4
8.068±2.840	....	....	....	المعدل
10.114	4.864	356.509	الغزالية	1K _I -1
9.065	3.596	319.527		1K _I -2
7.512	2.923	264.793		1K _I -3
7.932	3.542	279.586		1K _I -4
8.656±2.942	....	....	....	المعدل
11.666	5.432	411.243	المنصور	2K _k -1
9.610	5.507	338.757		2K _k -2
8.057	3.360	284.024		2K _k -3
8.141	3.204	286.982		2K _k -4
9.370±3.061	....	....	....	المعدل

يتبع ←

تابع جدول (11-4) تركيز الرادون وكثافة الآثار في داخل الدور في جانب الكرخ.

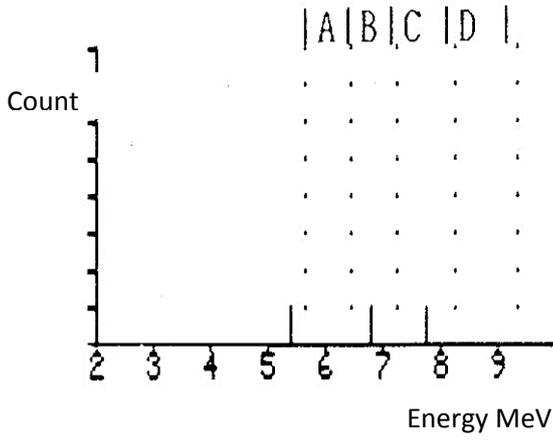
تركيز الرادون (Bq/m ³)	الانحراف المعياري	كثافة الآثار (Track/mm ²)	نوع الغرفة	رمز الفموذج
6.043	4.088	213.018	المنصور	2K _I -1
8.309	6.339	292.899		2K _I -2
10.114	6.082	356.509		2K _I -3
9.652	4.472	340.237		2K _I -4
8.530±2.921	....	....	....	المعدل
7.638	3.293	269.231	شارع حيفا	3K _K -1
16.702	10.758	588.757		3K _K -2
8.561	4.452	301.775		3K _K -3
		تلف		3K _K -4
10.967±3.312	....	....	....	المعدل
7.092	4.228	250	شارع حيفا	3K _I -1
9.820	4.274	346.154		3K _I -2
7.638	5.653	269.231		3K _I -3
		تلف		3K _I -4
8.200±2.864	....	....	....	المعدل
7.848	4.191	276.627	حي العامل	4K _K -1
9.652	8.110	340.237		4K _K -2
9.904	6.346	349.112		4K _K -3
9.107	2.751	321.006		4K _K -4
9.128±3.021	....	....	....	المعدل
10.869	4.408	383.136	حي العامل	4K _I -1
11.289	4.095	397.929		4K _I -2
10.072	3.801	355.030		4K _I -3
10.282	4.353	362.426		4K _I -4
10.628±3.260	....	....	....	المعدل
4.742	3.433	167.160	الحرية	5K _K -1
6.547	3.502	230.769		5K _K -2
13.135	4.877	463.018		5K _K -3
13.177	7.412	464.497		5K _K -4
9.406±3.066	....	....	....	المعدل
11.457	6.618	403.846	الحرية	5K _I -1
9.232	4.619	325.444		5K _I -2
8.351	3.695	294.379		5K _I -3
14.226	6.740	501.479		5K _I -4
10.816±3.289	....	....	....	المعدل

ج-حساب تراكيز الرادون باستعمال جهاز Rad-7:

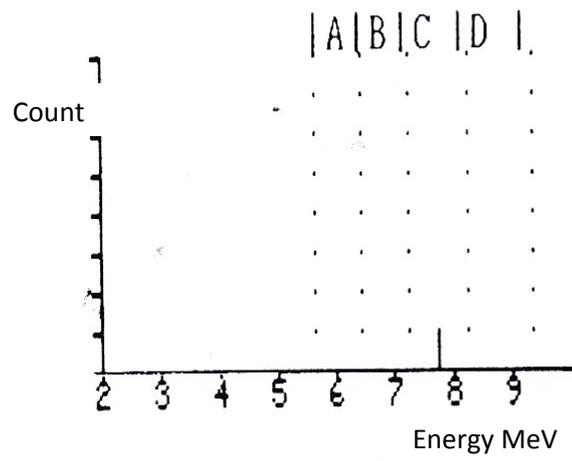
كما تم الحصول على نتائج تراكيز الرادون باستعمال جهاز Rad-7 والمثبتة بالجدول (12-4) والتي تتضمن تركيز غاز الرادون ودرجة الحرارة والرطوبة ويمثل الشاغل (8-4) طيف طاقة الفا لبعض النماذج لجانبي الكرخ والرصافة .

الجدول (12-4) تراكيز غاز الرادون داخل الدور في جانبي الكرخ والرصافة .

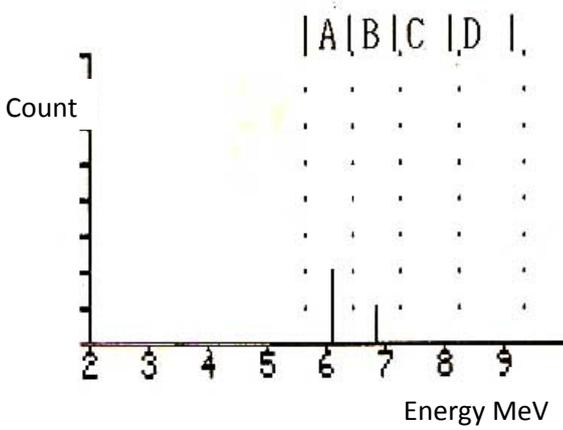
الرمز النموذج	تركيز غاز الرادون (qB/m ³)	درجة الحرارة (°C)	الرطوبة HR
1R ₁	17.7	26.4	8%
2R ₁	0.00	27.1	8%
3R _k	5.90	28.0	7%
5R ₁	0.00	27.4	8%
2K ₁	0.00	37.1	9%
2K _k	12.0	36.5	8%
3K ₁	0.00	38.6	7%
3K _k	5.90	36.2	7%
4K ₁	11.8	35.3	9%
4K _k	5.99	33.2	8%
5K ₁	5.99	36.2	9%
5K _k	0.00	39.5	7%



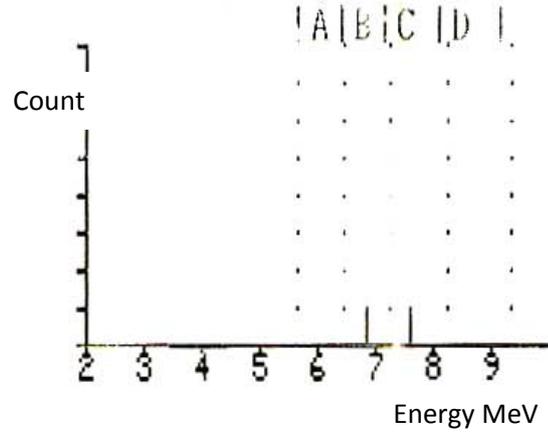
ب- النموذج $5R_1$.



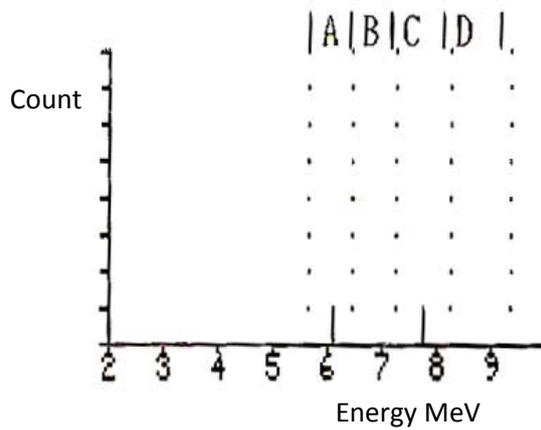
ا- النموذج $2R_1$.



ث- النموذج $4K_1$.



ت - النموذج $3K_1$.



ج- النموذج $4K_k$.

شكل (4- 8) طيف طاقة الفا لبعض النماذج $2R_1$ ، $5R_1$ ، $3K_1$ ، $4K_1$ و $4K_k$.

