



الجمهورية العربية السورية  
هيئة الطاقة الذرية  
دمشق ص.ب.6091

تقرير عن دراسة علمية مخبرية  
قسم الوقاية والأمان

## توصيف نوعيات الأشعة المستخدمة في الأشعة السينية التشخيصية

الدكتور ممدوح برو  
الفيزيائية ميساء الزحيلي  
الفيزيائي محمد الأحمد

## توصيف نوعيات الأشعة المستخدمة في الأشعة السينية التشخيصية

د. ممدوح برو، ميساء الزحيلي، محمد الأحمد

دائرة المعايرة الإشعاعية، قسم الوقاية و الأمان، هيئة الطاقة الذرية

### مستخلص:

تهدف هذه الدراسة إلى ضبط الحزم الإشعاعية الناتجة عن أنابيب الأشعة السينية في المخبر الوطني للقياسات الإشعاعية وذلك في مجال التشخيص الإشعاعي (الرادبيولوجي والماموغرافي) وفقاً للتوصيات الواردة في البروتوكول الصادر عن الوكالة الدولية للطاقة الذرية TRS-457، بالإضافة إلى إنشاء النوعيات الإشعاعية المختلفة والمستخدمه في كل من مجالي التشخيص بالأشعة السينية المذكورين وهي: RQA، RQR، RQT للرادبيولوجي و RQA-M، RQR-M للماموغرافي.

**الكلمات المفتاح:** النوعية الإشعاعية، سماكة نصف القيمة HVL، معامل التجانس للحزمة الإشعاعية.

## **Characterization of radiation qualities used in diagnostic X-ray**

Mamdouh Bero, Maisa Zahili, Mohammad Al Ahmad

*Radiation Calibration Division, Protection and Safety Department, Syrian Atomic Energy Commission*

### **Abstract:**

This study aims to adjust the radiation beams emitted from X-ray tubes installed at the National Radiation Metrology Laboratory in the field of diagnostic radiology (radiology and mammography) according to the IAEA protocol code number TRS 457, the second goal of this study is to establish various radiation qualities used for diagnostic radiology applications: RQR, RQA and RQT and the radiation qualities related to mammography applications: RQA-M and RQR-M.

**Key Words:** Radiation Quality, Half Value Layer, Radiation beam homogeneity coefficient.

## المحتويات

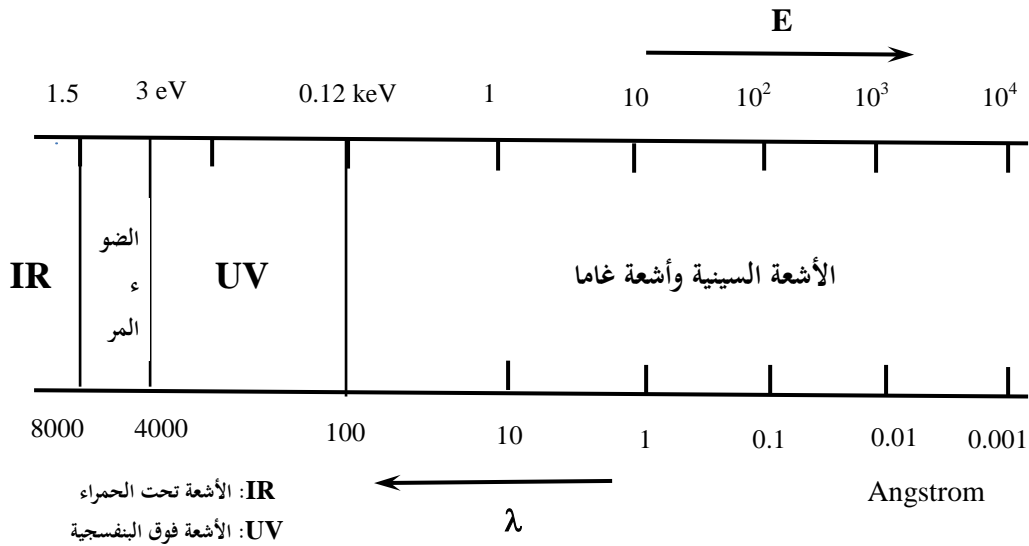
ص	الفصل الأول: الأشعة السينية
5	1. مقدمة عن الأشعة السينية: ماهيتها، آلية توليدها
8	2. خصائص طيف الأشعة السينية والعوامل المؤثرة فيه
	<b>الفصل الثاني: الأشعة السينية في التطبيقات الطبية</b>
10	1. أهم التطبيقات الطبية للأشعة السينية
10	2. لمحة عن التعرضات الإشعاعية للمرضى من التطبيقات الطبية المختلفة
11	3. ما هي الحاجة لقياس الجرعات الإشعاعية في المجال التشخيصي للأشعة السينية
12	4. المخاطر العيادية الثانوية ودورها في مجال التشخيص الإشعاعي
12	5. إنشاء النوعيات الإشعاعية للأشعة السينية المستخدمة في مجال التشخيص وفق البروتوكول TRS457
13	6. الأدوات والتجهيزات المستخدمة في العمل التجريبي
	<b>الفصل الثالث: القياسات التجريبية ونتائجها</b>
14	1. تصميم التجهيزات المرافقة لأنبوب الأشعة السينية
15	2. ضبط التجهيزات المستخدمة في القياسات
	3. توصيف العمل التجريبي
10	3.1. الطريقة التقنية المتبعة في قياس الخرج الإشعاعي الناتج عن حزمة أشعة سينية
16	3.2. تحديد سماكات الفلاتر المضافة للحزم الإشعاعية RQR
17	3.3. تحديد سماكات الفلاتر المضافة للنوعيات الإشعاعية RQA
17	3.4. تحديد سماكات الفلاتر المضافة للنوعيات الإشعاعية RQT
18	3.5. الفلاتر المضافة للنوعيات الإشعاعية RQR-M
18	3.6. الفلاتر المضافة للنوعيات الإشعاعية RQA-M
18	3.7. الطريقة التقنية المتبعة في تحديد سماكة النصف تجريبياً
20	3.8. النتائج التجريبية الخاصة بإنشاء النوعيات الإشعاعية RQR
24	3.9. النتائج التجريبية الخاصة بإنشاء النوعيات الإشعاعية RQA
27	3.10. النتائج التجريبية الخاصة بإنشاء النوعيات الإشعاعية RQT
29	3.11. النتائج التجريبية الخاصة بإنشاء النوعيات الإشعاعية RQR-M
31	3.12. النتائج التجريبية الخاصة بإنشاء النوعيات الإشعاعية RQA-M
32	4. مناقشة النتائج
33	5. الخلاصة والتوصيات
34	كلمة شكر
34	المراجع

## الأشعة السينية

### 1. مقدمة عن الأشعة السينية: ماهيتها، آلية توليدها:

#### 1.1. مقدمة:

احتفل العالم في عام 1995 م بالذكرى المئوية لاكتشاف الأشعة السينية من قبل العالم الألماني رونتجن، وكان لهذا الاكتشاف أثر كبير على حياة الإنسان في مختلف النواحي الطبية والصناعية والعلمية. تعتبر الأشعة السينية نوعاً من أنواع الأشعة الكهرومغناطيسية غير المرئية ذات الطبيعة المؤينة لذرات المواد الحية وغير الحية، حيث أن لها نفس طبيعة الضوء المرئي ولكن مع طول موجي أقصر بكثير حيث يتراوح الطول الموجي لها بين 0.5 و 2.5 أنغستروم بينما الطول الموجي للضوء المرئي يقع بين 4000 و 8000 أنغستروم، مما يجعلها تمتلك مقدرة كبيرة على اختراق الأجسام . يبين الشكل (1) موقع الأشعة السينية ضمن مخطط طيف الأشعة الكهرومغناطيسية.



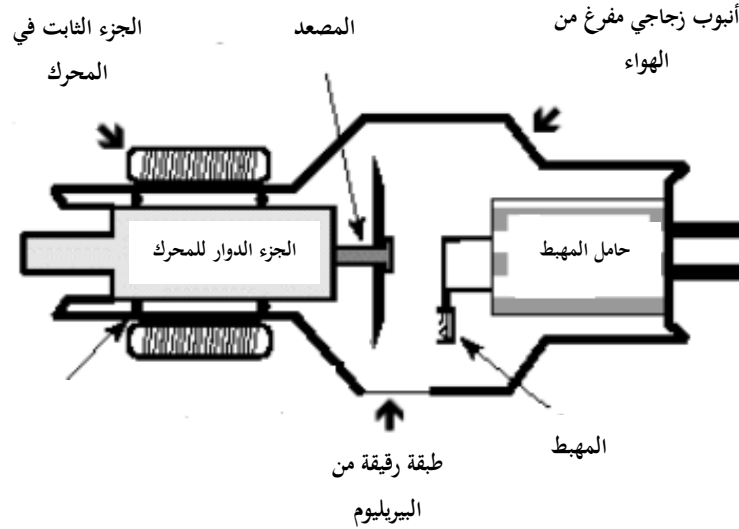
الشكل (1): مخطط طيف الأشعة الكهرومغناطيسية

#### 1.2. آلية توليد الأشعة السينية:

يتكون جهاز توليد الأشعة السينية بشكل أساسي من أنبوب توليد الأشعة، لوحة التحكم الأساسية، مولد الجهد العالي ونظام التبريد. أنابيب الأشعة السينية المستخدمة هي عبارة عن أنبوب زجاجي محكم الإغلاق ومفرغ من الهواء ويوجد فيه فتحة مغلقة بطبقة رقيقة من البيريليوم تسمح بانبثاق الأشعة السينية (الشكل 2). يوجد داخل أنبوب الأشعة السينية ما يلي:

- **المهبط:** يتم اختياره من مادة ذات درجة انصهار عالية حيث يطبق عليه تيار من مرتبة 3 حتى 8 أمبير وتوتر حوالي 20 فولط بحيث تصل درجة حرارة المهبط إلى مرحلة يمكن معها جعل الإلكترونات السطحية للمعدن أقل ارتباطاً بذرتها.

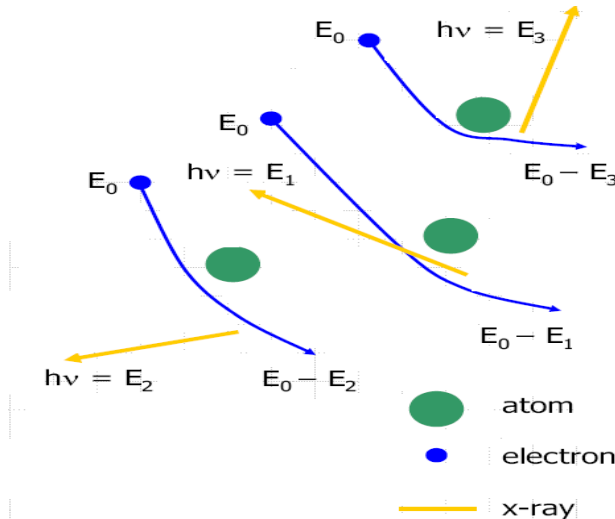
- **المصعد:** ويدعى مادة الهدف حيث ينبغي أن يكون ذو عدد ذري عالي، وعادةً ما يستخدم التنغستن في التطبيقات الصناعية وفي مجال الراديولوجي ويستخدم الموليبيدينوم أو الروديوم في أجهزة تشخيص الثدي (الماموغرام).
- **أنابيب التبريد:** والتي تعمل على تبريد مادة المصعد باستخدام الماء النقي.



