



هيئة الطاقة الذرية السورية



جامعة دمشق

معايرة وضبط جودة مقاييس النشاط الإشعاعي وإجراء
مقارنة دقة قياس مقاييس النشاط الإشعاعي في مراكز
الطب النووي في القطر

بحث أعد لنيل درجة الماجستير في الوقاية الإشعاعية وأمان المنابع المشعة وأمنها

إعداد:

ولاء الفقير

إشراف:

الدكتور أنس اسماعيل

إشراف:

الدكتور علي الخطيب

كلمة شكر

الحمد لله رب العالمين الحمد لله الذي علم الإنسان بالقلم علم الإنسان ما لم يعلم أحمده سبحانه شرف الإنسان وكرمه بحمل رسالة العلم والشكر له سبحانه على نعمه التي لا تعد ولا تحصى .

وأقدم بالشكر لوالدي اللذان علماني العطاء دون انتظار رمز الحب والحياة والتفاني الذي كان دعائهما سر نجاحي أسأل الله أن يمد بأعمارهم و إلى من بهم أكبر وعليهم اعتمد و بوجودهم اكتسب القوة ومحبه لا حدود لها أخوتي الأحباء ولأسرتي.

أتقدم بالشكر الجزيل وعظيم الامتنان إلى صروح العلم أصحاب الفضل أسأل الله أن يجزيهم ما جازى به العلماء تفضلوا علي بوافر علمهم وأحسنوا توجيهي منذ أول يوم نبتت فيه فكرة الرسالة وادعوا الله أن أكون قد نجحت بتنفيذ نصائحهم.

أشكر الدكتور رياض شويكاني رئيس قسم الوقاية والأمان في هيئة الطاقة الذرية السورية لما قدمه لي من تسهيلات لانجاز هذا البحث ومساهمته في إكمال دراستي العليا للحصول على درجة الماجستير .

كما أشكر الدكتور كمال كايد رئيس قسم الفيزياء في كلية العلوم بجامعة دمشق لدعمه للبحث العلمي.

كما أشكر الدكتور علي الخطيب من قسم الفيزياء في كلية العلوم بجامعة دمشق والذي تفضل مشكورا بالإشراف على البحث.

وأشكر الدكتور أنس اسماعيل الباحث الرئيسي من هيئة الطاقة الذرية رئيس المخبر الوطني للقياسات الإشعاعية والذي كان له الفضل في انجاز البحث.

وأشكر الدكتور معن سليم من قسم الفيزياء في كلية العلوم بجامعة دمشق على جهده بقراءة الأطروحة و على الملاحظات والنصائح القيمة التي أسهمت في تطوير هذا العمل.

أشكر الأستاذ محمد الأحمد من هيئة الطاقة الذرية لتقديم يد العون لي في إتمام هذا البحث.

كما أشكر كل من أعانني في دراستي سواء بالقول أو بالفعل أو بالدعاء .

المحتويات

3	مقدمة :
5	الفصل الأول
5	الأسس النظرية لقياس النشاط الإشعاعي وضبط الجودة في الطب النووي
5	1.1 الهدف من البحث:
6	1.2 أهمية البحث:
6	1.3 مدخل إلى البحث:
8	1.4 النظائر المشعة المستخدمة في الطب النووي:
9	1.4.1 التكنشيوم ^{99m}Tc واستخداماته في الطب النووي:
10	1.4.2 استخدام النظائر المشعة في التشخيص الإشعاعي الطبي:
11	1.4.3 استخدام النظائر المشعة في العلاج الإشعاعي الطبي:
11	1.5 العوامل المؤثرة على ضبط جودة قياس النشاط الإشعاعي:
11	1.5.1 اختيار جهاز قياس النشاط الإشعاعي:
12	1.5.2 اختيار مكان جهاز قياس النشاط الإشعاعي:
12	1.5.3 اختبار القبول:
12	1.5.4 حفظ نتائج اختبارات ضبط الجودة:
13	1.5.5 توفير متطلبات الوقاية الإشعاعية:
13	1.5.6 ضبط جودة المركبات الصيدلانية المشعة:
14	الفصل الثاني
14	أجهزة قياس النشاط الإشعاعي وآلية عملها وأختبارات أدائها
14	2.1 مقدمة:
14	2.2 الأدوات المستخدمة في البحث:
17	2.3 مكونات جهاز قياس النشاط الإشعاعي للنظائر المشعة:
20	2.4 الواحدات الفيزيائية لقياس نشاطية الجرعة الإشعاعية:
20	2.5 التجهيزات المتممة:
21	2.6 البيئة و الاستقرار:
21	2.7 إجراءات قياس النشاط الإشعاعي
23	2.7.2 قياس النشاط الإشعاعي للعينة:
25	(2.7.3) عرض النتائج وتقدير الأخطاء:
25	(2.8) معايير الموافقة والرفض لنتائج قياس النشاط الإشعاعي
27	2.8.1 الجهد العالي المطبق على حجرة التأين البئر:
27	2.8.2 العرض لقيم النشاط الإشعاعي المقاسة:

27	2.8.3 ضبط الصفر:
27	2.8.4 الخلفية الإشعاعية:
28	2.8.5 التحقق من الثباتية: (Check source)
29	2.8.6 اختبار الاستجابة النسبية:
29	2.8.7 الدقة والإحكام: (Accuracy and Precision)
32	2.8.8 المعايرات الفرعية: (Subsidiary Calibration)
32	2.8.9 الخطية:
35	2.8.10 التبعية الهندسية لموضع العينة ضمن الحجرة:
35	2.9 اعتبارات إضافية:
35	2.9.1 تأثير العوامل البيئية المحيطة:
36	2.9.2 متطلبات الطاقة لجهاز قياس النشاط الإشعاعي:
36	(2.9.3) تدريع حجرة التأين البئرية:
37	الفصل الثالث:
37	مصادر الخطأ وعدم اليقين في قياسات النشاط الإشعاعي
37	3.1 مقدمة:
39	3.2 خطأ المعايرة:
41	3.3 الخطأ الإلكتروني للمقياس الكهربائي:
41	3.3.1 الدقة:
41	3.3.2 الخطية:
42	3.3.3 تغيير المجال:
43	3.4 الخطأ في الحسابات الإحصائية لقيم النشاط الإشعاعي:
44	3.5 الخطأ في النشاط الإشعاعي:
44	3.5.1 النشاط العالي:
45	3.5.2 النشاط المنخفض:
45	3.6 الخطأ الناتج عن التدريع:
46	3.7 خطأ تأثير حاويات العينات المشعة:
46	3.7.1 سمك (ثخانة) جدار الحاوية الأولى:
47	3.7.2 أنواع الحاويات:
49	3.8 الخطأ في حجم الحاوية:
50	3.9 خطأ موضع العينة ضمن الحجرة:
51	3.10 خطأ الكثافة الكيميائية للمادة المشعة:
51	3.11 خطأ التجانس للنظائر المشعة:
52	3.12 خطأ التكثيف للنظائر المشعة:
52	3.13 خطأ نقاء النظائر المشعة:
52	3.14 خطأ البيانات النووية:

53	3.15 خطأ أجهزة المحاكاة:
53	3.16 مشكلة فحص بواعث بيتا النقية:
55	الفصل الرابع:
55	الدراسة العملية ونتائج معايرة وضبط جودة مقاييس النشاط الإشعاعي:
56	4.1 معايرة أجهزة قياس النشاط الإشعاعي:
56	4.1.1 الجهاز المرجعي الثانوي (NPL)
60	(4.1.2) معايرة جهاز قياس النشاط الإشعاعي (ATOMLAB 300):
63	4.1.3 معايرة جهاز قياس النشاط الإشعاعي (ATOMLAB500):
67	4.1.4 معايرة جهاز قياس النشاط الإشعاعي (ATOMLAB100):
70	4.1.5 معايرة جهاز قياس النشاط الإشعاعي ((VEENSTRA) (VDC404):
74	4.2 اختبارات ضبط الجودة لأجهزة قياس النشاط الإشعاعي:
75	4.2.1 اختبار الدقة والإحكام لأجهزة قياس النشاط الإشعاعي:
77	4.2.1.1 نتائج الدقة والإحكام للجهاز المرجعي (NPL):
79	4.2.1.2 نتائج الدقة والإحكام لجهاز (ATOMLAB300):
81	(4.2.1.3) نتائج الدقة والإحكام لجهاز قياس النشاط الإشعاعي (ATOMLAB500):
84	4.2.1.4 نتائج الدقة والإحكام لجهاز قياس النشاط الإشعاعي ATOMLAB100:
86	4.2.1.5 نتائج الدقة والإحكام لجهاز قياس النشاط الإشعاعي ((VEENSTRA VDC404):
88	4.2.2 نتائج اختبار الثباتية لأجهزة قياس النشاط الإشعاعي:
89	(4.2.2.1) نتائج اختبار الثباتية لجهاز قياس النشاط الإشعاعي (ATOMLAB300):
91	(4.2.2.2) نتائج الثباتية لجهاز قياس النشاط الإشعاعي (ATOMLAB500):
93	(4.2.2.3) نتائج اختبار الثباتية لجهاز قياس النشاط الإشعاعي (ATOMLAB100):
95	(4.2.2.4) نتائج الثباتية لجهاز قياس النشاط الإشعاعي ((VEENSTRA VDC404):
97	(4.2.3) نتائج اختبار التبعية الهندسية لموضع المادة المشعة ضمن حجرة التأين:
99	(4.2.3.1) نتائج التبعية الهندسية لجهاز قياس النشاط الإشعاعي (NPL):
100	(4.2.3.2) نتائج اختبار التبعية الهندسية لجهاز قياس النشاط الإشعاعي ATOMLAB300:
101	(4.2.4) نتائج اختبار الاستجابة الخطية:
106	الاستنتاجات:
107	التوصيات:
109	المراجع:

المخلص

يتناول هذا البحث تقييم إجراءات المعايرة وضبط الجودة المطبقة على عدد من أجهزة قياس النشاط الإشعاعي (Activity meter) المستخدمة في الطب النووي لقياس نشاط المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية الموسومة بنظائر مشعة قبل إعطائها للمريض، وذلك بهدف ضمان مطابقة الأجهزة والمستحضرات الصيدلانية الإشعاعية لمتطلبات الفنية ومعايير السلامة المعتمدة.

تؤكد الدراسة على الأهمية البالغة للإجراءات الوقائية ووضع بروتوكولات قياسية لضبط الجودة، لما لها من دور أساسي في مراقبة سلامة وفعالية استخدام المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية. ومع تزايد الاعتماد على برامج ضبط الجودة، تبرز الحاجة إلى تحديث هذه البرامج وتطويرها بشكل مستمر، إذ تشكل دقة هذه الإجراءات الأساس العلمي للاستخدام السريي الأمن والفعال للمستحضرات الصيدلانية الإشعاعية.

أجريت اختبارات المعايرة وضبط الجودة باستخدام مصادر إشعاعية ذات طاقات مختلفة شملت مصادر متوسطة الطاقة (^{137}Cs)، ومنخفضة الطاقة (^{133}Ba)، وعالية الطاقة (^{60}Co). وتمت مقارنة النتائج مع قياسات مخبر معايرة قياس النشاط الإشعاعي المعياري الثانوي المعتمد من قبل المختبر الوطني الفيزيائي (NPL) والمربوط بمعيار معايرة أولي. طبقت اختبارات ضبط الجودة الموصى بها من قبل الوكالة الدولية للطاقة الذرية (IAEA)، والتي تضمنت اختبارات الدقة والخطية التي تجرى بشكل سنوي، واختبارات الثباتية التي تنفذ يوميا، واختبارات التبعية الهندسية التي تجرى عند التركيب وبعد أعمال الصيانة، إضافة إلى اختبار الخطية الذي يجرى فصليا باستخدام مصدر ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) وفق طريقة التفكك الزمني.

أظهرت النتائج أن تطبيق معاملات المعايرة الخاصة بكل جهاز من أجهزة قياس النشاط الإشعاعية هو أمر ضروري للحصول على قياسات دقيقة للنشاط الإشعاعي. إن جهاز قياس النشاط الإشعاعي المرجعي (NPL) يملك دقة وإحكام أفضل من الأجهزة الأخرى ولهذا يفضل أن تتم معايرة الأجهزة المستخدمة في الطب النووي باستخدام

الجهاز المرجعي. وبينت الدراسة إن ثباتية أجهزة قياس النشاطية الإشعاعية تقع ضمن الحدود المسموحة حيث أن معامل الاختلاف أقل من 1%، مما يدل على موثوقية القياسات الروتينية عند توثيقها بشكل منتظم.

كما أظهرت النتائج أن أعلى دقة في قياس النشاط الإشعاعي تتحقق عند وضع المصدر المشع في مركز حجرة التأين. ويعد توظيف نتائج اختبار الخطية في التطبيقات السريرية أمراً "ضرورياً" لضمان استجابة خطية للنظام ضمن كامل مجال القياس، وبما يضمن إعطاء قيم صحيحة للنشاط الإشعاعي لمختلف النظائر المستخدمة في تطبيقات الطب النووي.

مقدمة :

إن اكتشاف النشاط الإشعاعي الطبيعي منذ أكثر من قرن، كان فتحاً علمياً استندت إليه أبحاث كثيرة وتأسست عليه تطبيقات غاية في الأهمية في شتى ميادين الحياة، ثم كان اكتشاف النشاط الإشعاعي الصناعي الذي أطلق يد الإنسان على إنتاج ما يحتاج إليه من مصادر مشعة ذات فوائد محددة، ومع تطور التطبيقات الطبية منها أو الصناعية، بدأ إنتاج النظائر المشعة يأخذ دوره كمكون مهم.

للقياس الدقيق لكمية المادة المشعة المنتجة المقدمة للتطبيقات الطبية أهمية متزايدة، أنشئ لهذه الغاية مخابر قياس تغطي الحاجة في هذا المجال، وتمت مقارنة عالمية لتوحيد هذا النوع من القياس وتطوير الأجهزة العلمية التي تمكن من إجرائه بشكل أني وسريع ثم ظهرت الحاجة لمعايرة هذه التجهيزات والتحقق من استخدامها الجيد.

ويواصل الطب النووي نموه في جميع أنحاء العالم وذلك بسبب البرامج التي تنفذ من قبل الوكالة الدولية للطاقة الذرية لتعزيز استخدام تقنيات الطب النووي وتنفيذ برامج ضمان الجودة (QA) و مراقبة الجودة (QC) لضمان الاستخدام الآمن للمستحضرات الصيدلانية الإشعاعية. مما دعت الحاجة إلى وجود مجموعة موحدة من المبادئ لإنشاء مثل هذه البرامج، يتناول هذا البحث برامج لمعايرة وضبط جودة عدة مقاييس لقياس النشاط الإشعاعي

في الطب النووي، وذلك لأهميتها في مراقبة سلامة وفعالية استخدام المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية.

هذا البحث هو نتيجة للمشورة المقدمة من قبل خبراء في مجالات قياس نشاط النظائر المشعة والفيزياء الطبية والصيدلة الإشعاعية، ويركز هذا البحث على العوامل التي تؤثر على قياس النشاط الإشعاعي وعلى تنفيذ برامج ضبط الجودة لضمان الحصول على نتائج دقيقة لجودة الممارسة الآمنة والفعالة للطب النووي حيث يعتبر قياس مستوى النشاط الإشعاعي في المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية التي سيتم إعطاؤها سريريا في المقام الأول وذلك لتحقيق التوازن بين فعالية وسلامة الإجراء الطبي عن طريق اختبار الحد الأدنى من جرعة الإشعاع المقدمة للمريض. إن صحة الإجراءات هي المحدد الأساسي للاستخدام الآمن والفعال لهذه المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية، معايير الأمان الأساسية الدولية للحماية من الإشعاع و أمان مصادر الإشعاع (BSS) [15] وسلسلة معايير

الأمان الصادرة عن الوكالة الدولية للطاقة الذرية رقم GS-R-3 و GS-G-3 [16،17] جنباً إلى جنب مع المعيار الدولي للمتطلبات العامة لكفاءة المختبرات في المعايرة والقياس (ISO / IEC 17025) [18].

وانطلاقاً من أهمية ضمان دقة قياس النشاط الإشعاعي في مراكز الطب النووي لما لذلك من تأثير مباشر على الجرعات المعطاة للمرضى وسلامة الإجراءات التشخيصية والعلاجية، جاءت هذه الدراسة لتتناول موضوع معايرة وضبط جودة مقاييس النشاط الإشعاعي وفق منهج علمي تطبيقي. وقد تم تنظيم الرسالة في أربعة فصول مترابطة، حيث يتناول الفصل الأول الإطار النظري للبحث من خلال عرض المفاهيم الأساسية للطب النووي، وخصائص النظائر المشعة، وأهمية قياس النشاط الإشعاعي ومتطلبات ضبط الجودة والوقاية الإشعاعية وفق المعايير الدولية المعتمدة. أما الفصل الثاني فيركز على الجوانب العملية لقياس النشاط الإشعاعي، فيشرح مكونات أجهزة قياس النشاط وآلية عملها وإجراءات القياس واختبارات القبول وضبط الجودة المعتمدة لتقييم أدائها. ويُخصّص الفصل الثالث لدراسة مصادر الخطأ وعدم اليقين في القياسات الإشعاعية وتحليل تأثير العوامل الفيزيائية والهندسية والإحصائية على دقة النتائج. في حين يعرض الفصل الرابع الدراسة العملية ونتائج المعايرة وضبط الجودة لعدد من الأجهزة المستخدمة في مراكز الطب النووي، مع تحليل النتائج ومقارنتها بالقيم المرجعية، وصولاً إلى استخلاص الاستنتاجات النهائية وصياغة التوصيات التطبيقية التي تسهم في تحسين مستوى الأداء والسلامة الإشعاعية.

الفصل الأول

الأسس النظرية لقياس النشاط الإشعاعي وضبط الجودة في الطب النووي

مقدمة :

يشكّل قياس النشاط الإشعاعي حجر الأساس في تطبيقات الطب النووي، إذ تعتمد دقة الإجراءات التشخيصية والعلاجية بصورة مباشرة على صحة القيم المقاسة للنشاط الإشعاعي للنظائر المشعة المستخدمة. وتزداد أهمية هذا القياس في ضوء التطور المستمر في تقنيات التصوير والعلاج الإشعاعي، حيث أصبح تحقيق أعلى درجات الدقة والموثوقية مطلبًا أساسيًا لضمان سلامة المرضى وجودة الخدمة الطبية.

إن أجهزة قياس النشاط الإشعاعي (Activity Meters) تُعد من أهم التجهيزات الفيزيائية في أقسام الطب النووي، إذ يتم من خلالها تحديد النشاط الإشعاعي للجرعات المحضّرة قبل إعطائها للمريض. وأي انحراف في القياس قد يؤدي إلى إعطاء جرعة أقل أو أعلى من المطلوبة، بما ينعكس سلبيًا على دقة التشخيص أو فعالية العلاج، فضلًا عن الجوانب المتعلقة بالسلامة الإشعاعية.

وانطلاقًا من ذلك، يتناول هذا الفصل الإطار النظري الذي يستند إليه البحث، من خلال عرض المفاهيم الأساسية المرتبطة بالنشاط الإشعاعي وخصائص التحلل النووي، والتعريف بالنظائر المشعة المستخدمة في الطب النووي، إضافة إلى شرح المبادئ الفيزيائية التي تقوم عليها أجهزة قياس النشاط الإشعاعي. كما يستعرض الفصل المعايير الدولية المعتمدة في مجال المعايرة وضبط الجودة، والأسس العلمية لضمان تتبع القياسات إلى مراجع معيارية موثوقة، تمهيدًا للانتقال إلى الدراسة العملية وتحليل نتائج القياسات في الفصول اللاحقة.

1.1 الهدف من البحث:

1- التحقق من دقة أجهزة قياس النشاط الإشعاعية بمراكز الطب النووي في القطر. واختبار الكفاءة

عن طريق المقارنات بين المختبرات وذلك بتطوير برامج لمعايرة وضبط جودة أجهزة قياس النشاط الإشعاعية

الإشعاعية وتقديم إرشادات بشأن ضوابط الجودة التي ينبغي إجراؤها على أساس روتيني لأجهزة معايرة وقياس نشاطية النظائر المشعة الطبية.

2- مناقشة مصادر الارتياح والخطأ في القياس ومدى الشكوك المرتبطة بها.

3- تحليل النتائج وحساب مصادر الارتياح في قياس النشاطية الإشعاعية.

4- تطوير إجراءات ضبط الجودة المتبعة محليا وذلك بوضع مبادئ موحدة بشأن إجراءات ضبط الجودة لقياس النشاط الإشعاعي في الطب النووي.

1.2 أهمية البحث:

أهمية الإجراءات المتبعة لوضع مبادئ موحدة بشأن إجراءات ضبط الجودة لأهميته بمراقبة سلامة وفعالية استخدام المستحضرات الصيدلانية حيث أدى التركيز المتزايد على ضبط الجودة الحاجة إلى تحديث هذه البرامج ومعالجتها بشكل أفضل وبشكل مفصل. إن صحة هذه المبادئ هي المحدد الأساسي للاستخدام الآمن والفعال لهذه المستحضرات.

ليس الهدف من هذا البحث تكرار المتطلبات الأساسية الواردة في اللوائح المحلية المماثلة وإنما تقديم معلومات تكميلية في حالات التعارض الواضح بين المبادئ وتقديم اقتراح تدابير بديلة لتوفير مستوى الدقة وضمان الجودة.

1.3 مدخل إلى البحث:

إن التطور العلمي في مجال الطب النووي، واستخدام النظائر المشعة غير المختومة (مفتوحة) في المجال الطبي بتشخيص ومعالجة الحالات المرضية المختلفة، وازدياد الأجهزة المستخدمة التي تعتمد على النظائر المشعة سواء بالتشخيص أو بالمعالجة، كان لابد من رصد الجرعات الإشعاعية المعطاة للمرضى والجرعات الناجمة عن هذه الممارسات تماشياً مع مبدأ **ALARA** (استمثال التعرض الإشعاعي مع مراعاة الظروف

الاجتماعية والاقتصادية) للحصول على نتيجة جيدة بأقل جرعة إشعاعية ممكنة، وذلك لكون هذه الإشعاعات غير مرئية ولكون الأخطار المترتبة عنها لا تظهر بشكل مباشر وإنما ذات تأثير عشوائي يمكن أن تظهر في سنوات لاحقة.

يشكل حالياً" التشخيص الجزء الرئيسي في المجال الطبي، حيث يوفر لنا هذا التخصص مزايا تشخيصية لا توفرها الطرائق الأخرى. الهدف التشخيصي للطب النووي هو الحصول على بيانات عن توزيع الصيدلانيات المشعة في العضو المدروس، وذلك للحصول على صورة لهذا العضو تفيد في تحديد الحالة المرضية، دراسة ديناميكية (حركية) لتوزيع المادة المشعة لتحديد وظيفة العضو المدروس كافة المواد المشعة المستخدمة في إجراءات الطب النووي يمكن الكشف عنها والتقاطها من خارج الجسم باستخدام كواشف خاصة (الغاما كاميرا) - البوزيترون كاميرا).

تمكن الغاما كاميرا والحاسب من الحصول على صور تعطي بيانات ومعلومات سريرية عن العضو أو منطقة من الجسم المراد دراسته.

ينبغي أن تكون النشاطية الإشعاعية للمادة المشعة المستخدمة في معظم المجالات (طبية تشخيصية وعلاجية ، أو صناعية وبحثية) محددة بدقة وخصوصاً في المجال الطبي ، حيث يكون مقدار المادة المشعة ذا أهمية خاصة للحصول على النتائج الطبية المرجوة دون زيادة أو نقصان .

إن تحديد النشاطية الإشعاعية للصيدلانيات المشعة المستخدمة في الطب النووي سواء للأغراض التشخيصية أو العلاجية بدقة يضمن فعالية وسلامة الجرعة التي يتلقاها والمريض ولا يتحقق هذا إلا إذا جرت معايرة تجهيزات القياس، والقيام بعدة اختبارات لضبط الجودة لهذه الأجهزة مما يضمن إعطاؤها النتائج الصحيحة.

وضع المادة المشعة بالسيرنغ الشكل(1-1) ثم قياس النشاطية الإشعاعية للمادة المشعة وبعد ذلك يحقن بها المريض الشكل (1-2)



الشكل (1-1) وضع المادة المشعة بالسيرنج



الشكل (1-2) حقن المريض بالمادة المشعة

تتوزع المادة المشعة الموسومة بمادة صيدلانية بالعضو المراد تصويره الشكل (1-3) ثم يتم التصوير بجهاز الغاما كاميرا الشكل (1-4)



الشكل (1-3) توزع المادة المشعة بالعضو



الشكل (1-4) التصوير بجهاز الغاما كاميرا

1.4 النظائر المشعة المستخدمة في الطب النووي:

يعتبر استخدام النظائر المشعة (radioisotopes) في المجال الطبي من أحدث التطورات في الطب الحديث تنتج النظائر المشعة بفعل النترونات في مفاعل نووي أو بفعل الجسيمات المشحونة مثل البروتونات في مسرع على عناصر هدف مناسبة. تتطلب مادة الهدف بعد التشعيع معالجة كيميائية للحصول على النظير المشع إما بشكل نقي أو بالشكل المطلوب للاستعمال. تجري معالجة الأهداف المشعة في خلايا حارة مدرعة مصممة خصيصاً لهذه الغاية ومزودة بتجهيزات التعامل عن بعد مع المصادر المشعة لمنع تعرض العاملين للأشعة. تستعمل النظائر المشعة إما على شكل مصادر مفتوحة (مواد كيميائية مشعة _ مواد صيدلانية مشعة _ قفازات مشعة صناعية) أو على شكل مصادر مغلقة (معالجة الأورام بالإشعاع، تصوير شعاعي صناعي، معالجة إشعاعية للمواد) أكثر

النظائر المشعة الشائعة الاستعمال أهمية (التكنشيوم ^{99m}Tc و التاليوم ^{201}Tl واليود ^{131}I والفلور ^{18}F واليود ^{125}I في الطب) [14], (الكوبالت ^{60}Co والإيريديوم ^{192}Ir في الطب والصناعة).

1.4.1.1 التكنشيوم ^{99m}Tc واستخداماته في الطب النووي:

التكنشيوم ^{99m}Tc عبارة عن إيزومير نووي مستقر من التكنشيوم ^{99}Tc , تشير الـ m الى أن هذا النظير المشع يكون إيزومير نووي مستقر (أي أنه لا يتحول إلى عنصر مشع آخر عند تفككه).

يستخدم هذا النظير المشع المصدر لأشعة غاما في اختبارات النظائر المشعة الطبية, على سبيل المثال يمكن تقفي هذا النظائر المشع وكشفة في الجسم باستخدام الأجهزة الطبية وهو نظير جيد يناسب الدور الذي يقوم به لأنه يصدر بسهولة أشعة غاما قابلة للكشف بطاقة (140 keV) وعمر النصف له من أجل اصدار غاما 6 ساعات يسمح عمر النصف القصير لهذا النظير المشع بإجراء المسح الإشعاعي للمريض من أجل جمع البيانات المطلوبة بسرعة وإبقاء التعرض الإشعاعي الكلي للمريض أقل ما يمكن.

يكون عادة منتجا من مادة صناعية هي المولبدينيوم ^{99}Mo التي تنتج بواسطة الانشطار النووي ويستخلص من مولدات التكنشيوم ^{99m}Tc التي تحتوي مولبدينيوم ^{99}Mo والذي يشكل النظير الأم العادي لهذا النظير ولذلك يكون مستقرا للطب الحديث [19].

يستخدم التكنشيوم ^{99m}Tc في 20 مليون حالة تقريبا من إجراءات الطب النووي التشخيصي كل سنة. يستخدم هذا النظير في 85% تقريبا من إجراءات التصوير التشخيصي في الطب النووي بالاعتماد على نوع الإجراء في الطب النووي يكون ^{99m}Tc مركبا مع مادة صيدلانية لنقل ^{99m}Tc إلى موضعه المطلوب. على سبيل المثال عندما يكون ^{99m}Tc كيميائيا متجها إلى عضو الفحص فإن العقار الحامل للتكنشيوم المشع يكون قادرا على أن يعبر دم الدماغ الحامل له ويتدفق خلال الأعصاب في الدماغ ليرى تدفق الدم المخي (كما يستخدم أيضا من أجل تمييز خلايا الدم البيضاء لإظهار مواقع الإصابة (الالتهاب)، ويكون الـ ^{99m}Tc مستخدما من أجل تصوير إرواء العضلة القلبية) التي تظهر كيف يتدفق الدم بشكل جيد للقلب [14].

1.4.2 استخدام النظائر المشعة في التشخيص الإشعاعي الطبي:

أصبحت تقانة الطب النووي (Nuclear Medicine) من التقانات المهمة جدا" في قسم الأشعة حيث تستخدم في هذه التقانة بعضا من المواد المشعة (radioactive materials) التي تدعى الصيدلانيات المشعة (radiopharmaceuticals) والتي يتم إعطاؤها للمريض من أجل دراسة وفحص وظيفة العضو المراد تصويره , وكذلك تستخدم في معالجة بعض الأمراض (Diseases) والحالات الطبية المختلفة , وتعطى بمقادير مأمونة تتناسب مع عمر وحجم المريض وكذلك مع العضو المفحوص. يسمى التصوير بهذه التقنية بالتصوير الومضاني (scintigraphy) أو المسح بالنظائر المشعة والجهاز المستخدم في التصوير هو جهاز الغاما كاميرا (Gamma camera) والمخبر الحار (Hot Laboratory) أساسي في وحدة الطب النووي حيث توضع به المولدات (Generators) والأدوات المستخدمة للتعامل معها مع مراعاة إجراءات الوقاية من الأشعة , وأيضاً ضروري من أجل تحضير جرعة المادة المشعة حسب الفحص المطلوب عمله وأهميته وتاريخ وروده للقسم , ولحساب الجرعة الإشعاعية المراد إعطاؤها للمريض لكل فحص وذلك حسب عمر النصف للمادة المشعة المستخدمة في نفس يوم الفحص [14].

وتقسم النظائر المشعة الطبية إلى قسمين:

- 1 - النظائر المشعة المغلقة المستخدمة في العلاج الإشعاعي (Radiotherapy) التي تتميز بأنها ذات عمر نصف طويل تتفكك إشعاعياً" عن طريق إصدار جسيمات بيتا بالتزامن مع إصدار فوتونات ذات طاقة عالية.
- 2- النظائر المشعة المفتوحة المستخدمة في الطب النووي (Nuclear Medicine) التي تتميز أنها عمر نصف قصير تتفكك إشعاعياً" عن طريق إصدار أشعة غاما ذات الطاقة المنخفضة. توضع في عبوات زجاجية أو كبسولات ويمكن تجزئتها إلى جرعات تتناسب مع نوع الفحص أو سن المريض ،ويتناولها المريض عن طريق الحقن الوريدي أو الاستنشاق أو الابتلاع. وقد وجد أن عملية التفكك الإشعاعي للعنصر المشع تتم بطريقة أسية أي أن النشاطية تتناقص مع مرور الزمن بنسبة ثابتة ويطلق على هذه النسبة اسم ثابت التفكك (λ) وهي خاصية مميزة لكل عنصر

مشع تميزه عن العناصر المشعة الأخرى فمثلاً " عينة من عنصر التكنشيوم ^{99m}Tc المشع نشاطيتها الإشعاعية (100mCi) عمر النصف لها 6 ساعات فبعد مرور 6 ساعات تنخفض النشاطية الإشعاعية 50% أي تصبح مساوية (50mCi) ثم بعد مرور 6 ساعات أخرى تصبح النشاطية (25mCi) وبعد 6 ساعات أخرى تصبح النشاطية (12.5mCi) وهكذا

يعرف عمر النصف بأنه الزمن اللازم لتفكك نصف العدد من نوى الذرات من مجموع النوى الكلية لذرات النظير المشع.