د- المعادلة التجريبية :

تم الحصول على المعادلة التجريبية من خلال النتائج التي عرضت في الفقرة أ و ب سابقا إذ تم استنباط هذه المعادلة من خلال اعتماد بيانات المصدر [55] وإعادة عملية الملائمة واعتماد قيمة الميل للخط المستقيم في عملية الملائمة ومعدل الفعالية النوعية لنوع المادة المستعملة وأبعاد المساحات التي سيتم بناؤها مع نوع المواد المستعملة بها ومعامل الانتشار للمادة خلال قيم عالمية معتمدة [23,16] والمعادلة هي :

$$R = C m A \rho D_{mat} V D_{air} \dots(1-4)$$

4)

إذ ان :

R: تركيز الرادون (qB/m^3) .

C: ثابت التصحيح ($C = 4.744 s^2/kg.m^4$) .

m: ميل الخط المستقيم لأشكال الملائمة لكل مادة ووحداته وحدات الكثافة (kg/m^3) .

A: متوسط الفعالية النوعية للمادة ووحداته (qB/kg) .

ρ : الكثافة لكل مادة (kg/m^3) [155].

D_{mat} : معامل انتشار الرادون في المادة (m^2/s) [23,16].

V: الحجم = المساحة \times سمك المادة ووحداته (m^3) .

D_{air} : معامل انتشار الرادون في الهواء ووحداته (m^2/s) [156].

إضافة إلى عامل التصحيح خلال البرنامج يتم عرض نافذة للأبعاد ولكل مادة ومن ثم سيتم تطبيق المعادلة التجريبية لها لنحصل على تركيز الرادون الذي سيتواجد داخل هذه الأبنية التي سيتم انشاؤها وقد تم تصميم برنامج Matlab لهذا الغرض بمخطط يوضح الخطوات ملحق بالبرنامج ، كما في الملحق رقم 1.

بعد تنفيذ البرنامج تم الحصول على النتائج المثبتة بالجدول (4-13).

الجدول (4-13) تركيز الرادون (البرنامج) ومدى و معدل تراكيز الرادون باستعمال كاشف (CR -39).

رمز النموذج	معدل التركيز (CR -39) (Bq/m ³)	مدى تركيز (CR- 39) (Bq/m ³)	تركيز الرادون (البرنامج) (Bq/m ³)	الانحراف المعياري	Rad-7 (Bq/m ³)
1R _k	11.037±3.322	12.716-8.687	7.842	2.360	
1R _l	8.911±2.985	9.904-7.973	12.263	4.108	17.7
2R _k	12.412±3.523	14.520-8.813	9.350	2.654	
2R _l	11.383±3.374	14.184-7.218	14.222	4.215	0.00
3R _k	13.954±3.736	17.038-9.484	10.114	3.808	5.90
3R _l	11.215±3.349	15.653-7.596	32.083	9.581	
4R _k	7.150±2.674	9.652-4.574	8.553	3.199	
4R _l	11.387±3.375	15.443-12.086	8.534	2.529	
5R _k	10.400±3.225	14.940-4.777	10.513	3.260	
5R _l	11.100±3.332	12.254-9.904	10.688	3.208	0.00
1K _k	8.068±2.840	8.855-7.428	12.055	4.243	
1K _l	8.656±2.942	10.114-7.512	11.381	3.868	
2K _k	9.370±3.061	11.666-8.057	7.937	2.593	12.0
2K _l	8.530±2.921	10.114-6.043	9.663	3.309	0.00
3K _k	10.967±3.312	16.702-7.638	7.263	2.193	5.90
3K _l	8.200±2.864	9.820-7.092	19.337	6.754	0.00
4K _k	9.128±3.021	9.904-7.848	7.187	2.379	5.99
4K _l	10.628±3.260	11.289-10.072	11.006	3.376	11.8
5K _k	9.406±3.066	13.177-4.742	9.199	2.999	0.00
5K _l	10.816±3.289	14.226-8.351	9.336	2.839	5.99

هـ- حساب الجرعة الإشعاعية :

عند تطبيق المعادلات الخاصة بالجرعة الإشعاعية (27-2)، (28-2)، (29-2) و(30-2) للحصول على تركيز مكافئ الرادون - المتوازن (EECR_n)، الجرعة المكافئة الفعالة (H_{eff})، الجرعة الفعالة للنسيج والرئة (D_{soft tissues}، D_{Lung})، الجرعة السنوية الفعالة، وتوضح الجداول (4-14)، (4-15) و(4-16) القيم للجرعة الإشعاعية .

الجدول (14-4) الجرعة الإشعاعية لتراكيز الرادون في جانب الرصافة باستعمال كاشف CR-39.

H _{eff} nSv h ⁻¹	D _{Lung} nGy h ⁻¹	D _{soft tissues} nGyh ⁻¹	Annual effective Dose mSv/y	EEC Bq h/m ³	تركيز الرادون (Bq/m ³)	رمز النموذج
2.3	0.51	0.06	0.5	5.7	12.716	1R _k -1
2.0	0.45	0.06	0.4	5.1	11.331	1R _k -2
2.1	0.46	0.06	0.4	5.1	11.415	1R _k -3
1.6	0.35	0.04	0.3	3.9	8.687	1R _k -4
....	....	....	....	....	11.037±3.322	المعدل
1.4	0.32	0.04	0.3	3.6	7.973	1R _l -1
1.8	0.40	0.05	0.4	4.5	9.904	1R _l -2
1.6	0.35	0.04	0.3	4.0	8.855	1R _l -3
						1R _l -4
....	....	....	....	....	8.911±2.985	المعدل
1.6	0.35	0.04	0.3	4.0	8.813	2R _k -1
2.6	0.58	0.07	0.6	6.5	14.520	2R _k -2
2.2	0.49	0.06	0.5	5.5	12.296	2R _k -3
2.5	0.56	0.07	0.6	6.3	14.017	2R _k -4
....	....	....	....	....	12.412±3.523	المعدل
2.6	0.57	0.07	0.6	6.4	14.184	2R _l -1
2.2	0.49	0.06	0.5	5.5	12.170	2R _l -2
2.2	0.48	0.06	0.5	5.4	11.960	2R _l -3
1.3	0.29	0.04	0.3	3.2	7.218	2R _l -4
....	....	....	....	....	11.383±3.374	المعدل
2.5	0.56	0.07	0.6	6.3	14.100	3R _k -1
2.7	0.60	0.08	0.6	6.8	15.192	3R _k -2
3.1	0.68	0.09	0.7	7.7	17.038	3R _k -3
1.7	0.34	0.05	0.4	4.3	9.484	3R _k -4
....	....	....	....	....	13.954±3.736	المعدل
2.1	0.47	0.06	0.5	5.2	11.666	3R _l -1
1.8	0.40	0.05	0.4	4.5	9.946	3R _l -2
2.8	0.63	0.08	0.6	7.0	15.653	3R _l -3
1.4	0.30	0.04	0.3	3.4	7.596	3R _l -4
....	....	....	....	....	11.215±3.349	المعدل
1.4	0.31	0.04	0.3	3.5	7.701	4R _k -1
0.8	0.18	0.02	0.2	2.1	4.574	4R _k -2
1.2	0.27	0.03	0.3	3.0	6.673	4R _k -3
1.7	0.39	0.05	0.4	4.3	9.652	4R _k -4
....	....	....	....	....	7.150±2.674	المعدل
2.8	0.62	0.08	0.6	6.9	15.443	4R _l -1
2.4	0.54	0.07	0.5	6.1	13.597	4R _l -2
2.2	0.50	0.06	0.5	5.59	12.422	4R _l -3
2.2	0.48	0.06	0.5	5.4	12.086	4R _l -4

....	11.387±3.375	المعدل
------	------	------	------	------	--------------	--------

يتبع ←

تابع جدول (14-4) الجرعة الإشعاعية لتراكيز الرادون في جانب الرصافة باستعمال كاشف CR-39.

H _{eff} nSv h ⁻¹	D _{Lung} nGy h ⁻¹	D _{soft} tissues nGyh ⁻¹	Annual effective Dose mSv/y	EEC Bq h/m ³	تركيز الرادون (Bq/m ³)	رمز النموذج
2.6	0.57	0.07	0.6	6.4	14.201	5R _k -1
2.7	0.60	0.07	0.6	6.7	14.940	5R _k -2
1.4	0.31	0.04	0.3	3.5	7.680	5R _k -3
0.9	0.19	0.02	0.2	2.1	4.777	5R _k -4
....	....	....	....	....	10.400±3.225	المعدل
1.9	0.42	0.05	0.4	4.7	10.407	5R _l -1
2.2	0.49	0.06	0.5	5.5	12.254	5R _l -2
2.1	0.47	0.06	0.5	5.3	11.834	5R _l -3
1.8	0.40	0.05	0.4	4.5	9.904	5R _l -4
....	....	....	....	....	11.100±3.332	المعدل

الجدول (15-4) الجرعة الإشعاعية لتراكيز الرادون في جانب الكرخ باستعمال كاشف CR-39.