**الشكل (2):** يبين الأجزاء الأساسية في مولد الأشعة السينية

تتولد الأشعة السينية نتيجة تطبيق فرق جهد عالي بين المهبط والمصعد بحيث يتم توجيه وتسريع الإلكترونات الصادرة عن المهبط بعد تسخينه بحيث ترتطم بشدة بالمعدن الهدف وتدعى المساحة من مادة الهدف والتي ترتطم بها الإلكترونات المسرعة بالبقعة المحرقة 'Focal Spot'. يذكر هنا أن 99% من طاقة الاصطدام ينتج عنها حرارة ينبغي التخلص منها من خلال نظام التبريد إما بالماء أو الزيت، و 1% هو المرادود الذي ينتج عنه طيف الأشعة السينية والذي يتكون من مركبتين أساسيتين هما الأشعة السينية الانكباحية والأشعة السينية المميزة [1].

**الأشعة السينية الانكباحية:**

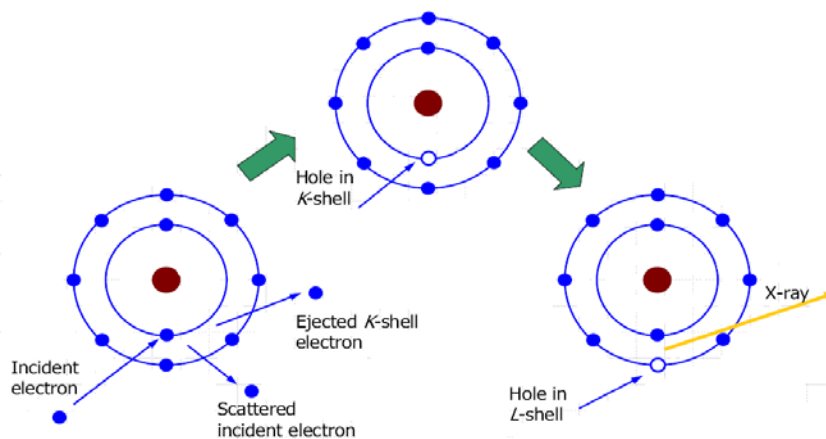


**الشكل (3):** يبين كيف تتولد الأشعة السينية الانكباحية.

تنتج عن تفاعل كولون بين الإلكترونات المسرعة ونواة المادة الهدف، وخلال هذا التفاعل يتم كبح الإلكترونات نتيجة وجود الحقل الكهربائي للنواة فتفقد جزءاً من طاقتها على شكل فوتونات تشكل في النهاية طيفاً مستمراً ذو مجال طاقي يبدأ من الصفر حتى قيمة تعادل طاقة الإلكترونات المسرعة، يبين الشكل (3) توضيحاً لعملية انبثاق الفوتون الانكباحي.

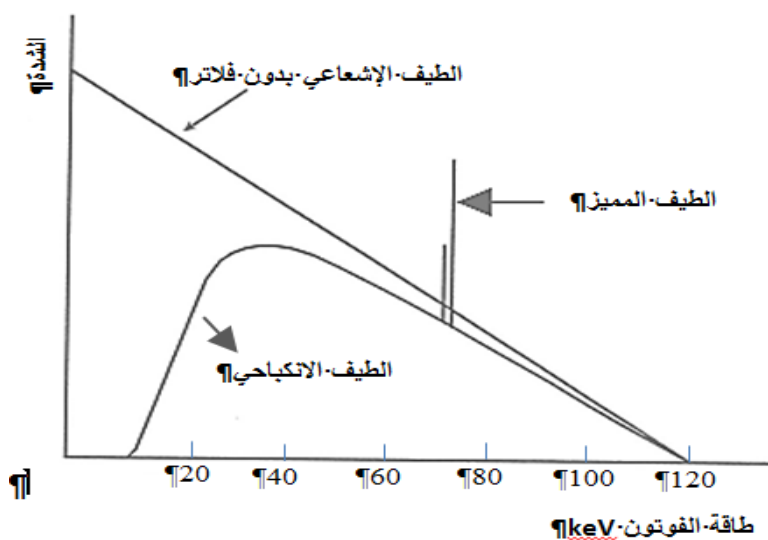
#### الأشعة السينية المميزة:

تنتج من التفاعل بين الإلكترونات المسرعة والإلكترونات المدارية لذرات المادة الهدف حيث يقوم الإلكترون المسرع بتأيين الذرة، وذلك بإعطاء أحد الإلكترونات الذرية الطاقة الكافية لمغادرة الذرة، يتشكل فراغ في الطبقة التي يتم نزع الإلكترون منها، وتقوم الإلكترونات من الطبقات الأعلى بملء هذا الفراغ مصدرة الخطوط الطيفية المميزة على شكل سلاسل تدعى K، L، M، . . . يبين الشكل (4) توضيحاً لعملية انبثاق فوتون الأشعة السينية المميزة أو إلكترون أوجر.



الشكل (4): يبين كيفية توليد فوتونات الأشعة السينية المميزة

نستنتج مما سبق أن طيف الأشعة السينية هو طيف مركب من أشعة أنكباحية وأشعة مميزة الشكل (5) [1].



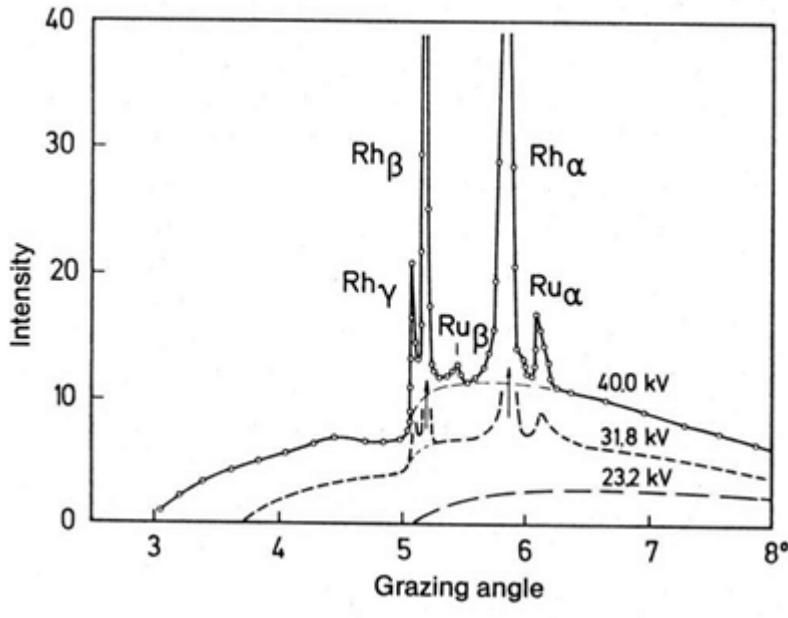
الشكل (5): يبين الطيف الكامل للأشعة السينية

## 2. خصائص طيف الأشعة السينية والعوامل المؤثرة فيه:

تعتبر عملية قياس طيف الأشعة السينية من الأمور المعقدة وتحتاج إلى تقنيات خاصة، لذا يمكن عملياً الاعتماد على طبقة نصف القيمة HVL مترافقة مع قيمة الجهد المطبق على أنبوب الأشعة السينية لتحديد نوعية الحزمة وذلك بالنسبة لمولدات الأشعة السينية التي لا يتجاوز الجهد المطبق فيها عن 300 كيلو فولت، وكما هو معروف فإن طبقة نصف القيمة من مادة معينة هي السماكة اللازمة من هذه المادة لتخفيض شدة الأشعة إلى نصف قيمتها.

يتأثر طيف وشدة الأشعة السينية بعدة عوامل هي:

- قيمة الجهد المطبق على الأنبوب: بزيادة الجهد المطبق على الأنبوب تزداد قمة الطاقة للطيف وهذا يعني زيادة في كمية الأشعة المتولدة [2] وبالتالي يزداد التعرض الإشعاعي، ونبين هنا أن الخرج الإشعاعي يتناسب مع مربع قمة الكيلو فولت kVp والشكل (6) يبين ذلك.

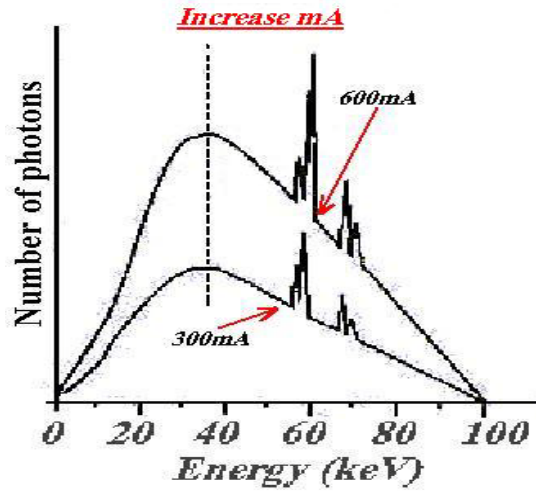


**الشكل (6):** طيف الأشعة السينية لأنود مصنوع من الروديوم Rhodium المطعم بالروتينيوم Ruthenium . يعرض الشكل الشدة الإشعاعية كتابع لزاوية سطح الكاشف (grazing angle)، والتي تتناسب مع طول الموجة وكذلك تزداد الخطوط المميزة وضوحاً مع إزدياد فولتية الأشعة السينية.

### قيمة التيار المطبق على أنبوب الأشعة السينية:

إن العلاقة بين قيمة التيار المطبق على أنبوب الأشعة السينية وكمية الإشعاع الناتج هي علاقة طردية وذلك مع تثبيت باقي البارامترات الشكل (7).