1.4.3 استخدام النظائر المشعة في العلاج الإشعاعي الطبي:

تستخدم النظائر المشعة في الطب النووي بشكل عام من أجل الأغراض التشخيصية ، كما تستخدم النظائر المشعة المغلقة في التطبيقات العلاجية مثل علاج فرط نشاط الغدة الدرقية وعلاج سرطان الغدة الدرقية وعلاج أنواع معينة من سرطان العظام الخ ...

1.5 العوامل المؤثرة على ضبط جودة قياس النشاط الإشعاعي:

تجري اختبارات ضبط الجودة للتأكد فيما إذا كانت التجهيزات والمركبات الصيدلانية الإشعاعية تتوافق مع الشروط المطلوبة. يجب إجراء معايرة للجهاز لدى الشركة المصنعة باستخدام منابع تمت معايرتها في مخبر عياري وتزويد الجهاز بشهادة معايرة من مخبر عياري.

أهم العوامل المؤثرة على جودة قياس النشاط الإشعاعي:

1.5.1 اختيار جهاز قياس النشاط الإشعاعي:

يعتمد انتقاء أي جهاز على الاختبارات المطلوب القيام بها من خلال هذا الجهاز ولدى انتقاء أي جهاز لابد من الاعتماد على الخبرات المتوفرة والتي توصي بشراء من جهاز من مصنع معين والذي تتبين من خلال استخدامه وبأنه من الأجهزة الجيدة إضافة إلى اعتماد نتائج بعض الدراسات التي تقارن الميزات التي تقدمها الأجهزة المتشابهة كما أن

عامل التكلفة هو من العوامل المهمة التي تتحكم انتقاء جهاز ما. ولدى طلب جهاز لابد من الاطلاع على كافة المواصفات الفنية للجهاز. كما يجب الأخذ بعين الاعتبار قطع الغيار وتوفرها.

1.5.2 اختيار مكان جهاز قياس النشاط الإشعاعي:

يجب الأخذ بعين الاعتبار لدى اختيار مكان عند لوضع الجهاز، مستوى الخلفية الإشعاعية ولاسيما فيما يتعلق بأماكن تخزين المواد المشعة، وحركة المواد المشعة، والحاجة إلى التغذية الكهربائية اللازمة، وعوامل بيئية كالحرارة والرطوبة.

1.5.3 اختبار القبول لجهاز قياس النشاط الإشعاعي:

تعتبر اختبارات القبول التي تجري على الأجهزة الجديدة من أهم الإجراءات خلال فترة شراء الجهاز، حيث يتم اختبار القبول ضمن الشركة المصنعة، وثم يعاد إجراء القبول في عند وصول الجهاز حيث يتم عادة تسمية ممثل للشركة المصنعة ليكون موجوداً خلال تركيب الجهاز وفحص القبول ويجب أن يكون قادراً على معالجة أي مشكلة طارئة أثناء التركيب ولدى مخالفتها المواصفات الفنية.

إن نتائج فحص القبول تستخدم كقيم مرجعية في المستقبل لمقارنتها مع نتائج الفحوص الدورية التي تجري على الجهاز.

الفحص المرجعي هو الفحص الذي تستخدم نتائجه لتقييم نتائج الفحوص التي تجري يوميا.

الفحص الروتيني هو الفحص الذي يجري بصورة دورية وعلى فترات منتظمة للتأكد من عدم وجود أي تغيير في عمل الجهاز.

1.5.4 حفظ نتائج اختبارات ضبط الجودة:

إن حفظ نتائج اختبارات ضبط الجودة ضمن سجلات خاصة بها، تعتبر من الأمور الهامة جداً ضمن برنامج ضبط الجودة. حيث تجمع سجلات التشغيل والصيانة لكل جهاز ضمن سجل خاص يوضع في الجزء الأول من هذا السجل شروط التشغيل بجميع الإجراءات المتبعة ولكافة النظائر المشعة المستعملة والجزء الرئيسي من هذا السجل يشمل على

نتائج اختبارات القبول والاختبارات المرجعية والاختبارات الروتينية للجهاز ويشمل كذلك على سجل الصيانة الوقائية وحالات التعطل عن العمل و الإصلاحات التي أجريت ويقوم الشخص المسجل بالتوقيع مع ذكر تاريخ. ويجب أن تتم مراجعة هذا السجل بشكل متواتر لدراسة أي تغيرات خاصة للجهاز ، وتكرار الأعطال والإصلاحات قد تكون مدعاة لتغير الجهاز ككل.

1.5.5 توفير متطلبات الوقاية الإشعاعية:

يجب أن توفر برامج ضبط الجودة الثقة التامة في استيفاء كافة المتطلبات المتعلقة بالوقاية الإشعاعية واختبار نظم الأمان. ويجب اختبار ومعايرة أدوات ومقاييس النشاطية الإشعاعية بصفة دورية ومنظمة ويحتفظ بالنتائج في سجلات خاصة بذلك.

1.5.6 ضبط جودة المركبات الصيدلانية المشعة:

إن الغاية من إجراء ضبط جودة المركبات الصيدلانية الإشعاعية هي التأكد من أن ما يحقن للمريض هو فقط المركب الفعال الآمن .

1. النقاوة النيوكليدية المشعة (وجود نيوكليدات أخرى).
2. النقاوة الكيميائية المشعة (كفاءة الوسم).
3. النقاوة الكيميائية (مواد سامة).
4. النقاوة البيولوجية (خلوها من البكتريا والفطور ...).
5. العقامة (مولدات الحرارة

الفصل الثاني

أجهزة قياس النشاط الإشعاعي وآلية عملها وأختبارات أدائها

2.1 مقدمة:

يشرح في هذا الفصل إجراءات تحديد النشاط الإشعاعي للنظائر المشعة باستخدام جهاز قياس النشاط الإشعاعية بالتفصيل خطوات و إجراءات ضبط الجودة المرتبطة بها اللازمة لتحديد نشاط العينات المشعة. وذلك باستخدام حجرة التأين لجهاز قياس النشاط الإشعاعية في قياس النشاط الإشعاعي، حيث يمكن الحصول على معلومات متعمقة حول استخدام هذه الحجرة من المرجع [3] وكذلك في دليل الإجراءات لقياس النشاط الإشعاعي [4] والعديد من المعايير الوطنية والدولية [5-6] .

2.2 الأدوات المستخدمة في البحث:

1-المصادر المستخدمة في الدراسة :

- منبع السيزيوم ^{137}Cs القيمة المرجعية له (المسجلة على اللصاقة الموجودة على المنبع هي 3.588MBq وتاريخ تسجيلها 1 / 8 / 1999
- منبع الباريوم ^{133}Ba والقيمة المرجعية له (المسجلة على اللصاقة الموجودة على المنبع هي 0.0381MBq وتاريخ تسجيلها 1 / 6 / 2001
- منبع الكوبالت ^{60}Co و القيمة المرجعية له (المسجلة على اللصاقة الموجودة على المنبع هي 1.837MB وتاريخ تسجيلها 1 / 6 / 2000

2- الأجهزة المستخدمة: تم إجراء الدراسة على خمسة أجهزة قياس للنشاطية الإشعاعية المستخدمة في

مراكز الطب النووي في القطر، وهي:

- **جهاز قياس النشاطية الإشعاعية الجهاز المرجعي الثانوي NPL :**

هو جهاز مرجعي ثانوي مزود من مخبر أولي المخبر الوطني للفيزياء في بريطانيا

((National Physical Laboratory)) بشهادة معايرة من المخبر نفسه

(Certificate of Calibration FIDELIS Radionuclide Calibrator)

وهو موجود في مخبر معايرة وقياس النشاطية الإشعاعية بهيئة الطاقة الذرية ويستخدم في القطر العربي السوري

كجهاز مرجعي من أجل معايرة الأجهزة الأخرى المستخدمة في قياس النشاطية الإشعاعية في حقل الطب النووي.

- **جهاز قياس النشاطية الإشعاعية ATOMLAB300:**

وهو جهاز يستخدم لقياس النشاطية الإشعاعية للنظائر المشعة موجود في مخبر معايرة وقياس النشاطية

الإشعاعية بهيئة الطاقة الذرية يتألف من حجرة تأيين أسطوانية الشكل من النوع البثري مملوءة بالغاز، توضع

فيها المادة المشعة من أجل القياس حيث يطبق جهد العالي على الحجرة وعدة نواخب لاختيار النكليد المشع

المناسب وفي حال عدم وجوده نختاره من اللوحة المرفقة النظير المشع وشاشة إظهار للنتيجة بوحدة

.MBq, GBq

- **جهاز قياس النشاطية الإشعاعية ATOMLAB500:**

وهو جهاز يستخدم لقياس النشاطية الإشعاعية للنظائر المشعة موجود في المخبر الحار لمشفى البيروني

الجامعي يتألف من حجرة تأيين أسطوانية الشكل من النوع البثري مملوءة بالغاز، توضع فيها المادة المشعة

من أجل القياس حيث يطبق جهد العالي على الحجرة، وشاشة لمس ملونة قابلة للتعديل تلقائياً وسهلة

الاستخدام مبرمج مسبقاً ل 88 من النظائر المشعة الأكثر استخداماً ويمكن تحديد أي منها بسهولة عن

طريق اللمس على شاشة العرض بوحدة (Ci أو Bq) ويتميز باستجابة سريعة وبرنامج قوي قابل للترقية

ليشمل عداد مسح وما يصل إلى ست حجرات تأين، وطابعة للتقارير ومنفذ USB وله القدرة على المساعدة في تحديد النظائر المشعة المسببة للتلوث وله القدرة على المساعدة لاستخراج تقارير مفصلة عن التلوث وتخزين النتيجة.

• **جهاز قياس النشاط الإشعاعية ATOMLAB100 :**

وهو جهاز يستخدم لقياس النشاط الإشعاعية للنظائر المشعة موجود في المختبر الحار لمشفى الشامي يتألف من حجرة تأين أسطوانية الشكل من النوع البئري مملوءة بالغاز، توضع فيها المادة المشعة من أجل القياس حيث يطبق جهد العالي على الحجرة المزودة بدرع من الرصاص وعدة نواخب لاختيار النكليد المشع المناسب وفي حال عدم وجوده نختاره من اللوحة المرفقة النظير المشع وشاشة إظهار للنتيجة بوحدة البيكرل أو الكوري.

• **جهاز قياس النشاط الإشعاعية VEENSTRA VDC404 :**

وهو جهاز يستخدم لقياس النشاط الإشعاعية للنظائر المشعة موجود في المختبر الحار للعيادة المتطورة في ساحة القصور يتألف من حجرة تأين أسطوانية الشكل من النوع البئري مملوءة بالغاز، توضع فيها المادة المشعة من أجل القياس حيث يطبق جهد العالي على الحجرة، ودرع إضافي من الرصاص، وبطانة بئر إضافية، وجهاز قياس كهربائي يتم من خلاله اختيار النظير المشع من خلال نواخب حيث تظهر على الشاشة رموز النظائر المشعة نقوم بالانتقال من خلال الأزرار بين هذه الرموز وصولاً للنظير المشع المراد قياس نشاطيته حيث تظهر على الشاشة النتيجة بوحدة البيكرل أو الكوري .

2.3 مكونات جهاز قياس النشاط الإشعاعي للنظائر المشعة:

يتكون هذا المقياس من:

1. حجرة تأيين أسطوانية الشكل من النوع البصري مملوءة بالغاز، توضع فيها المادة المشعة من أجل القياس، يبين الشكل (2-1) الحجرة الأسطوانية.
2. مزود جهد عالي.
3. مقياس الكتروني لقياس تيارات التأين له عدة نواخب لاختيار النكليد المشع المناسب وفي حال عدم وجوده نختاره من اللوحة المرفقة بالنظير المشع. كما هو مبين بالشكل (2-2).
4. شاشة عرض لإظهار للنتيجة بوحدة MBq, GBq...etc. (غيجا بكرل، ميغا بكرل)

الحجرة الأسطوانية



الحجرة الأسطوانية من الأعلى



الشكل (2-1) الحجرة الأسطوانية

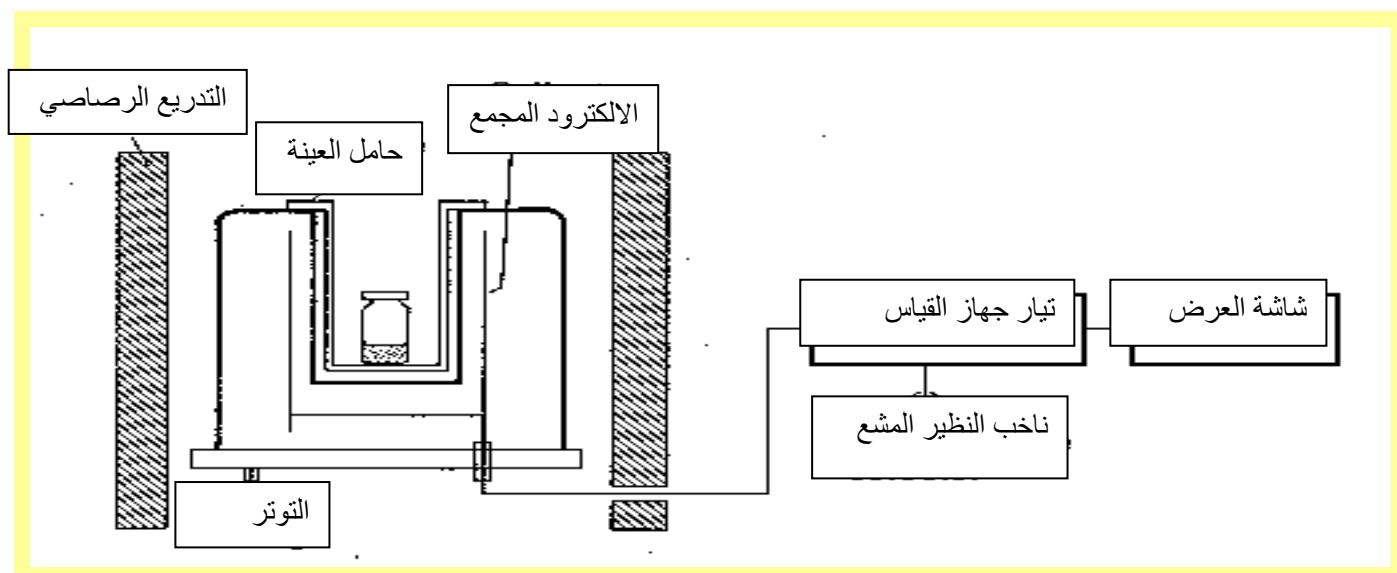


الشكل (2-2) مقياس الكتروني

تقاس النشاط الإشعاعي للمادة المشعة بمقادير كمية من تيار التأين الناتج بشكل أساسي عن تفاعل الأشعة النووية الصادرة من النظير المشع مع غاز التأين الخامل الموجود ضمن الحجرة. تتكون حجرة التأين الشكل (2-3) بشكل أساسي من قطبين كهربائيين فرق الكمون بينهما يصل إلى عدة مئات من الفولطات ومعزولين

عن بعضهما البعض بواسطة غلاف من الغاز .وتكون الحجيرة مغلقة .يؤدي مرور الإشعاع المؤين عبر الحجم الحساس للمقياس إلى تأين الغاز ، مما ينتج تيارا كهربائيا تتناسب شدته مع نشاط النظير المشع الذي يتم قياسه، يتحول التيار في جهاز القياس المرافق للنظام، إلى إشارة فولتية تضخم، تعالج وتعرض بشكلها النهائي وبشكل صيغة رقمية في وحدات النشاطية الإشعاعية (بيكرل Bq) أو (كوري Ci) [2].

يؤمن التدريع الرصاصي حول الحجيرة التأين البئرية الحماية الفردية والوقاية الشخصية ضد أخطار الإشعاع ويخفض الاستجابة للإشعاع البيئي (الخلفية الطبيعية) لكن تبقى هناك استجابة للخلفية المتبقية. تملك بعض أجهزة قياس النشاطية الإشعاعية للنظير المشع تحكم بضبط الصفر بشكل مستمر للتخلص من الاستجابة السابقة وإلا فإنه يجب أن تكون الخلفية المتبقية ملاحظة وتطرح إذا كانت هامة من النشاطيات الإشعاعية المقاسة بعد ذلك. يكون جهاز القياس النشاطية الإشعاعية عادة مزودا " مع حجيرة التأين البئرية بحامل بلاستيكي للعينة المشعة ويكون قابلا للإزالة ويمكن تنظيفه بسهولة في حالة حدوث تلوث إشعاعي عرضي ضمن الحجيرة عن طريق انسكاب المادة المشعة أو نفوذها من الحاوية الخاصة بها إلى الحامل الخاص بالحجيرة البئرية .



الشكل (2-3) رسم تخطيطي لجهاز قياس النشاطية الإشعاعية للنظير المشع [1].

يكون تيار التأين متناسبا مع النشاطية الإشعاعية بشكل مباشر، لكن تختلف استجابة الحجيرة للأشعة الواردة من نظائر مشعة مختلفة، وفقا لأنواع وطاقات وتدفقات هذه الأشعة.

إن الاعتبار الأولي هو معدل الإصدار لطاقة الفوتون، لذلك يكون من الضروري إجراء تعديل ملائم في التضخيم للإشارة الفولطية، إذا كان العرض مع نظائر مشعة مختلفة .

تملك معظم أجهزة قياس النشاطية الإشعاعية للنظير المشع أوضاع اختيارية أو وحدات برمجية مساعدة من أجل اختيار النظائر المشعة المختلفة، وبواسطة الضغط على زر النظير المشع المراد إنجاز هذا التعديل مباشرة، بواسطة اختيار مقاومة مثبتة محددة لتضخيم الإشارة.

تتضمن المعالجة ضمن جهاز القياس تطبيق معامل المعايرة الموافق لتيار التأين المنتج، بواسطة واحدة قياس النشاطية الإشعاعية من النظير المجرب (MBq/PA).

على الرغم من أن معظم أجهزة قياس النشاطية الإشعاعية للنظائر المشعة تملك دارات تحويل ، فإن النماذج القديمة، التي لا تزال في طور الاستخدام لا تملك هذه الميزة . في هذه الحالة، فإن التحويل من تيار التأين إلى النشاطية الإشعاعية المقاسة يتم بشكل يدوي [1].

إن قيمة معامل المعايرة مزودة من قبل المصنع بشكل عام، وتكون مرجعية في القياسات . تعتمد قيمة معامل المعايرة بشكل أولي على أنواع وتدفقات الأشعة الصادرة من قبل النظير المشع، وهي تعتمد أيضا على مدى التوهين لهذه الأشعة في أثناء عبورها من نقاط التفكك ضمن العينة المشعة، وخروجها إلى الحجم الغازي الذي سوف تتفاعل معه .

لذلك فإن عامل المعايرة من أجل نظير مشع فردي، يعتمد أيضا على حجم العينة المشعة ومقدارها (10ml - 5ml - 1ml) ، والطبيعة الفيزيائية للعينة (صلبة، هلامية، سائلة) بالإضافة إلى بنية الحاوية التي توجد العينة ضمنها (زجاجية، بلاستيكية، معدنية)، وكذلك موضعها ضمن البئر الخاص بحجيرة التأين على ارتفاعات مختلفة .

يكون معامل المعايرة وحيد من أجل نظير مشع فردي، والذي لا يكون مطابقا من أجل كل العينات المشعة المختلفة، التي ربما تكون مجربة من أجل ذلك النظير المشع (على النافذة الخاصة به). وتتأثر المكونات الإضافية (نوع الحامل رصاصي أو بلاستيكي) في مقدار الإشعاع الغازي الذي يدخل إلى الحجم الغازي ليتفاعل معه، وهي هامة لتمييز أن معاملات المعايرة تطبق فقط عندما تكون هذه المكونات الإضافية في المكان المخصص لها. إن أي إزالة أو تعديل لهذه المكونات من مكانها المخصص لها سوف يلغي معاملات المعايرة المزودة من قبل المصنع [1].

2.4 الواحدات الفيزيائية لقياس نشاطية الجرعة الإشعاعية:

حتى تكون الواحدات الفيزيائية محددة فإنه يجب أن يعبر عن النشاطيات الإشعاعية الصادرة من العينات المشعة بواحدة (Bq).

حتى تكون المجالات المختلفة من النشاطيات الإشعاعية مقاسة فإنها سوف تعتمد بشكل رئيسي على النظير المشع (طاقة الفوتونات الصادرة عنه وعدد التفككات الحاصلة في وحدة الزمن).

في الطب النووي إن المجال المقاس من النشاطيات الإشعاعية مع دقة $\pm 5\%$ أو أفضل من ذلك، سيكون بشكل مثالي محصورا بين 1MBq و 10GBq.

2.5 التجهيزات المتممة:

بالإضافة إلى معايرة نشاط المواد المشعة من الضروري أن تشمل المعدات ما يلي:

1- ميزان كتلة للمحاليل بدقة لا تقل عن $\pm 0,1\%$.

2- القوارير الزجاجية (الفيالات) وحاجز لاحتواء المادة المشعة ويجب تحديدها من حيث الأبعاد

وسمك الجدار والتركيب الكيميائي.

3- المحاقن البلاستيكية لاحتواء المحاليل المشعة، و يجب تحديدها من حيث الأبعاد وسمك الجدار

والتركيب الكيميائي .

4- ساعة توقيت .

5- مصادر اختبار مرجعية:مصادر مشعة مختومة (عادة من محلول صمغي) تملك عمر نصف

طويل للتحقق من ثباتها مثل السيزيوم ^{137}Cs .

2.6 البيئة و الاستقرار:

يجب أن يكون البئر داخل الحجرة البئرية نظيفاً وغير قابل للتلوث الإشعاعي [1]، ويجب منع عبور

التلوث الإشعاعي بالمواد المشعة التي ربما يكون باقياً أثرها على الحامل البلاستيكي الخاص بالحجرة

إلى العينات المراد قياسها، لكي لا يؤدي ذلك إلى تغيير في دقة نتيجة القياس.

يقلل التدريع حول حجرة التأين البئرية الخاصة بجهاز قياس النشاطية الإشعاعية من تأثير المصادر المشعة

الأخرى المجاورة على قياس العينة المراد قياسها، (يقلل الخطأ في القياس) ويقلل أيضاً من التعرض

الإشعاعي الشخصي للمشغل لهذه المصادر المشعة المراد قياسها أثناء فترة تشغيل جهاز قياس النشاطية

الإشعاعية ووضع العينة المشعة فيه.

يزود الجهاز بدليل توجيه الوارد في تقارير الأمان للوكالة الدولية للطاقة الذرية رقم 40 [7] .

2.7 إجراءات قياس النشاطية الإشعاعية

2.7.1 توصيف الإجراءات:

في المقاطع التالية معلومات محددة عن كيفية انجاز قياس النشاطية الإشعاعية الروتينية، بما في ذلك قياس

المستحضرات الصيدلانية المشعة [1].

مراجعة نماذج الطلب للعينة المراد قياسها :

نقوم بمراجعة نماذج الطلب في بداية يوم العمل ونتأكد من توفر كافة المعلومات الضرورية . تتضمن المعلومات

الضرورية لكل مصدر معايرة إعداد ما يلي :

- 1- تحديد المادة المشعة (هوية النظير المشع) .
- 2- نشاط المادة المشعة عند الزمن المرجعي .
- 3- الزمن المرجعي .
- 4- تصنيف المركب الحاوي على النظير المشع (صلب، سائل، غازي) .
- 5- الحجم الإجمالي أو الكتلة لكل مستحضر .
- 6- نوع الحاوية المطلوبة (حقنة، فيال) بما في ذلك الحجم .

فحوصات الأداء اليومية:

عند بداية كل يوم استخدام لجهاز القياس ، نقوم بإجراء فحص مراقبة الجودة اليومي التالي:

- 1- الجهد العالي المطبق على الحجرة .
- 2- إعداد الصفر للجهاز (إعادة التصفير لجهاز القياس).
- 3- شاشة العرض (شاشة عرض النتائج الخاصة بجهاز القياس) .
- 4- الساعة الزمنية .
- 5- الخلفية الطبيعية للإشعاع .
- 6- التحقق من الاستجابة لمصدر الاختبار مع الجهاز .
- 7- الاستجابات النسبية عند إعدادات المعايرة من أجل النظائر المشعة المجرية في ذلك اليوم.

فحوصات الأداء المستمرة (الاستمرارية):

تجرى فحوصات الأداء المستمرة ذات الصلة لكل ما يلي:

- 1- الجهد العالي المطبق على الحجرة.

2- شاشة العرض (شاشة عرض النتائج الخاصة بجاز القياس).

3- ضبط الصفر (إعادة التصفير لجهاز القياس).

4- دقة الساعة الزمنية.

5- الخلفية الطبيعية للإشعاع.

6- التحقق من استجابة مصدر الاختبار .

7- الدقة (على كامل مجال التشغيل الاعتيادي) .

8- الأحكام .

9- الاستجابات النسبية.

10-المعايير الفرعية (الثانوية أو الإضافية) .

11-الخطية.

2.7.2 قياس النشاطية الإشعاعية للعينة:

فيما يلي إجراء عام يتبع للقياسات السريية الروتينية للنشاطية الإشعاعية للعينة المشعة باستخدام حجلات التأين [1]. وهي عبارة عن كواشف إشعاعية غازية على شكل بئر، سنستخدم الجهاز المرجعي الثانوي

(NPL)لمعايرة أجهزة قياس النشاطية الإشعاعية المستخدمة في الطب النووي

1- تحديد موضع ومكان العينة المشعة ضمن الحجيرة البئرية وعلى ارتفاع مناسب ضمن البئر

المقابل للحجم الفعال للكاشف الغازي الخاص بالحجيرة، والتأكد من مطابقتها لتلك المحددة في

نموذج الطلب.

2- تحديد عدد القراءات المطلوبة للحصول على الدقة المطلوبة.

3- التأكد من ضبط الصفر للجهاز وعدم إجراء أي تعديل طبقا لتعليمات الشركة المصنعة.

4- التأكد من تصحيح الخلفية الطبيعية للإشعاع طبقا لتعليمات الشركة المصنعة.

بالنسبة لأجهزة المعايرة التي لا تحتوي على هذه الوظيفة، نلاحظ تيار الخلفية بحيث يمكن طرحه من القراءة الكلية بعد أخذها.

5- تدخل إعدادات المعايرة المناسبة إلى جهاز القياس (في حال استخدام جهاز قياس نشاطية إشعاعية يملك هذه الميزة). (على سبيل المثال تحديد نوع النظير المشع المراد قياسه ومجال استخدامه (عام ، دراسات قلبية ، معالجة إشعاعية) وتحديد حجم النظير المشع المراد قياسه بداخل الفيال أو الحقنة أو الحاوية التي تحوي هذا النظير وكذلك حجم الحاوية المستخدمة في إجراء عملية القياس.

6- توضع العينة المشعة داخل الحامل (البلاستيكي، الرصاصي) ثم نضع الحامل في فتحة جهاز المعايرة ضمن حجرة التأين التابعة لجهاز قياس النشاطية الإشعاعية مع الحرص أن تكون العينة المشعة في مركز البئر من أجل ضمان التوزيع الفراغي المناسب للأشعة الصادرة من العينة في جميع الاتجاهات.

7- يتم البدء بأخذ القياسات وتسجيل زمن البدء والخرج الرقمي لكل قياس على ورقة عمل خاصة، وذلك إما بوحدة (الكوري وأجزاؤه أو البيكرل ومضاعفاته) للنشاط الإشعاعي، أو قياس تيار التأين بوحدة الأمبير وأجزاؤه (نانو، بيكو).

8- تطبيق التصحيحات المناسبة للخلفية الإشعاعية وتفكك النظير المشع إلى الزمن المرجعي له، وكذلك تصحيحات الكتلة والحجم الخاصين بالمادة المشعة، وتصحيحات المتلوثات الإشعاعية إذا كان الحامل ملوثا أو إذا تم انسكاب مادة مشعة داخل الحجرة.

يتم حساب النشاطية الإشعاعية باستخدام قانون التفكك الإشعاعي

$$(1) \quad A = A_0 e^{-\lambda t}$$

A النشاطية الإشعاعية عند الزمن t

A_0 النشاطية الإشعاعية عند الزمن $t=0$

λ ثابت التفكك (خاص بكل نظير مشع على حدا) وقيمته تساوي $(\ln 2) / t_{1/2}$

$t_{1/2}$ عمر النصف ويمثل زمن تفكك نصف الكمية الموجودة من النظير المشع.

t تحسب كفارق زمني بين القياس الحالي للنظير المشع والزمن المرجعي الخاص بالنظير.

تتم معايرة أجهزة قياس النشاط الإشعاعي من القانون :

$$(2) \quad C_f = R_{\text{standard}} / R_{\text{net}}$$

Cf : معامل المعايرة

R standard : القراءة العيارية (من الجهاز العياري المرجعي).

R net : القراءة الصافية للجهاز المراد معايرته.

(2.7.3) عرض النتائج وتقدير الأخطاء :

تحسب وتسجل النشاط الإشعاعي للعينة المشعة المراد قياسها وكذلك تحسب الأخطاء ويتم التأكد من أنها

ضمن الحدود المسموحة وفقا للمرجع [8] .

(2.8) معايير الموافقة والرفض لنتائج قياس النشاط الإشعاعي:

يظهر الجدول (2-1) تفاصيل فحوصات الأداء التي سيتم إجراؤها عند قبول معايرة وقياس نشاطية مادة

مشعة وبشكل دوري بعد ذلك، وكذلك بعد الإصلاح بالإضافة إلى معايير النجاح والفشل المناسبة .مستشكل

هذه المعايير أيضا جزءا من المواصفات الفنية لجهاز قياس النشاط الإشعاعي .

معايير النجاح والفشل موضحة في الجدول (2-1).