H _{eff} nSv h ⁻¹	D _{Lung} nGy h ⁻¹	D _{soft} tissues nGyh ⁻¹	Annual effective Dose mSv/y	EEC Bq h/m ³	تركيز الرادون (Bq/m ³)	رمز النموذج
1.4	0.31	0.04	0.3	3.5	7.806	1K _k -1
1.3	0.30	0.04	0.3	3.3	7.428	1K _k -2
1.5	0.33	0.04	0.3	3.7	8.183	1K _k -3
1.6	0.35	0.04	0.3	4.0	8.855	1K _k -4
....	....	....	....	....	8.068±2.840	المعدل
1.8	0.40	0.05	0.4	4.6	10.114	1K _l -1
1.6	0.36	0.05	0.4	4.1	9.065	1K _l -2
1.4	0.30	0.04	0.3	3.4	7.512	1K _l -3
1.4	0.32	0.04	0.3	3.6	7.932	1K _l -4
....	....	....	....	....	8.656±2.942	المعدل
2.1	0.47	0.06	0.5	5.2	11.666	2K _k -1
1.7	0.38	0.05	0.4	4.3	9.610	2K _k -2
1.5	0.32	0.04	0.3	3.6	8.057	2K _k -3
1.5	0.33	0.04	0.3	3.7	8.141	2K _k -4
....	....	....	....	....	9.370±3.061	المعدل
1.1	0.24	0.03	0.2	2.7	6.043	2K _l -1
1.5	0.33	0.04	0.3	3.7	8.309	2K _l -2
1.8	0.40	0.05	0.4	4.6	10.114	2K _l -3
1.7	0.39	0.05	0.4	4.3	9.652	2K _l -4

....	8.530±2.921	المعدل
------	------	------	------	------	-------------	--------

يتبع ←

تابع جدول (4-15) الجرعة الإشعاعية لتراكيز الرادون في جانب الكرخ باستعمال كاشف CR-39.

H _{eff} nSv h ⁻¹	D _{Lung} nGy h ⁻¹	D _{soft} tissues nGyh ⁻¹	Annual effective Dose mSv/y	EEC Bq h/m ³	تركيز الرادون (Bq/m ³)	رمز النموذج
1.4	0.30	0.04	0.3	3.4	7.638	3K _k -1
3.0	0.67	0.08	0.7	7.5	16.702	3K _k -2
1.5	0.34	0.04	0.3	3.9	8.561	3K _k -3
						3K _k -4
....	....	....	....	....	10.967±3.312	المعدل
1.3	0.28	0.04	0.3	3.2	7.092	3K _l -1
1.8	0.39	0.05	0.4	4.4	9.820	3K _l -2
1.4	0.30	0.04	0.3	3.4	7.638	3K _l -3
						3K _l -4
....	....	....	....	....	8.200±2.864	المعدل
1.4	0.31	0.04	0.3	3.5	7.848	4K _k -1
1.7	0.39	0.05	0.4	4.3	9.652	4K _k -2
1.8	0.40	0.05	0.4	4.5	9.904	4K _k -3
1.6	0.36	0.05	0.4	4.1	9.107	4K _k -4
....	....	....	....	....	9.128±3.021	المعدل
2.0	0.43	0.05	0.4	4.9	10.869	4K _l -1
2.0	0.45	0.06	0.4	5.1	11.289	4K _l -2
1.8	0.40	0.05	0.4	4.5	10.072	4K _l -3
1.9	0.41	0.05	0.4	4.6	10.282	4K _l -4
....	....	....	....	....	10.628±3.260	المعدل
0.9	0.19	0.02	0.2	2.1	4.742	5K _k -1
1.2	0.26	0.03	0.3	2.9	6.547	5K _k -2
2.4	0.53	0.07	0.5	5.9	13.135	5K _k -3
2.4	0.53	0.07	0.5	5.9	13.177	5K _k -4
....	....	....	....	....	9.406±3.066	المعدل
2.1	0.46	0.06	0.5	5.2	11.457	5K _l -1
1.7	0.37	0.05	0.4	4.2	9.232	5K _l -2
1.5	0.33	0.04	0.3	3.8	8.351	5K _l -3
2.6	0.57	0.07	0.6	6.4	14.226	5K _l -4
....	....	....	....	....	10.816±3.289	المعدل

الجدول (16-4) الجرعة الإشعاعية لتراكيز الرادون في جانبي الكرخ والرصافة باستعمال جهاز RAD-7.

رمز النموذج	تركيز الرادون (Bq/m ³)	EEC Bq h/m ³	Annual effective Dose mSv/y	D _{soft tissues} nGyh ⁻¹	D _{Lung} nGy h ⁻¹	H _{eff} nSv h ⁻¹
1R _I	17.7	8	0.7	0.09	0.70	3.2
2R _I	0.00	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0
3R _k	5.90	2.7	0.2	0.03	0.24	1.1
5R _I	0.00	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0
2K _I	0.00	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0
2K _k	12.0	5.4	0.5	0.06	0.48	2.2
3K _I	0.00	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0
3K _k	5.90	2.7	0.2	0.03	0.24	1.1
4K _I	11.8	5.3	0.5	0.06	0.47	2.1
4K _k	5.99	2.7	0.2	0.03	0.24	1.1
5K _I	0.00	0	0	0.00	0.00	0.0
5K _k	5.99	2.7	0.2	0.03	0.24	1.1

(2-4) المناقشة :

تم إجراء عملية الملائمة الجديدة للأشكال الخاصة بالمصدر [55] للحصول على الخط المستقيم الذي يمثل العلاقة لقيم تراكيز الرادون باستعمال كاشف الاثر النووي (CR-39) الوعاء المغلق المقابلة للفعالية النوعية لليورانيوم -238 والتي تم قياسها باستعمال تقنية مطيافية أشعة كاما للفعالية النوعية ، وحيث ان التقريفة الأخيرة لا تمثل التراكيز الفعلية لغاز الرادون في الأبنية والدور السكنية ونتيجة للاستعمال المتراكب لمواد البناء خلال عملية التصميم والبناء فان قيم الرادون بذلك لا تمثل المستوى الفعلي لتركيزه داخل الأبنية والدور السكنية ، لذا تم حساب التركيز باستعمال تقنية كواشف الأثر النووي في الحالة الصلبة (CR-39) من خلال نشر أربعة كواشف لكل غرفة للحصول على معدل ما تسجله هذه الكواشف ومحاولة الحصول على أدق قيمة للمعدل ومن ثم تنفيذ البرنامج للحصول على نتائج التركيز للرادون في حالة وجود مواد مختلفة لمواد البناء والتي تساهم بطريقة وأخرى في زيادة او نقصان تركيز الرادون داخل الدور فكانت أعلى قيمة مسجلة باستعمال كاشف الأثر النووي في الحالة الصلبة (CR-39) داخل الدور هي للنموذج 3R_k وبمعدل (13.954 Bq/m³) وأوطى قيمة مسجلة هي للنموذج 4R_k وبمعدل (7.150 Bq/m³)، حيث كانت النتائج تشير الى تقارب في

قيم المعادلة التجريبية والبرنامج الخاص بها مع القيم المسجلة باستعمال كواشف الأثر النووي في الحالة الصلبة (CR-39) وكانت معظمها ضمن مدى التركيز المسجل باستعمال كواشف الأثر (CR-39) التي تعد لمسجلات يعتمد عليها بالقياس لاسيما اذا تمت إضافة جميع قيم الانحراف المعياري له الذي يمثل جذر المعدل $(4.744 \pm 2.178) \text{ Bq/m}^3$. وعند استعمال جهاز RAD-7 وجد ان بعض القياسات لم تسجل ل اية قراءة في حين كان لها تراكيز لا يستهان بها مسجلة من قبل كواشف الأثر والبرنامج الذي تم تنفيذه وتشغيله من خلال هذا البحث ،حيث نجد الجهاز قد سجل قيم (0.0 Bq/m^3) للنماذج $2R_1, 5R_1, 2K_1, 3K_1$ و $5K_k$ في حين كان لها قيم (9.406 Bq/m^3) ، (11.383 Bq/m^3) ، (11.100 Bq/m^3) ، (8.530 Bq/m^3) ، (8.200 Bq/m^3) و (9.406 Bq/m^3) على التوالي باستعمال كاشف الأثر النووي في الحالة الصلبة (CR-39) وكانت النتائج المسجلة من قبل البرنامج لهذه النماذج هي (14.222 Bq/m^3) ، (10.688 Bq/m^3) ، (9.663 Bq/m^3) ، (19.337 Bq/m^3) و (9.199 Bq/m^3) على التوالي كما تم حساب الجرع المكافئة والجرع السنوية الفعالة فكانت جميع القيم ضمن المدى المقبول به .