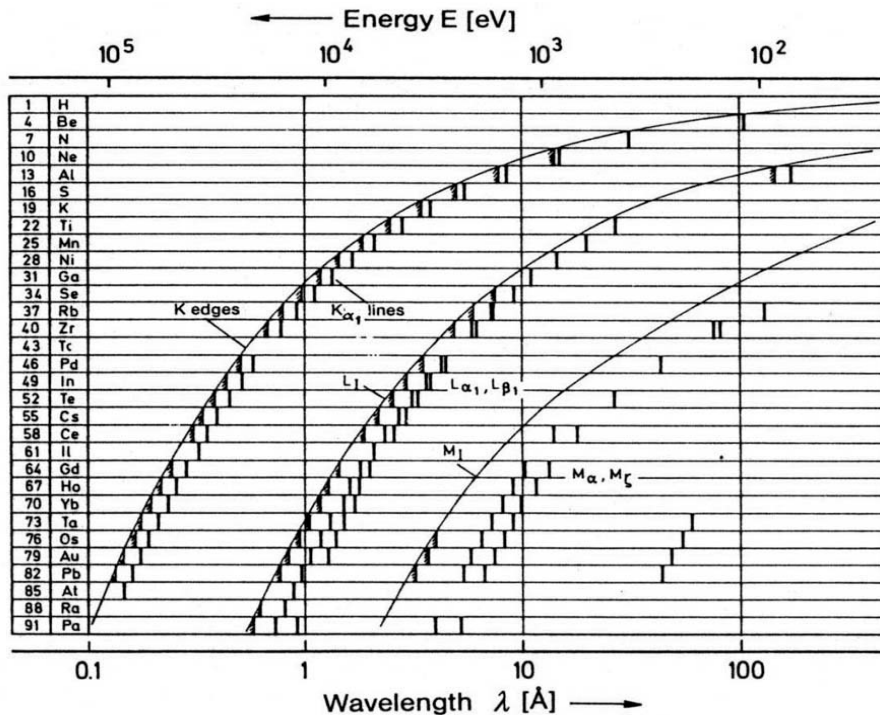
الشكل (7): العلاقة بين قيمة التيار المطبق على أنبوب الأشعة السينية وكمية الإشعاع الناتج

### سماعة المرشحات (الفلتر) المضافة Added Filtration:

إن وظيفة المرشحات المضافة هو امتصاص الفوتونات المنخفضة الطاقة التي لا جدوى من وجودها ضمن طيف الأشعة السينية في تطبيقات التشخيص الإشعاعي، وبالتالي زيادة سماكة المرشح يعني زيادة الطاقة الفعالة للطيف أي مقدرة اختراق أعلى وبذلك تزداد قيمة HVL، وهذا ما يبينه الشكل (5) المدرج سابقاً حيث أنه بدون مرشحات سيتضمن طيف الأشعة السينية كل الطاقات من الصفر حتى الطاقة الأعظمية الموافقة للجهد المطبق.

### نوع مادة الهدف:

نظراً لاختلاف السويات الطاقية بين عنصر و آخر ، فإن طاقات الخطوط الطيفية المميزة تتباين من عنصر لآخر لمادة الهدف، فمع ازدياد العدد الذري تزداد كمية أشعة الكبح من جهة، وتزداد القمم الخاصة بالأشعة المميزة مما يعني زيادة في الطاقة الفعالة لحزمة الأشعة الشكل (8)[3].



الشكل (8):المواقع الطيفية لخطوط الأشعة السينية المميزة لعناصر من مواد مختلفة.

## الأشعة السينية في التطبيقات الطبية

### 1. أهم التطبيقات الطبية للأشعة السينية:

ساهمت الأشعة السينية وما تزال في التشخيص والعلاج لكثير من الأمراض وبهذا فإن الأشعة السينية تساعد في تحسين صحة البشر في مختلف أنحاء العالم. لقد استفادت أنظمة التصوير والتشخيص من تطور التكنولوجيا حيث تطورت هذه الأنظمة من الوحدات البسيطة المعدة لتصوير حالات تشريحية خاصة إلى أنظمة بإمكانها إظهار كامل الجسم البشري والحصول على معلومات تتعلق بوظائف أعضاء معينة إضافةً إلى معلومات عن العمليات الكيميائية التي تحدث في الأعضاء والنسج وقد تم هذا كله من خلال التطور الهائل في عالم التكنولوجيا الرقمية.

نبين فيما يأتي أهم أجهزة وأنظمة الأشعة السينية المستخدمة في المجال الطبي [4]:

- جهاز التصوير البسيط: ويستخدم جهاز أشعة سينية مع حزمة ثابتة وتعتمد تقنية التصوير هذه على اختراق الأشعة لجسم الإنسان وعلى التفاوت في الكثافة للأعضاء المختلفة، حيث تسقط الأشعة النافذة من الجسم على لوحة متألفة تولد فوتونات تسقط بدورها على فلم تصوير والذي سيظهر لنا بدوره صورة ثنائية البعد يمكن الاستفادة منها بشكل أساسي في حالات كسور العظام مثل عظام الأطراف ولتصوير الرئتين.
- جهاز التنظير: يسمح بتصوير أي لجسم المريض من خلال استخدام وسائل مختلفة من أجل إجراء تصوير الأعضاء أثناء قيامها بوظائفها وهنا تحتاج هذه التقنية لجهاز تقوية للصورة التي تظهر في النهاية على شاشة تلفزيونية، كما يمكن أخذ لقطات ثابتة يمكن الاحتفاظ بها إلكترونياً، يستخدم التنظير في حالات طبية خاصة مثل الحالات العلاجية للقلب.
- جهاز التصوير الطبقي المحوسب: تستخدم هذه التقنية حزمة دوارة من الأشعة السينية مع كواشف دوارة معها على التوازي، حيث يقوم جهاز الحاسب الموصول معه بإعادة بناء الصور لنحصل أخيراً على صورة ثلاثية الأبعاد، كما يمكن الحصول على صور مقطعية لأي جزء من جسم الإنسان مما يعطي تشخيصاً أكثر دقة ووضوح.
- التصوير البسيط المحوسب: وفيه تم استبدال الفلم الكلاسيكي بصفحة تخزين فوسفورية.
- التصوير الرقمي المباشر: وفيه تستخدم شبكة كواشف فعالة يتم تحويل الإشارة الناتجة منها إلى إشارات رقمية.
- جهاز التنظير المحوسب: وهو جهاز مطور عن الأجهزة العادية حيث تم الاستفادة من التكنولوجيا الرقمية لتطوير هذا النظام، وأصبح مستخدماً فيما يدعى الأشعة السينية التدخلية وهنا يترافق التصوير بالأشعة السنية مع العمليات الجراحية لتحقيق دقة أعلى في العمل الجراحي.
- جهاز الماموغرام: ويستخدم في الحالات التشخيصية للثدي.

## 2. لمحة عن التعرضات الإشعاعية للمرضى من التطبيقات الطبية المختلفة:

تعتبر المصادر المشعة في التطبيقات الطبية إلى حد ما المساهم الأكبر في جرعة عموم الناس من المصادر الصناعية ومعظم هذه المساهمة تأتي من الأشعة السينية التشخيصية (أكثر من 90%) [4]، ويعود ذلك إلى العدد الكبير من الفحوصات الإشعاعية وقد أفاد تقرير صادر عن الهيئة العلمية للأمم المتحدة أن العدد السنوي لجميع الفحوصات الإشعاعية التي تتم في العالم بلغت 2100 مليون في عام 2000 وهذا يقابل تواتر سنوي يساوي 360 فحصاً لكل 1000 فرد حول العالم وذلك في الفترة ما بين 1991 و 1995 ويعتبر هذا مؤشر على تزايد التطبيقات التشخيصية بصورة ملحوظة [4].

إن أعلى سوية للجرعات يمكن أن تتلقاها الأعضاء والنااتجة عن التصوير المقطعي أو الماموغرام تقع ضمن المجال من 1 حتى 20 ملي سيفرت [5]، ولكن التعرضات الإشعاعية الأعلى تأتي من استخدام التصوير الطبقي المحوري CT حيث تتراوح جرعة الأعضاء من 10 حتى 100 ملي غري [5] ولكن تبقى هذه السويات ضمن حدود الآثار العشوائية ولا تصل حد الآثار الحتمية. لا يمكن تجاهل أن زيادة التأثيرات العشوائية تزيد من احتمالية إحداث ورم خبيث أو تأثيرات وراثية. من جهة أخرى نلاحظ أن معدلات الجرعة الناتجة عن أجهزة التنظير والتي تعمل إما وفق نمط معدل الجرعة المنخفض 0.02 غري/ دقيقة أو وفق معدل الجرعة العالي 0.2 غري/دقيقة [5] ومع الاستخدام المطول لها يمكن أن تؤدي في النهاية إلى جرعة للجلد أكثر من 2 غري وهي حدود عتبة الجرعة لبعض التأثيرات الحتمية، ومع الأخذ بعين الاعتبار أن من يستخدم أجهزة التنظير وخصوصاً في تطبيقات الأشعة التدخيلية هم من الأشخاص اللذين يمتلكون الحد الأدنى من المعرفة بالتأثيرات الإشعاعية وبطرائق الوقاية فإن هذا من شأنه أن يزيد فرصة التعرض للتأثيرات الحتمية.

## 3. ما هي الحاجة لقياس الجرعات الإشعاعية في المجال التشخيصي بالأشعة السينية؟

استناداً إلى ما ذكر سابقاً حول التعرضات الناتجة من التطبيقات الإشعاعية والتي تشكل الجزء الأكبر من تعرض عموم الناس من الأشعة الصناعية تظهر الحاجة الملحة لضبط هذه الجرعات ومن ثم العمل على تحسين التصميم والاستخدام لأنظمة التصوير بالأشعة السينية على اختلاف أنواعها. وفي هذا السياق يعتبر تخفيض جرعة المريض ولو بنسبة 10% هدف له قيمة كبيرة في عملية التطوير والدعم لأنظمة الوقاية الإشعاعية. إن الهدف الأساسي لقياس جرعة المريض فيما يتعلق بالتشخيص بالأشعة السينية هو تعيين كميات الجرعة الإشعاعية والذي بدوره يفيد في: إنشاء واتباع سويات إرشادية (سويات تشخيص مرجعية)، التقدير النسبي للأخطار، تقدير وسطي الجرعة للأعضاء والنسج المتعرضة للخطر بالإضافة إلى تقييم أداء أجهزة التصوير كجزء أساسي من إجراءات ضمان الجودة.

في كثير من الحالات من المفيد إجراء القياسات بشكل مباشر على المريض ولكن لأسباب عديدة يفضل إجراؤها باستخدام مجسمات تحاكي الجسم البشري لأن ذلك يعطي خيارات أفضل من حيث التحكم بالمتغيرات التقنية والمقارنة بين أنظمة مختلفة. إن اختلاف التقنيات والتطبيقات الطبية للأشعة السينية يتطلب في بعض الأحيان استخدام تجهيزات متخصصة لقياس الجرعة الإشعاعية وهذا بدوره يتطلب خبرة ومهارات إضافية من أجل تفسير النتائج ومعالجتها.

في ضوء ما تم ذكره وبسبب الحاجة المتزايدة لإجراء قياسات للجرعة الإشعاعية في مجال الأشعة السينية التشخيصية والتدخلية أصبح من الضروري التزويد بسلسلة (traceability) للقياسات في هذا المجال.