الجدول (2-1) معايير القبول من أجل نجاح أو فشل فحوصات الأداء لأجهزة قياس نشاطية النظير المشع [1]

معايير النجاح أو الفشل	تواتر الاختبار				الاختبار
	سنويا	شهريا	ببداية كل يوم من الاستخدام	عند القبول وبعد التصليح	
$\pm 1\%$	✓	✓	✓	✓	الجهد العالي
-	✓	✓	✓	✓	العرض
ضمن مجال التعديل	✓	✓	✓	✓	ضبط الصفر
$\pm$ دقيقة	✓	✓	✓	✓	دقة الساعة الزمنية
$\pm 20\%$ من تيار التأين المتوسط	✓	✓	✓	✓	الخلفية الإشعاعية
$\pm 2\%$ من القيمة المرجعية	✓	✓	✓	✓	الاستجابة لمنبع الفحص (الثباتية)
الاعتماد على النظير $\pm 2\%$ من القيمة المرجعية $\pm 5\%$ للمخابر الأخرى	✓			✓	الدقة (على كامل مجال التشغيل الاعتيادي)
$\pm 1\%$	✓	✓		✓	الإحكام
$\pm 2\%$ من القيمة المرجعية	✓	✓	✓	✓	الاستجابات النسبية
$\pm 1\%$ من القيمة المرجعية	✓			✓	المعايير الإضافية
ضمن $\pm 2\%$ لشبكة المخابر العيارية الثانوية أو $\pm 5\%$ للمخابر الأخرى من القيمة الصحيحة على مجال التشغيل	✓			✓	الخطية
يجب أن يكون معامل جديد محدد من أجل كل تغير في الشكل الهندسي أو عندما تأثير الشكل الهندسي يكون أكبر من $\pm 5\%$				✓	التبعية الهندسية

وفيما يلي شرح لمفردات الجدول (2-1):

2.8.1 الجهد العالي المطبق على حجرة التأين البئرية:

إذا كان من الممكن عرض الجهد العالي . فيجب تسجيل قيمته لملاحظة أي انحراف أو للمقارنة مع تفاوتات الشركات المصنعة .إذا لم تكن الشاشة متاحة ، فقد يشير قياس مصدر الفحص إلى وجود مشكلة مع الأنشطة المنخفضة، سيكون للتغير الطفيف في الجهد تأثير ضئيل على القياس . ومع ذلك فإن نفس التغير في الجهد يمكن أن يكون له تأثير كبير على قياس الأنشطة العالية . وذلك لأن تأثيرات إعادة التركيب في حجرة التأين تتغير مع الجهد وتكون مهمة عند التيارات العالية.

2.8.2 العرض لقيم النشاطية الإشعاعية المقاسة:

إذا كان هناك عرض مجزأ لقيم النشاطية الإشعاعية المقاسة، فيجب أن يكون هناك وسيلة للتحقق من أن جميع الأجزاء تعمل بشكل صحيح.

2.8.3 ضبط الصفر:

يجب فحصه وفقاً للتعليمات الواردة في دليل المستخدم . من المفيد تسجيل القراءة الصفرية قبل إجراء أي تعديل للتعرف إذا كان الجهاز يحتاج إلى إصلاح.

2.8.4 الخلفية الإشعاعية:

تمت مراقبة الخلفية بشكل مستمر ومقارنتها مع قيم البيانات الأساسية التي تم الحصول عليها من أول شهر، ويجب تحديد الاختلافات المقبولة من خلال سلسلة من القياسات المتكررة، ثم حساب القيمة المتوسطة وانحرافها المعياري.

- 1- تم القيام بإزالة كافة المصادر المشعة من جهاز قياس النشاط الإشعاعي للنظائر المشعة والمنطقة المجاورة له مباشرة، سجلت الخلفية، إذا كانت الخلفية المقاسة أعلى من المتوقع فقد يكون ذلك بسبب (تلوث الحجرة، حامل المصدر، البطانة، أو بسبب وجود مصادر كبيرة قريبة).
- 2- إذا كانت قيمة الخلفية المقاسة تقع خارج ثلاثة انحرافات معيارية من القيمة المتوسطة المحددة عند القبول . نتبع إجراء عدم المطابقة.

2.8.5 التحقق من الثباتية: (Check source)

فحص الثباتية يضمن أن مقياس الجرعة الإشعاعية يعطي قراءة ثابتة وذلك بشكل يومي (من يوم إلى يوم آخر) حيث يستخدم مصدر مشع ذو عمر نصف طويل نسبياً مثل السيزيوم ^{137}Cs حيث يعتبر خياراً جيداً نظراً لعمر النصف الطويل (30 سنة) ونقاوة المادة المشعة (عدم وجود أي شوائب مشعة) و طاقة الفوتونات الصادرة عنه حوالي 662 Kev على الرغم من إمكانية استخدام نظائر مشعة أخرى مثل ^{226}Ra عمر النصف له (1600 يوم)، الإجراء كما يلي:

1- تم فحص مصدر (منبع) الاختبار باستخدام إعدادات معايرة نشاط النظائر المشعة المناسب (على سبيل المثال استخدام ^{137}Cs لفحص ^{137}Cs).

2- تم القيام بقياس الخلفية لتكون مطروحة من النشاطات الإشعاعية بعد ذلك، أو التأكد من التشغيل السليم لطرح الخلفية التلقائية.

3- بالنسبة لكل منبع مستخدم تم القيام بتسجيل (مخطط، سجل، جدول، ...) النشاط الذي تم قياسه، والنموذج والأرقام التسلسلية للجهاز وهوية المنبع وتاريخ الفحص وإعدادات المعايرة المستخدم.

4- إذا كانت نتيجة الاختبار تتجاوز $\pm 2\%$ من النتائج المتوقعة نقوم بالتحقق من السبب ونتبع إجراءات عدم المطابقة.

2.8.6 اختبار الاستجابة النسبية:

تم تصميم هذا الفحص لضمان عدم تغير إعدادات المعايرة لنشاطية النظائر المشعة، لنظائر مشعة معينة. الإجراء هو في الأساس نفس الإجراء المستخدم لقياس استجابة المصدر (المنبع) .

1- تم القيام بفحص منبع الاختبار باستخدام إعداد معايرة نشاط النظائر المشعة لأحد النظائر المشعة شائعة الاستخدام .

2- تم القيام بقياس الخلفية بنفس الإعداد وطرحت من النشاط المشار إليه في الخطوة (1) أو نتأكد من التشغيل السليم لدائرة طرح الخلفية التلقائية إذا تم استخدامها.

3- بالنسبة لكل منبع مستخدم نقوم بتسجيل (مخطط، سجل، ...) النشاط الذي تم قياسه، والنموذج والأرقام التسلسلية للجهاز، وهوية مصدر فحص النظائر المشعة وتاريخ الفحص وإعداد المعايرة المناسب.

4- نكرر الإجراء المذكور أعلاه على جميع الإعدادات الأخرى للنظائر المشعة شائعة الاستخدام ونقوم بتسجيل النتائج.

5- إذا كانت أي من نتائج الاختبار تقع خارج $\pm 2\%$ من النتائج المتوقعة، نتبع إجراء عدم المطابقة.

2.8.7 الدقة والإحكام: (Accuracy and Precision)

تعرف دقة جهاز على أنها قدرته على إعطاء قراءة تكون أقرب ما يكون إلى القراءة الحقيقية وكلما أعطى الجهاز قراءة أقرب إلى المقدار الحقيقي للكمية المقاسة كلما كان الجهاز دقيقاً وتعتبر الدقة مقياساً للخطأ في النتيجة النهائية.

يهدف هذا الفحص إلى التأكد من أن قيم النشاط الإشعاعي التي يحددها جهاز قياس النشاطية الإشعاعية يمكن إرجاعها إلى المعايير الوطنية أو الدولية للنشاط الإشعاعي. الإحكام هو مقدرة الجهاز على إعطاء نفس القراءة عند تكرار عملية القياس بنفس الجهاز وكلما كان الجهاز محكماً كلما كانت القراءات التي يعطيها لنفس الكمية المقاسة متقاربة مع بعضها البعض وتتم إجراءات الدقة و الإحكام بشكل سنوي.

اختبار الدقة والإحكام لجهاز قياس النشاط الإشعاعي للنظير المشع في قياسات النشاط الإشعاعي وذلك في الوضع الهندسي العياري عند طاقات مختارة لأشعة غاما [9].

يجب أن تكون المصادر المشعة المغلقة مصدرة لأشعة غاما ذات طاقات عالية ومتوسطة ومنخفضة ويجب أن تكون المصادر المشعة سائلة وأن تكون موثقة بخطأ لا يزيد عن $\pm 5\%$

يبين الجدول (2-3) المصادر المشعة المستخدمة في هذا الاختبار وطاقات الفوتونات الرئيسية لها وعمر النصف لكل منها والنشاط الإشعاعي المطلوبة .

الجدول (2-3) بيانات المصادر المشعة المستخدمة في الدراسة

النشاط الإشعاعي (MBq)	عمر النصف (سنة)	طاقة الفوتونات الرئيسية (keV)	النظير المشع
3.588	30	662	¹³⁷ Cs
10.0381	10.7	81.356	¹³³ Ba
1.837	5.27	1.332- 1.173	⁶⁰ Co

ملاحظة : (1 μ ci = 0.037 MBq)

من أجل كل مصدر مشع يجب القيام بما يلي:

- 1- اختيار الظروف البيئية التشغيلية الملائمة للنظير المشع.
- 2- قراءة الخلفية الطبيعية الإشعاعية لتكون مطروحة من النشاطات الإشعاعية بعد ذلك، أو إذا كان التحكم بضبط الصفر للجهاز مزودا وقابلا للتعديل ،نضبطه من أجل قراءة الصفر.
- 3- إدراج المصدر المشع إلى الحامل الخاص بالمصدر بواسطة أداة التعامل عن بعد معه (ملقط) وإدخال حامل المصدر المشع في الحجرة الخاصة بالجهاز من أجل القياس.

4- السماح بوقت كافي من أجل استقرار وثباتية القراءة المأخوذة.

5- تقاس وتسجل النشاطية الإشعاعية، و تطرح منها الخلفية الطبيعية للإشعاع.

6- تعاد الخطة 5 و تؤخذ عدة قياسات متتالية متعاقبة (في هذا البحث أخذت 16 قراءة)

7- إزالة حامل المصدر من الحجيرة الخاصة بالجهاز و إخراج المصدر المشع من الحامل بواسطة أداة التعامل عن بعد.

8- لتقدير الدقة يتم حساب من أجل كل مصدر مشع مستخدم النسبة المئوية بين متوسط النشاطية الإشعاعية

$\bar{A}$ بعد طرح قيمة الخلفية الطبيعية منها والنشاطية الموثقة من المصدر المشع والمصححة من أجل تفكك

النظير المشع ليوم القياس (A) و تحسب الدقة من العلاقة :

$$(3) \quad \frac{(\bar{A} \times C_f - A) \times 100}{A} \% \quad \text{لحساب الدقة نستخدم القانون التالي}$$

9- لتقدير الإحكام يتم حساب من أجل كل مصدر مشع مستخدم النسبة المئوية بين الانحراف المعياري

والمتوسط الحسابي $\bar{A}$ والتي تعطى بالعلاقة :

الإحكام نستخدم القانون التالي

$$(4) \quad \frac{S.D \times 100}{\bar{A}} \%$$

S.D الانحراف المعياري

نوجد القراءة المصححة A من قانون التفكك الإشعاعي $A=A_0 e^{-\lambda t}$

تكون حدودية القبول لنتائج الاختبار محددة بالدقة والإحكام المحددين من قبل المصنع. بشكل عام، من

أجل قياسات النشاطية الإشعاعية، ينبغي أن تكون الدقة ضمن $\pm 5\%$ من القيمة الموثقة والمصححة من أجل

تفكك النظير المشع لليوم الذي تم القياس فيه. وينبغي أن يكون الإحكام لكل النشاطيات الإشعاعية المقاسة

ضمن $\pm 1\%$ من متوسط النشاطية الإشعاعية المقاسة، مزودة أن يكون تفكك النظير المشع ذو تأثير مهمل على كامل فترة القياس.

10- إذا كانت نتائج الاختبار خارج المجال فنتبع إجراء عدم المطابقة.

2.8.8 المعايرات الفرعية: (Subsidiary Calibration)

يهدف هذا الفحص إلى التأكد من صحة عوامل المعايرة لمقياس نشاط النظائر المشعة للحاويات والأحجام المختلفة والتحقق أن خصائص الحاوية لا تزال كما هي محددة في الأصل، حيث يوزع محلول المادة المشعة على قسمين في حاويتين، إحداها تم إجراء اختبارات الدقة لها، وتفحص كلتا الحاويتين في مقياس نشاط النظائر المشعة وتطرح الخلفية الإشعاعية ويحسب التركيز لكل وحدة حجم لكل حاوية وتكرر من أجل النظائر المشعة الأخرى ، إذا كان اثنين من تراكيز النشاط المحسوبة يختلفان بأكثر من $\pm 5\%$ فنتبع إجراء عدم المطابقة.

ملاحظة: يستوجب هذا الإجراء استعمال قفازات ودروع إشعاعية ومصاصات وأدوات تعامل عن بعد وبما أن هذه الأدوات الوقائية غير متوفرة، يجب عدم متابعة العمل.

2.8.9 الخطية:

ينجز هذا الاختبار من أجل نظير مشع مفرد، يمكن أن يكون مستخدماً بإعداد المعايرة ليشير إلى النشاطية الإشعاعية المصححة وذلك على كامل المجال في المستخدم في نظام قياس النشاطية الإشعاعية للنظير المشع. ومن المهم أن تكون الخطية محققة أيضاً بواسطة نظام قياس النشاطية الإشعاعية للنظير المشع وذلك على كامل المجال المستخدم منها بين النشاطية الإشعاعية العظمى المحددة و 1MBq من النشاطية الإشعاعية على الأقل. (بشكل مثالي، تكون النشاطية الإشعاعية العظمى المحددة من أجل مصدر مشع من التكنشيوم $^{99\text{m}}\text{Tc}$ حوالي 150GBq) [1] . ولإجراء اختبار خطية الاستجابة للنشاطية على كامل المجال من النشاطية الإشعاعية التي يمكن أن تكون مستخدمة هناك طريقتان ممكنتان ولكن يجب الأخذ بالاعتبار

التعرض الإشعاعي المحتمل للمشغل عند إجراء هذا الاختبار، ويؤخذ في هذه الاختبارات عم النصف للتكنشيوم

^{99m}Tc 6.0067 ساعة [9].

1- طريقة تفكك المصدر المشع (الاضمحلال الزمني).

2- طريقة التدريع.

الطريقة الأولى : طريقة تفكك النظير المشع:

يتطلب هذا الأجراء مادة قصيرة عمر النصف الفيزيائي (على سبيل المثال التكنشيوم ^{99m}Tc) بحيث تكون

سائلة على شكل محلول، يجب أن تكون النشاطية الإشعاعية الابتدائية عظمى أي أعلى من النشاطية

الإشعاعية التي تقاس ضمن الجهاز والتي تكون مستخدمة، يتم الإجراء كما يلي:

1- ينقل محلول النظير المشع من المولد الأم إلى الفيال الزجاجي الخاص بوضع العينة المشعة فيه بواسطة

أدوات التعبئة عن بعد، ثم يغلق الفيال بإحكام .

2- يتم اختيار الظروف التشغيلية الملائمة للنظير المشع المعين .

3- تسجل قراءة الخلفية الإشعاعية لتكون لتكون مطروحة من النشاطيات المقاسة بعد ذلك. إذا كان الجهاز

مزودا بألية لضبط الصفر، يتم ضبط التحكم من أجل قراءة الصفر.

4- يدخل الفيال الذي يحتوي على العينة المشعة إلى حامل المصدر المشع بواسطة أداة التعامل عن بعد مع

المصدر المشع ويدخل حامل المصدر المشع في الجهاز.

5- يسمح بزمان كافي من أجل استقرار و ثباتية القراءة المأخوذة.

6- تقاس وتسجل النشاطية الإشعاعية، وتطرح من الخلفية الإشعاعية إذا كان ذلك ضرورياً. ويسجل الزمن

الدقيق من اليوم الموافق للقياس.

7- يزال حامل المصدر المشع من الجهاز ويخرج من الفيال الذي يحتوي على العينة المشعة بواسطة أداة

التعامل عن بعد مع المصدر المشع.

8- تعاد الخطوات من 2 إلى 7 بشكل نظامي عدة مرات على كامل فترة زمنية أكبر من عمر النصف

الفيزيائي للنظير المشع ، وهذا الزمن كافٍ لينفكك المصدر المشع ويصبح ذو نشاطية الإشعاعية تساوي

أو أقل من النشاطية الإشعاعية الأخفض التي يمكن أن تكون مستخدمة في ذلك الجهاز .

9- تسجل النتائج ضمن جدول ثم على منحنى بياني يعرض النشاطية الإشعاعية بدلالة زمن التفكك على

ورقة نصف لوغاريتمية.

10- باستخدام مسطرة شفافة يلائم الخط المستقيم الأفضل الممكن من نقاط البيانات في منطقة النشاطية

الإشعاعية الأخفض. يستنتج من هذا الخط الصاعد للحصول على قيمة النشاطية الإشعاعية الموافقة لـ زمن

أخذ قياس القراءة الأولية .

11- يدرس الميل السالب للخط لضمان أن يكون متوافقاً مع عمر النصف الفيزيائي المعروف للنظير

المشع، ويتم ذلك من خلال تقسيم الزمن من أجل النشاطية الإشعاعية المقاسة لتقع في $1/10$ من قيمتها

الأولية ومقارنة النتيجة مع عمر النصف.

12- يستنتج الرسم البياني من أجل توزيعات منتظمة لنقاط البيانات عن الخط المستقيم الملائم ، مثل التوزيعات

التي تشير إلى عدم الخطية للاستجابة للنشاطية الإشعاعية من الجهاز .

ملاحظة : أية شائبة موجودة من نظير مشع طويل عمر النصف في النظير المشع المستخدم في الاختبار

(على سبيل المثال ^{99}Mo في الـ $^{99\text{m}}\text{Tc}$) قد تبدو واضحة في الجزء النهائي من المنحنى البياني، يمكن أن

تكتشف أية شائبة مثل هذه كـ نشاطية إشعاعية متبقية من النظير المشع ذو عمر النصف الطويل وذلك بعد

إكمال إجراء الاختبار.

ينبغي أن تكون الخطية للنشاطية الإشعاعية لكل النشاطيات الإشعاعية المقاسة الفردية في الاختبار ضمن

$\pm 5\%$ من القيم الموافقة للخط المستقيم الملائم، عندها يكون الجهاز قابل للعمل، لكن إذا كانت هناك انحرافات

عن الخطية حتى 25% ، فإنه يشترط أن تكون الانحرافات مستقرة والنشاطيات مصححة بشكل ملائم.

الطريقة الثانية : طريقة التدريع الرصاصي:

يتطلب هذا الاختبار مجموعة من الدروع من سماكات مختلفة من أجل اختبار الخطية، تحتاج هذه الدروع لأن تكون معايرة أولاً". ويقوم المستخدم بمراجعة إجراء معايرة الدروع الموصوف بأسفله ومقارنته مع إرشادات المصنع [1]. تشير بعض إرشادات مصنعي الدروع إلى أن الدروع المختلفة سوف تكون متداخلة لانجاز التوهين المطلوب. يمكن أن يكون الإجراء معدلاً من أجل السماح لتداخل السواعد.

ملاحظة: تم استخدام الطريقة الأولى فقط ولم يتم استخدامك الطريقة الثانية لعدم توفر الدروع.

2.8.10 التبعية الهندسية لموضع العينة ضمن الحجيرة:

صمم هذا الاختبار من أجل إظهار أنه يمكن الحصول على القراءات التصحيحية بغض النظر عن الشكل الهندسي للحاوية أو حجم العينة المشعة.

النشاطية الإشعاعية المقاسة في جهاز معاير الجرعة الإشعاعية تختلف بالاعتماد على الحجم أو شكل الوعاء (فيال أو سيرنغ) وأيضاً مع موضع العينة المشعة ضمن الحجيرة البئرية على ارتفاعات مختلفة هذا الاختلاف يجب أن يكون محدداً وتطبيق تصحيحات من أجل أي خطأ هندسي الذي يتجاوز أو يتخطى 5% يتم هذا الاختبار عند تركيب الجهاز وبعد إصلاحه.

ملاحظة: ينبغي أن تجرى جميع الاختبارات السابقة بعد التركيب أو التصليح أو نقل الجهاز.

2.9 اعتبارات إضافية

2.9.1 تأثير العوامل البيئية المحيطة:

من الناحية المثالية، يجب استخدام الجهاز في بيئة مستقرة . يجب أن يتم تركيب الحجيرة على قاعدة متينة للغاية وخالية من الاهتزاز. يجب أن لا تتأثر المنطقة بمصادر النشاط الإشعاعي العالية القريبة، وهذا غالباً ما يتطلب حماية إضافية من أجل الموثوقية والاستقرار، يجب تشغيل الجهاز عند درجة حرارة ثابتة بشكل

معقول. وينبغي تجنب أشعة الشمس المباشرة أو القرب من سخان الغرفة أو مكيف الهواء. وينبغي أيضا تجنب الرطوبة الزائدة[2]

2.9.2 متطلبات الطاقة لجهاز قياس النشاط الإشعاعي:

لا توجد متطلبات طاقة خاصة ضرورية، عادة يتم ذكر الجهد المطلوب في دليل المستخدم للحصول على الأداء الأمثل. يجب ترك وحدة الطاقة تعمل طوال الوقت . يوصى باستخدام (مرشح) تداخل التيار الكهربائي ومصدر طاقة غير منقطع [2].

(2.9.3) تدريع حجرة التأين البئرية:

من المهم ملاحظة أن التدريع سيغير عوامل المعايرة إلى حد يعتمد على نوع التدريع وقربه. ينشأ التفكك من التبثر الخلفي للفوتونات من المنبع بعد خروجها من السطح الخارجي للحجيرة مع انبعاث الأشعة السينية الناشئة عن التفاعلات داخل درع الرصاص عادة يؤدي الجمع بين هذين السببين إلى تعزيز استجابة الحجيرة، والتي تصل إلى الحد الأقصى في منطقة 80kv .

وعلى هذا النحو، فإن تلك النظائر المشعة التي تعتبر مثالية لأغراض التصوير، تعاني أكثر من غيرها من هذا التأثير. ولذلك من المهم تحديد ترتيبات التدريع التي تنطبق على إعدادات المعايرة المقدمة من قبل الشركة المصنعة . إذا تم تقديم تدريع إضافي، فيجب إجراء قياسات مقارنة مع أو بدون التدريع الإضافي لتحديد عوامل التصحيح التي يجب تطبيقها [2] .

الفصل الثالث

مصادر الخطأ وعدم اليقين في قياسات النشاط الإشعاعي (Uncertainties & Sources of Error)

3.1 مقدمة:

على مدى السنوات القليلة الماضية أصبح تحديد الخطأ بقيمة القياس لا يقل أهمية عن قيمة القياس نفسها. أي أن التعبير عن نتيجة القياس يكون غير مكتمل ما لم يتضمن بيان الخطأ بالقياس المرتبط به. يوجد الآن اتفاق دولي حول الطريقة التي ينبغي بها تقدير حالات الارتياح بالقياس، وقد تم توثيق ذلك في منشور

ISO "إرشادات بشأن تقدير حالات الخطأ في القياس (GUM)" [10].

ومن المفيد تلخيص خطوات رئيسية من أجل إظهار كيفية تحديد الارتياح في القياس وهذه الخطوات هي :

1- تحديد كل عنصر من عناصر المدخلات المستقرة، والذي سيؤثر على الارتياح في القياس، ثم تقدير

حجم الارتياح في الكون عند مستوى ثقة 68% (تقريباً زائد أو ناقص انحراف معياري واحد).

2- تقدير الارتياح المعياري الذي يساهم به كل مكون في نتيجة القياس، من المهم ملاحظة أنه ليس من

الضروري إجراء تقديرات الخطأ لكل قياس . إذا تم إتباع نهج عام، ينبغي أن يكون من الممكن تحديد

مجموعة من حدود التشغيل لمقياس نشاطية معين، حيث يتم من خلالها تحديد المكونات الفردية له ويتم

الحفاظ على الخطأ تحت مستوى معروف أو يبقى ثابتاً لفترة زمنية معقولة . وهذا سيسمح بنسب القيمة

العامة للارتياح إلى جميع قياسات النظائر المشعة .

يحدد الجدول (1-3) المصادر الرئيسية للخطأ في قياسات جهاز قياس النشاطية الإشعاعية للنظير المشع

سواء كانت معتمدة على سوية من النشاطية المقاسة الموجودة أو على النظير المشع المعين في القياس أو

خصائص جهاز القياس.

الجدول (3-1) المصادر الرئيسية للخطأ في القياس [2]

اعتمادية مصدر الخطأ على			الوصف	مصدر الخطأ
جهاز القياس	النظير المشع	النشاطية الإشعاعية		
نعم	نعم	لا	الاستمرارية الدقة،الاختلاف بين الحبرات	خطأ المعايرة
نعم	لا	نعم	الدقة ،الخطية،تغير المجال	خطأ الالكترونيات
نعم	نعم	نعم	التكرار	الخطأ الإحصائي
نعم	نعم	نعم	تأثير إعادة التركيب	خطأ النشاطية العالية
نعم	نعم	نعم	فترة العد قصيرة،خطأ الخلفية	خطأ النشاطية المنخفضة
نعم	نعم	لا	تأثيرات التبعثر الخلفي الناتج عن التدريع	خطأ التدريع
لا	نعم	لا	اختلاف سماكة الجدار	خطأ الحاوية الأولى
لا	نعم	لا	اختلاف بين أنواع الحاويات	خطأ الحاوية الثانية
نعم	نعم	لا	معاملات تصحيح الحجم	خطأ الحجم
نعم	لا	لا	قابلية إعادة التوضع للعينة بنفس المكان	خطأ التوضع
لا	نعم	لا	اختلاف الحامل أو المركبات الكيميائية	خطأ الكثافة
لا	نعم	لا	اختلافات في جميع أنحاء المصدر	خطأ التجانس
لا	نعم	لا	ملاصقة النشاطية الإشعاعية للسطوح	خطأ التكتيف
نعم	نعم	لا	اختلافات الاستجابة النسبية عن النظير الرئيسي	خطأ النقاوة
نعم	نعم	لا	عمر النصف ،استيفاء معاملات المعايرة	خطأ البيانات النووية
نعم	نعم	لا	استخدام مصادر محاكاة للمعايرة	خطأ أجهزة المحاكاة

3.2 خطأ المعايرة:

عامل المعايرة: يتم تحديد عامل المعايرة محليا لكل وحدة نشاط (PA/MBq) بواسطة جهاز مرجعي لقياس النشاطية وتكون تابعة للمعايير الوطنية (المحلية) للنشاط الإشعاعي بالنسبة للنظائر المشعة الطبية تتراوح درجة الخطأ عادة بين % (1-3) عند مستوى ثقة $k=2$

بالنسبة لعامل المعايرة ينبغي إضافة أوجه الخطأ في القياس الإضافية حيث أن قيمتها تكون كبيرة بشكل خاص لبواعث بيتا النقية وبواعث الفوتون منخفضة الطاقة وبالتالي فإن الخطأ في القياس المرتبط بعامل المعايرة سيكون أكبر من المعيار الأساسي. سيكون عامل المعايرة وما يرتبط به من خطأ في القياس الذي تم الحصول عليه من المرجع لنظير مشع معين (^{137}Cs) مخصص للحجيرة الرئيسية للمرجع وحماية وحجم محلول معين.

يظهر الجدول (3-2) حالات الخطأ في القياس النموذجية للمعايير الصادرة عن معاهد القياس الوطنية [2].

الجدول (3-2) حالات الخطأ في القياس النموذجية الحديثة للمعايير الوطنية

الخطأ في القياس عند مستوى ثقة $k=2$	النظير	الخطأ في القياس عند مستوى ثقة $k=2$	النظير
2.0	$\text{Tc}^{99\text{m}}$	1.50	^{32}P
1.5	In^{111}	1.0	^{51}Cr
1.5	I^{123}	2.0	^{57}Co
3.0	I^{125}	2.5	^{67}Ga
1.0	I^{131}	1.0	^{89}Sr
1.50	Tl^{201}	1.0	^{90}Y

سماكة (ثخانة) جدار الحجيرة: ان عامل المعايرة المقدم لنموذج مرجعي هو عامل خاص بالحجيرة الرئيسية للمرجع ربما يتم إجراءات تعديلات المصنع للتعويض عن بعض الاختلافات بالتصنيع بين الحجرات . لكن

هذه التعديلات لا يمكن أن تضمن دائما تطابق استجابتهم . قد تنتج هذه الاختلافات، على سبيل المثال، عن الاختلافات في ضغط الغاز أو ثخانة الجدار الداخلي للحجيرة أو الشوائب في مواد الجدار.

إن الاختلافات في مادة الجدار الداخلي (الثخانة، الشوائب) هي التي تسبب الاختلافات الأكثر أهمية. يتم إنشاء معظم حجرات التآين من الألمنيوم وعادة ماتبلغ ثخانة الجدار الخارجي بضمة ميلي متر. هذه الاختلافات بثخانة الجدار تعتمد على الشركة المصنعة .

تم إجراء قياسات باستخدام بعض النظائر المشعة الطبية للإشارة إلى التغير في الاستجابة مع ثخانة الجدار الداخلي لحجيرة الألمنيوم . يبين الجدول (3-3) التغير في استجابة حجرة التآين ذات الجدار المصنوع من الألمنيوم مع وجود طبقة إضافية من الألمنيوم بين المنبع والحجيرة .

الجدول (3-3) التغير في استجابة حجرة التآين

النظير	0.05mm	0.2mm
¹²⁵ I	3%	14%
¹²³ I	1%	4%
¹¹¹ In	0.5%	1.8%
¹³¹ I	0.1%	0.5%

نلاحظ انخفاض الاستجابة مع زيادة سماكة الجدار [2].

تعد هذه الاختلافات في الاستجابة أكثر أهمية بالنسبة للنظائر المشعة منخفضة الطاقة التي ينبعث منها الفوتون وقد تساهم في زيادة التباين الملحوظ بين الحجرات لهذه النظائر المشعة [2].

3.3 الخطأ الإلكتروني للمقياس الكهربائي:

تعد دقة المقياس الكهربائي مصدرا آخر للخطأ في القياس والذي قد لا يتحكم فيه المستخدم كثيرا . بشكل عام يقيس المقياس الكهربائي الخرج لحجرة التأين (PA). يظهر النشاط الإشعاعي للنظير المشع بوحدة (MBq) أو بوحدة (μCi).

يمكن تعريف المصادر الثلاثة الرئيسية للخطأ في القياس المتعلقة بالالكترونيات بأنها (الدقة، الخطية، تغير المجال)

3.3.1 الدقة: تعتمد على قدرة الجهاز المرجعي على ضبط كسب المقياس الكهربائي بحيث يمكن إرجاع

التيار إلى المعايير الأساسية. يتم تحقيق الضبط عادة عن طريق قياس استجابة النظام لمصدر مرجعي عمر نصفه طويل نسبيا" (يعتبر ^{137}Cs خيارا "جيذا" بسبب امتلاكه لعمر نصف طويل نسبيا" 30 سنة) ، وضبط كسب المقياس الكهربائي حتى يشير إلى النشاط الحقيقي ضمن معايير التصنيع . ومع ذلك، فإن مكاسب النظام سوف تتغير مع الوقت والبيئة، وينتج عن هذا تأثيرات الشخوخة الطبيعية للمكونات الكهربائية ، مثل المقاومات والمكثفات، بالإضافة إلى اعتماد هذه المكونات على درجة الحرارة والرطوبة والتعرض للإشعاع . إذا تم توفير مصدر مرجعي مع الحجرة، فإن ذلك يتيح للمستخدم إمكانية اعتماد قراءة مرجعية عند توفيرها لأول مرة ومن ثم ضبط كسب المقياس الكهربائي إذا تغير مع الوقت.