(3-4) الاستنتاجات :

من خلال الجداول التي تم الحصول عليها لتراكيز الرادون المسجلة من قبل كاشف الأثر النووي في الحالة الصلبة (CR-39) نستنتج بان هذه النتائج ضمن ا لمدى المقبول به واقل من المعدل (46 Bq/m^3) والمسجل من قبل UNSCEAR [157]. وكذلك الحال بالنسبة لاستعمال جهاز RAD-7 فكانت معظم القيم ضمن المدى المقبول به والمسجل من قبل UNSCEAR [157]. وفي حالة تسجيل قيمة اعلى من المعدل فان هذا قد يرجع لطبيعة مواد البناء المستعملة في بناء هذه الدور أولا وأسلوب البناء ثانيا والإجراءات المتبعة في تهوية هذا الدار ثالثا ، لهذا نقترح اعتماد تغ ليف الجدران بمواد لها قابلية منع انتشار غاز الرادون خلالها وتصميم البناء باتجاه زيادة التهوية لذا نستنتج بان مسجلات كاشف الأثر النووي في الحالة الصلبة (CR-39) يمكن الاعتماد عليها للكشف عن الرادون ولمدة تسجيل طويلة واتباع الطريقة التكميلية باستعمال تقنية أخرى ول مدة زمنية متتابعة ،للوصول على القيم الفعلية للتركيز من خلال المقارنة بين التقنيات المختلفة ومنها جهاز RAD-7 وقيم المعادلة التجريبية والبرنامج الخاص بها .

كذلك بالنسبة لنتائج المسجلة من قبل البرنامج فكانت ضمن المدى واقل من المعدل المقبول به المسجل به من قبل UNSCEAR [157] ، كما نستنتج بأنه يمكن الاعتماد على المعادلة التجريبية التي تم استنتاجها من خلال هذا العمل البرنامج الخاص بها للحصول على الحسابات الإشعاعية إضافة

لحسابات الهندسية التي يقوم بها المهندسون والتي تمكنهم من معرفة المستويات الإشعاعية لمواد البناء التي سيتم استعمالها في تنفيذ ما يتم تصميمه من دور سكنية أو أبنية وهذا يمكنه من تلافي المستويات الإشعاعية العالية وما يترآك منه من خلال استعمال مواد بناء وأصباغ تعمل على امتصاص الرادون فضلا عن ذلك عمل إجراءات لزيادة التهوية من أجل تقليل تراكيز الرادون داخل الأبنية والدور السكنية قبل تنفيذها ، وبذلك نتلافى الأخطار الناتجة عن غاز الرادون المنطلق من مواد البناء . لذا نستنتج ان تراكم الج رعة الإشعاعية لبعض سكان هذه الدور قد تصل الى حدود لا يستهان بها قد تتجاوز الحد المقبول.

ولدى قراءة الجرع الإشعاعية نجد أن معظمها ضمن المدى والمعدل (1 mSv/y) المقبول والمسجل من قبل ICRP [151] .

(4-4) التوصيات والأعمال المستقبلية :

- 1- توسيع منطقة الدراسة لتشمل أعدادا أكثر من الدور السكنية والأبنية ، لاسيما منها التي يعمل بها سكان هذه الدور كونها ستكون إضافة وتراكم للجرع الإشعاعية التي يمكن يتعرض لها السكان .
- 2- تطوير البرنامج ليشمل كل أنواع المواد المستعمل ذوات المناشئ المختلفة ، بحيث لا يعتمد على معدل القيم وإنما على منشأ المادة والقيم المسجلة لها كالفعلالية النوعية .
- 3- استعمال الطرائق المختلفة والأكثر دقة في قياس تراكيز الرادون في الأبنية والدور السكنية ومنها كواشف الأثر النووي في الحالة الصلبة الحديثة والتي تمتاز انها ذوات الكفاءة الأكثر في رصد تراكيز الرادون .
- 4- اعتماد هذا البرنامج في الح سابات التي يقوم بها المهندسون وا ضافتها الى اهتمام اتهم المستقبلية كاستدامة الطاقة ، واضافتها لدليل المهندس المقيم للمشاريع الإنشائية الصادر عن وزارة الأعمار والإسكان .
- 5- مراجعة المعادلة التجريبية وإضافة معاملات جديدة لتحسينها وزيادة دقتها مثل الكثافة الحقيقية وميل الخط المستقيم للأشكال الملائمة ومعامل انتشار المواد . ومراجعة المعادلة وتحسينها من خلال إضافة معاملات جديدة ودقيقة أخر .

- 1- جمعة، أ.د. محمد احمد وكمال، صلاح الدين مصطفى، الإشعاع الذري دليل وطرق الوقاية، دار الراتب الجامعية بيروت لبنان ، ص7-8، (1989).
- 2-Khan A.J., "Study of airborne radon levels inside buildings" Nuclear Track & Radiation Measurement, Vol. 16, 23 –27, (1989).
- 3- د. عبد الكريم عبد المحمود ، «التأثير البيئي والصحي للمواد المشعة» ، جامعة صنعاء –الجمهورية اليمنية ، مقررات المؤتمر العلمي عن تأثير استعمال اسلحة اليورانيوم المنضب في الإنسان والبيئة في العراق ، الجزء الاول ، (2002).
- 4- البياتي ،عدي طارق ،" دراسة تراكيز اليورانيوم المنضب في المواد المستعملة لصناعة الاسنان البديلة والحشوات باستعمال كاشف الأثر النووي CR-39" رسالة ماجستير ،جامعة بغداد ،كلية التربية ابن الهيثم، (2009) .
- 5- الجبوري ،عامر حسن علي،" تحديد تراكيز اليورانيوم المنضب في بقايا (مخلفات) معدات عسكرية في مواقع معينة من جنوب العراق باستخدام كاشفي CR-39 و HPGe " رسالة ماجستير، جامعة الموصل ،كلية العلوم ، (2003).
- 6- سعيد ، بشائر محمد ، "تحديد تراكيز الرادون في الأبنية باستخدام كاشف الأثر النووي (CR-39) " رسالة ماجستير ، جامعة بغداد ، كلية التربية -ابن الهيثم ، (1998) .
- 7- عطية،يونس محمد ، عبد العادل ،ختام ،ماهود ،حميد بلاسم ، عبد الحسين،محمد "تحديد تركيز الرادون في مركز محافظة ميسان باستخدام كواشف الأثر النووية (CR-39) "مجلة ابحاث البصرة (العلميات)،العدد 36،الجزء 6،B 15 كانون الاول ، (2010).
- 8- Bruzzi L., Mele R. and Padoani F., " Evaluation of gamma and alpha dose due to natural radioactivity of building materials" Prot. 12,pp (67-76),(1992).
- 9- خليل ،منيب عادل، الفيزياء النووية ،دار الكتب للطباعة والنشر ،جامعة الموصل ،العراق ، (1996).
- 10- عكلة ،صباح يوسف، "تحديد تراكيز الرادون واليورانيوم ونظائر مشعة أخرى في أنواع مختلفة من المياه الطبيعية في محافظة نينوى" رسالة ماجستير، جامعة الموصل، كلية التربية، (2004).