لقد أخذت الوكالة الدولية على عاتقها وبالتعاون مع منظمة الصحة العالمية تأمين سلسلة القياسات لشبكة المخابر الثانوية (SSDLs) من جهة وتوحيد النوعيات الإشعاعية والبروتوكولات المتبعة في قياس الجرعة من جهة أخرى، وبالتالي امتلاك المخبر العياري الثانوي في أي بلد لتجهيزات مرجعية في هذا المجال يؤمن الدقة والموثوقية في الجرعات الإشعاعية التي يجري قياسها خدمةً لتحسين واستمثال الوقاية الإشعاعية في التطبيقات الطبية.

#### 4. المخابر العيارية الثانوية ودورها في مجال التشخيص الإشعاعي

إن المهمة الأساسية للمخابر العيارية الثانوية هي سد الثغرة بين المخابر الأولية PSDLs والمستثمرين لأدوات قياس الجرعات الإشعاعية عبر امتلاك تجهيزات مرجعية عيارية متسلسلة إلى المخابر العيارية الأولية والمحافظة على ثباتية أداء هذه التجهيزات من خلال الاختبار الدوري لها ومن خلال المشاركة بمقارنات دولية في المجالات التطبيقية المختلفة للإشعاع المؤين والتي تشمل مجالات عديدة مثل مجال الوقاية، المعالجة والتشخيص والطب النووي وغيرها [6]. نستنتج إذن أن استخدام التجهيزات المرجعية للمخابر العيارية الثانوية في معايرة مقاييس الجرعة المنتشرة لدى فرق ضبط الجودة للتجهيزات الطبية الموجودة في المشافي والعيادات الطبية يضمن الدقة والموثوقية في نتائج القياس والتي سيعول عليها في تطوير والارتقاء بالوقاية الإشعاعية في المجالات الطبية على وجه الخصوص.

بعض المخابر العيارية الثانوية ذات الخبرة الطويلة جعلت من مهامها أيضاً التزويد بخدمات تقنية من خلال خبراتها في مجال قياس الجرعة الإشعاعية حيث تقدم هذه الخدمات للعيادات الطبية والمشافي ولباقي المؤسسات العاملة في المجالات التطبيقية للأشعة المؤينة.

#### 5. إنشاء النوعيات الإشعاعية للأشعة السينية المستخدمة في مجال التشخيص وفق البروتوكول TRS457

يكون التوصيف الأكثر دقة لحزمة أشعة سينية من خلال معرفة توزيع الطيف الطاقوي لها، ولكن يتطلب تحديد الطيف لحزمة أشعة سينية خبرة تقنية عالية واستهلاكاً في الوقت ليس بالقليل كما يحتاج تجهيزات متخصصة يمكن أن لا تكون متوفرة لدى جميع المخابر. لذا يتم عادةً اعتماد قيم الجهد المطبق على أنبوب الأشعة السينية بالإضافة إلى الطبقة الأولى لسماكة نصف القيمة HVL في توصيف النوعيات الإشعاعية المختلفة للأشعة السينية.

يبين الجدول (1) النوعيات الإشعاعية المستخدمة في المعايير في مجالات التشخيص بالإضافة إلى تطبيقاتها المختلفة [7].

لقد اعتمد البروتوكول TRS 457 على المرجع IEC61267 في إنشاء النوعيات الإشعاعية، حيث يوصي كلا المرجعين بضرورة استخدام حزم ضيقة في تعيين سماكة نصف القيمة كما ينبغي أن تكون أبعاد الساحة الإشعاعية كافية لتغطي كامل الحجم الفعال للكاشف المستخدم في القياس ونعتمد في ذلك أن تكون أبعاد الحزمة الإشعاعية مساوية لثلاثة أضعاف قطر الحجم الفعال للكاشف المستخدم على الأقل. ينبغي أيضاً أن تكون الفلاتر المستخدمة أثناء إجراء قياسات HVL متوضعة في منتصف المسافة بين الكاشف وحجيرة المراقبة، وأن تكون المسافة بين الكاشف والفلاتر مساوية خمسة أضعاف قطر الساحة الإشعاعية عند موضع القياس [4].

الجدول (1):النوعيات الإشعاعية المستخدمة في المعايير عند مجالات التشخيص وتطبيقاتها المختلفة

النوعية الإشعاعية	مصدر الأشعة	مادة الفلاتر المضافة	التطبيق
RQR	حزمة إشعاعية صادرة عن مجموعة توليد الأشعة السنوية	لا يوجد مجسم	التصوير الإشعاعي العام، تطبيقات التنظير والتطبيقات السنوية (القياسات تتم في الهواء)
RQA	حزمة إشعاعية مع فلاتر مضافة	ألومنيوم	القياسات خلف المريض (على مكثف الصورة)
RQT	حزمة إشعاعية مع فلاتر مضافة	نحاس	تطبيقات الطبقي المحوري (القياسات في الهواء)
RQR-M	حزمة إشعاعية صادرة عن مجموعة توليد الأشعة السنوية	لا يوجد مجسم	تطبيقات تصوير الثدي (القياسات في الهواء)
RQA-M	حزمة إشعاعية مع فلاتر مضافة	ألومنيوم	الدراسات في مجال تصوير الثدي

6. الأدوات والتجهيزات المستخدمة في العمل التجريبي

- مولد أشعة سنوية لتطبيقات التشخيص مع مادة هدف من التنغستين واستطاعة أعظمية 3 كيلوواط، التيار الأعظمي 45 ميلي أمبير، الجهد الأعظمي 160 كيلو فولت.
- مولد أشعة سنوية لتطبيقات الماموغرافي مع مادة هدف من الموليبيدينوم باستطاعة أعظمية 3 كيلوواط، التيار الأعظمي 45 ميلي أمبير، الجهد الأعظمي 100 كيلو فولت.
- حجيرة تاين مرجعية معايرة في الوكالة الدولية للطاقة الذرية نموذج TW34069، الرقم المتسلسل 071.
- مقياس الكتروني UNIDOS Weblne للجرعة نموذج T10022، الرقم المتسلسل 098.
- حجيرة مراقبة نموذج TW 34014، الرقم المتسلسل 1518.
- فلاتر (مرشحات) ألومنيوم وفلاتر من النحاس بنقاوة %99.99.
- فلتر من الموليبيدينوم بسماكة 0.029 مم خاص بتطبيقات الماموغرافي وبنقاوة %99.99.
- جهازي ليزر متصلاب للمساعدة في تثبيت التجهيزات في مركز الحزمة الإشعاعية.
- مقياس عياري للضغط الجوي والحرارة نموذج 444 ، الرقم المتسلسل 1518.
- مقياس رطوبة عياري نموذج TES 1360، الرقم المتسلسل 971206332.
- منصة يدوية لتثبيت أدوات وتجهيزات القياس.
- حامل للفلاتر مع محدد للحزمة الإشعاعية.

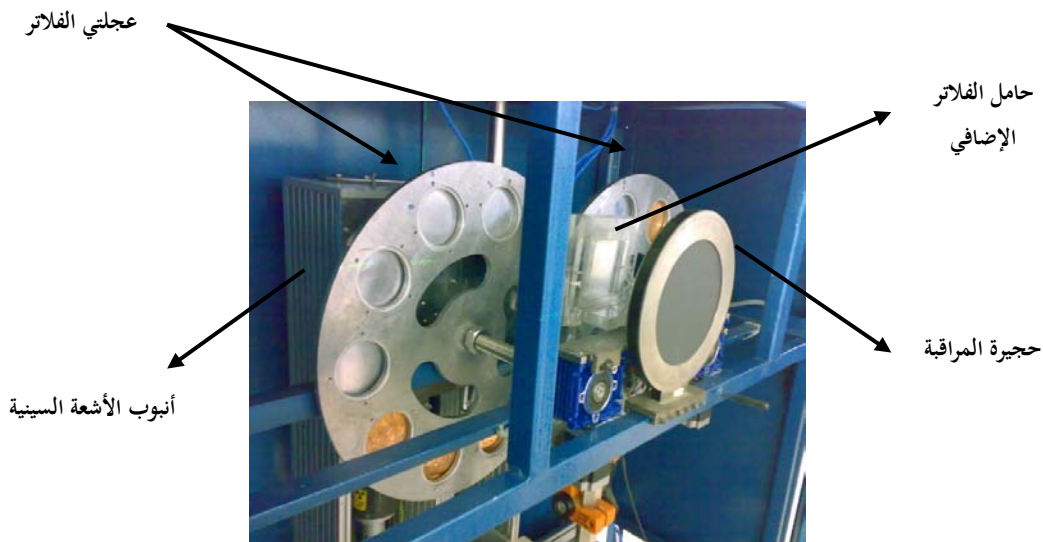
## نتائج القياسات والأعمال المخبرية المنجزة

### 1. تصميم التجهيزات المرافقة لأنبوب الأشعة السينية:

تم تصميم وتنفيذ خزنة على شكل متوازي مستطيلات من صفائح رصاصية مغطاة بصفائح من الحديد المطلي حرارياً، وقد تم تقدير سماكة الرصاص اللازمة للتدريع من جهة انبثاق الأشعة 10 مم رصاص، أما باقي وجوه الخزنة فكانت سماكة الرصاص فيها 5 مم، كما تمت تغطية كافة وجوه الخزنة الداخلية والخارجية بصفائح من الحديد بسماكة 2 مم لكي تمنع انثناء الرصاص أو تدليه ومن أجل حماية الأيدي من التلوث بالرصاص كونه مادة عالية السمية. زودت الخزنة من الجهة الامامية بنافذة دائرية مفتوحة بقطر 6 سم تسمح بانبثاق حزمة الأشعة.

تم تثبيت محرك يعمل بضغط الهواء وظيفته تحريك أنابيب الأشعة السينية نحو اليمين واليسار، يتم التحكم بالمحرك من خلال حاسب في غرفة التحكم المركزية للمخبر، عندما يتم اختيار أنبوب أشعة معين يتحرك الأنبوب بشكل مضبوط بحيث يتوقف عند نهاية شوط الحركة بصورة تكون فيها الأشعة المنبثقة عنه متمركزة مع حزمة الليزر الأفقية التي تم ضبطها مسبقاً على مركز الحزمة.

زودت الخزنة من الداخل أيضاً بمغلق رصاصي shutter بسماكة 3.5 سم يعمل هذا المغلق على تأمين حجب كامل للأشعة المنبثقة عن مولد الأشعة السينية، هذا المغلق مثبت مباشرة بشكل يلي فتحة أنبوب الأشعة السينية التي تنبثق عنها الأشعة ويتم التحكم بزمن الفتح والإغلاق عبر محرك يعمل أيضاً بتقنية الهواء المضغوط حيث أن المحرك موصول مع مؤقت زمني ذات لوحة إدخال لها ثلاثة خانوات (دقيقة، ثانية، ميلي ثانية). زودت الخزنة بعجلتين دواريتين كل منهما تتضمن 11 فتحة بقطر 7 سم لتثبيت الفلاتر التي نحتاج لاستخدامها في إنشاء النوعيات الإشعاعية المختلفة وقد ضبطت الفتحة المركزية لكل من العجلتين بحيث تتطابق مع مركز حزمة الليزر الأفقية الشكل (9). يبين شكل وكيفية تموضع كافة التجهيزات المرافقة لها.