3.3.2 الخطية: تعتبر استجابة المقياس الكهربائي خطية إذا بقيت نسبة الاستجابة المقاسة إلى الاستجابة

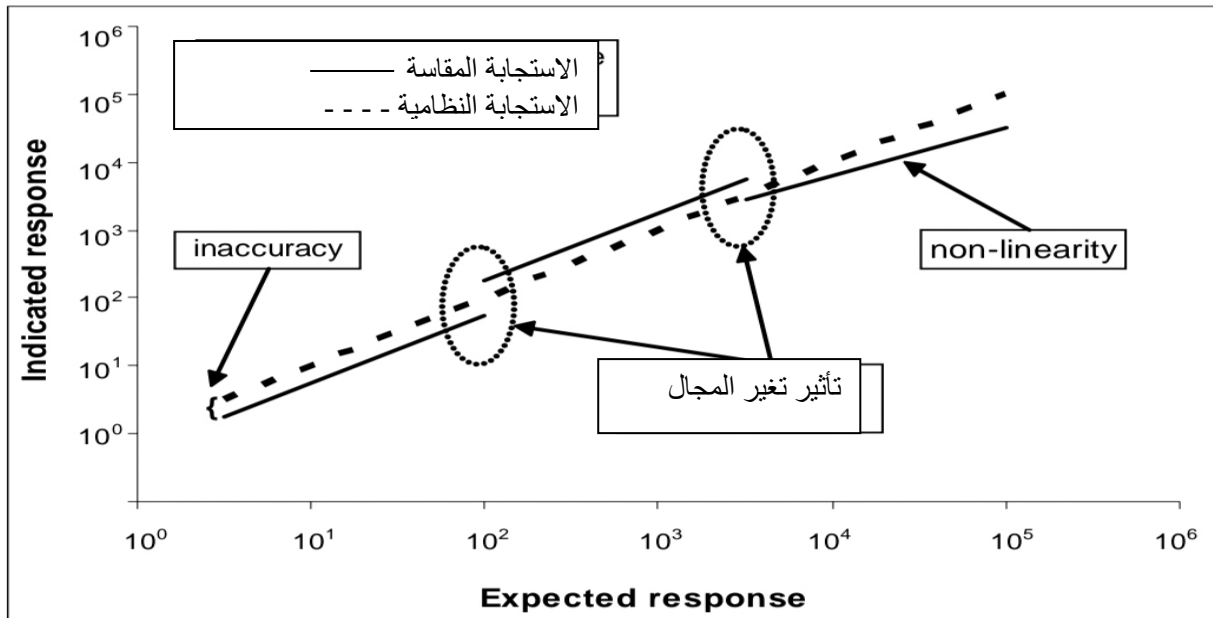
الحقيقية ثابتة على مدى المدخلات الحالية التي تم تصميم المقياس من أجلها. من المتوقع أن يقيس المقياس الكهربائي تيارات تتراوح من 10 من الفمto أمبير (FA) إلى الميكرو أمبير (μA) بمجال ديناميكي يبلغ 10، وليس من المعقول أن نتوقع أنه سيكون هناك انحراف عن الخطية، ولكن بشرط احتواء ذلك ضمن حدود معقولة .

3.3.3 تغيير المجال: كما هو مذكور في الفقرة السابقة من الممكن توقع استخدام مقاييس كهربائية لتغطية

مجال واسع جداً. لاستيعاب هذا، حيث يتضمن بعضها مجالا متغيرا مثل التي يتم تشغيلها تلقائيا دون تدخل المشغل .

بالنسبة لخصائص الخطية إذا لم تتم مطابقتها بشكل صحيح، فسيؤدي ذلك إلى خطأ في الاستجابة حيث يقوم المقياس الكهربائي بالتبديل بين المجالات المجاورة .

(يتم توضيح التأثيرات الالكترونية الثلاثة السابقة بيانيا في الشكل (3-1) من المرجع [2])



الشكل (3-1) تأثيرات الدقة والخطية وتغير المجال في أجهزة المقياس الكهربائي

بشكل عام سيذكر المرجع مستوى حدودية الخطأ في القياس، والذي يشمل المكونات الثلاثة السابقة، ويكون الخطأ في القياس بنسبة 1% إلى 2% أمر شائع . ومع ذلك، فإن مستوى الثقة لا يتم ذكره في كثير من

الأحيان ويفترض عادة أن الخطأ هو 68% عند مستوى ثقة $k=1$ ([2]).

3.4 الخطأ في الحسابات الإحصائية لقيم النشاطية الإشعاعية:

تحدد التكرارية الدقة التي يتم بها إجراء قياس واحد. بسبب الطبيعة العشوائية للتفكك الإشعاعي، خلال فترتي قياس منفصلتين ولكن متساويتين، سيكون هناك فرق بين عدد التفاعلات لكل حدث في الغاز وعدد الأيونات المنتجة سيؤدي هذا إلى نتيجتين مختلفتين للقياس، بشكل فعال، لنفس القياس إذا تم إجراء سلسلة من القياسات المتطابقة المتسلسلة (x) فمن الممكن تحديد الخطأ في قياس واحد عن طريق حساب المتوسط والانحراف المعياري لتلك السلسلة . يتم استخدام المعادلات التالية :

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$$s(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}}$$

نعتمد على المصدر المشع وطول فترة القياس .

إذا بقيت فترة القياس ثابتة فإن الانحراف المعياري عادة يتناسب عكسا مع الجذر التربيعي للنشاط . على سبيل

المثال، من أجل قياس واحد على مصدر مشع 1MBq يعطي انحرافا معياريا قدره 1% فإن مصدر 100

MBq سيكون له انحراف معياري للقياس قدره 0.1% لنفس فترة القياس .

كقاعدة عامة لحجيرات التآين، إذا كان المصدر ينتج تيارا قدره (1PA) وتم قياسه خلال فترة ثانية واحدة، فإن

الانحراف المعياري لقياس واحد سيكون بحدود 5% . إذا تم إجراء سلسلة من القياسات ، فإن متوسط هذه

القياسات سيكون له قدر أقل من الخطأ (الانحراف المعياري للمتوسط) يساوي الانحراف المعياري مقسوماً

$$s(\bar{x}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = \frac{s(x)}{\sqrt{n}}$$

على الجذر التربيعي لعدد القياسات :

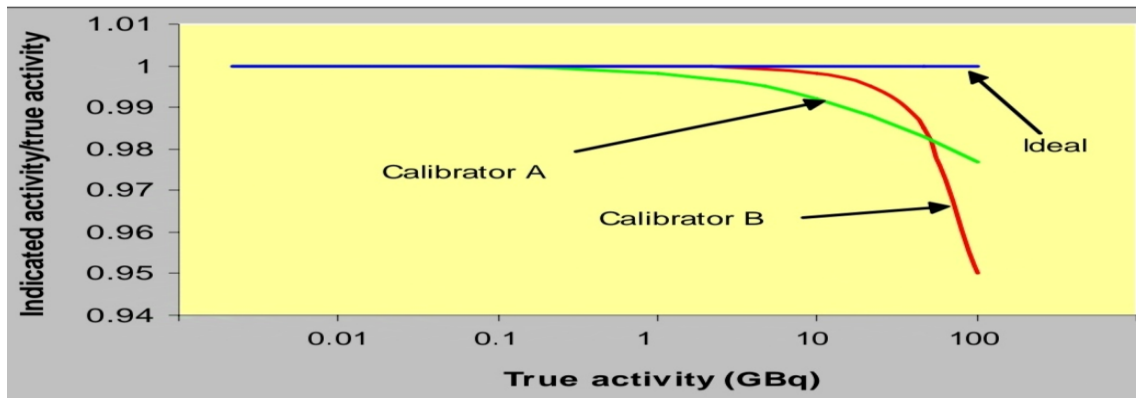
3.5 الخطأ في النشاط الإشعاعي:

يمكن إدخال شكوك أو أخطاء أخرى في القياس بسبب مستوى نشاط المنبع، وأيضاً بسبب وجود الخلفية الطبيعية .

3.5.1 النشاط العالي: يعتمد خرج الحجرة على عدد الأيونات الموجبة أو الإلكترونات السالبة، التي تصل

إلى قطب التجميع. ومع زيادة نشاط المنبع، يزداد معدل إنتاج أزواج الأيونات ضمن الحجم (الحيز) الحساس للغاز، ويزداد احتمال إعادة اتحاد الأيونات الموجبة مع الإلكترونات . يعد الجهد الاستقطابي بحجرة التأين بمثابة حل من أجل الحفاظ على مجال كهربائي عالي، مما يقلل من إعادة الاتحاد، والحاجة إلى تجنب التفريغ الكهربائي وقضايا السلامة الأخرى .

سيتم الوصول إلى النقطة التي مع زيادة معدل إنتاج الأيونات يصبح معدل إعادة التركيب كبيراً ويتم فقدان بعض من التيار . تظهر بعض منحنيات إعادة التركيب النموذجية في الشكل (2-3) [2]. وبالتالي درجة إعادة التركيب سوف يتوافق مستوى التيار مع مستويات مختلفة من نشاط النظائر المشعة المختلفة.



الشكل (2-3) منحنيات إعادة التركيب النموذجية [2]

بالنسبة لمعظم المعايير الحديثة، يجب أن تكون تأثيرات إعادة الاتحاد أقل من 1% عند معايرة 100 MBq من التكنشيوم ^{99m}Tc . ومع ذلك فإن الأمثلة الموضحة في الشكل (2-3) هي حالات حقيقية تمت ملاحظتها سابقا [11]. يجب على المستخدمين التحقق من خصائص النظام الخاص بهم لكل نظير مشع مستخدم. يمكن استخدام قياس الخطية للتحقق من الخطأ.

3.5.2 النشاط المنخفض: تصبح مستويات الخلفية الإشعاعية مهمة عندما يتم فحص مستويات النشاط المنخفضة. ينشأ تيار الخلفية من مصدرين، الخلفية الطبيعية التي تبقى ثابتة نسبياً وذلك بسبب المصادر المشعة في البيئة المحيطة، تيار الخلفية الطبيعية النموذجي لحجرة التأين بحدود (0.1 PA). يمكن إثبات أن مصدر كوبالت ^{60}Co عند نشاط 0.37MBq عند 1ml بحجيرة غير محمية سوف يتسبب في تدفق تيار يبلغ حوالي (0.1PA). في هذا المثال ستساهم المصادر المحمية لإشعاع الخلفية بحوالي 15% من قراءة الاختبار. يتم تزويد العديد من أجهزة قياس النشاط الإشعاعية بأداة تعويض الخلفية. مع تبسيط مهمة المستخدم عند ضبطها بشكل صحيح، يمكن أن تؤدي هذه الميزة إلى نتائج خاطئة إذا تغير مستوى الإشعاع في البيئة المحيطة. ولذلك من الضروري إجراء فحوصات منتظمة على مستوى الإشعاع في الخلفية. إذا كانت الخلفية تشكل نسبة كبيرة من استجابة العينة، فمن المهم معرفة الخطأ في تيار الخلفية. إن أبسط وسيلة للقيام بذلك عن طريق أخذ سلسلة من قياسات الخلفية في مرحلة التثبيت وتحديد الانحراف المعياري لقياس واحد. من الواضح أنه إذا كانت العينة التي يتم قياسها ذات نشاط منخفض، فيمكن تقليل الخطأ الناتج عن الخلفية عن طريق أخذ متوسط عدد من قياسات الخلفية.

3.6 الخطأ الناتج عن التدرج:

إحدى الطرق الفعالة للحد من تأثيرات إشعاع البيئة المحيطة هي حماية حجرة التأين، عادة بالرصاصة. سوف ينتج عن التدرج اختلافات في عوامل المعايرة بين الحالات المحمية وغير المحمية بسبب التبعثر الخلفي

للفوتونات . ويعتمد مدى هذا التأثير على نوع التدريع وقربه . سيحدث هذا التأثير أيضا إذا تم وضع الحجرة على مقربة من التبعثر الخلفي، على سبيل المثال جدار صلب .

يتم حاليا تزويد العديد من حجرات التأين بدرع ولكن قد لا يكون سمكه كافيا لاستيعاب كل الإشعاعات المرتدة قبل دخولها مرة أخرى إلى الحجرة . لذلك، إذا تم توفير درع إضافي أو تم وضع الحجرة بالقرب من الحائط . فيجب على المستخدمين تحديد إذا كان هناك حاجة إلى استخلاص عوامل معايرة جديدة . بالنسبة لتدريع الرصاص، يكون الفرق بين عوامل المعايرة المحمية وغير المحمية أكثر وضوحا بالنسبة للنظائر التي تنبعث منها فوتونات أعلى بقليل من طاقة الأشعة السينية (80Kev). وبالتالي سوف تتأثر النظائر مثل التكنشيوم ^{99m}Tc .

بعض البيانات النموذجية في الجدول (3-5) تبين حجم هذا التأثير [12]. يجب على المستخدمين تحديد مدى هذا التأثير للمقياس الخاص بهم في وضع التشغيل الطبيعي.

(الجدول (3-5) تباين استجابة معايرة النظائر المشعة مع التدريع / التبعثر الخلفي)

التدريع / التبعثر الخلفي	زيادة في نشاط ^{99m}Tc المشار إليه
لا تدريع	—
حجرة (23cm) من الجدار الجاف	2%
حجرة (15cm)	2.5%
(2.5cm) من الرصاص ملاصقة للجزء الخارجي من الحجرة	19%

3.7 خطأ تأثير حاويات العينات المشعة:

3.7.1 سمك (ثخانة) جدار الحاوية الأولى:

بنفس الطريقة التي ستعتمد بها الاستجابات على الاختلافات في سمك (ثخانة) الجدار الداخلي للحجرة، فإن الاختلافات في سمك جدار حاوية العينة (الفيال) سيكون لها تأثير . عادة تكون العينة في حاوية زجاجية .

يبين الجدول (3-6) الأبعاد النموذجية وتغيرات سمك الجدار الداخلي النموذجية للحاويات المستخدمة [2]

الجدول (3-6) الفيالات الزجاجية النموذجية (الأبعاد بالمليمتر)

	Schott	P6
الارتفاع	45 ± 0.5	54 ± 0.75
القطر	24 ± 0.2	21.75 ± 0.2
الجدار	1 ± 0.04	1.2 ± 0.1



الشكل (3-3) القوارير (فيالات)

بسبب التفاوتات بتصنيع الفيالات نجد اختلاف بقياس نشاط بعض النظائر المشعة حيث أن الاستجابة تنخفض مع زيادة سمك (ثخانة) الجدار [2] .

3.7.2 أنواع الحاويات: إن الاختلاف بأنواع الحاويات وأحجامها ومواد تصنيعها الشكل (3-3) ستؤدي إلى

اختلاف عوامل المعايرة للنظائر المشعة، وستكون هذه التأثيرات أكثر وضوحاً بالنسبة لبواعث الطاقة المنخفضة وبواعث غاما وبواعث بيتا النقية.

يوفر بعض مصنعي الحاويات عوامل معايرة للحاويات مثل (فيالات P6 ، فيالات Schott ، وأنواع المحاقن المختلفة) ويقدم البعض الآخر عوامل تصحيح مقترحة للحاويات غير القياسية ، بينما لا يقدم البعض الآخر أي نصيحة على الإطلاق .

إن هذه التأثيرات مهمة لأي مقياس يتم قياسها كميًا" عبر مجموعة من الحاويات والأحجام التي سيتم استخدامها في الممارسة العملية .

الجدول (3-7) يوضح الاختلافات بين عوامل المعايرة لمقياس النشاطية الإشعاعية القياسي المرجعي (NPL) للحاويات المختلفة نسبة الى فيالات (Schott 10R) نسبة عامل المعايرة لحاوية معينة الى فيال Schott 10R التي تحتوي على 4ml من المحلول [12-13] .

الجدول (3-7) الاختلافات بين عوامل المعايرة

النظير	أنبولة 2ml (محلول 1mL)	فيال P6 (محلول 4mL)
^{125}I	1.27	0.91
^{123}I	1.04	0.98
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1.01	1
^{131}I	1.01	0.98
^{32}P	1.05	0.97
^{90}Y	1.97	0.94

من الممكن استخلاص جداول عوامل معايرة للفيالات والمحاقن المستخدمة بشكل روتيني . ومع ذلك،

تستخدم عملية أبسط مرشحاً "نحاسياً" لإزالة الاختلافات الناتجة عن انبعاثات منخفضة الطاقة، يعمل مرشح

النحاس [14] بشكل أساسي على التخلص من انبعاثات منخفضة الطاقة ولكنه يقلل من انبعاثات غاما

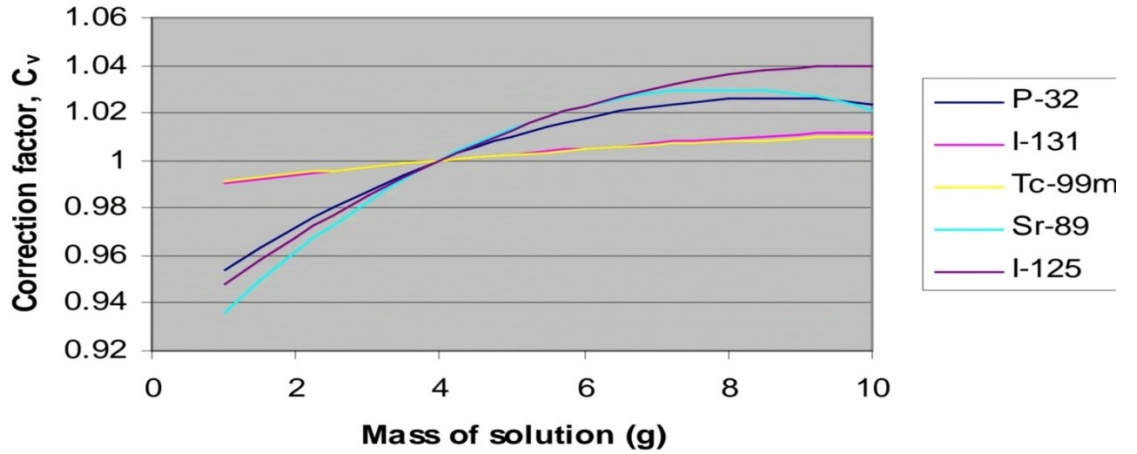
عالية الطاقة بعامل صغير ($> 10\%$) . يجب اشتقاق عامل معايرة جديد لمرشح النحاس لكل النظائر

المشعة .

3.8 الخطأ في حجم الحاوية:

يتم تحديد عوامل معايرة الحجم لحجم قياسي في حاوية معينة إذا اختلف الحجم. سيكون لذلك تأثير على عدد وطاقة الفوتونات الواصلة الى حجم الغاز الحساس . كلما انخفضت طاقة الفوتونات الأصلية (أو جسيمات بيتا) كلما كان التأثير أكبر. بدلا من توفير مجال مستمر من عوامل المعايرة للتعامل مع هذه الاختلافات . غالبا ما يكون من الأفضل توفير عامل معايرة واحد ومنحني تصحيح الحجم . يوضح الشكل (3-4) حجم هذا التأثير .

الشكل (3-4) عوامل تصحيح الحجم مقياس NPL لفيالات (Schott 10R) عامل المعايرة ل 4mL من المحلول [12]



سيكون منحني التصحيح بشكل عام على شكل تربيع بسيط أو حتى خطي ويمكن الحصول على عامل التصحيح من المعادلة :

$$C_v = \frac{A_0}{A_m} = 1 + a_1(m - m_0) + a_2(m - m_0)^2$$

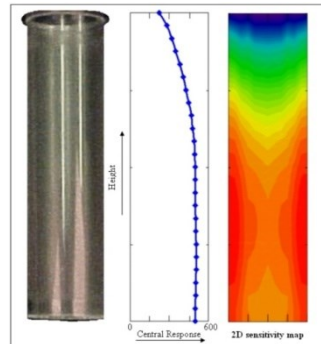
حيث : A_0 النشاط الحقيقي

A_m نشاط الكتلة m

يمكن حساب المعاملات أو تطبيقها عمليا باستخدام جدول بيانات Excel . في كثير من الحالات ، قد يكون من الممكن وضع حدود للحجم الذي يمكن قياسه دون الحاجة إلى تطبيق عامل تصحيح، بشرط أن يكون حجم التصحيح أقل بكثير من الخطأ في القياس . على سبيل المثال، في حالة التكنشيوم ^{99m}Tc لا يزيد التصحيح عن 1% لجميع الأحجام التي تتراوح بين ml (1-10) في الفيل. إذا كان مجموع الخطأ في القياس من جميع المصادر الأخرى يبلغ 3% فقد يكون من الممكن تجاهل تصحيح الحجم لجميع الأحجام بين ml (1-10).

3.9 خطأ موضع العينة ضمن الحجيرة:

عندما يتم قياس نشاط منبع ما، و إزالته من الحجيرة، واستبدال موضعه بقياسه مرة أخرى، سيكون هناك اختلاف محتمل في القياسين نتيجة عدم القدرة على استبدال موضع مماثل للمنبع . تعتمد استجابة المقياس على الوضع الأفقي والرأسي للمنبع بالنسبة لحجرة التآين . في معظم الأنظمة، يتم وضع المنبع عند نقطة الاستجابة القصوى على المحور الرأسي للحجيرة باستخدام حامل عينة مخصص وعادة ما يكون التغير في الاستجابة للتغير في الارتفاع الرأسي لبضعة ميليمترات لا يكاد يذكر . بالنسبة للإزاحة الأفقية من المحور الرأسي للتناظر، عادة ما يكون التأثير صغيرا أيضا. يتم توضيح الحساسية المكانية لحجرة التآين النموذجية باستخدام مصدر نقطي كما في الشكل (5-3) [14]



الشكل (5-3) الحساسية المكانية لحجيرة التآين النموذجية لمصدر نقطي

من الناحية العلمية، يتم استخدام المقاييس بشكل عام لفحص حجم محدود من المحلول في الحاوية ولكن التأثيرات مشابهة جداً لتلك الخاصة بمصدر نقطي .

ويمكن تحديد حالة الخطأ في القياس الناجمة عن هذه التأثيرات ببساطة عن طريق إجراء سلسلة من القياسات (20 قياس) على مصدر عمر نصفه طويل نسبياً يعتبر السيزيوم ^{137}Cs خياراً مناسباً لذلك، لا ينبغي إزالة المصدر من الحجرة بين كل قياس ثم يحدد الانحراف المعياري لهذه القياسات وينبغي بعد ذلك إجراء سلسلة مماثلة من القياسات ولكن بعد إزالة المصدر واستبدال موضعه بين كل قياس . مرة أخرى، ينبغي تحديد الانحراف المعياري، وينبغي أن يعطي الجذر التربيعي للفرق بين مربعي الانحرافين المعياريين تقديراً للخطأ في القياس .

إذا كانت قيمة الانحرافين المعياريين متقاربة، فيمكن اعتبار الخطأ في القياس بسبب التموضع ضئيلاً . تعتبر قيمة الانحراف المعياري أقل من 0.1% من قيمة القياس نموذجية [2] .

3.10 خطأ الكثافة الكيميائية للمادة المشعة:

يتم تحديد عوامل المعايرة عادةً للمحاليل المائية ذات الكثافة القريبة جداً من 1g/cm^3 . بالنسبة للقياسات النموذجية التي يتم إجراؤها في أقسام الطب النووي، يجب أن لا تختلف كثافة العينة كثيراً عن كثافة العينة النموذجية .

3.11 خطأ التجانس للنظائر المشعة:

بما أن الغالبية العظمى من المنابع سوائل، فلا ينبغي أن يكون التجانس مشكلة بشرط أن يكون المنبع مخلوطاً بشكل جيد .

3.12 خطأ التكثيف للنظائر المشعة:

هناك احتمال أن يتم امتصاص المادة الفعالة على سطح حاوية معينة . ينصح بإعادة قياس النشاطية للفيال بعد استخدام محلول المادة المشعة التي تم سحبها من الفيال لملاحظة أي نشاط متبقي . يجب أن يكون الفيال مفرغا عند مستوى يعادل حجم المحلول الذي تم سحبه . إذا تم اكتشاف مستويات أعلى من المتوقع، فيجب معرفة السبب .

3.13 خطأ نقاء النظائر المشعة:

بالنسبة لبعض النظائر المشعة، عند الإنتاج سيكون هناك حتما درجة معينة من الشوائب . على سبيل المثال، ^{201}Tl يحتوي على ^{200}Tl و ^{202}Tl وبعض النظائر المشعة الطبية من ^{89}Sr تتضمن ^{85}Sr وقد يكون ^{126}I موجودا في ^{125}I .

وعلى الرغم أن مستويات هذه الشوائب قد تكون صغيرة من حيث نشاط الشوائب لكل وحدة نشاط للنظير المشع الرئيسي، إلا أنه قد يكون له تأثيرات على قياس النشاط بسبب الاختلاف في حساسية مقاييس النشاط الإشعاعي للشوائب والنظير الرئيسي .

عند اختبار مصدر يحوي على شوائب معروفة، يمكن اعتبار المصدر هو نفس مصدر النظائر المشعة المختلطة .

3.14 خطأ البيانات النووية:

بالنسبة للنظائر المشعة الطبية شائعة الاستخدام، ينبغي أن تتبع معايير مرجعية (وطنية أو دولية) . عندما يتم فحص نظير جديد ولا يتوفر عامل معايرة، فمن الممكن استيفاء عامل معايرة بشرط وجود معرفة دقيقة بكل من خاصية استجابة طاقة حجرة التأين ومخطط تفكك النظير المشع .

3.15 خطأ أجهزة المحاكاة:

إن استخدام أجهزة المحاكاة هو سبب رئيسي للمشاكل، لا يمكن للمصدر الذي تمت محاكاته أن يعكس تماما خصائص النظير المشع الذي يحاكيه . وتختلف نسبة استجابتها إلى استجابة النظائر المشعة المحاكاة وفقا لنوع الحجرة .

مثال ^{57}Co المستخدم لمحاكاة $^{99\text{m}}\text{Tc}$.

ثلاث حجرات تأين مختلفة تحتوي $^{99\text{m}}\text{Tc}$ أرقام معايرة ^{57}Co تبلغ 0.937 ، 0.863 ، 1.098 ، على التوالي . يمكن ملاحظة أن مصدر محاكاة هو معايرة باستخدام حجرة ثانية ومن ثم يتم استخدام معايرة الحجرة الثالثة سوف ينتج خطأ بنسبة 28% تقريبا في أي فحوصات لاحقة ل $^{99\text{m}}\text{Tc}$ باستخدام الحجرة الثالثة .

على الرغم من أنه يمكن استخدام المصادر المحاكاة لقياسات التكرار على المدى الطويل، إلا أنه لا يمكن التأكد أنه لا يجب استخدامها للمعايرة . يجب إجراء معايرة مع أي نظير قيد القياس وذلك باستخدام مصادر لها أنشطة يمكن إرجاعها إلى معايير وطنية أو دولية .

3.16 مشكلة فحص بواعث بيتا النقية:

تتضمن أي قائمة للنظائر المشعة المستخدمة سريريا بواعث بيتا النقية مثل ^{90}Y ، ^{32}P ، ^{90}Sr . وقد تم تصميم مقياس النشاط الإشعاعي بحيث يشمل حجرة تأين بشكل أساسي لقياس النشاط الإشعاعي عندما يحتوي طيف النظير المشع على انبعاثات الفوتون . ومع ذلك، فإن حساسية هذا الجهاز منخفضة بالنسبة لإشعاعات بيتا حيث يتم امتصاص معظم أو كل جسيمات بيتا في مادة المصدر (مثل المحلول نفسه وجدران الحاوية) وجدران حجرة التأين .

أثناء فحص النظير المشع حيث يشمل الطيف على كل من إشعاعات بيتا وغاما، فإن معظم التيار المنتج في حجرة التأين يرجع الى تفاعلات فوتونات غاما مع مساهمة أقل من جسيمات بيتا . على سبيل المثال، قد يكون التيار الناتج لكل MBq من ^{131}I أكبر ب 30 مرة متن التيار الناتج لكل MBq من ^{32}P .

تستخدم النظائر المشعة التي تبعث بيتا بشكل عام للأغراض العلاجية، وقد جرت العادة بتوزيع الأنشطة العلاجية في حدود 5% .

الفصل الرابع

الدراسة العملية ونتائج معايرة وضبط جودة مقاييس النشاط الإشعاعي

تم في هذه الدراسة عدة اختبارات لمعايرة وضبط جودة عدد من الأجهزة لقياس النشاط الإشعاعي (Activity meter) المستخدمة في الطب النووي لقياس النشاط الإشعاعي للمركبات الصيدلانية الموسومة بنظير مشع وذلك قبل إعطائها للمريض ،للتأكد إذا كانت التجهيزات والمركبات الصيدلانية الإشعاعية تتوافق مع الشروط المطلوبة. حيث يجب إجراء معايرة وضبط جودة للأجهزة المستخدمة وذلك باستخدام منابع تمت معايرتها في مخبر عياري بهيئة الطاقة الذرية باستخدام الجهاز المرجعي الثانوي (NPL) المزود بشهادة معايرة من مخبر أولي .

أولاً: تمت معايرة عدة أجهزة لقياس النشاط الإشعاعي باستخدام منابع (Co-60)(Ba-133)(Cs-137) وذلك باستخدام الجهاز المرجعي الثانوي (NPL).

ثانياً: تم انجاز اختبارات ضبط الجودة الأساسية الموصى بها من الوكالة الدولية الذرية [1] وهي :

1. اختبار الدقة والإحكام الذي يتم بشكل سنوي .
 2. اختبار الثباتية الذي يتم بشكل يومي .
 3. اختبار التبعية الهندسية التي تتم عند التركيب وبعد الإصلاح.
 4. اختبار الخطية الذي يتم بشكل فصلي .
- ينبغي أن تجرى الاختبارات السابقة بعد التركيب أو التصليح أو نقل الجهاز .

4.1 معايرة أجهزة قياس النشاط الإشعاعي:

4.1.1 الجهاز المرجعي الثانوي (NPL)

تم انجاز اختبار المعايرة باستخدام الجهاز المرجعي الثانوي (NPL) .

(Secondary Standard Calibrator Serial NO.06047)

وهو نظام متكامل لقياس النشاط الإشعاعي للنظائر المشعة المستخدمة في المجال الطبي (تشخيص ومعالجة) ، ويتألف من حجرة تأين بئر غازية وجهاز قياس الكتروني، لقياس النشاط الإشعاعي مقدرة (μCi) أو (MBq). و مزود من مخبر أولي المخبر الوطني للفيزياء في بريطانيا ((National Physical Laboratory)) بشهادة

معايرة من المخبر نفسه (Certificate of Calibration FIDELIS Radionuclide Calibrator)

وهو موجود في مخبر معايرة وقياس النشاط الإشعاعي بهيئة الطاقة الذرية ويستخدم في القطر العربي السوري كجهاز مرجعي من أجل معايرة الأجهزة الأخرى المستخدمة في قياس النشاط الإشعاعي في حقل الطب النووي . وهذا الجهاز مصنع من قبل شركة برمجيات (Southern Scientific)، ويتضمن حجرة تأين بئر ونظام قياس ، وسلسلة القياسات تتبع للمكتب الدولي للأوزان والمقاييس.