- 11- الغزالي ،حسين حمد،حسن ،عدنان فالح،"قياس تراكيز الرادون في الهواء داخل الدور السكنية في محافظة النجف "مجلة القادسية للعلوم الصرفة،المجلد 12 ،الصفحة 1-8، (2007).
- 12- الرحال ، إسراء كامل ، "حساب تراكيز و معامل الانتقال لليورانيوم في الالاسمدة الفوسفاتية من التربة الى النباتات باستعمال كاشف الأثر النووي CR-39" ، رسالة ماجستير ، جامعة بغداد ، كلية العلوم للبنات ، (2008).
- 13- المقفادي،كاظم " التلوث الإشعاعي وإضراره ... ليست شائعات " موسوعة النهرين <http://nahrain.com>
- 14- هاتف ،خالد حسين ،عطية،إنعام هاني ، "قياس ودراسة تراكيز غاز الرادون المشع في عينات منتخبة من مياه الشرب في مدينة الحلة /العراق" العدد7،المجلد 21، (2013).
- 15- Wessam Z. D. and Kevin J. R.," Laboratory Measurements of The Radon Gas Diffusion Coefficient For A Fractured Concrete Sample And Radon Gas Barrier Systems " , International Radon Symposium, (1999).
- 16- Keller G. and Hoffmann B., " The Radon Diffusion Length as a Criterion for the Radon Tightness" IRPA10 Conference Proceedings, Hiroshima, (2000).
- 17- Cozmuta I., van der Graaf E.R.," Methods for measuring diffusion coefficients of radon in building materials" The Science of the Total Environment 272 , 323-335, (2001).
- 18- Rahman S." Radon measurement with CR-39 detectors-implication for uranium ore analysis and risk assessment" ,Ph.D ,Thesis, Department of physics and applied mathematics ,Pakistan institute of engineering and applied sciences, (2005).
- 19- Faheem M. and Matiullah, " Radon exhalation and its dependence on moisture content from samples of soil and building materials " Radiation Measurement, Volume 43, Issue 8, Pages 1458-1462 September , (2008).
- 20- Bouzarjomehri F.and Ehrampoosh M.H.," Radon level in dwellings basement of Yazd-Iran" Iran .J.Radiat ,6(3):141-144, (2008)

- 21- Narula A.K., Saini R.S., Goyal S.K., Chauhan R.P, and Chakarvarti S.K ., " Indoor Radiation Levels Enhanced Underground Radon Diffusion" Asian Journal of Chemistry, Vol. 21, No. 10 , S275-278, (2009),.
- 22- Chakarvarti S.K., Narula A.K. and Chauhan R.C.," Testing Permeability of Building Materials for Radon Diffusion" Indian Journal of pure & Applied Physics, Vol.48, pp.505-507, (2010).
- 23- Chen J., Rahman N.M. and Atiya I.A., "Radon exhalation from building materials for decorative use", Journal of Environmental Radioactivity, Vol.101, pp.17-22, (2010) .
- 24- Mehra R., Badhan K. and Sankawade R.G., "Radon Activity Measurements in Drinking Water and in Indoors of Dwelling ,Using RAD-7" Nasr City - Cairo, Egypt, Tenth Radiation Physics & Protection Conference, 27-30 November , (2010).
- 25- Németh C., Jobbágy V., Kávási N., Somlai J., Kovács T. and Tokonami S., "Radon and thoron parallel measurements in dwellings nearby a closed Hungarian uranium mine " J.of Nukleonika 55(4),459–462, (2010).
- 26- Hassan N. M., Hosoda M., Iwaoka K., Sorimachi A., Janik M., Kranrod C., Sarata K., Sahoo S. K., Ishikawa T., Yonehara H. Fukushi M. and Tokonami S., " Simultaneous Measurement of Radon and Thoron Released from Building Materials Used in Japan" Progress in Nuclear Science and Technology, Vol. 1, p.404-407, (2011).
- 27- Adelina C .A.," Radon Transport Through Building Materials " PhD thesis, Babe-Bolyai University Cluj-Napoca, (2011).
- 28- Arvela H., Holmgren O., and Reisbacka H.," Radon prevention in new construction in Finland: A nationwide sample survey in 2009", Radiation Protection Dosimetry 148(4): 465-474, (2011).

29- Muntean L.E., Cosma C., Cucos (Dinu)A., Dicu T.and Moldovan D., "Assessment of Annual and Seasonal Variation of Indoor Radon Levels in Dwelling Houses From Alba County, Romania " Romania Journal Physics, Vol. 59, Nos. 1–2, P. 163–171, Bucharest, (2014).

30- Rasas M. F., Yassin S. S., and Shabat M. M., "Journal of The Islamic University of Gaza (Natural Sciences Series)", No.2, Vol.13, (2005).

31- Al-Mosa T. M. A., " Indoor Radon Concentration in Kindergartens, Play- and Elementary Schools in Zulfy City ,Saudi Arabia" M. Sc. Thesis, King Saud University, College of Science, (2007).

32- Kobeissi M.A., Samad O. E., Zahraman K., Milky S. and Bahsoun F., Bahsoun, and K.M. Abumurad, " Natural radioactivity measurements in building materials in Southern Lebanon" Jouranl Environmental Radioactivity Volume 99, Issue 8, Pages 1279-1288, (2008).

33- Abd El-Zaher M. and Fahmi N. M., " Studying the Variation of Radon Level in Some Houses in Alexandria City, Egypt" IX Radiation Physics & Protection Conference, 15-19 November, pp.339-347, Nasr City – Cairo, Egypt , (2008) .

34- Al-Awad S.H.M., "Measurement of Radon Concentration in Houses in Najran Region , Saudi Arabia " M. Sc. Thesis, King Saud University, College of Science, (2008).

35- شويكاني، رياض رجا، انبثاق الرادون من بعض مواد الاكساء المستخدمة في سوريا هيئة الطاقة الذرية، قسم الوقاية والأمان ، ه ط ذ س-و/ت د ع798, (2009) .

36- Fathiya H. A.Y., " Measurement of Radon Exhalation from Building Materials Used in Nablus District, Palestine" M. Sc. Thesis, An-Najah National University, Faculty of Graduate Studies, (2012).

37- Hayajneh S.A.R., "Diffusion of Radon Gas Through Different Building Material" Department of Physics ,Yarmouk University, Irbid ,Jordan, (2012).

38- العرابي، خليفة، المصراتي، "قياس تركيز غاز الرادون بالمنزل ببعض المدن الليبية " مقررات المؤتمر العربي الحادي عشر للاستخدامات السلمية للطاقة الذرية، الخرطوم –السودان، ص 89- 90، (2012).

39- Mallah K.B.Y., " Indoor Exposure Assessment and Health Hazard of Radon in the Elementary Schools of Tulkarem Province , Palestine " M. Sc. Thesis, An-Najah National University, Faculty of Graduate Studies, (2013).

40- مهدي، سوسن عبد الحسين ، " تحديد تراكيز الرادون في مواد البناء العراقية لمنطقة ميسان باستخدام كاشف الأثر النووي (CR-39) " رسالة ماجستير، جامعة بغداد- كلية التربية (ابن الهيثم)، (1986).

41- توفيق ،ندى فاضل " دراسة مقارنة لبعض كواشف الأثر النووي العضوية والأعضوية وتطبيقاتها في البيئة " رسالة دكتوراه،الجامعة المستنصرية – كلية التربية ، (1996).

42- السنجري، عطار د مطر عوف " تحديد تراكيز الرادون في مناطق محددة من مدينة الموصل باستخدام كاشف الأثر النووي العضوي " ، رسالة ماجستير، الجامعة المستنصرية، كلية التربية ، (1999).

43- العاني، دنيا فاضل، " قياس النشاط الإشعاعي للرادون المنبعث من بعض مكونات مواد البناء " ، رسالة ماجستير، الجامعة المستنصرية – كلية التربية ، (2000) .

44- Alkhalifa I.J.M., " Polymers Track Detector Used for Radon Survey in Babil City (AL Hillah-Iraq)" J. Basrah Researches (Sciences), Vol.32. Part.2. 26-30, (2006).

45- Alkhalifa I.J. M. and Bakr H., " Determination of Radon Exhalation Rates in Basrah Governorate (Iraq) using CR-39 Solid State Nuclear Track Detector SSNTD's " Basrah Journal of Scienc (A), Vol.25(2),97-104, (2007).