الشكل (9): يبين شكل وكيفية تموضع كافة التجهيزات المرافقة لها

## 2. ضبط التجهيزات المستخدمة في القياسات:

ضبط الحزمة الإشعاعية وحزمة الليزر: تستخدم في مخابر المعايرة عادةً حزم ليزرية للمساعدة في ضبط مركز الكاشف لأجهزة قياس الأشعة بحيث تكون في مركز الحزمة الإشعاعية، كما وتستخدم أيضاً في ضبط مختلف الأدوات الأخرى مثل المحددات المغلاق الرصاصي الفلاتر المضافة وغيرها، ولهذا الغرض تم تثبيت جهاز ليزر يصدر حزمة ليزر متصالبة حيث ضبطت حزمة الليزر لتكون أفقية إلى أقصى درجة يمكن تحقيقها وأن تكون متمركزة مع الحزمة الإشعاعية ولتحقيق هذا استفدنا من إمكانية الضبط الأفقي والعمودي والزواوي لجهاز الليزر من خلال التحكم ببراعي تثبيت موجودة داخل الجهاز وبعدها تم الاستعانة بأفلام التصوير من نوع Radiocromic Film للتأكد من التطابق بين حزمة الليزر والحزمة الإشعاعية بشكل فعلي.

## 3. توصيف العمل التجريبي:

يقصد بعملية إنشاء نوعية إشعاعية ما تحديد أفضل سماكة للفلاتر المضافة Added Filtration تحقق قيمة لسماكة النصف تتوافق مع القيم الموصى بها عالمياً ، وهذا يعني أن القيمة الصحيحة للفلاتر المضافة هي القيمة التي تعطي طيفاً طاقياً بحيث لو وضعت سماكة النصف الموصى بها في مركز الحزمة لكان الخرج الإشعاعي الناتج Q مساوياً نصف قيمة الخرج الإشعاعي بدون وجود هذه السماكة  $Q_0$ .

### 3.1. الطريقة التقنية المتبعة في قياس الخرج الإشعاعي الناتج عن حزمة أشعة سينية:

- يتم اختيار أنبوب الأشعة المراد استخدامه (التشخيصي أو الماموغرافي) من الخيارات المتاحة من لوحة التحكم الخاصة بأنبوبي الأشعة الشكل (10).



الشكل (10): يبين لوحة التحكم لأجهزة لمولدات الأشعة السينية.

- تتم حماية أنبوب الأشعة السينية عند أعلى جهد سيتم إجراء القياس عنده حيث تتم هذه العملية أوتوماتيكياً بمجرد إدخال قيمة الجهد في لوحة التحكم.
- بعد استكمال عملية حماية الأنبوب تثبت حجيرة التأين بحيث تكون متعامدة شاقولياً مع محور الحزمة الإشعاعية، توصل حجيرة التأين مع المقياس الإلكتروني عبر الكابل الخاص بعد أن يتم اختيار الحجيرة المراد استخدامها من المكتبة الخاصة بالمقياس بحيث تتوافق كل البيانات المتعلقة بالحجيرة مثل الجهد المطبق ومعامل المعايرة مع المعلومات الواردة في شهادة المعايرة الخاصة بالحجيرة.

- تحدد المسافة بين حجيرة التأين والبقعة المحرقة للأنبوب بمساعدة حزم الليزر حيث أن المسافة المعتمدة في التجارب هي 100 سم.
- يوضع مقياس الحرارة والضغط في مكان قريب من حجيرة التأين [1].
- يتم تعريض الحجيرة للأشعة لمدة لا تقل عن ربع ساعة لضمان استقرارية أكبر في عملية القياس حيث يكون قد تحقق التوازن الإلكتروني للمقياس والتوازن الحراري لحجيرة التأين مع حرارة المخبر [1].
- يتم ضبط قيمة الجهد المطبق على أنبوب الأشعة السينية عند القيمة الموافقة للنوعية الإشعاعية المراد قياس الخرج الإشعاعي لها.
- في المقياس الإلكتروني يتم اختيار نمط القياس المراد العمل عليه وهو في هذه الدراسة نمط الشحنة وكذلك يحدد زمن القياس (دقيقة أو 20 ثانية مثلاً).
- توضع الفلاتر المضافة Added Filtration المناسبة للنوعية الإشعاعية أمام الحزمة.
- تبدأ عملية قياس الخرج الإشعاعي من خلال تشغيل جهاز الأشعة السينية وتسجيل عدة قراءات لقيم الشحنة الناتجة Q كما تسجل على التوازي قيم الحرارة t والضغط الجوي P المحيط بالحجيرة.
- يحسب المتوسط الحسابي للقراءات  $\bar{Q}$  والانحراف المعياري SD.
- يحسب الخرج الإشعاعي المصحح للضغط والحرارة  $\bar{Q}_{corr}$  وفق المعادلة (1)[8].

(1)

حيث:

$T_0$ : درجة الحرارة المرجعية وتساوي 279.15 K

T: درجة الحرارة المثوية في مكان القياس بوحدة الكلفن .

P : الضغط الجوي في مكان القياس .

$P_0$ : الضغط الجوي المرجعي ويساوي 101.325 kPa

3.2. تحديد سماكات الفلاتر المضافة للحزم الإشعاعية  $RQR$ :

في هذه المرحلة تم تجريب سماكات متزايدة من الألمنيوم وفي كل مرة يتم إجراء قياس للخرج الإشعاعي بدون سماكة النصف  $Q_0$  ومع سماكة النصف الموصى بها Q إلى أن يتم التوصل إلى القيم التجريبية الصحيحة للفلاتر المضافة للحزم الإشعاعية  $RQR$  والتي تحقق النسبة  $Q/Q_0$  تساوي تقريباً 0.5 مع سماحية  $±0.015[4]$  (الجدول (2)).

الجدول (2): يبين القيم المعتمدة للفلاتر المضافة للنوعيات الإشعاعية  $RQR$

النوعية الإشعاعية	الفلاتر المضافة Added Filtration	$Q/Q_0$
-------------------	----------------------------------	---------



	(mm Al)	
0.498	2.152	RQR2
0.502	2.300	RQR3
0.502	2.451	RQR4
0.4985	2.751	RQR5
0.500	3.004	RQR6
0.4985	3.074	RQR7
0.507	3.204	RQR8
0.501	3.207	RQR9
0.502	4.155	RQR10

### 3.3. تحديد سماكات الفلاتر المضافة للنوعيات الإشعاعية RQA:

إن الفلاتر المضافة لهذه النوعيات الإشعاعية تنتج من إضافة قيم فلاتر الألمنيوم المضافة للنوعيات RQR والسماكات من الألمنيوم الواردة في الجدول (6.3.) من المرجع [4] لكل نوعية على حده. كان الهدف من العمل التجريبي في هذه المرحلة هو التأكد من أن سماكة الفلاتر الناتجة من عملية الجمع تحقق النسبة  $Q/Q_0 \leq 0.5$  ضمن مستوى سماحية  $\pm 0.015$  أي يجب أن تقع قيم  $Q/Q_0$  بين 0.485 و 0.515. الجدول (3) يبين نتائج العمل التجريبي الذي أدى إلى إيجاد أفضل سماكات للفلاتر المضافة تحقق القيم الموصى بها في المراجع [4][7].

### الجدول (3): القيم التي تم تحديدها تجريبياً لسماكات الفلاتر المضافة للنوعيات RQA

Q/Q <sub>0</sub>	الفلاتر المضافة Added Filtration (mm Al)	النوعية الإشعاعية
0.510	5.90	RQA2
0.504	10.40	RQA3
0.491	16.00	RQA4
0.500	20.99	RQA5
0.499	26.00	RQA6
0.505	33.03	RQA7
0.502	34.00	RQA8
0.503	40.00	RQA9
0.502	45.00	RQA10

### 3.4. تحديد سماكات الفلاتر المضافة للنوعيات الإشعاعية RQT:

بالنسبة لهذه النوعيات الإشعاعية والمستخدم في مجال التصوير المقطعي المحوسب فإن الفلاتر المضافة الموصى بها مصنوعة من النحاس، وقد تم تجريب تلك القيم من حيث تحقيقها للنسبة  $Q/Q_0$  فكانت لدينا أفضل سماكات للفلاتر المضافة لهذه النوعيات مبينة في الجدول (4).

### الجدول (4): القيم التي تم تحديدها تجريبياً لسماكات الفلاتر المضافة للنوعيات RQT

Q/Q <sub>0</sub>	الفلاتر المضافة Added Filtration	النوعية الإشعاعية
------------------	-------------------------------------	-------------------

	(mm Al)	
0.497	0.267	RQT 8
0.495	0.316	RQT 9
0.498	0.381	RQT 10

### 3.5. الفلاتر المضافة النوعيات الإشعاعية RQR-M:

الفلتر المضاف الموصى به لجميع الحزم الممثلة لهذه النوعيات بحسب البروتوكول [4] هو فلتر من الموليبدنوم بسماكة  $0.032 \pm 0.002$  مم، ونظراً لعدم توفر هذه السماكة لدى المخبر وأن فلتر الموليبدنوم الوحيد الموجود هو بسماكة 0.029 مم فقد تم إجراء قياسات تجريبية تبين قيم سماكات النصف الموافقة لهذه الفلاتر ويبين الجدول (5) النتائج ذات العلاقة.

**الجدول (5):** قيم  $Q/Q_0$  الناتجة تجريبياً من استخدام الفلتر المضاف 0.029mm Mo

والتابعة للنوعيات RQR-M

$Q/Q_0$	الفلاتر المضافة Added Filtration (mm Mo)	النوعية الإشعاعية
0.517	0.029	RQR-M1
0.547	0.026	RQR-M2
0.476	0.029	RQR-M3
0.490	0.029	RQR-M4

### 3.6. الفلاتر المضافة النوعيات الإشعاعية RQA-M:

إن قيم الفلاتر المضافة الخاصة بهذه النوعيات تنتج من جمع قيمة الفلتر المضاف في النوعيات الإشعاعية RQR- مع 2 مم ألمنيوم، وتم التأكد من ملائمة السماكات الناتجة بحيث تؤدي إلى حزم إشعاعية تحقق النسب المقبولة للمقدار  $Q/Q_0$  والجدول (6) يبين نتائج العمل التجريبي.