يبين الشكل (4-1) جهاز قياس النشاط الإشعاعي المرجعي (NPL) الذي تم استخدامه في الدراسة.



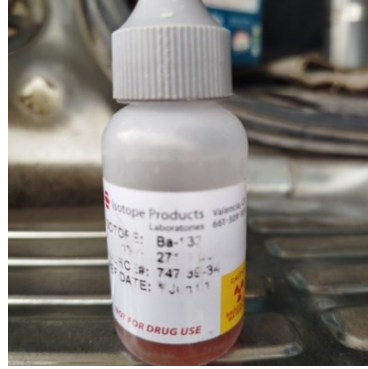
الشكل (4-1) جهاز قياس النشاط الإشعاعي المرجعي (NPL)

و تم استخدام ثلاث منابع مشعة رئيسية وهي :

منبع الكوبالت ^{60}Co



منبع الباريوم ^{133}Ba



منبع السيزيوم ^{137}Cs



الشكل (4-2) المصادر المستخدمة في الدراسة

- (منبع السيزيوم ^{137}Cs) عمر النصف له ($T_{1/2} = 30$ years) ذو الطاقة المتوسطة (662 keV)

والقيمة المرجعية له هي 3.588 MBq المسجلة منذ تاريخ 1999/8/1

- (منبع الباريوم ^{133}Ba) عمر النصف له ($T_{1/2} = 10.55$ years) ذو الطاقة المنخفضة

(81.356 keV) والقيمة المرجعية له هي 10.0381 MBq المسجلة منذ تاريخ 2001/6/1

- (منبع الكوبالت ^{60}Co) عمر النصف له ($T_{1/2} = 5.27$ years) ذو الطاقة العالية

((1.173, 1332) keV) والقيمة المرجعية له هي 1.837 MBq المسجلة منذ 2000/6/1

تم اجراء قياس النشاطية الإشعاعية لهذه المصادر المشعة بشكل متكرر بتسجيل 16 قراءة لكل مصدر مشع من المصادر الثلاثة بمعدل قراءة كل دقيقة قبل عرض نتائج القياسات المتكررة، تجدر الإشارة إلى أن الرموز المستخدمة في الجدول تعبر عن معاملات إحصائية تهدف إلى تقييم تكرارية ودقة جهاز قياس النشاط الإشعاعي. حيث تشير الرموز ($R_1, R_2, \dots, R_n$) إلى القراءات الفردية المتتالية للنشاط الإشعاعي المقاس لكل نظير، والتي أُجريت للتحقق من ثباتية الجهاز وقابليته للتكرار. أما الرمز (R_{avg}) فيمثل المتوسط الحسابي لجميع القراءات المسجلة، ويعبر عن القيمة الوسطية للنشاط المقاس. في حين يدل الرمز (R_{net}) على القراءة الصافية بعد طرح قيمة الخلفية الإشعاعية (Background) من المتوسط الحسابي، وذلك للحصول على

النشاط الحقيقي للمصدر دون تأثير الإشعاع الخلفي. أما الرمز (S.D) فيشير إلى الانحراف المعياري للقياسات، وهو مقياس إحصائي يوضح مدى تشتت القراءات حول المتوسط، ويُستخدم لتقييم درجة الدقة والاستقرار في أداء الجهاز. وحسبت القيم المتوسطة من أجل كل مصدر مشع، ثم طرحت الخلفية الطبيعية منها وذلك من أجل حساب R_{standard} (القراءة العيارية) يوضح الجدول (1-4) التالي تكرار قراءات النشاطية بجهاز قياس النشاطية الإشعاعية (NPL)

الجدول (1-4) التالي تكرار قراءات النشاطية بجهاز قياس النشاطية الإشعاعية (NPL)

القراءات	نشاطية السيزيوم ^{137}Cs (μCi)	نشاطية الباريوم ^{133}Ba (μCi)	نشاطية الكوبالت ^{60}Co (μCi)
R_1	53.65	55.24	1.913
R_2	53.64	55.23	1.911
R_3	53.66	55.22	1.914
R_4	53.65	55.17	1.912
R_5	53.64	55.18	1.911
R_6	53.65	55.19	1.916
R_7	53.64	55.18	1.918
R_8	53.63	55.19	1.916
R_9	53.65	55.22	1.918
R_{10}	53.64	55.20	1.915
R_{11}	53.62	55.11	1.916
R_{12}	53.65	55.19	1.914
R_{13}	53.66	55.19	1.912
R_{14}	53.64	55.19	1.918
R_{15}	53.66	55.18	1.914
R_{16}	53.65	55.19	1.914
R_{avg}	53.64	55.19	1.914
R_{net}	53.42	55.163	1.794
S.d	0.0109	0.029	0.002

حساب القراءة العيارية $R_{standard}$ لجهاز قياس النشاطية الإشعاعية (NPL) باستخدام المنابع الثلاث المستخدمة في الدراسة:

• منبع السيزيوم ^{137}Cs

$$R_{avg}=53.645 \mu\text{ci} , \quad Bg=0.224 \mu\text{ci}$$

$$R=53.645-0.224=53.42 \mu\text{ci}$$

قيمة معامل المعايرة (شهادة المعايرة من بريطانيا) (1.005)

$$R_{standard} = (53.422/1.005) = 53.155 \mu\text{ci}$$

• منبع الباريوم ^{133}Ba

$$R_{avg}=55.192 \mu\text{ci} , \quad Bg=0.029 \mu\text{ci}$$

$$R=55.192-0.029 = 55.163 \mu\text{ci}$$

شهادة المعايرة من بريطانيا (المعامل هو 1)

$$R_{standard} = (55.163/1) = 55.163 \mu\text{ci}$$

• منبع الكوبالت ^{60}Co

$$R_{avg}=1.914 \mu\text{ci} , \quad Bg=0.12 \mu\text{ci}$$

$$R=1.914-0.12=1.794 \mu\text{ci}$$

شهادة المعايرة من بريطانيا (المعامل هو 1)

$$R_{standard} = (1.794/1) = 1.794 \mu\text{ci}$$

لمعايرة الأجهزة المستخدمة لقياس النشاطية الإشعاعية بمراكز الطب النووي نقوم بحساب معامل المعايرة Cf وذلك بأخذ 16 قراءة لكل مصدر مشع من المصادر الثلاثة بمعدل قراءة كل دقيقة ثم تحسب القيم المتوسطة

من أجل كل مصدر مشع، ثم تطرح الخلفية الطبيعية منها وذلك من أجل حساب R_{net} (القراءة الصافية للجهاز المراد معايرته) ثم نطبق العلاقة التالية لحساب معامل المعايرة :

$$Cf = R_{standard} / R_{net}$$

▪ Cf : معامل المعايرة

▪ R standard : القراءة العيانية (من الجهاز العياري)

▪ R net : القراءة الصافية للجهاز المراد معايرته

يتم قبول النتائج بحيث لا يتجاوز الخطأ ($\pm 5\%$)

(4.1.2) معايرة جهاز قياس النشاط الإشعاعي (ATOMLAB 300):

وهو جهاز يستخدم لقياس النشاط الإشعاعي للنظائر المشعة موجود في مخبر معايرة وقياس النشاط الإشعاعي بهيئة الطاقة الذرية يتألف من حجرة تأيين أسطوانية الشكل من النوع البصري مملوءة بالغاز ، توضع فيها المادة المشعة من أجل القياس حيث يطبق جهد العالي على الحجرة وعدة نواخب لاختيار النكليد المشع المناسب وفي حال عدم وجوده نختاره من اللوحة المرفقة بالنظير المشع وشاشة إظهار للنتيجة بوحدة MBq, GBq.

يبين الشكل (3-4) جهاز قياس النشاط الإشعاعي (ATOMLAB300)



الشكل (3-4) جهاز قياس النشاط الإشعاعي (ATOMLAB300)

تم اجراء قياس النشاطية الإشعاعية لهذه المصادر المشعة بشكل متكرر بتسجيل 16 قراءة لكل مصدر مشع من المصادر الثلاثة بمعدل قراءة كل دقيقة وحسبت القيم المتوسطة من أجل كل مصدر مشع، ثم طرحت الخلفية الطبيعية منها وذلك من أجل حساب R_{standard} (القراءة العيارية) يوضح الجدول (1-4) التالي تكرار

قراءات النشاطية بجهاز قياس النشاطية الإشعاعية (ATOMLAB300)

الجدول (2-4) قراءات النشاطية الإشعاعية بجهاز قياس النشاطية الإشعاعية (ATOMLAB300)

القراءات	نشاطية السيزيوم ^{137}Cs (μCi)	نشاطية الباريوم ^{133}Ba (μCi)	نشاطية الكوبالت ^{60}Co (μCi)
R_1	48.2	51.90	1.72
R_2	48.6	51.88	1.73
R_3	48.1	51.91	1.72
R_4	48.2	51.92	1.74
R_5	48.5	51.89	1.73
R_6	48.3	51.92	1.73
R_7	48.4	51.93	1.76
R_8	48.2	51.94	1.73
R_9	48.4	51.95	1.73
R_{10}	48.3	51.92	1.73
R_{11}	48.3	51.92	1.74
R_{12}	48.2	51.93	1.72
R_{13}	48.6	51.92	1.72
R_{14}	48.5	51.93	1.72
R_{15}	48.4	51.95	1.73
R_{16}	48.4	51.94	1.72
R_{avg}	48.35	51.92	1.73
R_{net}	48.33	51.722	1.66
S.d	0.150	0.019	0.011

لحساب معامل المعايرة لجهاز قياس النشاطية الإشعاعية (ATOMLAB300)

باستخدام المصادر الثلاث المستخدمة في الدراسة حيث تم حساب القيم المتوسطة R_{avg} من أجل كل مصدر مشع، ثم تطرح الخلفية الطبيعية منها Bg وذلك من أجل حساب R_{net} (القراءة الصافية للجهاز المراد معايرته) ثم نطبق العلاقة التالية لحساب معامل المعايرة :

$$Cf = R_{standard} / R_{net}$$

• منبع السيزيوم ^{137}Cs

$$R_{avg} = 48.35 \mu ci , \quad Bg = 0.02 \mu ci$$

$$R_{net} = R_{avg} - Bg \quad (\text{القراءة الصافية للجهاز المراد معايرته})$$

$$R_{net} = 48.35 - 0.02 = 48.33 \mu ci$$

$$Cf = 53.155 / 48.33 = 1.099 \quad \text{معامل المعايرة}$$

• منبع الباريوم ^{133}Ba

$$R_{avg} = 51.922 \mu ci \quad Bg = 0.2 \mu ci$$

$$R_{net} = 51.922 - 0.2 = 51.722 \mu ci$$

$$Cf = 55.163 / 51.722 = 1.066 \quad \text{معامل المعايرة}$$

• منبع الكوبالت ^{60}Co

$$R_{avg} = 1.73 \mu ci , \quad Bg = 0.07 \mu ci$$

$$R_{net} = 1.73 - 0.07 = 1.66 \mu ci$$

$$Cf = 1.794 / 1.66 = 1.08 \quad \text{معامل المعايرة}$$

تم تنظيم النتائج لمعاملات المعايرة لجهاز (ATOMLAB300) في الجدول (3-4) والتي ينبغي أن يتم

استخدامها للعودة الى القيم المرجعية وذلك لتصحيح القراءات والتأكد من دقة قياس النشاطية الإشعاعية

وتلافي الأخطاء الناتجة عن انحراف الجهاز عن القيم العيارية.

الجدول (3-4) قيم معاملات المعايرة لجهاز (ATOMLAB300)

المصادر	القراءة العيارية $R_{standard}(\mu\text{Ci})$	متوسط القراءات $R_{avg}(\mu\text{Ci})$	الخلفية الطبيعية $Bg(\mu\text{Ci})$	القراءة الصافية $R_{net}(\mu\text{Ci})$	$C_f = \frac{R_{standard}}{R_{net}}$
Cs-137	53.155	48.35	0.02	48.33	1.099
Ba-133	55.163	51.92	0.20	51.722	1.066
Co-60	1.794	1.73	0.07	1.66	1.08

4.1.3 معايرة جهاز قياس النشاطية الإشعاعية (ATOMLAB500):

وهو جهاز يستخدم لقياس النشاطية الإشعاعية للنظائر المشعة موجود في المخبر الحار لمشفى البيروني الجامعي يتألف من حجرة تأين أسطوانية الشكل من النوع البثري مملوءة بالغاز، توضع فيها المادة المشعة من أجل القياس حيث يطبق جهد العالي على الحجرة، وشاشة لمس ملونة قابلة للتعديل تلقائياً وسهلة الاستخدام مبرمج مسبقاً ل 88 من النظائر المشعة الأكثر استخداماً ويمكن تحديد أي منها بسهولة عن طريق اللمس على شاشة العرض بوحدة (Ci أو Bq) ويتميز باستجابة سريعة وبرنامج قوي قابل للترقية ليشمل عداد مسح وما يصل إلى ست حجرات تأين ، وطابعة للتقارير ومنفذ USB وله القدرة على المساعدة في تحديد النظائر المشعة المسببة للتلوث وله القدرة على المساعدة لاستخراج تقارير مفصلة عن التلوث وتخزين النتيجة.

يبين الشكل (4-4) جهاز قياس النشاطية الإشعاعية (ATOMLAB500)



الشكل (4-4) جهاز قياس النشاط الإشعاعي (ATOMLAB500)

تم إجراء قياس النشاط الإشعاعي لهذه المصادر المشعة بشكل متكرر بتسجيل 16 قراءة لكل مصدر مشع من المصادر الثلاثة بمعدل قراءة كل دقيقة وحسبت القيم المتوسطة من أجل كل مصدر مشع، ثم طرحت الخلفية الطبيعية منها وذلك من أجل حساب R_{standard} يوضح الجدول (4-4) تكرار قراءات النشاطية بجهاز قياس النشاط الإشعاعي (ATOMLAB500) للمنابع المشعة المستخدمة في الدراسة.

الجدول (4-4) قراءات النشاطية الإشعاعية بجهاز قياس النشاطية الإشعاعية (ATOMLAB500)

القراءات	نشاطية السيزيوم ^{137}Cs (μci)	نشاطية الباريوم ^{133}Ba (μci)	نشاطية الكوبالت ^{60}Co (μci)
R ₁	54	57	3
R ₂	54	56	2
R ₃	53	56	3
R ₄	54	56	2
R ₅	54	56	2
R ₆	54	56	2
R ₇	54	56	3
R ₈	53	57	3
R ₉	53	56	3
R ₁₀	54	56	3
R ₁₁	54	56	3
R ₁₂	54	57	3
R ₁₃	54	56	3
R ₁₄	54	56	2
R ₁₅	54	56	3
R ₁₆	53	56	3
R _{avg}	53.75	56.19	2.69
R _{net}	52.75	55.19	1.69
Sd	0.447	0.403	0.478

لحساب معامل المعايرة لجهاز قياس النشاطية الإشعاعية (ATOMLAB500) باستخدام المصادر الثلاث

المستخدمة في الدراسة حيث تم حساب القيم المتوسطة R_{avg} من أجل كل مصدر مشع، ثم تطرح الخلفية

الطبيعية منها Bg وذلك من أجل حساب R_{net} (القراءة الصافية للجهاز المراد معايرته) ثم نطبق العلاقة

التالية لحساب معامل المعايرة :

$$Cf = R_{standard} / R_{net}$$

• منبع السيزيوم ^{137}Cs

$$R_{avg} = 53.75 \mu ci , \quad Bg = 1 \mu ci$$

$$R_{net} = R_{avg} - Bg \quad \text{(القراءة الصافية للجهاز المراد معايرته)}$$

$$R_{net} = 53.75 - 1 = 52.75 \mu ci$$

$$Cf = 53.155 / 52.75 = 1.007 \quad \text{معامل المعايرة}$$

• منبع الباريوم ^{133}Ba

$$R_{avg} = 56.1875 \mu ci , \quad Bg = 1 \mu ci$$

$$R_{net} = 56.1875 - 1 = 55.1875 \mu ci$$

$$Cf = 55.163 / 55.187 = 0.99 \quad \text{معامل المعايرة}$$

• منبع الكوبالت ^{60}Co

$$R_{avg} = 2.69 \mu ci , \quad Bg = 1 \mu ci$$

$$R_{net} = 2.69 - 1 = 1.69 \mu ci$$

$$Cf = 1.794 / 1.69 = 1.06 \quad \text{معامل المعايرة}$$

تم تنظيم النتائج لمعاملات المعايرة لجهاز (ATOMLAB500) في الجدول (4-5) والتي ينبغي أن يتم استخدامها للعودة الى القيم المرجعية وذلك لتصحيح القراءات والتأكد من دقة قياس النشاطية الاشعاعية وتلافي الأخطاء الناتجة عن انحراف الجهاز عن القيم العيارية.

الجدول (4-5) قيم معاملات المعايرة لجهاز (ATOMLAB500)

المصادر	القراءة العيارية $R_{standard}(\mu Ci)$	متوسط القراءات $R_{avg}(\mu Ci)$	الخلفية الطبيعية $Bg(\mu Ci)$	القراءة الصافية $R_{net}(\mu Ci)$	$C_f = \frac{R_{standard}}{R_{net}}$
Cs-137	53.155	53.75	1	52.75	1.007
Ba-133	55.163	56.19	1	55.19	0.99
Co-60	1.794	2.69	1	1.69	1.06

4.1.4 معايرة جهاز قياس النشاط الإشعاعية (ATOMLAB100):

وهو جهاز يستخدم لقياس النشاط الإشعاعية للنظائر المشعة موجود في المختبر الحار لمشفى الشامي يتألف من حجرة تأين أسطوانية الشكل من النوع البثري مملوء بالغاز ، توضع فيها المادة المشعة من أجل القياس حيث يطبق جهد العالي على الحجرة المزودة بدرع من الرصاص وعدة نواخب لاختيار النكليد المشع المناسب وفي حال عدم وجوده نختاره من اللوحة المرفقة النظير المشع وشاشة إظهار للنتيجة بوحدة (Bq أو Ci) يبين

الشكل (4-5) جهاز قياس النشاط الإشعاعية (ATOMLAB100)



الشكل (4-5) جهاز قياس النشاط الإشعاعية (ATOMLAB100)

تم اجراء قياس النشاطية الإشعاعية لهذه المصادر المشعة بشكل متكرر بتسجيل 16 قراءة لكل مصدر مشع من المصادر الثلاثة بمعدل قراءة كل دقيقة وحسبت القيم المتوسطة من أجل كل مصدر مشع، ثم طرحت الخلفية الطبيعية منها وذلك من أجل حساب R_{standard} يوضح الجدول (4-6) تكرار قراءات النشاطية بجهاز

قياس النشاطية الإشعاعية (ATOMLAB100) للمنابع المشعة المستخدمة في الدراسة

الجدول (4-6) قراءات النشاطية الإشعاعية بجهاز قياس النشاطية الإشعاعية (ATOMLAB100)

القراءات	نشاطية السيزيوم ^{137}Cs (μCi)	نشاطية الباريوم ^{133}Ba (μCi)	نشاطية الكوبالت ^{60}Co (μCi)
R_1	48.1	52.1	1.43
R_2	48.2	52.2	1.44
R_3	48.3	52.3	1.43
R_4	48.4	52.4	1.42
R_5	48.4	52.5	1.43
R_6	48.5	52.5	1.43
R_7	48.6	52.5	1.44
R_8	48.6	52.5	1.43
R_9	48.5	52.5	1.43
R_{10}	48.5	52.4	1.43
R_{11}	48.6	52.4	1.43
R_{12}	48.5	52.5	1.42
R_{13}	48.5	52.4	1.42
R_{14}	48.5	52.5	1.42
R_{15}	48.5	52.5	1.42
R_{16}	48.5	52.5	1.42
R_{avg}	48.72	52.42	1.43
R_{net}	48.5	51.819	1.1775
Sd	0.141	0.122	0.006

لحساب معامل المعايرة لجهاز قياس النشاط الإشعاعية (ATOMLAB100) باستخدام المنابع الثلاث المستخدمة في الدراسة حيث تم حساب القيم المتوسطة R_{avg} من أجل كل مصدر مشع، ثم تطرح الخلفية الطبيعية منها Bg وذلك من أجل حساب R_{net} (القراءة الصافية للجهاز المراد معايرته) ثم نطبق العلاقة التالية لحساب معامل المعايرة :

$$Cf = R_{standard} / R_{net}$$

• منبع السيزيوم ^{137}CS

$$R_{avg} = 48.72 \mu Ci , \quad Bg = 0.22 \mu Ci$$

$$R_{net} = R_{avg} - Bg \quad (\text{القراءة الصافية للجهاز المراد معايرته})$$

$$R_{net} = 48.72 - 0.22 = 48.5 \mu Ci$$

$$Cf = 53.155 / 48.5 = 1.095 \quad \text{معامل المعايرة}$$

• منبع الباريوم ^{133}Ba

$$R_{avg} = 52.41875 \mu Ci , \quad Bg = 0.6 \mu Ci$$

$$R_{net} = 52.41875 - 0.6 = 51.819 \mu Ci$$

$$Cf = 55.163 / 51.819 = 1.064 \quad \text{معامل المعايرة}$$

• منبع الكوبالت ^{60}Co

$$R_{avg} = 1.4275 \mu Ci , \quad Bg = 0.25 \mu Ci$$

$$R_{net} = 1.4275 - 0.25 = 1.1775 \mu Ci$$

$$Cf = 1.794 / 1.1775 = 1.523 \quad \text{معامل المعايرة}$$

تم تنظيم النتائج لمعاملات المعايرة لجهاز (ATOMLAB100) في الجدول (4-7) والتي ينبغي أن يتم استخدامها للعودة الى القيم المرجعية وذلك لتصحيح القراءات والتأكد من دقة قياس النشاطية الاشعاعية وتلافي الأخطاء الناتجة عن انحراف الجهاز عن القيم العيارية.

الجدول (4-7) قيم معاملات المعايرة لجهاز (ATOMLAB100)

المصادر	القراءة العيارية $R_{standard}(\mu Ci)$	متوسط القراءات $R_{avg}(\mu Ci)$	الخلفية الطبيعية $Bg(\mu Ci)$	القراءة الصافية $R_{net}(\mu Ci)$	$C_f = \frac{R_{standard}}{R_{net}}$
Cs-137	53.155	48.72	0.22	48.5	1.09
Ba-133	55.163	52.42	0.60	51.819	1.064
Co-60	1.794	1.43	0.25	1.177	1.523

4.1.5 معايرة جهاز قياس النشاطية الإشعاعية ((VEENSTRA) (VDC404):

وهو جهاز يستخدم لقياس النشاطية الإشعاعية للنظائر المشعة موجود في المختبر الحار للعيادة المتطورة في ساحة القصور يتألف من حجرة تأين أسطوانية الشكل من النوع البثري مملوءة بالغاز، توضع فيها المادة المشعة من أجل القياس حيث يطبق جهد العالي على الحجرة، ودرع إضافي من الرصاص، وبطانة بئر إضافية، وجهاز قياس كهربائي يتم من خلاله اختيار النظير المشع من خلال نواخب حيث تظهر على الشاشة رموز النظائر المشعة نقوم بالانتقال من خلال الأزرار بين هذه الرموز وصولاً للنظير المشع المراد قياس نشاطيته حيث تظهر على الشاشة النتيجة بوحدة (Bq أو Ci) .

يبين الشكل (4-6) جهاز قياس النشاطية الإشعاعية ((VEENSTRA) (VDC404)



الشكل (4-6) جهاز قياس النشاط الإشعاعي (VDC404) (VEENSTRA)

تم اجراء قياس النشاط الإشعاعي لهذه المصادر المشعة بشكل متكرر بتسجيل 16 قراءة لكل مصدر مشع من المصادر الثلاثة بمعدل قراءة كل دقيقة وحسبت القيم المتوسطة من أجل كل مصدر مشع، ثم طرحت

الخلفية الطبيعية منها وذلك من أجل حساب R_{standard}

يوضح الجدول (4-8) تكرار قراءات النشاط الإشعاعي بجهاز قياس النشاط الإشعاعي ((VDC404)

((VEENSTRA)) بالنسبة للمنابع المشعة المستخدمة في الدراسة.

الجدول (4-8) قراءات النشاطية الإشعاعية بجهاز قياس النشاطية الإشعاعية ((VEENSTRA) (VDC404))

القراءات	نشاطية السيزيوم ^{137}Cs (μCi)	نشاطية الباريوم ^{133}Ba (μCi)	نشاطية الكوبالت ^{60}Co (μCi)
R ₁	52.41	51.03	2.150
R ₂	52.76	51.03	2.160
R ₃	52.73	51.27	2.140
R ₄	52.65	51.22	2.140
R ₅	52.24	51.28	2.120
R ₆	52.38	51.16	2.130
R ₇	52.51	51.08	2.110
R ₈	52.81	51.25	2.100
R ₉	52.49	51.08	2.100
R ₁₀	52.57	51.27	2.120
R ₁₁	52.54	51.05	2.120
R ₁₂	52.41	51.11	2.110
R ₁₃	52.57	51.16	2.070
R ₁₄	52.89	51.11	2.090
R ₁₅	52.02	51.22	2.080
R ₁₆	52.57	50.97	2.120
R _{avg}	52.53	51.14	2.12
R _{net}	51.92	50.863	1.766
S.d	0.219	0.099	0.025

لحساب معامل المعايرة لجهاز قياس النشاطية الإشعاعية ((VEENSTRA) (VDC404)) باستخدام المنابع

الثلاث المستخدمة في الدراسة حيث تم حساب القيم المتوسطة R_{avg} من أجل كل مصدر مشع، ثم تطرح

الخلفية الطبيعية منها Bg وذلك من أجل حساب R_{net} (القراءة الصافية للجهاز المراد معايرته) ثم نطبق

$$Cf = R_{standard} / R_{net} \quad : \text{العلاقة التالية لحساب معامل المعايرة}$$

• منبع السيزيوم ^{137}CS

$$R_{avg}= 52.53\mu ci \quad , \quad Bg= 0.610\mu ci$$

$$R_{net}=52.53-0.610=51.92 \mu ci$$

$$Cf=53.155/51.92=1.023 \quad \text{معامل المعايرة}$$

• منبع الباريوم ^{133}Ba

$$R_{avg}=51.143 \mu ci \quad Bg=0.280 \mu ci$$

$$R_{net}=51.143-0.280=50.863 \mu ci$$

$$Cf=55.155/50.863=1.08 \quad \text{معامل المعايرة}$$

• منبع الكوبالت ^{60}Co

$$R_{avg}=2.116 \mu ci \quad , \quad Bg=0.350 \mu ci$$

$$R_{net}=2.116-0.350=1.766 \mu ci$$

$$Cf=1.794/1.766=1.016 \quad \text{معامل المعايرة}$$

تم تنظيم النتائج لمعاملات المعايرة لجهاز ((VEENSTRA)) في الجدول (4-9) والتي ينبغي أن يتم استخدامها للعودة الى القيم المرجعية وذلك لتصحيح القراءات والتأكد من دقة قياس النشاطية الاشعاعية وتلافي الأخطاء الناتجة عن انحراف الجهاز عن القيم العيارية.

الجدول (4-9) قيم معاملات المعايرة لجهاز ((VEENSTRA) (VDC404))

المصادر	القراءة العيارية $R_{standard}(\mu ci)$	متوسط القراءات $R_{avg}(\mu ci)$	الخلفية الطبيعية $Bg(\mu ci)$	القراءة الصافية $R_{net}(\mu ci)$	$C_f = \frac{R_{standard}}{R_{net}}$
Cs-137	53.155	52.53	0.610	51.925	1.023
Ba-133	55.163	51.14	0.280	50.863	1.084
Co-60	1.794	2.12	0.350	1.766	1.016

تم تنظيم قيم معاملات المعايرة في الجدول (10-4) لجميع الأجهزة التي تم دراستها باستخدام المنابع المشعة الثلاث وذلك لمناقشة هذه القيم

الجدول (10-4) ملخص لجميع النتائج السابقة لأجهزة قياس النشاط الإشعاعي :

الأجهزة المستخدمة في الدراسة	معامل المعايرة لمنبع السيزيوم ^{137}Cs باستخدام ناخب السيزيوم	معامل المعايرة لمنبع الباريوم ^{133}Ba باستخدام ناخب الباريوم	معامل المعايرة لمنبع الكوبالت ^{60}Co باستخدام ناخب الكوبالت
شهادة المرجعية NPL	1.005	1	1
ATOMLAB300	1.099	1.066	1.08
ATOMLAB500	1.007	0.99	1.06
AOTMLAB100	1.095	1.064	1.523
VEENSTRA404	1.023	1.084	1.016

يجب أن يتم ضرب معامل المعايرة للعودة إلى القيم المرجعية، وذلك لتصحيح القراءات والتأكد من دقة قياس

النشاطية الإشعاعية، وتلافي الأخطاء الناتجة عن انحراف الجهاز عن القيمة العيارية .

إن قيم معاملات المعايرة في الأجهزة :

(ATOMLAB300-ATOMLAB500 -VEENSTRA404)

في مجال الطاقات المنخفضة و المتوسطة و العالية قريبة من الواحد حيث لا يتجاوز الخطأ $\pm 5\%$ حسب

المرجع [2]. أما بجهاز (ATOMLAB100) في مجال الطاقة المنخفضة و المتوسطة قريب من الواحد

حيث لا يتجاوز الخطأ $\pm 5\%$ حسب المرجع [2]، بينما في مجال الطاقات العالية يظهر انحراف واضح عن

القيمة المرجعية ولذلك يتم اتباع إجراء عدم المطابقة كما ورد في المرجع [2].

4.2 اختبارات ضبط الجودة لأجهزة قياس النشاطية الإشعاعية:

تم في هذه الدراسة عدة اختبارات لضبط جودة جهاز قياس النشاطية الإشعاعية المستخدم في الطب النووي

لقياس النشاطية الإشعاعية للمركبات الصيدلانية الموسومة بنظير مشع وذلك قبل إعطائها للمريض ،للتأكد إذا

كانت التجهيزات والمركبات الصيدلانية الإشعاعية تتوافق مع الشروط المطلوبة. حيث يجب إجراء اختبار قبول للجهاز لدى الشركة المصنعة ثم تتم معايرته وتزويده بشهادة معايرة من مخبر أولي أو ثانوي .

حيث تم إنجاز اختبارات ضبط الجودة الأساسية الموصى بها من الوكالة الدولية الذرية [1] على الأجهزة المستخدمة في الدراسة .