- 46- Al-obedy A. A. I. and Al-jubory R. A. M., " Measurements of Radon- 222 concentrations in dwellings of Kirkuk city, Iraq" Kirkuk University Journal Scientific Studies, Vol.4(2), (2009).
- 47-Abdullah A. and Hussein H., " Study of Radon Concentration and Lung Cancer Risk in The Right Area of Shirkatt District" J. of university of anbar for pure science ,Vol.4,NO.1 , (2010).
- 48- Al-Hamidawi A.A., " Radon and Thoron Concentrations Measurement in Al-Najaf and Al-Kufa Area" PhD thesis, University of Baghdad, College of Science, (2012).
- 49- Tawfiq N.F., Nasir H.M. and Khalid "Determination of Radon Concentrations in AL-Najaf Governorate by Using Nuclear Track Detector CR-39" Journal of Al-Nahrain University, Vol.15 (1), March, pp.83-87, (2012).
- 50- Najeba F.S. and Mohamad S.J.," Assessment of Indoor Radon Concentration in Dwellings in Iraqi Kurdistan Using CR-39 Dosimeters" Health and the Environment Journal, Vol .3, No. 3, (2012).
- 51- Karim M.S., Abdullah M. H. and Abass W. H. , " Measurement of radon gas concentration in cement samples by using nuclear track detector (CR-39) "Diyala Journal For Pure Sciences, Vol.8 No. 3, July, (2012).
- 52- Noor M. A.," Concentration Measurement of Radon Gas in Soil, Water and Air for selected Regions of Al-Najaf Al Ashraf Province by Using RAD-7 " M. Sc. Thesis, University of Kufa, Faculty of Sciences, (2013).
- 53- Ali M.J.," Radon Concentration in Al-Gazalia City, Baghdad, Iraq" Journal of Al-Nahrain University, Vol.16 (1), March, pp.121-128, (2013).
- 54- Al-saadi A.J.," Determination of Radon Concentration and the Annual Effective Dose in Karbala University Campus, Karbala, Iraq" Kerbala Jorunal of Medicine, Vol.6, No.1, June, (2013).

- 55- Ridha A.A., " Determination of Radionuclides Concentrations in Construction Materials Used in Iraq" PhD thesis, the College of Science, AL-Mustansiriyah University, (2013).
- 56- Almayahi. B.A., Hussein. R. O. et at, " Bricks Rn222 Exhalation Rates in Some Samples from Different Countries" International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT) , Vol. 7 N.3, Jan, (2014).
- 57- بطرس، سعد متي ، وارتان ، خاجاك فروير، و بطرس، ليث متي "تقويم مستوى التلوث الإشعاعي في محافظة البصرة"، مقررات المؤتمر العلمي عن آثار استعمال اليورانيوم المنضب على الإنسان والبيئة في العراق، الجزء الأول، 27-26 آذار، ص 125، بغداد-العراق، (2002) .
- 58- Littlefield T.A. and Thorley N., "Atomic and Nuclear Physics", London, New York, Van Nostrand , p.92, (1963) .
- 59- الذرة والتنمية، نشرة فصلية ربع سنوية تصدرها الهيئة العربية للطاقة الذرية، "جيوولوجيا النظائر"، العدد الثاني، المجلد السادس، ص 4، (1994) .
- 60- National Safety Council, "Understanding radiation in our world", Washington, (2008).
- 61- Kwam H., "Non-Ionizing Radiations–Sources, Biological Effects , Emission sand Exposures", the International Conference on Non-Ionizing Radiation at UNITEN, (2003).
- 62- United State Environment protection Agency, "Ionizing & Non-Ionizing Radiation", (2012) .
- 63- United State Environment protection Agency, "Ionizing Radiation Fact Book", (2007).
- 64- احمد، محمد فاروق، السريع، احمد ابن محمد ، "مبادئ الإشعاعات المؤينة والوقاية منها" اللجنة الدائمة للوقاية من الإشعاعات بجامعة الملك سعود ، المملكة العربية السعودية ، 2007 .
- 65- مهند حاتم هاشم الركابي "الجرع الإشعاعية الداخلية الناجمة عن منتج ثنائي فوسفات الكالسيوم العراقي" رسالة ماجستير ، قسم الفيزياء ، كلية العلوم – الجامعة المستنصرية ، (1998) .

- 66- International Atomic Energy Agency, " Practical Radiation Technical Manual", healty effects and medical surveillane, (2004).
- 67- المجالي، مصطفى محمد عبد المهدي، " الوقاية الإشعاعية المبادئ والتطبيقات"، (2005).
- 68- نجم، عمار عبد الرحمن "الكواشف الصلبة للأثر النووي واستخداماتها"، نشرة الذرة والتنمية، العدد الثالث، المجلد التاسع، ص 27-28، (1997).
- 69- عوض، هادي كاظم، محمود، انور ذيب، محي الدين، بهجت عبد الرزاق، الراوي، انيس مالك، "الاساسيات النظرية في الكيمياء النووية العملية" مطبعة دار الحكمة للطباعة والنشر، (1991).
- 70- Malik S.R., "Application of N.IFFDT in studies of Spatial Distribution and Uranium Content". Nuclear Tracks, Vol.4, (1981).
- 71- شذى سلمان الدركلي، الكشف عن الأشعة النووية، مطبعة التعليم العالي، بغداد، (1989).
- 72- Tayal D.C., reports series ,(Gamma –ray surveys in Uranium exploration) , No.186, (1979).
- 73- الدوري، مسلم عز الدين "الجرع الإشعاعية لليورانيوم المنضب الناتجة عن ثمار ونباتات المناطق الجنوبية" رسالة ماجستير كلية العلوم، فيزياء، الجامعة المستنصرية، (2002).
- 74- الحلبي، ماجد مجيد رشيد، "تأثير استخدام الأسلحة الإشعاعية على التربة في مناطق منتخبة من جنوب العراق"، رسالة ماجستير، جامعة بغداد، كلية الهندسة، شباط، (1998).
- 75- الجنابي، د. موسى، ومحمد، وهاب أحمد، "مصادر الإشعاع والجرع الإشعاعية". مترجم، منشورات الطاقة الذرية العراقية، طبعة ثانية، (1990).
- 76- K.Rankana Progress in Isotope geology, John Wiley, (1963).
- 77- وقائع الدورة التدريبية للوقاية من الإشعاع، سوريا، الجزء الاول، (1997).
- 78- Lederer C.M., Hollander J. M., and Perlmanand I., "Table of Isotopes" seventh edition, Wiley, New York, (1977).
- 79- العبيدي، خالد هادي مهدي، توصيف وقياس الملوثات الإشعاعية الطبيعية والصناعية في نماذج بيئة مدينة بغداد باستعمال مطيافية أشعة كاما وتقنية كاشف الأثر النووي في الحالة الصلبة CR-39، أطروحة دكتوراه، جامعة بغداد، كلية التربية (ابن الهيثم)، (2006).

80- (National Council on Radiation Protection and Measurements) "Measurement of Radon and Daughters in Air "NCRPT No.97, Bethesda, (M.D.) U.S.A. November 15, (1988).

81- تاليف Wang. D.H, Willis. D.L., Loveland. W.D ترجمة احمد خضير عجيبة "طرق استعمال العناصر المشعة في العلوم البايولوجية والبيئية والفيزيائية ،مديرية دار الكتب للطباعة والنشر ،ص 16،(1989).

82- Delaune R.D., Jones G.L. and Smith C.J., "Radionuclide concentrations in Louisiana soils and sediments", Health Physics, Vol.51, No.2 , (1986).

83- (Center for Disease Control and Prevention), ATSDR, Case studies in environmental medicine radon toxicity, 12:14, (2010) .

84- الجار الله، محمد بن ابراهيم، " نظرة عامة حول الرادون في المساكن "، الذرة والتنمية نشرة فصلية ربع سنوية تصدرها الهيئة العربية للطاقة الذرية، المجلد الثامن عشر، العدد الاول، ، تونس ، ص 25 ،(2006).

85- Ali A. and Durrani S.A., Nucl. Track Detection, Vol.1, No.2, (1977), 107.

86- United nations scientific committee on the effects of ionizing radiation report, "Sources and effects of ionizing radiation". The UNSCEIR Report to the General Assembly. UN, New York, USA ,(2000).

87- الذرة والتنمية ،نشرة فصلية ربع سنوية تصدرها الهيئة العربية للطاقة الذرية، " غاز الرادون : منشأه وخصائصه وأخطاره " المجلد الثاني والعشرون العدد الثاني ص 16- 17، (2010) .

88- الذرة والتنمية ،نشرة فصلية ربع سنوية تصدرها الهيئة العربية للطاقة الذرية، " مستويات غاز الرادون المشع داخل المباني" المجلد 19 ،العدد 4 ص 1-2، (2007).

89- Al-Orabi S. F. and Chahboune N.A., " Radon in Water" Libyan Agriculture Research Center Journal international 3(S), 1273-1284, (2012).

90- United States Environmental Protection Agency Office of Water (4607) EPA 815-F-99-007, October , (1999).

91- Ionization Radiation, Sources and Biological Effects, (United Nation Scientific Committee on the Effects Of Atomic Radiation), Report to the General Assembly with annexes, (1982) .