**الجدول (6):** قيم  $Q/Q_0$  الناتجة تجريبياً من استخدام الفلتر المضاف 0.029mm Mo

مع الفلتر 2 mm Al والتابعة للنوعيات RQA-M

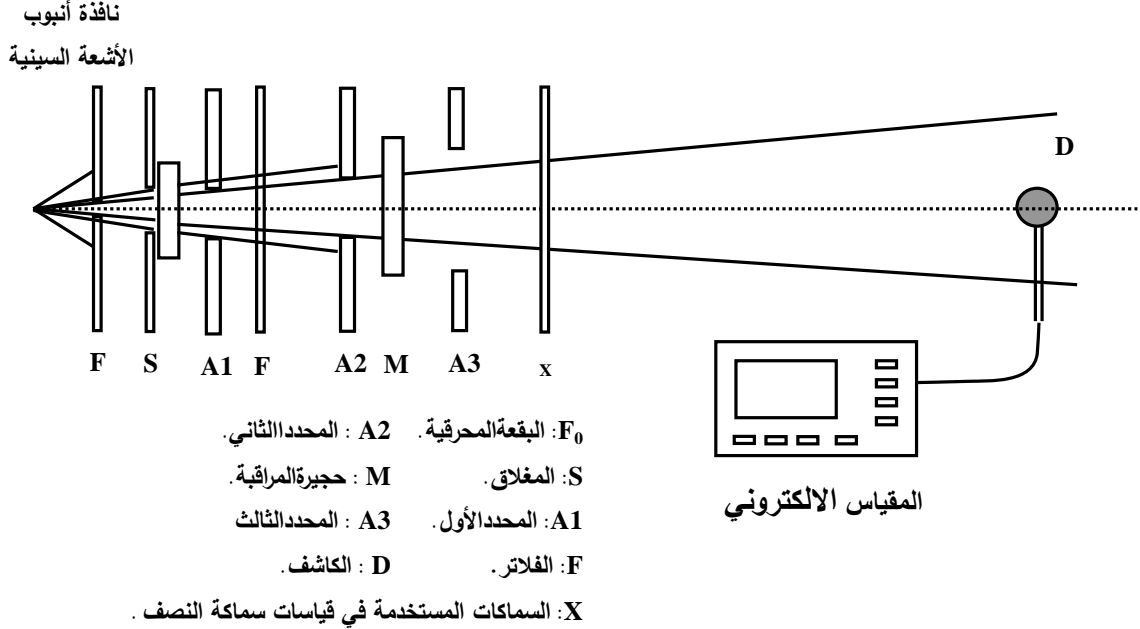
$Q/Q_0$	الفلاتر المضافة Added Filtration	النوعية الإشعاعية
0.507	2 mmAl + 0.029 mm Mo	RQA-M1
0.512	2 mmAl + 0.029 mm Mo	RQA-M2
0.516	2 mmAl + 0.029 mm Mo	RQA-M3
0.519	2 mmAl + 0.029 mm Mo	RQA-M4

### 3.7. الطريقة التقنية المتبعة في تحديد سماكة النصف تجريبياً:

بعد تحديد سماكات الفلاتر المضافة الصحيحة المحققة للنسبة  $Q/Q_0 \approx 0.5$  مع مجال سماحية  $\pm 0.015$  يتم التأكد من قيم سماكة النصف الفعلية تجريبياً من خلال اتباع الخطوات التالية لكل نوعية إشعاعية:

- يبين الشكل (11) توضع التجهيزات المستخدمة في تحديد كل من سماكة طبقة النصف الأولى والثانية  $HVL^1$ ,  $HVL^2$  على التوالي لكل النوعيات الإشعاعية التي تمت معالجتها في هذه الدراسة العلمية. كما تم اعتماد المسافة 100 سم بين البقعة المحرقة والمركز الفعال لحجيرة التاين مع ساحة إشعاعية بقطر

حوالي 10.8 سم, أما الفلاتر المستخدمة في تعيين سماكة طبقة النصف فكانت مثبتة على حامل يقع في منتصف المسافة بين حجيرة التأين ومركز البقعة المحرقة.



**الشكل (11):** يبين مخطط توضع التجهيزات بالنسبة للقياسات الخاصة بتعيين سماكة طبقة النصف [2].

- يتم اتباع الخطوات العشرة الأولى الواردة في الفقرة 3.1.
- تضاف سماكات توهين X متزايدة من الألمنيوم وفي كل مرة يقاس الخرج الإشعاعي.
- يرسم المنحني البياني الناتج من تغير سماكة الألمنيوم مع تغير الخرج الإشعاعي وهي كما نعلم علاقة أسية، العلاقة (2)[9].

(2)

حيث:

Q: الخرج الإشعاعي مع وجود سماكات توهين X.

Q<sub>0</sub>: الخرج الإشعاعي بدون وجود سماكات توهين.

HVL: سماكة النصف.

X: سماكة التوهين التي توضع في منتصف المسافة بين الكاشف والمنبع الإشعاعي.

- من المنحنيات البيانية لكل نوعية إشعاعية مدروسة نستنتج قيمة سماكة النصف التجريبية وهي التي تقابل القيمة 0.5 للنسبة  $Q_{corr}/Q_0$ . بالنسبة للنوعيات الإشعاعية RQR يطلب أيضاً تحديد سماكة النصف الثانية  $HVL^2$  وهي السماكة اللازمة لتخفيض الخرج الإشعاعي إلى 25% من قيمته الأصلية، وتكمن أهمية هذه القيمة في أنها تستخدم لمعرفة معامل التجانس h للنوعيات الإشعاعية RQR والذي يحسب رياضياً من العلاقة (3).

ينبغي لقيم معامل التجانس h أن تقع ضمن 0.03 من القيم الموصى بها في الجدول (6.2) بحسب المرجع [10].

(3)

3.8. النتائج التجريبية الخاصة بإنشاء النوعيات الإشعاعية RQR:

تبين الجداول من ( 7 ) حتى ( 16 ) والمنحنيات البيانية من 12 حتى 20 النتائج التفصيلية للقياسات التجريبية لعملية تحديد سماكة طبقة النصف ومعامل التجانس للحزم الإشعاعية RQR.

الجدول (8): يبين النتائج المتعلقة بالنوعية RQR-3

V= 50 kV, A= 10 mA

نسبة التوهين	وسطى قراءات الحجيرة (nC/min)	السماكة المضافة (mm Al)	نسبة التوهين	وسطى قراءات الحجيرة (nC/min)	السماكة المضافة (mm Al)
1.000	1.678	0	1.000	1.044	0
0.793	1.330	0.525	0.876	0.915	0.218
0.624	1.046	1.069	0.750	0.783	0.525
0.503	0.843	1.793	0.496	0.518	1.416
0.390	0.655	2.572	0.353	0.368	2.219
0.287	0.482	3.676	0.247	0.258	3.204
0.255	0.427	4.190	0.215	0.224	3.604
0.223	0.374	4.654	0.098	0.103	6.162

الجدول (7): يبين النتائج المتعلقة بالنوعية RQR-2V=

40 kV, A= 10 mA

الجدول (10): يبين النتائج المتعلقة بالنوعية RQR-5 V=

70 kV, A= 10 mA

نسبة التوهين	وسطى قراءات الحجيرة (nC/min)	السماكة المضافة (mm Al)	نسبة التوهين	وسطى قراءات الحجيرة (nC/min)	السماكة المضافة (mm Al)
1.000	2.777	0	1.000	2.305	0
0.742	2.06	1.003	0.851	1.961	0.414
0.565	1.569	2.082	0.694	1.6	1.028
0.507	1.407	2.563	0.494	1.139	2.193
0.411	1.14	3.61	0.350	0.806	3.635
0.337	0.935	4.679	0.253	0.584	5.143
0.307	0.852	5.193	0.147	0.338	8.143
0.243	0.674	6.63			
0.224	0.623	7.14			
0.166	0.461	9.222			

الجدول (9): يبين النتائج المتعلقة بالنوعية RQR-4 V=

60 kV, A= 10 mA

الجدول (12): يبين النتائج المتعلقة بالنوعية RQR-7 V=

90 kV, A= 10 mA

الجدول (11): يبين النتائج المتعلقة بالنوعية RQR-6 V=

80 kV, A= 10 mA

نسبة التوهين	وسطى قراءات الحجيرة (nC/min)	السماكة المضافة (mm Al)	نسبة التوهين	وسطى قراءات الحجيرة (nC/min)	السماكة المضافة (mm Al)
1.000	4.107	0	1.000	3.335	0
0.785	3.226	1.028	0.866	2.889	0.534
0.638	2.619	2.082	0.682	2.276	1.562
0.504	2.07	3.471	0.512	1.709	2.986
0.328	1.346	6.581	0.362	1.208	5.093
0.241	0.989	9.222	0.260	0.868	7.422
0.176	0.725	12.192	0.201	0.669	9.504
0.110	0.44	17.285	0.141	0.471	12.66

الجدول (14): يبين النتائج المتعلقة بالنوعية V= RQR-9  
120 kV, A= 10 mA

الجدول (13): يبين النتائج المتعلقة بالنوعية V= RQR-8  
100 kV, A= 10 mA

نسبة التوهين	وسطى قراءات الحجيرة (nC/min)	السماكة المضافة (mm Al)	نسبة التوهين	وسطى قراءات الحجيرة (nC/min)	السماكة المضافة (mm Al)
1.000	6.051	0	1.000	4.812	0
0.877	5.304	0.752	0.889	4.278	0.525
0.719	4.353	2.082	0.674	3.244	2.001
0.502	3.039	5.093	0.501	2.411	3.985
0.311	1.884	10.11	0.311	1.495	7.911
0.207	1.255	15.203	0.253	1.217	9.912
0.124	0.753	22.488	0.174	0.836	13.995
			0.124	0.598	15.996

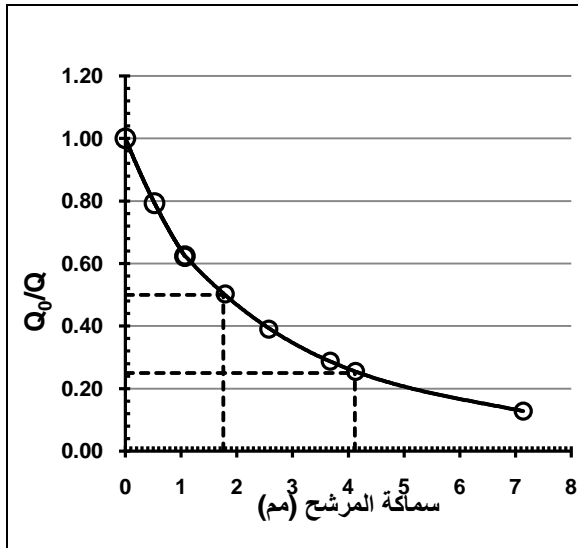
الجدول (15): يبين النتائج المتعلقة بالنوعية V= RQR-10  
150 kV, A= 10 mA

نسبة التوهين	وسطى قراءات الحجيرة (nC/min)	السماكة المضافة (mm Al)
1.000	8.666	0
0.874	7.572	1.003
0.697	6.037	3.004
0.502	4.353	6.527
0.328	2.840	12.111
0.249	2.160	16.206
0.219	1.901	18.207
0.152	1.314	24.299
0.126	1.093	27.52

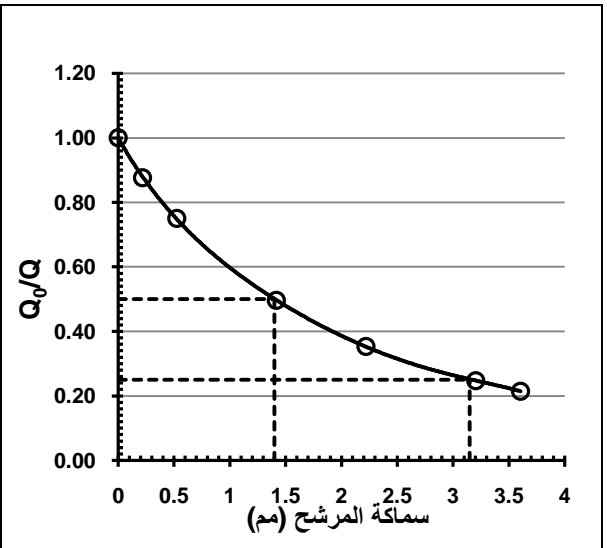
الجدول (16): يبين النتائج النهائية المتعلقة بإنشاء النوعيات الإشعاعية RQR.