يبين الجدول (4-11) الحدود المقبولة في اختبارات ضبط الجودة للجهاز المرجعي والأجهزة الحقلية وفق ماورد بالمرجع [2]

المعامل	الجهاز المرجعي	الجهاز الحقلية
الثباتية	$\pm 0.5\%(1 \text{ s.d})$	$\pm 1\%(1 \text{ s.d})$
الخطية (على كامل المجال المستخدم)	$\pm 1\%(1 \text{ s.d})$	$\pm 5\%(1 \text{ s.d})$
الدقة		
مصدر غاما ذو طاقة عالية $>100\text{keV}$	$\pm 2\%$ من المجال للمعيار الثانوي	$\pm 5\%$ من المجال للمرجعي
مصدر غاما ذو طاقة منخفضة $<100\text{keV}$	$\pm 5\%$ من المجال للمعيار الثانوي	$\pm 10\%$ من المجال للمرجعي

4.2.1 اختبار الدقة والإحكام لأجهزة قياس النشاط الإشعاعية:

تعرف دقة جهاز على أنها مقدرة على إعطاء قراءة تكون أقرب ما يكون إلى القراءة الحقيقية وكلما أعطى الجهاز قراءة أقرب إلى المقدار الحقيقي للكمية المقاسة كلما كان الجهاز دقيقاً وتعتبر الدقة مقياساً للخطأ في النتيجة النهائية .

يمكن أن تكون الدقة محددة لجهاز معاير الجرعة الإشعاعية بواسطة مقارنة القراءة له مع النشاط الإشعاعية من منبع عياري مع خطأ لا يتجاوز ($\pm 5\%$) .

الإحكام هو مقدرة الجهاز على إعطاء نفس القراءة عند تكرار عملية القياس بنفس الجهاز وكلما كان الجهاز محكماً كلما كانت القراءات التي يعطيها لنفس الكمية المقاسة متقاربة مع بعضها البعض وتتم إجراءات الدقة والإحكام بشكل سنوي.

استخدمنا في هذا الاختبار ثلاثة مصادر مشعة من مصادر تملك أعمار نصف طويلة نسبياً وهي:

- (السيزيوم ^{137}Cs) عمر النصف له ($T_{1/2} = 30 \text{ years}$) ذو الطاقة المتوسطة (662 keV)
- (الباريوم ^{133}Ba) عمر النصف له ($T_{1/2} = 10.55 \text{ years}$) ذو الطاقة المنخفضة (81.356 keV)
- (الكوبالت ^{60}Co) عمر النصف له ($T_{1/2} = 5.27 \text{ years}$) ذو الطاقة العالية (1.173, 1332 keV)

تم إجراء قياس نشاطية هذه المصادر المشعة بشكل متكرر بتسجيل 16 قراءة لكل مصدر مشع من المصادر الثلاثة بمعدل قراءة كل دقيقة وحسبت القيم المتوسطة من أجل كل مصدر مشع، وقورنت مع القيم المرجعية الأولية المذكورة في الشهادات الخاصة بالمصادر المشعة المستخدمة (المكتوبة على لصاقة معلقة على حاوية المصدر حيث يذكر فيها النشاطية الإشعاعية المرجعية عند الزمن المرجعي) وذلك بعد تفكيكها الزمني بواسطة قانون التفكك الإشعاعي إلى اللحظة التي أجري فيها القياس

$$(A = A_0 e^{-\lambda t}) \text{ (قانون التفكك الإشعاعي)}$$

A هو النشاط الإشعاعي الحالي للنظير.

A_0 هو النشاط المرجعي (الأولي) للنظير المشع.

λ هو ثابت التفكك الإشعاعي.

t هو المدة الزمنية من إنتاج النظير حتى لحظة القياس.

إذا كانت قيم القراءات المتوسطة تختلف عن قيم قراءات المعايير المرجعية بأكثر من $\pm 5\%$ فإنه لا ينبغي

استخدام جهاز قياس النشاطية الإشعاعية.

- تم اختبار منبع السيزيوم ^{137}Cs في 3 / 11 / 2024 الساعة 9:00 صباحاً والقيمة المرجعية له

هي 3.588 MBq المسجلة منذ تاريخ 1 / 8 / 1999

- تم اختبار منبع الباريوم ^{133}Ba في 3 / 11 / 2024 الساعة 10:00 صباحاً والقيمة المرجعية له

هي 10.0381 MBq المسجلة منذ تاريخ 1 / 6 / 2001

- تم اختبار منبع الكوبالت ^{60}Co في 3 / 11 / 2024 الساعة 12:00 صباحاً والقيمة المرجعية له هي

1.837 MBq المسجلة منذ تاريخ 1 / 6 / 2000

$$\text{لحساب الدقة نستخدم القانون التالي} \quad \frac{(\bar{A} \times C_f - A) \times 100}{A} \%$$

$\bar{A}$ هي متوسط القراءات ، A هي القراءة المرجعية المصححة
لحساب الإحكام نستخدم القانون التالي

$$\frac{(S.D) \times 100}{\bar{A}} \%$$

S.D الانحراف المعياري.

$\bar{A}$ هي متوسط القراءات.

4.2.1.1 نتائج الدقة والإحكام للجهاز المرجعي (NPL):

تم ايجاد القراءة المرجعية المصححة A من قانون التفكك الإشعاعي $A=A_0 e^{-\lambda t}$
وذلك بالاعتماد على الجدول (4-1)

المنبع الأول السيزيوم ^{137}Cs

$$A = 3.588 \times e^{-(\ln 2 / 30.07) \times (25.3)}$$

$$A = 3.588 \times 0.559 = 2.006 \text{ MBq}$$

نحول من MBq الى μCi حيث أن $(1 \mu\text{Ci} = 0.037 \text{ MBq})$

$$A = 54.22 \mu\text{Ci}$$

$$\frac{(53.42 \times 1.005 - 54.22)}{54.22} \times 100 = \pm 0.9 \%$$

الدقة :

$$54.22$$

$$\frac{(0.011)}{53.42} \times 100 = \pm 0.02 \%$$

الإحكام :

$$53.42$$

المنبع الثاني الباريوم ^{133}Ba

$$A = 10.0381 \times e^{-(\ln 2 / 10.55) \times (23.5)}$$

$$A = 10.0381 \times 0.214 = 2.15 \text{ MBq}$$

نحول من MBq إلى μCi

$$A = 58.1 \mu\text{Ci}$$

القراءة المرجعية المصححة

$$\frac{(55.163 \times 1 - 58.1)}{58.1} \times 100 = \pm 5.05 \% \quad \text{الدقة :}$$

$$\frac{(0.029)}{55.163} \times 100 = \pm 0.052 \% \quad \text{الإحكام :}$$

المنبع الثالث الكوبالت ^{60}Co

$$A = 1.837 \times e^{-(\ln 2 / 5.27) \times (24.5)}$$

$$A = 1.837 \times 0.0399 = 0.073 \text{ MBq} \quad \text{القراءة المرجعية المصححة}$$

$$A = 1.97 \text{ } \mu\text{Ci} \quad (\text{نحول من MBq إلى } \mu\text{Ci}) \quad \text{القراءة المرجعية المصححة}$$

$$\frac{(1.794 \times 1 - 1.97)}{1.97} \times 100 = \pm 8.9 \% \quad \text{الدقة :}$$

$$\frac{(0.002)}{1.794} \times 100 = \pm 0.11 \% \quad \text{الإحكام :}$$

يبين الجدول (4-12) نتائج تقييم الدقة والإحكام لجهاز (NPL) باستخدام ثلاثة نظائر مرجعية تمثل مجالات

طاقة مختلفة، الأمر الذي يسمح بدراسة استجابة الجهاز عبر نطاق واسع من الطاقات الإشعاعية.

الجدول (4-12) نتائج الدقة والإحكام لجهاز (NPL) :

النظير المستخدم	الطاقة (keV)	القيمة المرجعية المصححة A (MBq)	القيمة المرجعية المصححة A (μCi)	المتوسط ($\bar{A}$) (μCi)	الدقة %	الإحكام %
^{137}Cs	662	2.006	54.22	53.42	0.90	0.020
^{133}Ba	81.356	2.150	58.10	55.163	5.05	0.052
^{60}Co	1.173, 1.332	0.073	1.970	1.794	8.90	0.110

بالنسبة للنظير ^{137}Cs (662 keV)، يظهر انحراف نسبي مقداره (0.90%) بين المتوسط المقاس والقيمة

المرجعية المصححة، وهي قيمة منخفضة تدل على توافق جيد بين القياسات والقيمة الحقيقية، ما يعكس معايرة

صحيحة في مجال الطاقات المتوسطة. كما أن قيمة الإحكام (0.020%) تشير إلى تقارب كبير بين القياسات

المتكررة، مما يدل على استقرار ممتاز في استجابة الجهاز.

أما بالنسبة للنظير ^{133}Ba (طاقات منخفضة)، فقد بلغت نسبة الانحراف (5.05%)، وهي أعلى من حالة السيزيوم، ويمكن تفسير ذلك بتأثير معاملات الامتصاص الذاتي داخل غرفة التأين وحساسية الجهاز الأكبر للتغيرات الهندسية في الطاقات المنخفضة. ومع ذلك تبقى هذه النسبة ضمن الحدود المقبولة عملياً وفق توصيات ضبط الجودة.

في حالة ^{60}Co طاقات عالية (1.173 و 1.332 MeV)، بلغت نسبة الانحراف (8.90%)، وهي الأعلى بين النظائر المدروسة. ويُعزى ذلك إلى الانخفاض النسبي في كفاءة الكشف عند الطاقات العالية، إضافة إلى اعتماد معايرة الجهاز عادةً على نطاق الطاقات المستخدمة سريريًا في الطب النووي (الأقرب إلى طاقات $^{99\text{m}}\text{Tc}$)، مما قد يؤدي إلى ازدياد الخطأ النسبي عند الطاقات البعيدة عن مجال المعايرة الأساسي. من جهة أخرى، فإن قيم الإحكام لجميع النظائر (0.02%، 0.052%، 0.110%) منخفضة جداً، ما يدل على ثبات الجهاز وقابليته العالية للتكرار، ويؤكد أن التباين المشاهد في الدقة يعود إلى انحراف منهجي مرتبط بالطاقة وليس إلى تقلب عشوائي في القياس.

وعليه، يمكن الاستنتاج أن الجهاز يتمتع بدرجة عالية من الإحكام والاستقرار، في حين تتأثر الدقة النسبية بمجال الطاقة، وهو سلوك متوقع في أجهزة قياس النشاط الإشعاعي، مما يشير إلى ضرورة تطبيق معاملات تصحيح خاصة عند القياس في نطاقات طاقة مرتفعة.

4.2.1.2 نتائج الدقة والإحكام لجهاز (ATOMLAB300):

تم ايجاد القراءة المرجعية المصححة A من قانون التفكك الإشعاعي $A=A_0 e^{-\lambda t}$ سابقا ومن أجل المتوسط الحسابي والانحراف المعياري نعتمد على الجدول (4-2)

المنبع الأول السيزيوم ^{137}Cs

$$\text{الدقة : } \frac{(48.33 \times 1.099 - 54.22)}{54.22} \times 100 = \pm 2.03 \%$$

$$\frac{(0.150)}{48.33} \times 100 = \pm 0.3 \% \quad \text{الإحكام :}$$

المنبع الثاني الباريوم ^{133}Ba

$$\frac{(51.722 \times 1.066 - 58.1)}{58.1} \times 100 = \pm 5.1 \% \quad \text{الدقة :}$$

$$\frac{(0.019)}{51.722} \times 100 = \pm 0.03 \% \quad \text{الإحكام :}$$

المنبع الثالث الكوبالت ^{60}Co

$$\frac{(1.66 \times 1.08 - 1.97)}{1.97} \times 100 = \pm 8.9 \% \quad \text{الدقة :}$$

$$\frac{(0.011)}{1.66} \times 100 = \pm 0.7 \% \quad \text{الإحكام :}$$

يبين الجدول (4-13) نتائج تقييم الدقة والإحكام لجهاز (ATOMLAB300) باستخدام ثلاثة نظائر مرجعية تمثل مجالات طاقة مختلفة

الجدول (4-13) نتائج الدقة والإحكام لجهاز (ATOMLAB300) :

النظير المستخدم	الطاقة (keV)	القيمة المرجعية المصححة A (MBq)	القيمة المرجعية المصححة A (μci)	المتوسط ($\bar{A}$) (μci)	الدقة %	الإحكام %
^{137}Cs	662	2.006	54.22	48.33	2.03	0.30
^{133}Ba	81.356	2.150	58.10	51.72	5.10	0.03
^{60}Co	1.173, 1.332	0.073	1.97	1.66	8.90	0.70

بالنسبة للنظير ^{137}Cs (طاقة متوسطة 662 keV)، بلغت الدقة 2.63% وهي قيمة جيدة وتشير إلى تقارب

مقبول بين القيمة المقاسة والقيمة المرجعية. أما الإحكام فقد بلغ 0.30%، وهي نسبة منخفضة تدل على

تكرارية جيدة واستقرار واضح في القياسات المتعاقبة. ويعكس ذلك توافقاً جيداً بين المعايرة المعتمدة واستجابة

الجهاز في مجال الطاقات المتوسطة.

أما في حالة ^{133}Ba (طاقات منخفضة)، فقد بلغت الدقة % 5.1، وهي أعلى من السيزيوم، ويمكن تفسير ذلك بحساسية القياسات في الطاقات المنخفضة لتأثيرات الامتصاص داخل جدار غرفة التأين وتأثيرات الهندسة وحجم المصدر. إلا أن الإحكام كان منخفضاً جداً % 0.03 مما يدل على ثبات ممتاز في القراءات، أي أن الانحراف هنا ذو طبيعة منهجية (Systematic) وليس عشوائية.

في المقابل، سجل النظير ^{60}Co (طاقات عالية 1.173 MeV و 1.332 MeV) أعلى نسبة انحراف في الدقة بلغت % 8.9، وهو ما يمكن عزوه إلى انخفاض الكفاءة النسبية لغرفة التأين عند الطاقات العالية، إضافة إلى أن معايرة الجهاز غالباً ما تكون مُحسَّنة لطاقات الطب النووي الشائعة (مثل $^{99\text{m}}\text{Tc}$) وليس للطاقات العالية جداً. أما الإحكام فقد بلغ % 0.70، وهي قيمة لا تزال ضمن المجال المقبول، لكنها أعلى من القيم المسجلة للنظيرين الآخرين، ما يشير إلى زيادة طفيفة في التشتت الإحصائي عند الطاقات العالية. تشير النتائج إلى أن الجهاز يتمتع بإحكام جيد في جميع الحالات (قيم أقل من 1%)، مما يدل على استقرار عالٍ في الأداء. أما اختلاف نسب الدقة فيعكس اعتماد الاستجابة على مجال الطاقة، حيث تتحسن الدقة في الطاقات المتوسطة وتتناقص تدريجياً عند الابتعاد عن نطاق المعايرة الأساسي للجهاز. وبذلك يمكن القول إن الجهاز مناسب للاستخدام في نطاق الطاقات التشخيصية الشائعة، مع ضرورة أخذ معاملات تصحيح إضافية بعين الاعتبار عند القياس في مجالات طاقة مرتفعة.

(4.2.1.3) نتائج الدقة والإحكام لجهاز قياس النشاط الإشعاعي (ATOMLAB500):

تم ايجاد القراءة المرجعية المصححة A من قانون التفكك الإشعاعي $A=A_0 e^{-\lambda t}$

ومن أجل المتوسط الحسابي والانحراف المعياري نعتمد على الجدول (4-4)

المنبع الأول السيزيوم ^{137}Cs

$$\text{الدقة : } \pm 2.03 \% = \frac{(52.75 \times 1.007 - 54.22)}{54.22} \times 100$$

$$54.22$$

$$\text{الإحكام : } \pm 0.85 \% = \frac{(0.447)}{52.75} \times 100$$

$$52.75$$

المنبع الثاني الباريوم ^{133}Ba

$$\frac{(55.19 \times 0.99 - 58.1)}{58.1} \times 100 = \pm 5.9 \% \quad \text{الدقة :}$$

58.1

$$\frac{(0.403)}{55.19} \times 100 = \pm 0.73 \% \quad \text{الإحكام :}$$

المنبع الثالث الكوبالت ^{60}Co

$$\frac{(1.69 \times 1.06 - 1.97)}{1.97} \times 100 = \pm 9.06 \% \quad \text{الدقة :}$$

$$\frac{(0.478)}{1.69} \times 100 = \pm 28.3 \% \quad \text{الإحكام :}$$

يبين الجدول (4-14) نتائج تقييم الدقة والإحكام لجهاز (ATOMLAB500) باستخدام ثلاثة نظائر مرجعية تمثل مجالات طاقة مختلفة

الجدول (4-14) نتائج الدقة والإحكام لجهاز (ATOMLAB500):

النظير المستخدم	الطاقة (keV)	القيمة المرجعية المصححة A (MBq)	القيمة المرجعية المصححة A (μci)	المتوسط (Ā) (μci)	الدقة %	الإحكام %
^{137}Cs	662	2.006	54.22	52.75	2.03	0.85
^{133}Ba	81.356	2.150	58.10	55.19	5.90	0.73
^{60}Co	1.173, 1.332	0.073	1.97	1.69	9.06	28.2

بالنسبة للنظير ^{137}Cs (662 keV)، بلغت الدقة 2.03%، وهي قيمة جيدة وتشير إلى توافق مقبول بين

النشاط المقاس والقيمة المرجعية. أما الإحكام فقد بلغ 0.85%، وهي نسبة ضمن المجال المقبول لضبط

الجودة الروتيني (عادة أقل من 1%)، مما يدل على استقرار جيد نسبياً في القياسات المتكررة.

في حالة ^{133}Ba (طاقات منخفضة)، ارتفعت الدقة إلى 5.90%، وهو انحراف أكبر من حالة السيزيوم،

ويمكن تفسيره بتأثر القياسات في الطاقات المنخفضة بعوامل الامتصاص في جدار غرفة التآين والحساسية

العالية للتموضع الهندسي للمصدر. أما الإحكام فبلغ 0.73%، وهو ما يزال ضمن الحدود المقبولة، مما

يشير إلى أن التشتت الإحصائي محدود وأن الجزء الأكبر من الخطأ ذو طبيعة منهجية مرتبطة بمعامل المعايرة عند هذه الطاقة.

أما بالنسبة للنظير ^{60}Co (طاقات عالية 1.173 و 1.332 MeV)، فقد بلغت الدقة 9.06%، وهي أعلى قيمة انحراف بين النظائر الثلاثة، ما يدل على انخفاض ملحوظ في تطابق القراءة مع القيمة المرجعية عند الطاقات العالية. ويُعزى ذلك غالبًا إلى أن الجهاز مُعاير أساسًا لطاقات الطب النووي التشخيصي (مثل $^{99\text{m}}\text{Tc}$)، وبالتالي تقل دقته النسبية عند الطاقات الأعلى بكثير من مجال الاستخدام السريري المعتاد. لكن الملاحظة الأهم هي أن الإحكام بلغ 28.2 %، وهي قيمة مرتفعة جدًا وغير مقبولة في اختبارات التكرارية. هذا يشير إلى وجود تشتت كبير بين القراءات المتكررة، ما يدل على عدم استقرار القياس عند هذه الطاقة. وقد يكون السبب:

○ انخفاض حساسية الجهاز عند الطاقات العالية

○ تأثيرات هندسية (عدم ثبات تموضع المصدر)

○ ضعف الإحصاء الإشعاعي عند النشاط المنخفض

○ عدم تطبيق معامل معايرة خاص بالطاقة العالية

الاستنتاج: يمكن القول إن جهاز ATOMLAB500 يُظهر أداءً مقبولاً في نطاق الطاقات المنخفضة والمتوسطة من حيث الدقة والإحكام، ما يجعله مناسباً للاستخدام الروتيني في الطب النووي التشخيصي. إلا أن الأداء يتراجع بوضوح عند الطاقات العالية، خاصة من ناحية الإحكام، مما يستوجب الحذر عند استخدامه لقياس نظائر ذات طاقات مرتفعة، أو ضرورة إعادة التحقق من المعايرة والظروف الهندسية للقياس في هذا المجال الطاقى.

4.2.1.4 نتائج الدقة والإحكام لجهاز قياس النشاط الإشعاعي ATOMLAB100:

تم ايجاد القراءة المرجعية المصححة A من قانون التفكك الإشعاعي $A=A_0 e^{-\lambda t}$ و من أجل المتوسط الحسابي والانحراف المعياري نعتمد على الجدول (4-6)

المنبع الأول السيزيوم ^{137}Cs

$$\frac{(48.5 \times 1.095 - 54.22)}{54.22} \times 100 = \pm 2.05 \% \quad \text{الدقة :}$$

$$\frac{(0.139)}{48.5} \times 100 = \pm 0.29 \% \quad \text{الإحكام :}$$

المنبع الثاني الباريوم ^{133}Ba

$$\frac{(51.819 \times 1.064 - 58.1)}{58.1} \times 100 = \pm 5.1 \% \quad \text{الدقة :}$$

$$\frac{(0.122)}{51.819} \times 100 = \pm 0.23 \% \quad \text{الإحكام :}$$

المنبع الثالث الكوبالت ^{60}Co

$$\frac{(1.177 \times 1.523 - 1.97)}{1.97} \times 100 = \pm 8.9 \% \quad \text{الدقة :}$$

$$\frac{(0.006)}{1.177} \times 100 = \pm 0.51 \% \quad \text{الإحكام :}$$

يبين الجدول (4-15) نتائج تقييم الدقة والإحكام لجهاز (ATOMLAB100) باستخدام ثلاثة نظائر مرجعية تمثل مجالات طاقة مختلفة

الجدول (4-15) نتائج الدقة والإحكام لجهاز (ATOMLAB100):

النظير المستخدم	الطاقة (keV)	القيم المرجعية المصححة A (MBq)	القيم المرجعية المصححة A (μci)	المتوسط (Ā) (μci)	الدقة %	الإحكام %
^{137}Cs	662	2.006	54.22	48.5	2.05	0.29
^{133}Ba	81.356	2.150	58.10	51.819	5.10	0.23
^{60}Co	1.173, 1.332	0.073	1.97	1.177	8.9	0.51

تظهر نتائج اختبار الدقة والإحكام لجهاز ATOMLAB100 أن أداء الجهاز يتأثر بمجال طاقة النظير المشع، وهو سلوك فيزيائي متوقع في أجهزة قياس النشاط الإشعاعي المعتمدة على غرف التأين. بالنسبة للنظير ^{137}Cs (662 keV)، بلغت نسبة الدقة % 2.05، وهي قيمة منخفضة تعكس تقاربًا جيدًا بين القيمة المقاسة والقيمة المرجعية المصححة، مما يدل على صحة المعايرة في مجال الطاقات المتوسطة. كما بلغ الإحكام % 0.29، وهي نسبة صغيرة جدًا تشير إلى تقارب كبير بين القراءات المتكررة واستقرار ممتاز في أداء الجهاز.

أما في حالة ^{133}Ba (طاقات منخفضة)، فقد بلغت الدقة % 5.10، وهي أعلى من السيزيوم، ويُعزى ذلك إلى زيادة تأثير الامتصاص في جدار غرفة التأين وحساسية القياس للتغيرات الهندسية عند الطاقات المنخفضة. ومع ذلك فإن الإحكام بلغ % 0.23 فقط، وهو يدل على ثبات عالٍ في القياسات، مما يشير إلى أن الانحراف في الدقة ذو طبيعة منهجية مرتبطة بمعامل المعايرة وليس بتقلب عشوائي. بالنسبة للنظير ^{60}Co (طاقات عالية 1.173 و 1.332 MeV)، بلغت نسبة الدقة % 8.9، وهي الأعلى بين النظائر الثلاثة، مما يعكس انخفاض توافق القراءة مع القيمة المرجعية عند الطاقات العالية. ويُفسر ذلك بانخفاض الكفاءة النسبية لغرفة التأين في هذا المجال الطاقوي، إضافة إلى أن الجهاز عادةً ما يكون مُحسَّنًا لطاقات النظائر التشخيصية الشائعة. أما الإحكام فقد بلغ % 0.51، وهي قيمة ما تزال ضمن المجال المقبول (>1%)، مما يدل على استقرار جيد في القياسات حتى عند الطاقات المرتفعة.

الاستنتاج: تشير النتائج إلى أن جهاز ATOMLAB100 يتمتع بإحكام ممتاز في جميع الحالات المدروسة، حيث لم تتجاوز قيم الإحكام % 1، مما يعكس استقرارًا عاليًا في الأداء. أما اختلاف نسب الدقة فيرتبط بمدى توافق استجابة الجهاز مع مجال الطاقة، حيث تكون الدقة أفضل في الطاقات المتوسطة، وتتناقص تدريجيًا في الطاقات المنخفضة والعالية نتيجة التأثيرات الفيزيائية المرتبطة بكفاءة الكشف ومعاملات الامتصاص.

وعليه فإن الجهاز مناسب للاستخدام في نطاق الطاقات التشخيصية الشائعة، مع ضرورة أخذ تأثير الطاقة بعين الاعتبار عند القياس في المجالات الطاقة البعيدة عن نطاق المعايرة الأساسي.

4.2.1.5 نتائج الدقة والإحكام لجهاز قياس النشاط الإشعاعي (VEENSTRA VDC404):

تم إيجاد القراءة المرجعية المصححة A من قانون التفكك الإشعاعي $A=A_0 e^{-\lambda t}$

ومن أجل المتوسط الحسابي والانحراف المعياري نعتمد على الجدول (4-8)

المنبع الأول السيزيوم ^{137}Cs

$$\frac{(51.92 \times 1.023 - 54.22)}{54.22} \times 100 = \pm 2.04 \% \quad \text{الدقة :}$$

$$\frac{(0.216)}{51.92} \times 100 = \pm 0.42 \% \quad \text{الإحكام :}$$

المنبع الثاني الباريوم ^{133}Ba

$$\frac{(50.863 \times 1.084 - 58.1)}{58.1} \times 100 = \pm 5.1 \% \quad \text{الدقة :}$$

$$\frac{(0.099)}{50.863} \times 100 = \pm 0.19 \% \quad \text{الإحكام :}$$

المنبع الثالث الكوبالت ^{60}Co

$$\frac{(1.766 \times 1.015 - 1.97)}{1.97} \times 100 = \pm 8.9 \% \quad \text{الدقة :}$$

$$\frac{(0.025)}{1.766} \times 100 = \pm 1.41 \% \quad \text{الإحكام :}$$

يبين الجدول (4-16) نتائج تقييم الدقة والإحكام لجهاز (VEENSTRA) باستخدام ثلاثة نظائر مرجعية تمثل مجالات طاقة مختلفة

الجدول (4-16) نتائج الدقة والاحكام لجهاز (VEENESTRA)

الإحكام %	الدقة %	المتوسط ($\bar{A}$) (μCi)	القيم المرجعية المصححة A (μCi)	القيم المرجعية المصححة A (MBq)	الطاقة (keV)	النظير المستخدم
0.42	2.04	52.53	54.22	2.006	662	¹³⁷ Cs
0.19	5.10	51.14	58.10	2.150	81.356	¹³³ Ba
1.41	8.9	2.12	1.97	0.073	1.173,1.332	⁶⁰ Co

تُظهر نتائج اختبار جهاز VEENESTRA أن أدائه يتأثر بمجال طاقة النظير المشع، وهو سلوك متوقع

في أجهزة قياس النشاط الإشعاعي من نوع غرفة التآين.

بالنسبة للنظير ¹³⁷Cs، بلغت الدقة 2.04% وهي قيمة جيدة تعكس تقارباً مناسباً بين النشاط المقاس والقيمة

المرجعية، مما يدل على صحة المعايرة في مجال الطاقات المتوسطة. كما بلغ الإحكام 0.42%، وهي نسبة

منخفضة تشير إلى استقرار جيد وتكرارية عالية في القياسات.

أما في حالة ¹³³Ba فقد بلغت الدقة 5.10%، وهي أعلى من السيزيوم، ويُعزى ذلك إلى زيادة تأثير

الامتصاص والعوامل الهندسية عند الطاقات المنخفضة. إلا أن الإحكام كان منخفضاً جداً 0.19% مما يدل

على ثبات ممتاز في القراءات، ويشير إلى أن الانحراف المسجل ذو طبيعة منهجية وليس ناتجاً عن تذبذب

عشوائي.

في المقابل، سجل النظير ⁶⁰Co أعلى نسبة انحراف في الدقة بلغت 8.9%، وهو ما يعكس انخفاض توافق

القراءة مع القيمة المرجعية عند الطاقات العالية، نتيجة انخفاض الكفاءة النسبية للجهاز في هذا المجال

الطاقي. كما بلغ الإحكام 1.4%، وهي قيمة أعلى من النظائر الأخرى وتشير إلى زيادة طفيفة في التشتت

الإحصائي عند الطاقات المرتفعة، لكنها تبقى ضمن الحدود المقبولة عملياً.

وبشكل عام، يتمتع الجهاز بإحكام جيد في جميع الحالات، بينما تتأثر الدقة بمجال الطاقة، حيث تكون أفضل في الطاقات المتوسطة وتتناقص تدريجيًا عند الابتعاد عن نطاق المعايرة الأساسي.

المقارنة بين الأجهزة: تشير المقارنة إلى أن الفروق بين الأجهزة ليست جوهرية في نطاق الطاقات التشخيصية الشائعة، حيث بقيت قيم الدقة ضمن حدود مقبولة عمليًا، كما أن جميع الأجهزة أظهرت إحكامًا جيدًا. إلا أن الأداء يتأثر بوضوح عند الطاقات العالية، وهو سلوك مشترك بينها ويعكس الخصائص الفيزيائية لغرف التأين.

وعليه يمكن اعتبار الأجهزة الثلاثة مناسبة للاستخدام في القياسات الروتينية في الطب النووي، مع ضرورة أخذ تأثير الطاقة بعين الاعتبار عند إجراء قياسات لنظائر ذات طاقات مرتفعة. إن الأجهزة أظهرت سلوكًا طاقياً متشابهًا من حيث الدقة:

أفضل أداء عند الطاقات المتوسطة، يليه المنخفضة، وأضعف نسبيًا عند الطاقات العالية. بشكل عام، جميع الأجهزة أظهرت تكرارية مقبولة، مع تفوق نسبي لجهاز NPL من حيث أقل تشتت في القياسات.

4.2.2 نتائج اختبار الثباتية لأجهزة قياس النشاط الإشعاعي:

لضمان أن تكون قراءات جهاز قياس النشاط الإشعاعي ثابتة من يوم إلى يوم فإنه يستخدم مصدر مشع عمر النصف له طويل نسبيًا مثل السيزيوم ^{137}Cs أو الراديوم ^{226}Ra حيث يقاس في جهاز قياس النشاط بشكل روتيني قبل عملية القياس مع إجراء التصحيح اللازم من أجل تفكك المصدر المشع ويجب أن لا تتجاوز الثباتية المسجلة ($\pm 5\%$) عن القيمة المرجعية المسجلة عند إجراء اختبار الدقة الأولي والمصححة من أجل تفكك النظير ^{137}Cs . تسجل القراءات المأخوذة لعدة عناصر وتُقارن مع قراءات سابقة حيث ينجز هذا الاختبار بشكل يومي ويعطي قراءات قابلة للإعادة (التكرار).