- 92- دوسر، حسين غايب، رجه، باسم خلف، عبد الرحيم، زينب حازم، "قياس تركيز غاز الرادون المشع في الخشب المستورد والمحلي باستعمال كاشف الأثر النووي للحالة الصلبة"، مجلة بغداد للعلوم، المجلد 10 (2)، (2013).
- 93- عبد علي، زينة جميل، "دراسة تأثير خطوط الضغط العالي على تراكيز غاز الرادون في الهواء باستعمال كاشف الاثر النووي CR-39" رسالة ماجستير، جامعة بغداد، كلية التربية - ابن الهيثم، (2009).
- 94- Zielinski J. ,Presentation "Residential radon and lung cancer: a case study in risk assessment and risk management" and "RC-7 epidemiological methods: residential radon and cancer risk". Bureau of Environmental Health Science, Health Canada. Department of Epidemiological and Community Medicine, University of Ottawa , (2008).
- 95-الأحمد، خالد عبيد، ، مقدمة في الفيزياء الصحية، جامعة الموصل ، (1993).
- 96-Land and Water Resources Center," Radon in Water and Air –Health , Risk , and Control Measures " , Orono , ME : Univ . of Maine, (1986).
- 97- Anthony Nero . physics Today , p.32 April , (1989).
- 98- الذرة والتنمية ،نشرة فصلية ربع سنوية تصدرها الهيئة العربية للطاقة الذرية، " الاستخدامات المفيدة لغاز الرادون المشع " المجلد 20 العدد 8 ص 16- 18, (2008).
- 99- عبيد ، احمد محمد ، "التحسس والاستشعار بتلوث غاز الرادون في مناطق معينة من محافظة صلاح الدين باستخدام الكاشف " مجلة جامعة الانبار للعلوم الصرفة ، المجلد السادس، العدد الثالث، (2012).
- 100- Yakovleva V. S., "Proceedings of ICGG7", (2003), 28–30, (2003).
- 101- السعد، عمار عبد الرحمن، "الرادون مخاطره ومنافعه، مجلة الذرة والتنمية"، المجلد 9، العدد 3، (1997).
- 102- Jonsson G., "Indoor ²²²Rn Measurement in Sweden with the Solid-State Nuclear Track Detectors Technique". Health phys., 54, 3, pp.271-281, (1988).
- 103-Klein D., Chambandet A., Cauchois Y., Barillon R. and Drezet L., "Developing Measuring Technique in Radio Protection For Tracking Radon-222 in SSNTD". Nucl. Tracks Radiat. Meas., 19, 1-4, pp. 363-364, (1991).

- 104- Durrani S. A. and Bull R. K, "Solid State Nuclear Track Detection Principles, Methods & Application", (1987).
- 105- Young D.A., "Etching of Radiations Damage in Lithium Fluoride Nature", Vol.182, 375-377, (1958).
- 106- Fujii M., Yokota R. and Atarashi Y., "Nuclear Tracks and Radiation Measurement", Vol.17, No.1, 19-21, (1990).
- 107- Al-Nia'emi S.H.S , " Effect of electromagnetic radiation on the properties of nuclear track detector CR-39 and building of the electrochemical etching system". Ph.D. Thesis, College of Science, University of Mosul , (1998).
- 108- Khan H.A. and Qureshi I.E. , " Role of solid state nuclear track detectors in nuclear physics". Research processing of the Pakistan Academy of Science, 33(1-2): pp19 – 28, (1996).
- 109- محمد ، أكرم عزيز ، "كيمياء اللدائن"، دار الكتب للطباعة والنشر، جامعة الموصل ، (1993).
- 110- Tsela A.S., "Detection and measurement of radiation films, TLD, Neutron Detectors". IAEA Regional Post-Graduate Course on Radiation Protection, University of Witwatersand, Johannesburg, South Africa , (2000).
- 111- Chatry C., Serbal A., Laugier J., Gasiot J. and Vanderschneren J. , " Energy and angle response of CR-39 to protons" In: Proc. 15th, Int. Cont. on Particle Tracks in Solids Hamburg, Germany, (1990).
- 112-Parkhurst M. A., Hadlock D. E. & Faust L. G., "Nuclear Tracks", Vol.12, No. 1-6, 593-596, (1986).
- 113- Fleischer R. L., Price P. B. and Walker R. M., "Nuclear Tracks in Solids Principles and Application ".University of California Press, (1975).
- 114- Stejny J. and Partwood T., Nucl. Tracks, 12, 59, (1986).

- 115- Barioni A., Manso Guevara M. V. and Arruda-Neto J. D. T., "The Concentration of Uranium in Sao Paulo Citizens' Diet; Results". Institute of Fisica. Universidade de Sao Paulo, (2001).
- 116- Gartwright B.G.; Shirk E.K. and Price P.B."Nuclear Instruments & Methods", Vol. 153, p 457, (1978).
- 117- Biswas S., Durgaprasad N., Kajarekar P. J., Sarkar S. and Venkatavaradan V.S., "Nuclear Instruments & Methods", Vol.163, pp 183-187, (1979).
- 118- Hanshaw L.D., Griffiths N. and Landen A.L., "Nuclear Instruments & Methods", Vol.180, pp 65-77, (1981).
- 119- صبحي، عدي طارق، " حساب تراكيز اليورانيوم المنضب في نماذج رواسب نهر ديوالى باستعمال كاشف الأثر النووي " جامعة بغداد ، مجلة ابن الهيثم للعلوم الصرفة والتطبيقية ، المجلد 26، العدد (3)، (2013).
- 120- النعيمي، سعيد حسن سعيد ، والعبدي، احمد عبه ، "تأثير المعالجة الحرارية على الخصائص التسجيلية لكاشف الأثر النووي PM-355 " جامعة اليرموك ، سلسلة أبحاث اليرموك للعلوم الصرفة والهندسية، المجلد 12، العدد 1 ، ص1-18، (2003).
- 121- النعيمي، سعيد حسن سعيد ، "تغير معدل القشط العام لكاشف الأثر النووي CR-39 تحت الظروف البيئية ". جامعة الموصل، مجلة التربية والعلم، العدد44،(2000).
- 122- الكعبي، محمد عبد الحسين، "حساب طاقة تنشيط المعالجة الحرارية للكاشف CR-39". رسالة ماجستير، جامعة الموصل، كلية التربية ، (1999).
- 123- عمر، نسيم سالم خضر ، "القشط الكهروكيميائي وتأثير شدة المجال الكهربائي المتناوب على الاستجابة الطاقية لكاشف الأثر النووي CR-39 لجسيمات ألفا". رسالة ماجستير، جامعة الموصل، كلية التربية، (2002).
- 124-Al-Bataina B.A., Ismail A.M., Knllab M.K., Abumurad K.M. and Mustafa H., "Radon measurement in different types of natural waters in Jordan". Radiat. Meas., 28(1-6), pp591-594, (1997).
- 125- محميد، احمد خلف ؛ وسليمان ، وفاء علي ، " استخدام الكاشف الصلب للأثار النووية كمطياف لجسيمات ألفا". مجلة جامعة تكريت للعلوم، المجلد 2، العدد 3،(1996).

- 126- Hofman W. "Prot.11th.Int.Conf.(SSNTD_s),Bristol", pp:697-699,(1981).
- 127- Hepburn C. and Windle A.H., "Journal of Material Science", Vol.15, 279-301, (1980)
- 128- Nikezic D. and Yu K.N., Materials Science and Engineers, R 46 , 51, (2004) .
- 129- العبيدي، احمد عبد ابراهيم ، "تأثير العوامل القشطية والمعالجة الحرارية على كاشف الأثر النووي واستجابته الطاقية لجسيمات ألفا". رسالة ماجستير ، جامعة الموصل ، كلية التربية، (2000).
- 130- Green P.F., Ramli A.G., Al Najjar S.A. and Durriani S.A., Nucl. Inst. And Meth., Vol.203, 551, (1982).
- 131- الساجي ، محمد عبد الواحد ، "تأثير الأسلحة الإشعاعية على المياه السطحية والجوفية في مناطق منتخبة من جنوب العراق" ، رسالة ماجستير ، جامعة بغداد ، كلية الهندسة ، شباط ، (1994) .
- 132- <http://www.dicoverit.com/at/phi/article.html> or Radiation Science and Health <http://ents.wpi.edu/rsh/RSH>.
- 133- النعيمي ، سعيد حسين ، قاسم ، ياسر يحيى ، " ايجاد معدل القشط العام لكاشف الاثر النووي CR-39 باستخدام طريقة Le-D " المجلة الاردنية للفيزياء ، المجلد6، العدد 1، ص 17-23، (2013).
- 134- الجبوري، محمد محمود ، " قدرة التحليل الطاقى لكاشف الأثر النووي البلاستيكي PM-355 لجسيمات ألفا وتأثير المعالجة الحرارية " . رسالة ماجستير، جامعة تكريت ، كلية التربية، (2004).
- 135- Randhaw G.S., Shayma K. and Virk H.S. , "Response of different plastic track detector to particles". Radiat. Meas, 22(3), pp523-527, (1979).
- 136- Amin S.A., "Etching properties of the CR-39 polymeric nuclear track detector". Ph.D. Thesis, University of Bristol, UK ,(1981).
- 137-Torrelles J. , Baixerasc , Daruingoc and Fernadz F. , " Nuclear Tracks and Radiation Measurements ", Vol .115 , No .1- 4 , p (183 – 186) , (1988) .
- 138- Somogyi G. and Hunyadi I., "Proceedings of the 10th Conference on (SSNTD)", Lyon, 2-6, July, 443, (1979) .