النوعية	الجهد المطبق	<sup>1</sup> HVL	الفرق	الفلاتر المضافة	<sup>2</sup> HVL	معامل	الفرق
---------	--------------	------------------	-------	-----------------	------------------	-------	-------

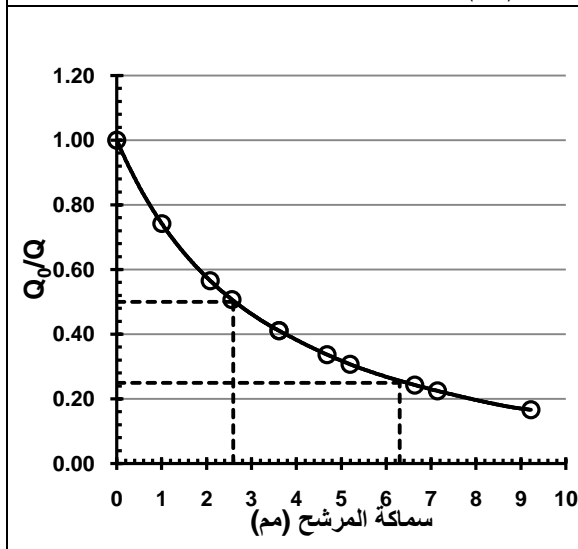
النسبي	التجانس (h)	(mm Al)	(mm Al)	النسبي	(mm Al)	(kV)	الإشعاعية
0.000	0.80	1.78	2.152	0	1.42	40	RQR2
0.000	0.76	2.36	2.300	0.006	1.79	50	RQR3
0.000	0.74	2.95	2.451	0	2.19	60	RQR4
0.014	0.70	3.71	2.751	0.008	2.59	70	RQR5
0.014	0.68	4.55	3.004	0.007	3.10	80	RQR6
0.029	0.66	5.27	3.074	0.003	3.47	90	RQR7
0.015	0.67	5.94	3.204	0.005	3.99	100	RQR8
0.000	0.68	7.45	3.207	0.018	5.09	120	RQR9
0.014	0.71	9.29	4.155	0.006	6.53	150	RQR10



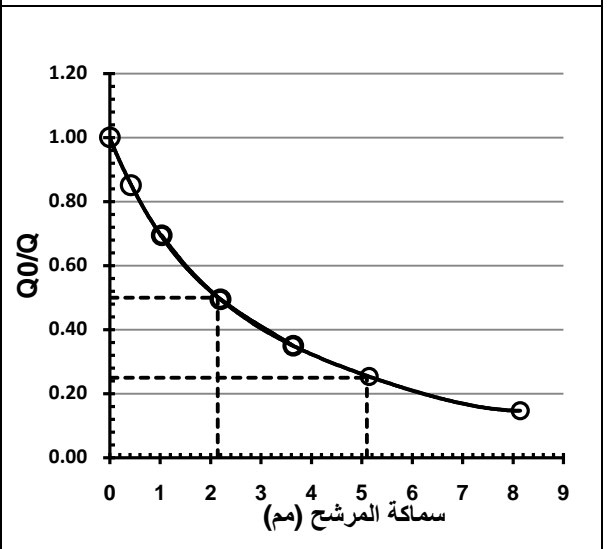
الشكل (13): RQR3



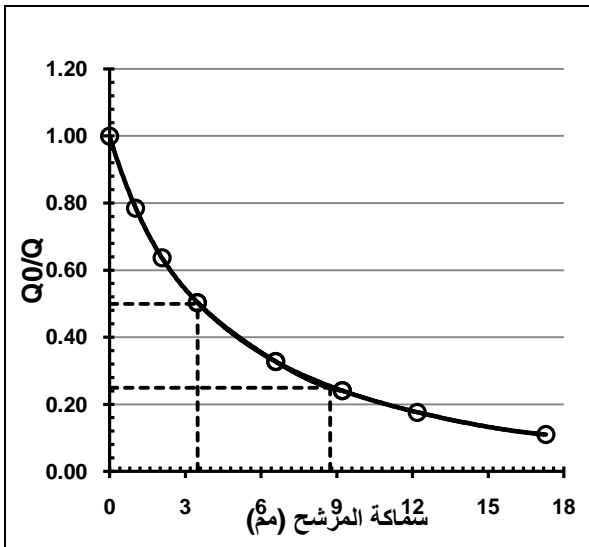
الشكل (12): RQR2



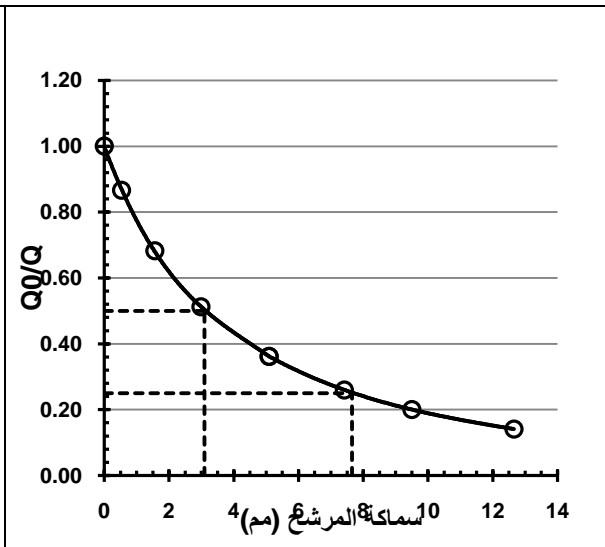
الشكل (15): RQR5



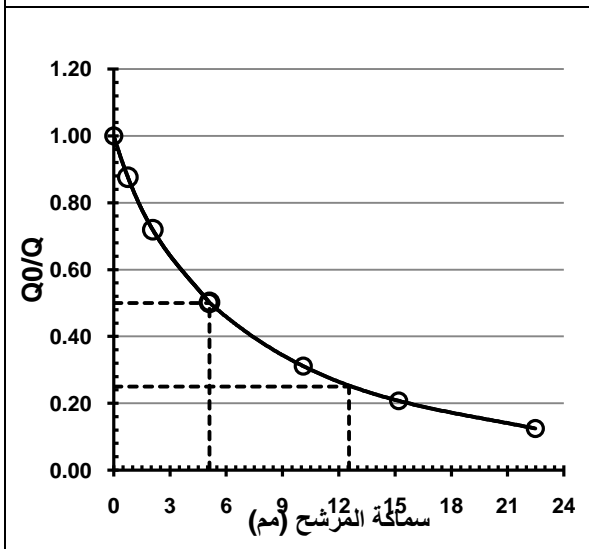
الشكل (14): RQR4



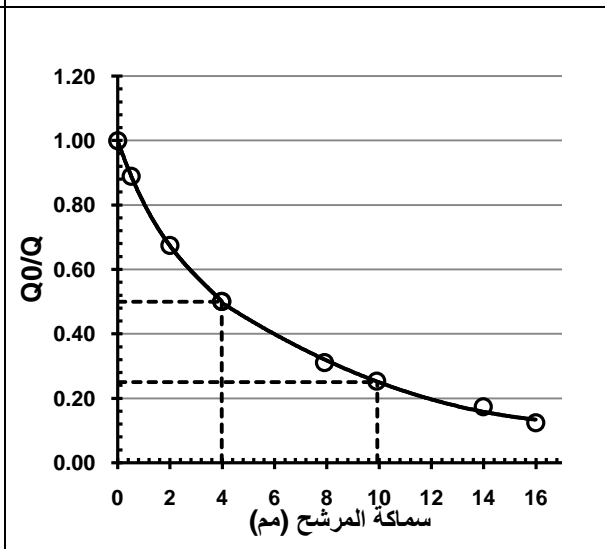
الشكل (17): RQR7



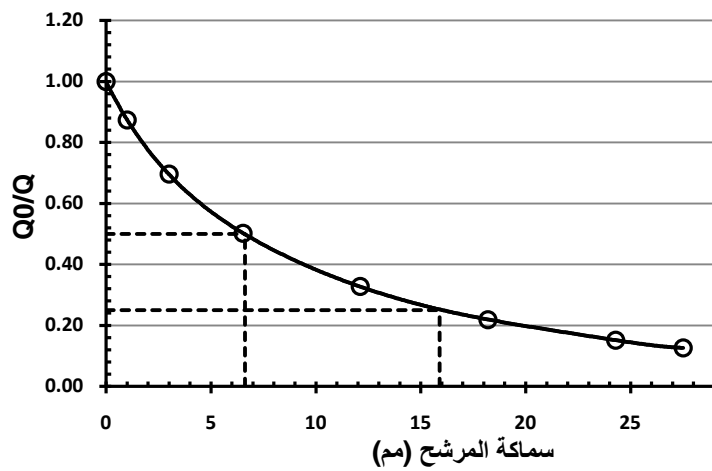
الشكل (16): RQR6



الشكل (19): RQR9



الشكل (18): RQR8



الشكل (20): RQR10

3.9. النتائج التجريبية الخاصة بإنشاء النوعيات الإشعاعية RQA:

تبين الجداول من (17) حتى (26) والمنحنيات البيانية من 21 حتى 29 النتائج التفصيلية للقياسات التجريبية لعملية تحديد سماكة طبقة النصف للحزم الإشعاعية RQA.