تم وضع منبع السيزيوم في جهاز قياس النشاطية الإشعاعية ثم قيست النشاطية الإشعاعية لهذا النظير باستخدام ناخب نظير السيزيوم ثم على كل نواخب النظائر المشعة الأخرى الموجودة المستخدمة في القواعد اليومية ثم تسجل القيم المأخوذة الناتجة عن عملية القياس في سجل خاص وتقرن هذه القيم ع القيم الجديدة لتحديد فيما إذا كانت ثباتية الجهاز تقع حول القياسات المأخوذة في القواعد اليومية.

ثم يتم حساب القيمة المتوسطة للقياسات اليومية والانحراف المعياري ثم معامل الاختلاف الذي يتم حسابه من قسمة الانحراف المعياري على المتوسط الحسابي وتأخذ القيمة كنسبة مئوية ،تكون ثباتية الجهاز تقع ضمن الحدود المسموحة إذا كان معامل الاختلاف أقل من 1% كما هو موصى في المرجع [2].

(4.2.2.1) نتائج اختبار الثباتية لجهاز قياس النشاطية الإشعاعية (ATOMLAB300):

يبين الجدول (4-17) نتائج اختبار الثبات اليومي لجهاز ATOMLAB 300 باستخدام نظير السيزيوم ^{137}Cs ثم قيست النشاطية الإشعاعية لهذا النظير باستخدام ناخب نظير السيزيوم ثم على نواخب النظائر المشعة الأخرى التي تمثل مجالات طاقة مختلفة، وذلك على مدى خمسة أيام متتالية.

الجدول (4-17) نتائج الاختبارات اليومية باستخدام جهاز قياس النشاطية الإشعاعية (ATOMLAB300) :

معامل الاختلاف %	الانحراف المعياري μCi	وسطي القراءات μCi	يوم 5	يوم 4	يوم 3	يوم 2	يوم 1	النافذة
0.50	0.217	43.32	43.5	43.2	43.1	43.6	43.2	^{137}Cs
0.45	0.090	19.79	19.81	19.80	19.83	19.86	19.63	^{133}Ba
0.27	0.035	13.12	13.08	13.15	13.16	13.12	13.09	^{60}Co
0.33	0.291	88.1	88.2	88.3	88.4	87.7	87.9	$^{99\text{m}}\text{Tc}$

تظهر القيم المسجلة لنظير ^{137}Cs تقاربًا واضحًا بين القياسات اليومية، حيث بلغ المتوسط

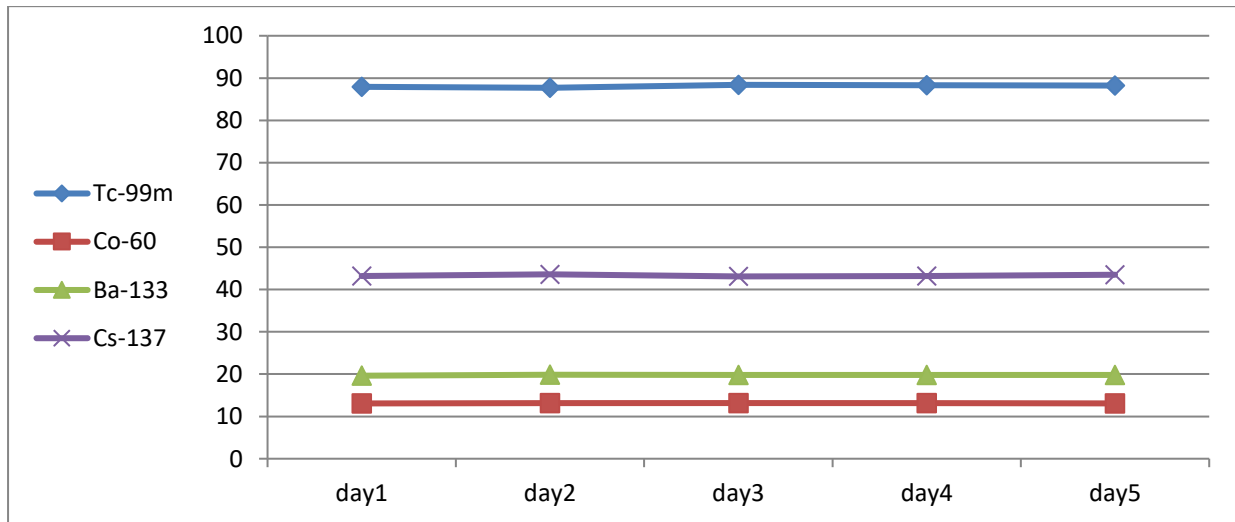
($43.32 \mu\text{Ci}$) والانحراف المعياري ($0.217 \mu\text{Ci}$)، مع معامل اختلاف قدره (0.50%). وتشير هذه

القيم إلى استقرار جيد في مجال الطاقات المتوسطة.

أما بالنسبة لنظير ^{133}Ba ، فقد بلغ المتوسط ($19.79 \mu\text{Ci}$) والانحراف المعياري ($0.090 \mu\text{Ci}$)، ومعامل الاختلاف (0.45%)، وهي قيم منخفضة تدل على تكرارية ممتازة وثبات ملحوظ في القياسات اليومية عند الطاقات المنخفضة.

في حالة ^{60}Co ، سجل الجهاز متوسطاً قدره ($13.12 \mu\text{Ci}$) بانحراف معياري ($0.035 \mu\text{Ci}$) ومعامل اختلاف (0.27%)، وهي أقل قيمة تشتت بين النظائر المدروسة، مما يعكس درجة عالية جداً من الاستقرار في القياس.

أما بالنسبة لنظير $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ، فقد بلغ المتوسط ($88.1 \mu\text{Ci}$) والانحراف المعياري ($0.291 \mu\text{Ci}$)، ومعامل الاختلاف (0.33%)، وهي أيضاً قيمة منخفضة تؤكد ثبات الجهاز في نطاق الطاقات التشخيصية الشائعة في الطب النووي. يوضح الشكل (4-1) التمثيل البياني لهذه القياسات، مما يسمح بتقييم الاستقرار الزمني لاستجابة الجهاز.



الشكل (4-1) الثباتية اليومية لجهاز (ATOMLAP300) باستخدام منبع (السيوم ^{137}Cs) وذلك على نافذة كل من

(^{137}Cs , ^{133}Ba , ^{57}Co , $^{99\text{m}}\text{Tc}$)

ومن خلال الشكل البياني، يُلاحظ أن جميع المنحنيات شبه أفقية دون وجود اتجاه تصاعدي أو تنازلي ملحوظ، مما يدل على عدم وجود انجراف (Drift) في استجابة الجهاز خلال فترة الاختبار. كما أن الفروقات

اليومية طفيفة جدًا وتقع ضمن الحدود المسموح بها، حيث إن جميع معاملات الاختلاف أقل من 1%، وهي الحدود المقبولة في اختبارات الثبات اليومية وفق توصيات ضبط الجودة.

تشير النتائج العددية والتمثيل البياني معًا إلى أن جهاز ATOMLAB 300 يتمتع بدرجة عالية من الثبات والاستقرار الزمني عبر مختلف المجالات الطاقية، مما يؤكد صلاحيته للاستخدام الروتيني في قياس النشاط الإشعاعي ضمن برامج ضبط الجودة في مراكز الطب النووي.

(4.2.2.2) نتائج الثباتية لجهاز قياس النشاطية الإشعاعية (ATOMLAB500) :

يبين الجدول (4-18) نتائج اختبار الثبات اليومي لجهاز ATOMLAB 500 باستخدام نظير

السيوم ^{137}Cs ثم قيست النشاطية الإشعاعية لهذا النظير باستخدام ناخب نظير السيزيوم ثم على نواخب النظائر المشعة الأخرى التي تمثل مجالات طاقية مختلفة، وذلك على مدى خمسة أيام متتالية.

الجدول (4-18) نتائج الاختبارات اليومية باستخدام جهاز قياس النشاطية الإشعاعية (ATOMLAB500) :

النافذة	يوم 1	يوم 2	يوم 3	يوم 4	يوم 5	وسطي القراءات (μCi)	الانحراف المعياري (μCi)	معامل الاختلاف %
^{137}Cs	54	53	54	54	54	53.8	0.447	0.83
^{133}Ba	26	26	26	26	26	26.0	0	0
^{57}Co	80	80	79	80	80	79.8	0.447	0.56
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	98	98	98	98	98	98.0	0	0

بالنسبة للنظير ^{137}Cs ، تراوحت القراءات بين $53-54 \mu\text{Ci}$ بمتوسط قدره $(53.8 \mu\text{Ci})$ ، وانحراف

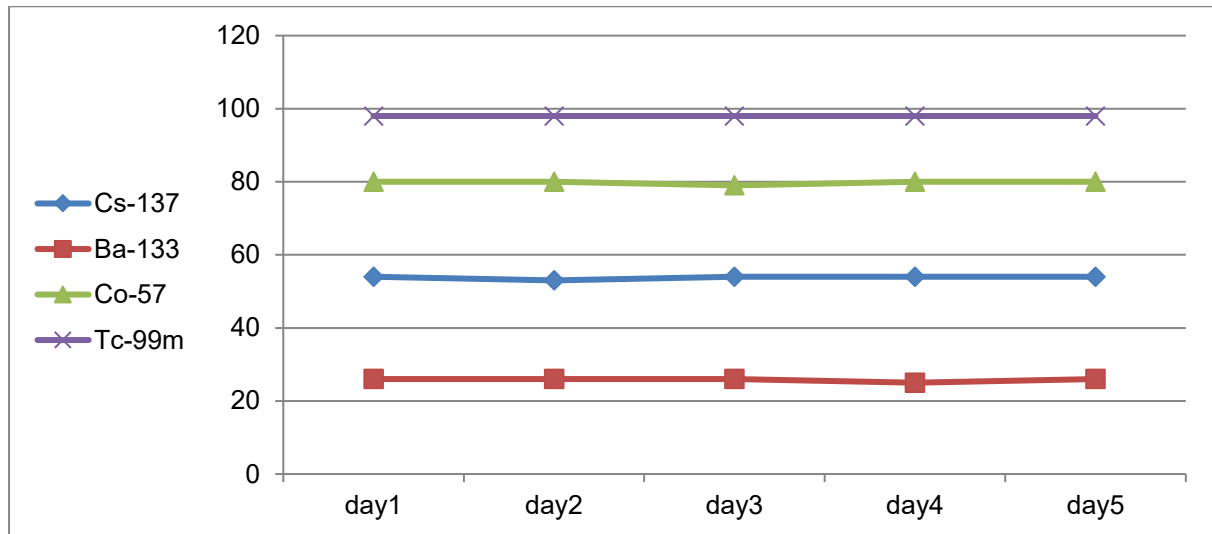
معياري $(0.447 \mu\text{Ci})$ ، ومعامل اختلاف (0.83%) . وتشير هذه القيم إلى استقرار جيد في القياسات مع

تذبذب طفيف يقع ضمن الحدود المقبولة في اختبارات الثبات اليومية.

أما بالنسبة للنظير ^{133}Ba ، فقد سجلت جميع القراءات القيمة نفسها ($26\mu\text{Ci}$) خلال الأيام الخمسة، مما أدى إلى انحراف معياري يساوي صفر ومعامل اختلاف (0%). ويعكس ذلك ثباتاً تاماً في القياس ضمن دقة عرض الجهاز.

وفي حالة ^{60}Co ، تراوحت القيم بين $79-80\mu\text{Ci}$ بمتوسط $79.8\mu\text{Ci}$ ، وانحراف معياري ($0.447\mu\text{Ci}$)، ومعامل اختلاف (0.56 %)، وهي قيمة منخفضة تدل على تكرارية جيدة واستقرار ملحوظ عند الطاقات العالية.

أما بالنسبة للنظير ^{99m}Tc ، فقد كانت جميع القراءات ($98\mu\text{Ci}$) دون أي تغير يُذكر، مما أدى إلى انحراف معياري صفري ومعامل اختلاف (0%)، وهو ما يدل على ثبات ممتاز في نطاق الطاقات التشخيصية الشائعة. يوضح الشكل (4-2) التمثيل البياني لهذه القياسات بهدف تقييم الاستقرار الزمني للجهاز.



الشكل (4-2) الثباتية اليومية لجهاز (ATOMLAP500) باستخدام منبع (السيوم ^{137}Cs) وذلك على نافذة كل

من (^{137}Cs , ^{133}Ba , ^{57}Co , ^{99m}Tc)

من خلال الشكل البياني، تظهر جميع المنحنيات أفقية تقريباً دون وجود اتجاه تصاعدي أو تنازلي، مما يشير إلى غياب ظاهرة الانجراف (Drift) في استجابة الجهاز خلال فترة الاختبار. كما أن جميع معاملات الاختلاف أقل من 1%، وهي ضمن الحدود الموصى بها في برامج ضبط الجودة اليومية.

تشير النتائج العددية والتمثيل البياني إلى أن جهاز ATOMLAB 500 يتمتع بدرجة عالية من الثبات والاستقرار عبر مختلف المجالات الطاقة، مما يؤكد ملاءمته للاستخدام الروتيني في قياس النشاط الإشعاعي ضمن مراكز الطب النووي.

(4.2.2.3) نتائج اختبار الثبات لجهاز قياس النشاط الإشعاعية (ATOMLAB100):

يبين الجدول (4-19) نتائج اختبار الثبات اليومي لجهاز ATOMLAB 100 باستخدام نظير السيزيوم ^{137}Cs ثم قيست النشاط الإشعاعية لهذا النظير باستخدام ناخب نظير السيزيوم ثم على نواخب النظائر المشعة الأخرى التي تمثل مجالات طاقة مختلفة، وذلك على مدى خمسة أيام متتالية.

الجدول (4-19) نتائج الاختبارات اليومية باستخدام جهاز قياس النشاط الإشعاعية (ATOMLAB100) :

النافذة	يوم 1	يوم 2	يوم 3	يوم 4	يوم 5	وسطي القراءات (μCi)	الانحراف المعياري (μCi)	معامل الاختلاف %
^{137}Cs	48.1	48.2	48.3	48.4	48.6	48.32	0.192	0.39
^{133}Ba	20.2	20.1	20.2	20.1	20.1	20.14	0.054	0.27
^{57}Co	81.8	81.9	81.8	81.8	81.9	81.84	0.054	0.66
^{99m}Tc	94.7	94.7	94.7	94.6	94.7	94.68	0.045	0.04
^{123}I	36	36	36	36	36	36.00	0	0

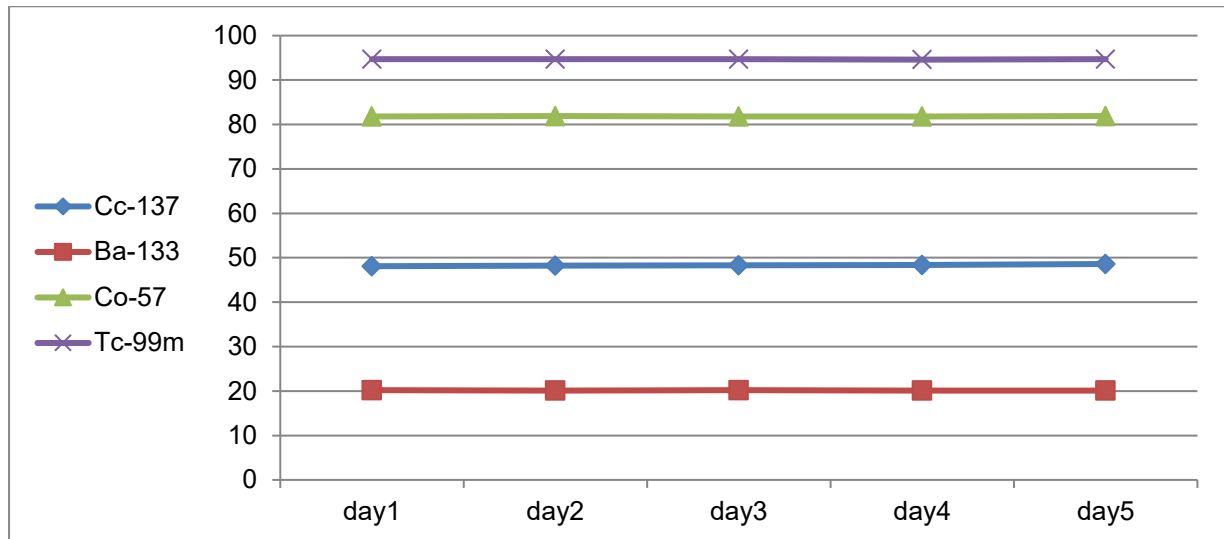
بالنسبة للنظير ^{137}Cs ، تراوحت القراءات بين μCi (48.1-48.6) بمتوسط قدره μCi (48.32) وانحراف معياري (μCi 0.192)، ومعامل اختلاف (0.39%). وتشير هذه القيم إلى درجة عالية من الثبات مع تذبذب محدود جدًا ضمن الحدود المقبولة في اختبارات الثبات اليومية.

أما بالنسبة للنظير ^{133}Ba ، فقد بلغ المتوسط (μCi 20.14) بانحراف معياري μCi (0.054) ومعامل اختلاف (0.27 %)، وهي قيم منخفضة تدل على استقرار ممتاز.

وفي حالة ^{57}Co ، بلغ المتوسط ($81.84 \mu\text{Ci}$) والانحراف المعياري ($0.054 \mu\text{Ci}$)، مع معامل اختلاف (0.66%)، وهو أعلى نسبياً من باقي النظائر لكنه ما يزال أقل من 1% ، مما يؤكد استقرار الجهاز حتى في مجال الطاقات العالية.

أما بالنسبة للنظير $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ، فقد سجل متوسطاً قدره ($94.68 \mu\text{Ci}$) بانحراف معياري ($0.045 \mu\text{Ci}$) ومعامل اختلاف (0.04%)، وهي قيمة منخفضة جداً تعكس دقة وثباتاً عاليين في نطاق الاستخدام السريري الشائع.

وفي حالة ^{123}I ، كانت القراءات ثابتة تماماً ($36 \mu\text{Ci}$) خلال الأيام الخمسة، مما أدى إلى انحراف معياري صفري ومعامل اختلاف (0%)، ويعكس ذلك ثباتاً تاماً ضمن دقة عرض الجهاز. يوضح الشكل (3-4) التمثيل البياني لهذه القياسات بهدف تقييم الاستقرار الزمني لاستجابة الجهاز



الشكل (3-4) الثباتية اليومية لجهاز (ATOMLAP100) باستخدام منبع (السيوم ^{137}Cs) وذلك على نافذة كل من

(^{137}Cs , ^{133}Ba , ^{57}Co , $^{99\text{m}}\text{Tc}$)

من خلال الشكل البياني، تلاحظ استقامة المنحنيات بشكل شبه أفقي دون وجود اتجاه تصاعدي أو تنازلي، مما يدل على غياب أي انجراف (Drift) في استجابة الجهاز خلال فترة القياس. كما أن جميع معاملات

الاختلاف أقل من 1%، وهي ضمن الحدود الموصى بها في اختبارات الثبات اليومية وفق معايير ضبط الجودة.

تشير النتائج العددية والتمثيل البياني إلى أن جهاز ATOMLAB 100 يتمتع بدرجة عالية جدًا من الثبات والاستقرار عبر مختلف المجالات الطاقة، ويظهر أداءً متميزًا خاصة في نطاق الطاقات التشخيصية الشائعة، مما يؤكد ملاءمته للاستخدام الروتيني في مراكز الطب النووي.

(4.2.2.4) نتائج الثباتية لجهاز قياس النشاط الإشعاعية ((VEENSTRA VDC404) :

يبين الجدول (4-20) نتائج الاختبارات اليومية لجهاز قياس النشاط الإشعاعي (VEENSTRA) باستخدام نظير السيزيوم ^{137}Cs ثم قيست النشاط الإشعاعية لهذا النظير باستخدام ناخب نظير السيزيوم ثم على نواخب النظائر المشعة الأخرى التي تمثل مجالات طاقة مختلفة خلال خمسة أيام متتالية، وذلك بهدف تقييم ثباتية الجهاز (Constancy Test) ضمن برنامج ضبط الجودة اليومي.

الجدول (4-20) نتائج الاختبارات اليومية باستخدام جهاز قياس النشاط الإشعاعية (VEENSTRA) (VDC404) :

النافذة	يوم 1	يوم 2	يوم 3	يوم 4	يوم 5	وسطي القراءات μCi	الانحراف المعياري μCi	معامل الاختلاف %
^{137}Cs	52.41	52.65	52.51	52.49	52.52	52.52	0.086	0.16
^{133}Ba	24.13	24.18	24.19	24.17	24.15	24.16	0.024	0.09
^{57}Co	78.95	78.73	78.84	78.78	78.75	78.81	0.089	0.11
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	96.59	96.52	96.46	96.54	96.62	96.55	0.062	0.06

تُظهر القيم المقاسة تقاربًا كبيرًا بين القراءات اليومية لكل نظير، حيث كانت التغيرات طفيفة جدًا حول القيمة الوسطية.

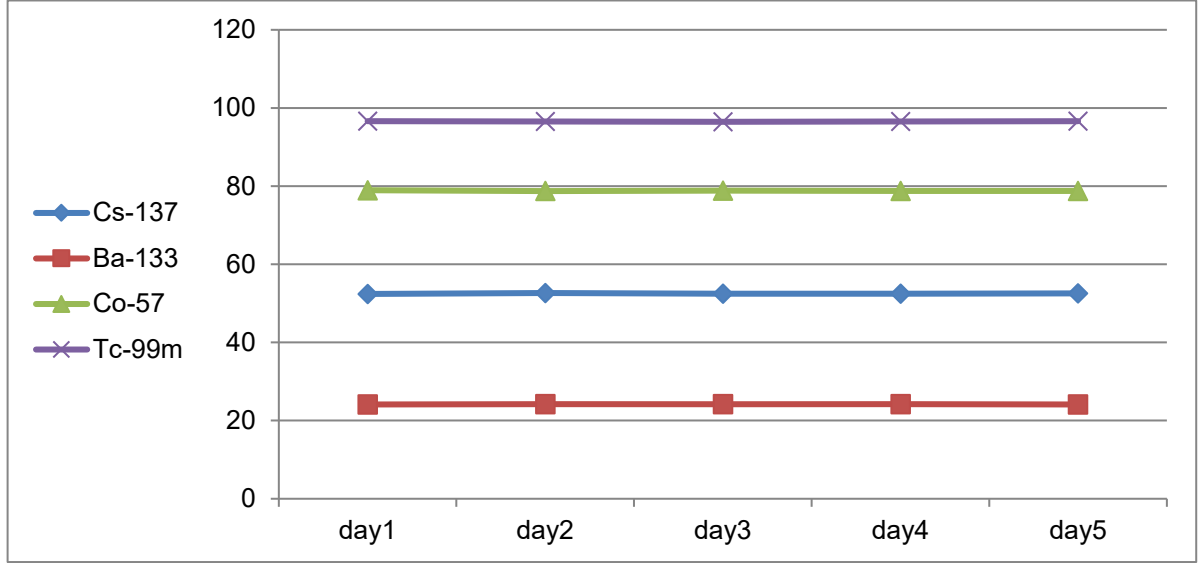
بالنسبة للنظير ^{137}Cs بلغ متوسط القراءات ($52.52 \mu\text{Ci}$) بانحراف معياري ($0.086 \mu\text{Ci}$) ومعامل اختلاف (0.16%) وتشير هذه القيم إلى درجة عالية من الثبات مع تذبذب محدود جدًا ضمن الحدود المقبولة في اختبارات الثبات اليومية.

أما بالنسبة للنظير ^{133}Ba بلغ متوسط القراءات ($24.16 \mu\text{Ci}$) بانحراف معياري ($0.024 \mu\text{Ci}$) ومعامل اختلاف (0.09%). وهي قيم منخفضة تدل على استقرار ممتاز.

وفي حالة ^{57}Co بلغ متوسط القراءات ($78.81 \mu\text{Ci}$) بانحراف معياري ($0.089 \mu\text{Ci}$) ومعامل اختلاف (0.11%). وتشير هذه القيم إلى درجة عالية من الثبات.

أما بالنسبة للنظير $^{99\text{m}}\text{Tc}$ بلغ متوسط القراءات ($96.55 \mu\text{Ci}$) بانحراف معياري ($0.062 \mu\text{Ci}$) ومعامل اختلاف (0.06%). وهي أيضًا قيمة منخفضة تؤكد ثبات الجهاز في نطاق الطاقات التشخيصية الشائعة في الطب النووي.

تُعد قيم الانحراف المعياري ومعامل الاختلاف منخفضة جدًا لجميع النظائر، ما يدل على استقرار القياسات وعدم وجود تذبذب ملحوظ في أداء الجهاز خلال فترة الاختبار. كما أن جميع معاملات الاختلاف أقل بكثير من 1% ، وهي ضمن الحدود المسموح بها في اختبارات الثبات اليومية لأجهزة قياس النشاط الإشعاعي وفق معايير ضبط الجودة المعتمدة. يوضح الشكل (4-4) التمثيل البياني لهذه القياسات بهدف تقييم الاستقرار الزمني للجهاز.



الشكل (4-4) الثباتية اليومية لجهاز (VEENSTRA) باستخدام منبع (السيزيوم ^{137}Cs) وذلك باستخدام

نافذة كل من ^{137}Cs , ^{133}Ba , ^{57}Co , $^{99\text{m}}\text{Tc}$

يُظهر الخط البياني تمثيلاً واضحاً لثبات القراءات عبر الأيام الخمسة، حيث تبدو الخطوط شبه أفقية مع ميل طفيف جداً لا يتجاوز حدود التذبذب الطبيعي للقياس الإحصائي. ويؤكد ذلك ما يلي:

عدم وجود اتجاه تصاعدي أو تنازلي منتظم يدل على انجراف (Drift) في استجابة الجهاز.

ثبات استجابة الجهاز لمصادر ذات طاقات مختلفة، ما يعكس استقرار كفاءة الكاشف واستقرار النظام الإلكتروني.

تقارب القيم اليومية حول المتوسط يدل على غياب تأثيرات بيئية ملحوظة مثل تغيرات درجة الحرارة أو تغيرات في الخلفية الإشعاعية.

(4.2.3) نتائج اختبار التبعية الهندسية لموضع المادة المشعة ضمن حجيرة التأين:

صمم هذا الاختبار من أجل إظهار أنه يمكن الحصول على القراءات التصحيحية بغض النظر عن الشكل الهندسي للحاوية أو حجم العينة المشعة .

النشاطية الإشعاعية المقاسة في جهاز معايير الجرعة الإشعاعية تختلف بالاعتماد على الحجم أو شكل الوعاء (فيال أو سيرنغ) وأيضا" مع موضع العينة المشعة ضمن الحجرة البئرية على ارتفاعات مختلفة هذا الاختلاف يجب أن يكون محددا" وتطبيق تصحيحات من أجل أي خطأ هندسي الذي يتجاوز أو يتخطى 10% [2] . يتم هذا الاختبار عند تركيب الجهاز وبعد إصلاحه.

تم اختبار التبعية الهندسية على جهاز قياس النشاطية الإشعاعية (NPL) وجهاز قياس النشاطية الإشعاعية (ATOMLAB300) حيث تم قياس نشاطية منبع السيزيوم ^{137}Cs ضمن حجيرة التأين بارتفاعات مختلفة محددة ، وذلك بوضعه ضمن الحامل البلاستيكي بثلاث مواضع أسفل الحامل ووسطه وأعلى . يبين الشكل (4-5) وضع منبع السيزيوم ^{137}Cs على ارتفاعات مختلفة ثم يتم طرح الخلفية الإشعاعية من قيم نشاطية المنبع وتسجل النتائج ثم نقارن موضع القياس الأفضل لموضع العينة المشعة من أجل الحصول على أفضل نتيجة لقياس الجرعة .



المنبع أعلى الحامل البلاستيكي المنبع وسط الحامل البلاستيكي المنبع أسفل الحامل البلاستيكي

الشكل (4-5) منبع السيزيوم على ارتفاعات مختلفة ضمن الحامل البلاستيكي

(4.2.3.1) نتائج التبعية الهندسية لجهاز قياس النشاطية الإشعاعية (NPL):

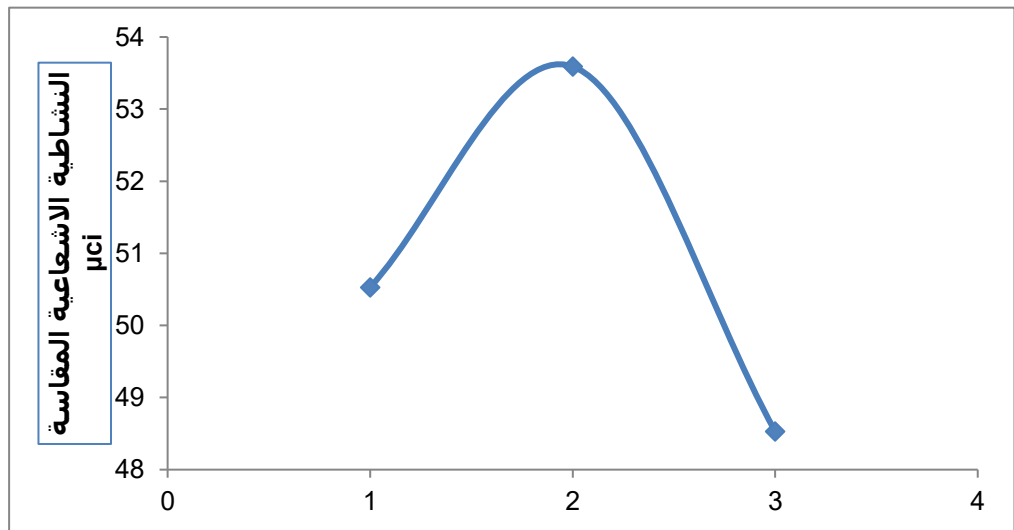
يبين الجدول (4-21) نتائج اختبار قياس نشاطية منبع السيزيوم بجهاز قياس النشاطية الإشعاعية (NPL)

بثلاث مواضع بعد طرح الخلفية الطبيعية $B_g = 0.026 \mu\text{Ci}$

نشاطية منبع السيزيوم بأعلى الحامل البلاستيكي ضمن حجرة التأين (μCi)	نشاطية منبع السيزيوم وسط الحامل البلاستيكي ضمن حجرة التأين (μCi)	نشاطية منبع السيزيوم بأسفل الحامل البلاستيكي ضمن حجرة التأين (μCi)	قراءات النشاطية لمنبع السيزيوم ^{137}Cs
48.55	53.59	50.54	R_1
48.57	53.61	50.51	R_2
48.47	53.62	50.52	R_3
48.49	53.56	50.54	R_4
48.54	53.59	50.53	R_5
48.52	53.59	50.53	R_{avg}

نجد أن قيم نشاطية منبع السيزيوم ^{137}Cs في وسط الحامل البلاستيكي ضمن حجرة التأين أعلى قيم

تليها قيم النشاطية في أسفل الحجرة تليها قيم النشاطية في الأعلى.