- 139- Singh N.P., Singh N., Singh S. and Virk H.S, "Nuclear Tracks" , Vol.12 , P(793-697) , (1986).
- 140- Khan H.A. , "Nuclear Instruments and Methods " , Vol. 173 , p(43 -54) , (1980).
- 141- Khan H. A. , " Nuclear Instruments and Methods " , Vol.125 , p (419 – 423) , (1975) .
- 142- Tsoufanidis N., "Measurement and detection of radiation" Hemisphere Publishing Corporation, (1983).
- 143-Durrani S.A., Proceedings of the International Symposium on Application and Technology of Ionizing Radiation, Vol.3, 1527, (1982).
- 144-Mahdi K.H., "Evaluation of Detection Efficiency of Plastic Detector CR-39 Using Chemical & Electrochemical Etching". J. of Pure Science and Application. Vol.12, No.3, (1999).
- 145- Durrige Company Inc., Reference Manual version 6.0.1, RAD-7 Electronic Radon Detector, (2010).
- 146- Durrige Company Inc., Reference Manual version 6.0.1, RAD7™ Electronic Radon Detector, (2000).
- 147- Hayes R., Cheng C. H., Preliminary evaluation of real time false CAM alarm through continuous radon monitoring, J. of Health Physics, 84, 5, 589 – 592, (2003).
- 148-Speelman w.j.," modeling and measurement of radon diffusion through soil for application on mine tilling dams" master thesis , University of the Western Cape, (2004).
- 149- Durrige Company Inc., Reference Manual version, 7.2.5 RAD-7™ Electronic Radon Detector, (2013).

- 150- El-Taher A., El-Hagary M., Emam-Ismail M., El-Saied F. A. and Elgendy F. A., " Radon and its Decay Products in the Main Campus of Qassim University, Saudi Arabia, and its Radiation Hazards " Journal of American Science , 9(6), (2013).
- 151- ICRP, International Commission on Radiological Protection. Protection Against Radon- 222 at Home and at Work. Annals of ICRP: Oxford: Pergamon Press, (1993).
- 152- A. Farmer , Managing Environmental Pollution , 1st ed. , New Fetter Lance , London , (1997) .
- 153- IAEA , The Environmental Behaviour of Radium , Vienna , Technical Reports Series , Vol. 2 , No. 310 ,(1990) .
- 154- ألن مارتن ، صاموئيل هاريسون ، " مقدمة في الوقاية من الإشعاع " ، ترجمة محمد باقر ، حسين البدري ، مطبعة بيت الحكمة ، جامعة بغداد ، (1989).
- 155- "Bulk Material Density Table "
http://www.tapcoinc.com/content/product_data/Tapco_Catalog_09_p88-94.
- 156- Ishimori Y., Lange K., Martin P., Mayya Y.S., Phaneuf M.,"
Measurement and Calculation of Radon Releases from NORM Residues "
International atomic energy agency, Vienna, p 5, (2013).
- 157- UNSCEAR. United Nations Scientific Committee on the effects of atomic radiations. The General Assembly with Scientific Annex, New York , (2000).

ملحق رقم (1)

البرنامج:

```
prompt = {'cement :','height:','length:','Thickness:'};
dlg_title = 'Input';
num_lines = 1;
answer = inputdlg(prompt,dlg_title,num_lines);
```

```
t=str2num(answer{1});
h= str2num(answer{2});
l= str2num(answer{3});
d= str2num(answer{4});
if t==1;
```

```
p=2323;
da=1E-5;
av=16.458;
y1=2.5997*p*da*av*h*1*d;
else
y1=0;
end
```

```
prompt = {'porcelain :','height:','length:','Thickness:'};
dlg_title = 'Input';
num_lines = 1;
answer = inputdlg(prompt,dlg_title,num_lines);
```

```
t=str2num(answer{1});
h= str2num(answer{2});
l= str2num(answer{3});
d= str2num(answer{4});
if t==1;
```

```
p=2400;
da=1E-5;
av=78.168;
y2=3.1754*p*h*1*da*av*d;
else
y2=0;
end
```

```
prompt = {'granite :','height:','length:','Thickness:'};
dlg_title = 'Input';
```

```
num_lines = 1;
answer = inputdlg(prompt,dlg_title,num_lines);
```

```
t=str2num(answer{1});
h= str2num(answer{2});
l= str2num(answer{3});
d= str2num(answer{4});
if t==1;
p=2700;
da=1E-5;
av=50.319;
y3=3.7712*p*h*l*da*av*d;
else
y3=0;
end
```

```
prompt = {'ceramic:','height:','length:','Thickness:'};
dlg_title = 'Input';
num_lines = 1;
answer = inputdlg(prompt,dlg_title,num_lines);
```

```
t=str2num(answer{1});
h= str2num(answer{2});
l= str2num(answer{3});
d= str2num(answer{4});
if t==1;
p=1121;
da=1E-5;
av=55.982;
y4=3.2416*p*h*l*da*av*d;
else
y4=0;
end
```

```
prompt = {'brick with cement :','height:','length:','Thickness:'};
dlg_title = 'Input';
num_lines = 1;
answer = inputdlg(prompt,dlg_title,num_lines);
```

```
t=str2num(answer{1});
h= str2num(answer{2});
l= str2num(answer{3});
d= str2num(answer{4});
if t==1;
```

```

p=1794;
d1=0.65E-6;
av=28.305;
y5=3.2629*p*h*1*d1*av*d;
else
y5=0;
end
prompt = {'brick with gypsum :','height:','length:','Thickness:'};
dlg_title = 'Input';
num_lines = 1;
answer = inputdlg(prompt,dlg_title,num_lines);

```

```

t=str2num(answer{1});
h= str2num(answer{2});
l= str2num(answer{3});
d= str2num(answer{4});
if t==1;
p=1794;
d2=2.64E-6;
av=28.305;
y6=3.2629*p*h*1*d2*av*d;
else
y6=0;
end

```

```

prompt = {'thermoston with cement :','height:','length:','Thickness:'};
dlg_title = 'Input';
num_lines = 1;
answer = inputdlg(prompt,dlg_title,num_lines);

```

```

t=str2num(answer{1});
h= str2num(answer{2});
l= str2num(answer{3});
d= str2num(answer{4});
if t==1;
p=1820;
d1=0.65E-6;
av=39.546;
y7=2.265*p*h*1*d1*av*d;
else
y7=0;
end

```

```

prompt = {'thermoston with gypsum :','height:','length:','Thickness:'};
dlg_title = 'Input';
num_lines = 1;
answer = inputdlg(prompt,dlg_title,num_lines);

t=str2num(answer{1});
h= str2num(answer{2});
l= str2num(answer{3});
d= str2num(answer{4});
if t==1;
p=1820;
d2=2.64E-6;
av=39.546;
y8=2.265*p*h*l*d2*av*d;
else
y8=0;
end
y=y1+y2+y3+y4+y5+y6+y7+y8;
y=y*4.744;

disp('                                Radon exposure')
disp('  cement porcelain granite ceramic brick    brick  thermoston
thermoston total')
disp('                                and cement and gypsum and cement and
gypsum    ')
disp(' -----')
disp(' ---')
disp( [y1',y2',y3',y4',y5',y6',y7',y8',y'])

```