الشكل (4-6) منحنى التبعية الهندسية لجهاز قياس النشاطية الإشعاعية (NPL)

حيث (1) يشير للموضع في أسفل حجرة التأين و(2) يشير للموضع في وسط حجرة التأين ويشير (3) للموضع في أعلى حجرة التأين.

(4.2.3.2) نتائج اختبار التبعة الهندسية لجهاز قياس النشاطية الإشعاعية (ATOMLAB300)

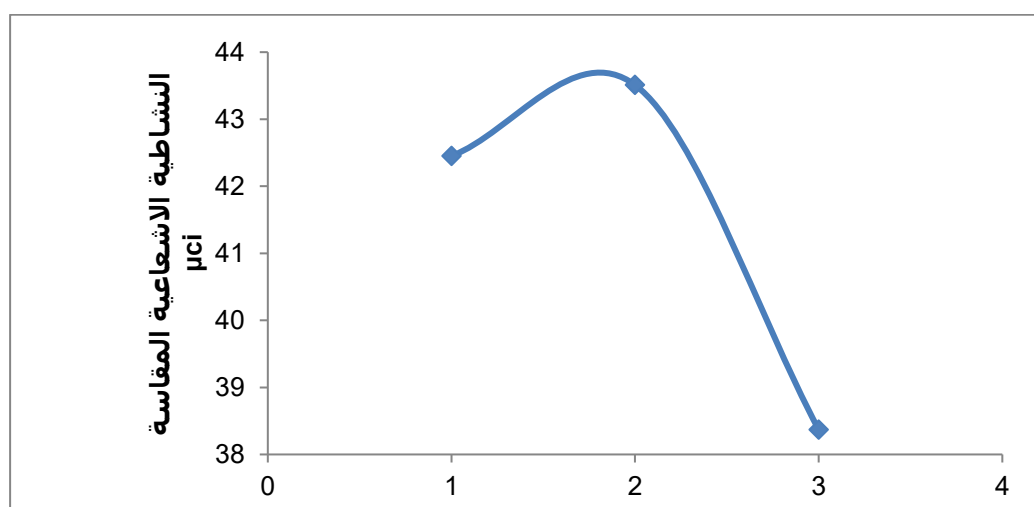
يبين الجدول (4-22) نتائج اختبار قياس نشاطية منبع السيزيوم بجهاز قياس النشاطية الإشعاعية

(ATOMLAB300) بثلاث مواضع بعد طرح الخلفية الطبيعية $Bg = 0.61 \mu Ci$

نشاطية منبع السيزيوم بأعلى الحامل البلاستيكي ضمن حجرة التأين (μCi)	نشاطية منبع السيزيوم في وسط الحامل البلاستيكي ضمن حجرة التأين (μCi)	نشاطية منبع السيزيوم بأسفل الحامل البلاستيكي ضمن حجرة التأين (μCi)	قراءات النشاطية لمنبع السيزيوم ^{137}Cs
38.19	43.59	42.39	R_1
38.49	43.19	42.29	R_2
38.89	43.39	42.69	R_3
38.29	43.79	42.29	R_4
37.99	43.59	42.59	R_5
38.37	43.51	42.45	R_{avg}

نجد أن قيم نشاطية منبع السيزيوم ^{137}Cs في وسط الحامل البلاستيكي ضمن حجرة التأين أعلى قيم

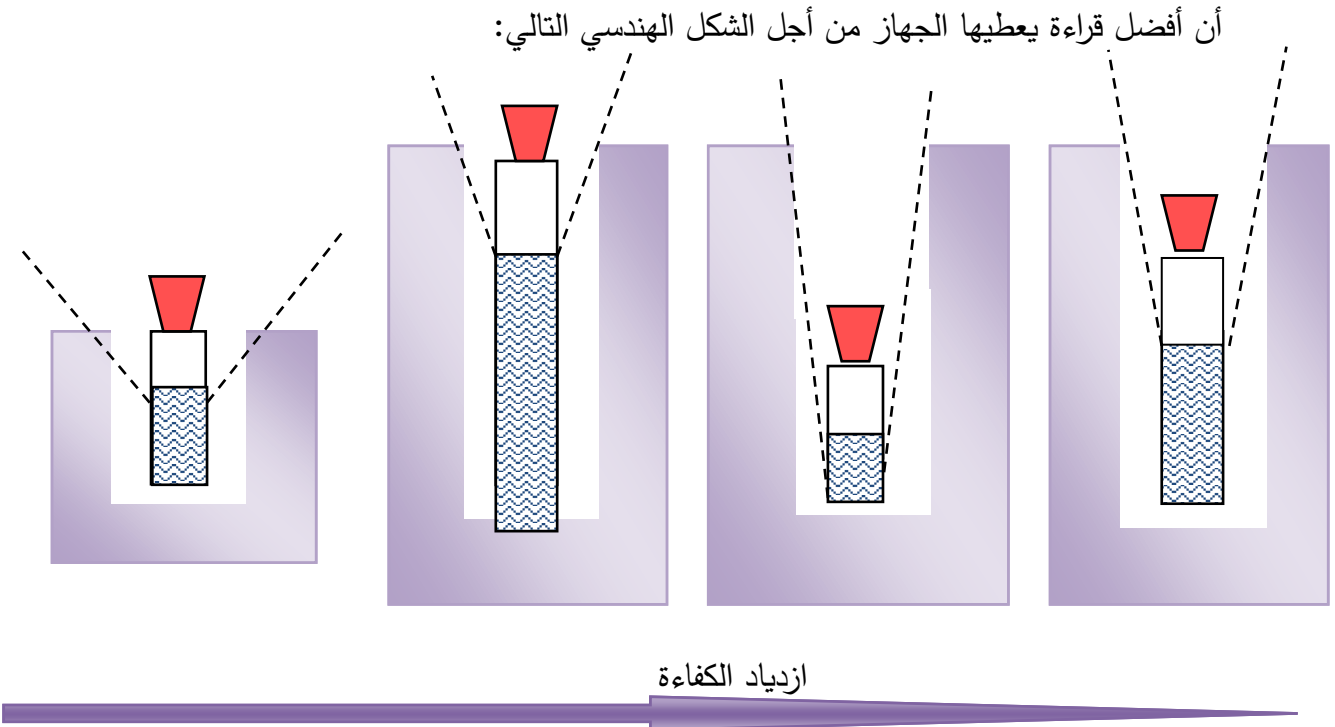
تليها قيم النشاطية في أسفل الحجرة تليها قيم النشاطية في الأعلى .



الشكل (4-7) منحنى التبعية الهندسية لجهاز قياس النشاط الإشعاعية (ATOMLAB300)

حيث (1) يشير للموضع في أسفل حجرة التأين و (2) يشير للموضع في وسط حجرة التأين ويشير (3) للموضع في أعلى حجرة التأين.

يتضح من الجدولين (4-21) و (4-22) والشكل (4-6) والشكل (4-7) أن التبعية الهندسية كانت جيدة للجهازين وأن أفضل قياس للنشاطية الإشعاعية للمنبع في وسط حجرة التأين.



الشكل (4-8) كفاءة القراءات بتغيير موضع المنبع المشع

كفاءة الجهاز : نسبة عدد الفوتونات التي تصل الكاشف إلى عدد الفوتونات التي يصدرها المنبع.

(4.2.4) نتائج اختبار الاستجابة الخطية:

تشير الخطية أن جهاز معاير الجرعة الإشعاعية يقرأ بدقة على كامل المجال من النشاطات المستخدمة في (التشخيص والمعالجة) للمرضى ، على سبيل المثال يجب أن يكون جهاز معاير الجرعة قادراً بشكل دقيق

على قياس 30 مايكرو كوري أو 1,1 ميغا بكرل من التكنشيوم ^{99m}Tc كما يقيس جرعة 300 ميلي كوري

أو 11.1 غيغا بكرل من اليود ^{131}I . بخطأ ($\pm 5\%$) ويتم هذا الإجراء بشكل فصلي.

يتم اختبار الخطية بطريقتين هما:

1. طريقة التفكك الزمني للمصدر المشع، وذلك باستخدام مصدر مشع من التكنشيوم ^{99m}Tc
 2. طريقة التدرج وذلك باستخدام أنابيب التوهين الرصاصية الخاصة بطاقة التكنشيوم ^{99m}Tc
- لعدم توفر عينات من نظائر مشعة تم استخدام عينة من التكنشيوم ^{99m}Tc واختبارها لضبط الخطية لجهاز VEENSTRA (VDC404) الموجود في العيادة المتطورة بساحة القصور حيث تم استخدام عينة من نظير التكنشيوم ^{99m}Tc ذو عمر النصف (6.07) ساعة موضوعة ضمن فيال زجاجي (851 mCi) حيث تم تحضيرها في مخبر حار تم أخذ عدة قياسات لمدة ثلاثة أيام وتبين من النتائج اختبار خطية التفكك.

جدول (23-4) يبين النشاط الإشعاعي المقاسة والمصححة

النشاطية الإشعاعية المقاسة	التاريخ والوقت	القيمة المرجعية mCi
851 mCi	10/11/2024 9:35	851
677 mCi	10/11/2024 11:35	852.86
538 mCi	10/11/2024 13:35	853.80
427 mCi	10/11/2024 15:35	853.67
60.2 mCi	11/11/2024 8:35	856.85
47.7 mCi	11/11/2024 10:35	855.29
37.9 mCi	11/11/2024 12:35	856.09
30 mCi	11/11/2024 14:35	853.67
25.3 μCi	13/11/2024 13:57	855.06

الانحراف المعياري 1.7

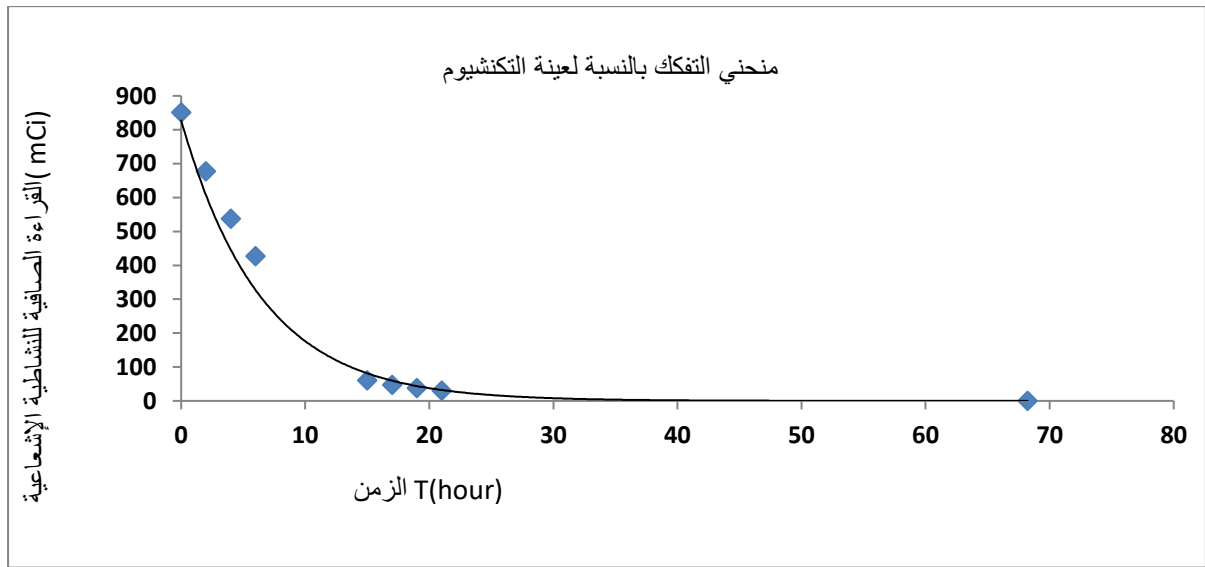
الوسطي 854.442 mCi

يبين الجدول (23-4) قيم النشاط الإشعاعي المقاس لعينة التكنشيوم ^{99m}Tc عند أزمنة متتالية، بدءًا من قيمة ابتدائية مقدارها (851 mCi)، مع تسجيل القيم المقاسة ومقارنتها بالقيم المرجعية المصححة حسب قانون التفكك

الإشعاعي. وقد بلغ المتوسط للقيم المرجعية (854.442 mCi) بانحراف معياري (1.7mCi)، ما يدل على تقارب كبير بين القيم النظرية والحسابية.

تُظهر القيم المقاسة تناقصًا تدريجيًا في النشاط الإشعاعي من (851 mCi) إلى قيم منخفضة جدًا (بالـ μCi)، وهو سلوك يتوافق مع قانون التفكك الأسّي للنظير $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ذي نصف العمر المعروف (حوالي 6 ساعات). ويُلاحظ أن القيم المصححة تبقى متقاربة ضمن هامش خطأ صغير، مما يشير إلى أن الجهاز يحافظ على استجابة خطية عبر مدى واسع من النشاط الإشعاعي.

يُظهر الشكل البياني (4-9) (منحنى التفكك) تطابقًا واضحًا بين النقاط التجريبية والمنحنى الأسّي النظري، حيث تتوزع القياسات حول المنحنى دون انحرافات منهجية ملحوظة. كما لا يُلاحظ وجود تشبع (Saturation) عند النشاط العالي أو فقدان حساسية عند النشاطات المنخفضة، وهو ما يؤكد قدرة الجهاز على قياس النشاط بدقة عبر المجال الديناميكي الكامل المستخدم في الاختبار.



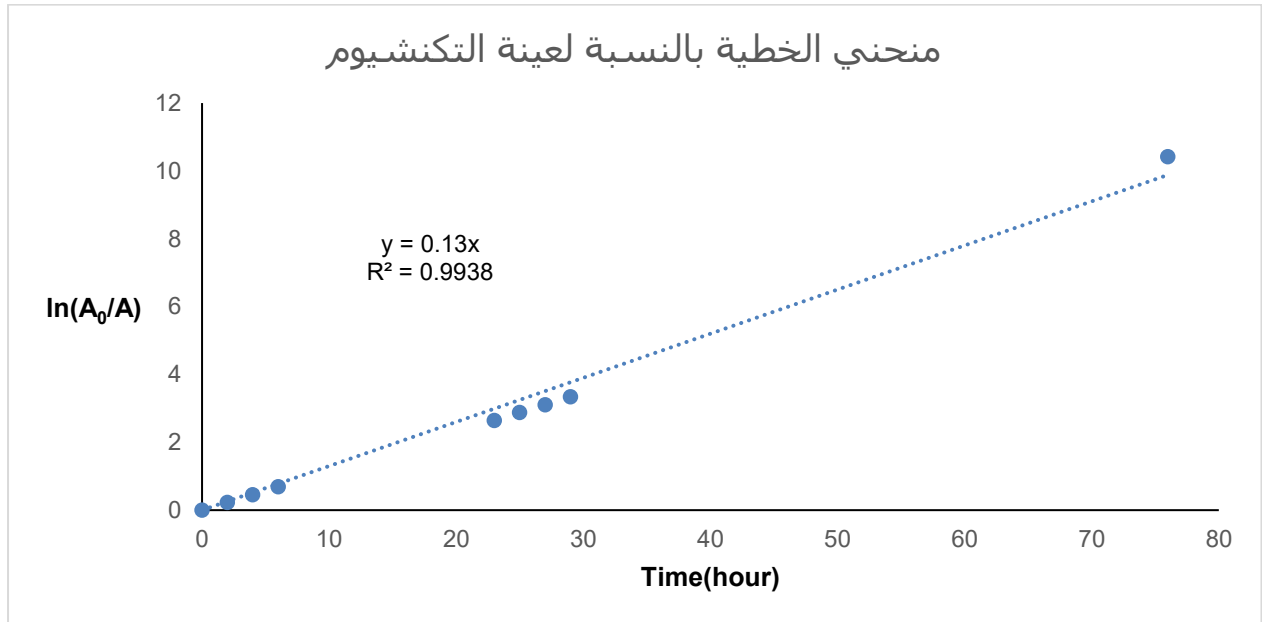
الشكل (4-9) يبين منحنى التفكك لنظير التكنشيوم $^{99\text{m}}\text{Tc}$

إن التوافق بين القيم المقاسة والمنحنى النظري يشير إلى تحقق شرط الخطية، أي أن استجابة الجهاز تتناسب طرديًا مع النشاط الإشعاعي عبر مدى واسع من القيم، دون وجود انحرافات كبيرة عند النشاطات العالية أو

المنخفضة. وبالتالي فإن نتائج الاختبار تؤكد أن الجهاز يحقق متطلبات اختبار الخطية ضمن الحدود المسموح بها في برامج ضبط الجودة.

تدل نتائج الجدول (4-23) والمنحنى البياني (4-9) معاً على أن جهاز قياس النشاط الإشعاعي يُظهر استجابة خطية جيدة عند استخدام عينة ^{99m}Tc ، مع تطابق واضح مع قانون التفكك الأسّي، مما يؤكد كفاءته في قياس النشاطات العالية والمنخفضة بدقة ضمن المجال السريري.

يوضح الشكل (4-10) الخطية للجهاز بالنسبة لنظير التكنشيوم ^{99m}Tc .



الشكل (4-10) يبين الخطية للجهاز بالنسبة لنظير التكنشيوم ^{99m}Tc .

يمثل الشكل (4-10) السلوك الفيزيائي لتفكك نظير التكنشيوم ^{99m}Tc حيث تتناقص الفعالية الإشعاعية مع الزمن نتيجة التحول التلقائي للنوى غير المستقرة إلى حالة أكثر استقراراً. إن خطية العلاقة بين $\ln(A_0/A)$ والزمن تؤكد أن التفكك يتم بمعدل ثابت ويخضع لقانون التفكك الإشعاعي $A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$. مما يدل على استقرار عملية القياس وصحة النتائج التجريبية.

حيث تم تحويل علاقة قانون التفكك الإشعاعي إلى صيغة خطية للحصول على تمثيل خطي بأخذ اللوغاريتم الطبيعي للطرفين $\ln(A_0/A) = \lambda t$ وهي معادلة ميل مستقيم حيث أن ميل المستقيم يمثل ثابت التفكك الإشعاعي λ والذي يمكن استخدامه لحساب عمر النصف وفق العلاقة: $T_{1/2} = \ln 2 / \lambda$ حيث أن عمر النصف من الخط البياني الشكل (4-10) $T_{1/2} = \ln 2 / 0.13$ وبالتالي فإن عمر النصف (5.33 ساعة) أقل من القيمة النظرية لنظير ^{99m}Tc (6 ساعات)، يمكن تفسير هذا الانحراف بعدة عوامل تجريبية، أهمها:

- أخطاء تسجيل الزمن أو عدم تحديد نقطة الصفر الزمنية بدقة.
- عدم تصحيح الخلفية الإشعاعية بدقة خاصة عند النشاطات المنخفضة.
- تأثير المجال الديناميكي للجهاز عند النشاطات العالية أو المنخفضة.
- ازدياد الخطأ الإحصائي عند النشاطات الصغيرة مما يؤدي إلى تشتت القياسات.
- تشتت النقاط في الانحدار الخطي مما يؤثر على قيمة ميل المستقيم.

وبالتالي فإن انخفاض العمر النصف المحسوب يعود غالباً إلى عوامل قياسية وتجريبية، وليس إلى تغير في الخصائص الفيزيائية للنظير.

تم إجراء انحدار خطي للبيانات فنتج خط مستقيم بمعامل ارتباط مرتفع: $R^2 = 0.9891$ مما يدل على توافق ممتاز مع قانون التفكك الإشعاعي.

يتضح من الخط البياني (4-10) أن الجهاز خطي على كامل مجال القياس (mCi و μCi) وذلك بملاحظة أن معامل الترابط بين البيانات المأخوذة قريب من الواحد وهذا يعني أن الاستجابة الخطية للنظام هي واحدة على كامل المجال من النشاطية الإشعاعية المستخدمة في الاختبار فاستجابة الجهاز هي نفسها على كامل مجال القياس وسيعطي قيمة صحيحة للنشاطية الإشعاعية عند قياس أي مصدر في هذا المجال. حيث أن لهذا المجال أهمية كبيرة، لأنه الأكثر استخداماً في الطب النووي.

الاستنتاجات:

1. نستنتج أن تطبيق قيم معاملات المعايرة الخاصة بكل جهاز لقياس النشاطية الإشعاعية هو أمر ضروري للحصول على قيم صحيحة لقياس نشاطية الجرعة حيث تبرز الدراسة أهمية المعايرة المنتظمة لمقاييس النشاط الإشعاعي في مراكز الطب النووي لضمان توافق القياسات مع المعايير الدولية وتحقيق أعلى مستوى من الموثوقية في التطبيقات الطبية.
2. توضح النتائج أن تطبيق برامج ضبط الجودة والمعايرة الدورية يسهم بشكل كبير في تحسين أداء الأجهزة وتقليل الأخطاء في قياس النشاط الإشعاعي. إن أهمية إجراء اختبارات ضبط الجودة بشكل دوري لضمان دقة قياس النشاط الإشعاعي، لما لذلك من تأثير مباشر على سلامة المرضى ودقة الجرعات التشخيصية والعلاجية.
3. إن جهاز قياس النشاطية الإشعاعية المرجعي (NPL) يملك دقة وإحكام أفضل من الأجهزة الأخرى ولهذا يفضل أن تتم معايرة الأجهزة المستخدمة في الطب النووي باستخدام الجهاز المرجعي .
4. أظهرت النتائج أن بعض الأجهزة كانت أكثر توافقاً مع الجهاز المرجعي بسبب حداثتها أو انتظام المعايرة أو ظروف التشغيل الجيدة.
5. ظهرت نتائج اختبارات ضبط الجودة للأجهزة المدروسة مستوى جيداً من الدقة والاحكام، حيث كانت معظم القيم ضمن الحدود المقبولة في معايير ضبط الجودة في الطب النووي.
6. بينت اختبارات الثباتية أن الأجهزة تمتلك استقراراً جيداً في القياسات اليومية، حيث كانت معاملات الاختلاف منخفضة أقل من 1% ، مما يدل على موثوقية الأجهزة في القياس الروتيني للنشاط الإشعاعي. ويتوجب إجراؤها بشكل يومي وتسجيل النتائج ض من سجل خاص للتأكد من ثباتية القياس.
7. إن أفضل قياس للنشاطية الإشعاعية للمنبع المشع في وسط حجيرة التأين البئرية لجهاز قياس النشاطية الإشعاعية.

8. أظهرت نتائج اختبار الخطية باستخدام عينة التكنيشيوم ^{99m}Tc توافقاً جيداً مع قانون التفتك

الإشعاعي، مع وجود انحراف بسيط يمكن تفسيره بعوامل قياسية وتجريبية مثل دقة الزمن والخلفية

الإشعاعية. حيث يستفاد من نتائج تجربة الخطية في التطبيقات العملية للتأكد من أن استجابة النظام

واحدة على كامل مجال القياس وسيعطي قيمة صحيحة للنشاطية الإشعاعية عند قياس أي مصدر في

هذا المجال.

9. بينت المقارنة بين الأجهزة أن جميعها تعمل ضمن المجال المقبول للاستخدام السريري، مع ملاحظة

فروق طفيفة في مستوى الاستقرار والدقة بين جهاز وآخر.

التوصيات:

1. يجب أن يتم الضرب بعامل المعايرة للعودة إلى القيم المرجعية للتأكد أن الجهاز يقيس بطريقة صحيحة،

لتلافي الأخطاء في قياس نشاطية الجرعة الإشعاعية الناتجة عن انحراف الجهاز عن القيمة العيارية.

2. يجب إجراء اختبارات ضبط الجودة الأساسية على أجهزة قياس النشاطية الإشعاعية الموجودة في مراكز

الطب النووي وذلك بإتباع إجراء معتمد في القطر من قبل الفيزيائي الطبي الذي يعمل في المركز.

3. يوصى بتطبيق برامج ضبط جودة أجهزة قياس النشاطية بشكل دوري وتسجيل النتائج ضمن سجلات خاصة.

4. نوصي بإزالة المنابع المشعة من المنطقة المحيطة بالجهاز حتى لا تؤثر على النتائج.

5. نقوم بتسجيل قراءة الخلفية الطبيعية لتكون مطروحة من النشاطيات المقاسة.

6. نوصي بالانتظار قليلاً بعد إزالة المنبع الذي تم قياسه من حجرة التأين حتى تصبح قيمة الخلفية بأدنى

قيمتها قبل قياس نشاطية منبع آخر.

7. بدء تسجيل القراءات بعد ساعتين على الأقل من تشغيل الجهاز.

8. لتتحقق من نقاء نظير التكنيشيوم المستخلص من المولدات والتأكد من عدم وجود شوائب إشعاعية مثل

المولبيديوم، لما لذلك من تأثير محتمل على دقة القياسات.

9. نوصي باستخدام طرق تدريع متطورة حول حجيرة القياس من أجل تقليل الخطأ الناتج عن التبعثر الخلفي للإشعاع ومن أجل الوقاية من أضرار التعرض خلال أخذ القياسات.
10. نوصي باستخدام فلتر نحاسي ووضعه ضمن البئر بالنسبة للنظائر المشعة التي تصدر جسيمات بيتا ذات طاقة عالية مترافقة مع أشعة غاما وذلك لأنها لاتفيدنا في عملية التشخيص.
11. نوصي بالحفاظ على مسافة بعيدة عن المنبع المشع قدر الامكان واستخدام ملاقط خاصة لحمل المنبع المشع واستخدام طرق التدريع الممكنة كتدريع حجيرة التأين و تدريع الحقنة.
12. تحديث وصيانة الأجهزة بشكل دوري وفق تعليمات الشركات المصنعة، لضمان الحفاظ على كفاءة عملها ودقة نتائجها.
13. تشجيع إجراء دراسات إضافية لمقارنة أداء أنواع مختلفة من مقاييس النشاط الإشعاعي في مراكز الطب النووي، مما يساهم في تحسين برامج ضبط الجودة وتطويرها.
14. ينبغي أن تجرى جميع اختبارات ضبط الجودة بعد التركيب التصليح أو نقل الجهاز.

- 1-TECHNICAL REPORTS SERIES no 454, Quality Assurance for Radioactivity Measurement in Nuclear Medicine. International Atomic Energy Agency VIENNA, (2006) .
- 2- A NATIONAL MEASUREMENT GOOD PRACTICE GUIDE NO.93 from NPL (2003).
- 3- SCHRADER H., Activity Measurements with Ionization chambers, Monographie BIPM -4 , Bureau international des poids et mesures (1997)
- 4- NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENT , A Handbook of radioactivity measurements procedures , 2nd edn , Rep . No 58 , NCRP Bethesda , MD (1985).
- 5- INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, Medical Electrical Equipment :radionuclide Calibrators- particular Methods for Describing Performance, IEC 61303(1994-10), IEC , Geneva (1994).
- 6- AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE , Calibration and Usage of 'Dose calibrator' Ionization Chamber for the Assay of Radionuclides , ANSI Std N42.13-1986, ANSI ,Washington, DC (1986).
- 7- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY , Applying Radiation Safety Standards in Nuclear Medicine , Safety Reports No.40,IAEA , Vienna (2005).
- 8- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement , ISO ,Geneva (1995).
- 9- BE` , M.M., et al., Table of Radionuclides , Monographie BIPM-5, Bureau international des poids et mesures, Sèvres (2004).
- 10- BIPM , IES , IFCC ,ISO, IUPAC, OIML .
Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement .
ISO, Geneva , Switzerland . ISBN 92-67-10188-9 , First Edition 1993, corrected and reprinted 1995 .
- 11- R J Kowalsky , R E Johnston , F H Chan .

Journal of Nuclear Medicine Technology 5, 35-40, 1977.

12- M Baker.

Calibration of the NPL secondary standard radionuclide calibrator for the new 10R Schott, Type 1+ vials.

Journal of Applied Radiation and Isotopes, (in press) , 2005.

13- D K Tyler, M J Woods.

Syringe calibration factors and volume correction factors for the NPL secondary standard radionuclide calibrator .

NPL Report CIRM 56, National Physical Laboratory, Teddington , 2002.

14- Cherry, S. R., Sorenson, J. A., & Phelps, M. E.

Physics in Nuclear Medicine, 4th ed., Elsevier, 2012

15- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS , INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY , INTERNATIONAL LABOUR ORGANISATION , OESD NUCLEAR ENERGY AGENCY , PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION , WORLD HEALTH ORGANIZATION, International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources , Safety Series No.115,IAEA , Vienna (1996).

16- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY , The Management System for Facilities and Activities, IAEA Safety Standards Series No. GS-R-3 , IAEA, Vienna (2006).

17- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Application of the Management System for Facilities and Activities, IAEA Safety Standards Series No. GS-G-3.1 , IAEA, Vienna (2006).

18-INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories , ISO/IEC 17025 , 1st edn , ISO, Geneva (1999).

19- Saha, G. B.

Fundamentals of Nuclear Pharmacy, 7th ed., Springer, 2018.

Abstract

This study presents a comprehensive evaluation of calibration and quality control procedures applied to several radioactivity measurement devices (activity meters) used in nuclear medicine for determining the activity of radiopharmaceuticals labeled with radioactive radionuclides prior to patient administration. The aim of this work is to ensure compliance of both the measuring devices and radiopharmaceuticals with the required technical and safety standards.

The study highlights the critical importance of preventive measures and standardized quality control protocols in monitoring the safety and effectiveness of radiopharmaceutical use. The increasing dependence on quality control programs necessitates their continuous updating and optimization, as the accuracy of these procedures constitutes the fundamental basis for the safe and effective clinical application of radiopharmaceuticals.

Calibration and quality control tests were performed using radioactive sources of different energy level, including medium energy (^{137}Cs), low energy (^{133}Ba), high energy (^{60}Co).

The obtained results were compared with measurement from a secondary standard radioactivity calibration laboratory accredited by the National Physical Laboratory (NPL) and traceable to a primary calibration standard.

Quality control tests recommended by the International Atomic Energy Agency (IAEA) were implemented, including accuracy and linearity tests conducted annually, constancy tests performed daily, geometrical dependence tests carried out at installation and after maintenance, and stability tests performed quarterly using a ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) source based on the decay method.

The application of device-specific calibration factors proved essential for achieving accurate radioactivity measurements. The reference activity meter (NPL) demonstrated superior accuracy and precision compared to the other using a reference instrument for calibration. The stability of the activity meters was found to

be variation of less than 1% , confirming the reliability of routine measurements when properly documented.

Furthermore, the results indicated that the highest measurement accuracy was achieved when the radioactivity source was positioned at the center of the ionization chamber. Incorporating linearity test results into routine clinical practice ensures a linear system response across the full measurement range, thereby providing accurate activity values for all radionuclide used in nuclear medicine applications.

Keywords: Calibration, Quality Control, Radioactivity, Nuclear Medicine, Ionization Chamber, Accuracy, Precision, Constancy, Geometrical dependence, Linearity.



Syrian Atomic Energy



Damascus University

Calibration and quality control of radioactivity meters and comparison of the accuracy of radioactivity meters in nuclear medicine centers in the country

Research prepared to obtain a master's degree in radiation protection and the
safety and security of radioactive sources

Prepared by:

Walaa Alfakeer

Supervised by:

Dr. Ali Alkhatib

Supervised by:

Dr. Anas Ismail