الجدول (17): يبين النتائج المتعلقة بالنوعية RQA-2V= V= 50 kV, A= 40 mA  
الجدول (18): يبين النتائج المتعلقة بالنوعية RQA-3= 40 kV, A= 40 mA

نسبة التوهين	وسطي قراءات الحجيرة (pC/min)	السماكة المضافة (mm Al)	نسبة التوهين	وسطي قراءات الحجيرة (pC/min)	السماكة المضافة (mm Al)
1.000	139.8	0	1.000	207.1	0
0.824	115.2	1.049	0.844	174.9	0.525
0.694	96.94	2.082	0.604	125.1	1.594
0.514	71.83	3.761	0.510	105.7	2.202
0.327	45.75	6.508	0.371	76.82	3.364
0.137	19.17	12.192	0.248	51.34	4.809
			0.120	24.94	7.820

الجدول (19): يبين النتائج المتعلقة بالنوعية RQA-4V= V= 70 kV, A= 40 mA  
الجدول (20): يبين النتائج المتعلقة بالنوعية RQA-5= 60 kV, A= 40 mA

نسبة التوهين	وسطي قراءات الحجيرة (pC/min)	السماكة المضافة (mm Al)	نسبة التوهين	وسطي قراءات الحجيرة (pC/min)	السماكة المضافة (mm Al)
1.000	133.6	0	1.000	130.0	0
0.805	107.5	2.00	0.865	112.5	1.003
0.652	87.14	4.00	0.747	97.13	2.082
0.500	66.87	6.832	0.498	64.73	5.406
0.287	38.35	12.952	0.258	33.58	11.212
0.240	32.04	14.952	0.235	30.52	11.953
0.199	26.64	16.952	0.124	16.19	17.353
0.168	22.50	18.952			
0.119	15.94	22.992			

الجدول (21): يبين النتائج المتعلقة بالنوعية RQA-6V= V= 90 kV, A= 40 mA  
الجدول (22): يبين النتائج المتعلقة بالنوعية RQA-7= 80 kV, A= 40 mA

نسبة التوهين	وسطي قراءات الحجيرة (pC/min)	السماكة المضافة (mm Al)	نسبة التوهين	وسطي قراءات الحجيرة (pC/min)	السماكة المضافة (mm Al)
1.000	325.1	0	1.000	113.6	0
0.504	163.8	9.200	0.836	94.94	2.08
0.251	81.51	19.400	0.701	79.57	4.082
0.130	42.13	31.560	0.499	56.71	8.20
			0.263	29.83	16.20
			0.144	16.41	24.411



الجدول (24): يبين النتائج المتعلقة بالنوعية RQA-9

V= 120 kV, A= 40 mA

نسبة التوهين	وسطي قراءات الحجيرة (pC/min)	السماكة المضافة (mm Al)	نسبة التوهين	وسطي قراءات الحجيرة (pC/min)	السماكة المضافة (mm Al)
1.000	321.7	0	1.000	201.3	0
0.872	280.6	2.00	0.876	176.4	2
0.787	253.1	4.000	0.717	144.4	5.020
0.510	164.1	11.60	0.506	101.9	10.1
0.280	89.96	22.815	0.404	81.34	14.24
0.191	61.37	30.196	0.271	54.50	22.26
			0.162	32.62	30.227

الجدول (23): يبين النتائج المتعلقة بالنوعية RQA-8V=

100 kV, A= 40 mA

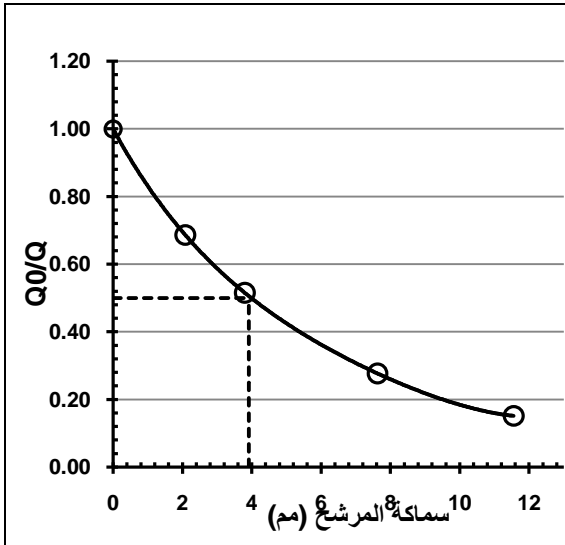
الجدول (25): يبين النتائج المتعلقة بالنوعية RQA-10V=

150 kV, A= 40 mA

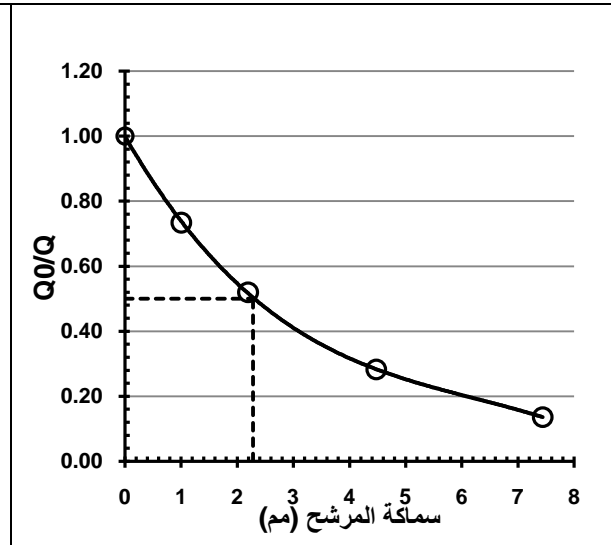
نسبة التوهين	وسطي قراءات الحجيرة (pC/min)	السماكة المضافة (mm Al)
1.000	642.4	0
0.900	578.1	2.072
0.764	491.0	5.149
0.505	324.6	13.352
0.300	192.8	24.039
0.260	166.9	27.099
0.229	147.0	29.69

الجدول (26): يبين النتائج النهائية المتعلقة بإنشاء النوعيات الإشعاعية RQA.

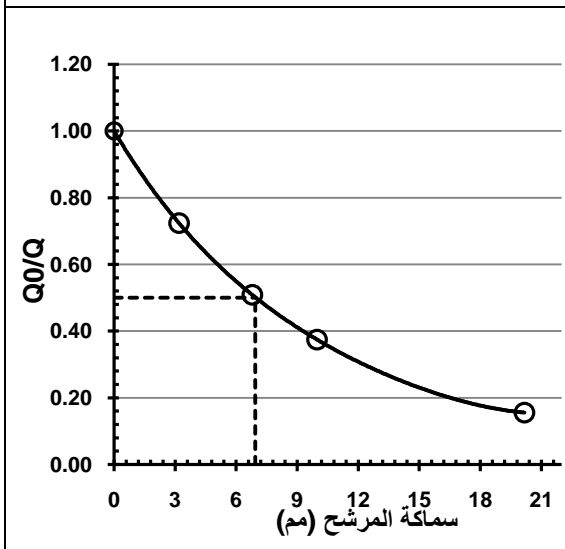
الفلتر المضافة (mm Al)	الفرق النسبي	<sup>1</sup> HVL (mm Al)	الجهد المطبق (kV)	النوعية الإشعاعية
5.90	0.018	2.24	40	RQA2
10.40	0.005	3.82	50	RQA3
16	0.00	5.40	60	RQA4
20.99	0.004	6.83	70	RQA5
26	0.00	8.20	80	RQA6
33.03	0.00	9.20	90	RQA7
34	0.00	10.10	100	RQA8
40	0.006	11.67	120	RQA9
45	0.004	13.35	150	RQA10



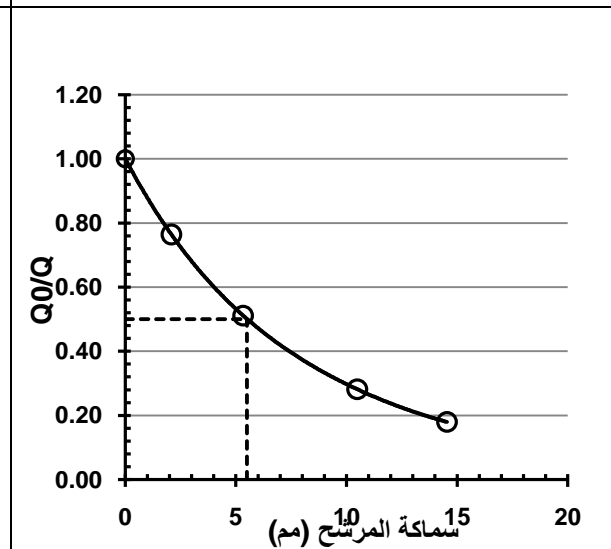
الشكل (22): RQA3



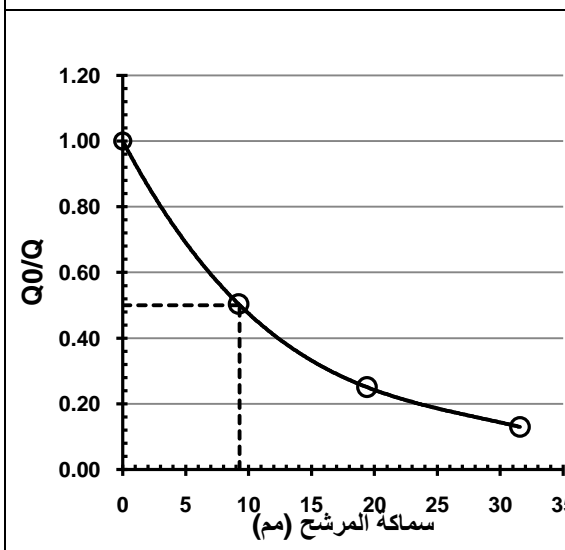
الشكل (21): RQA2



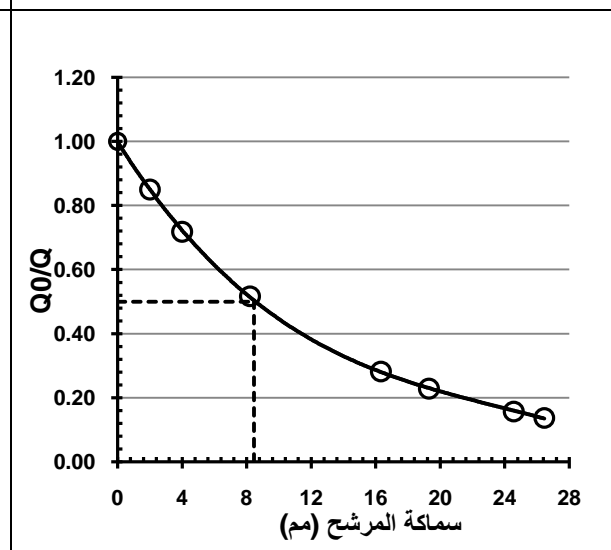
الشكل (24): RQA5



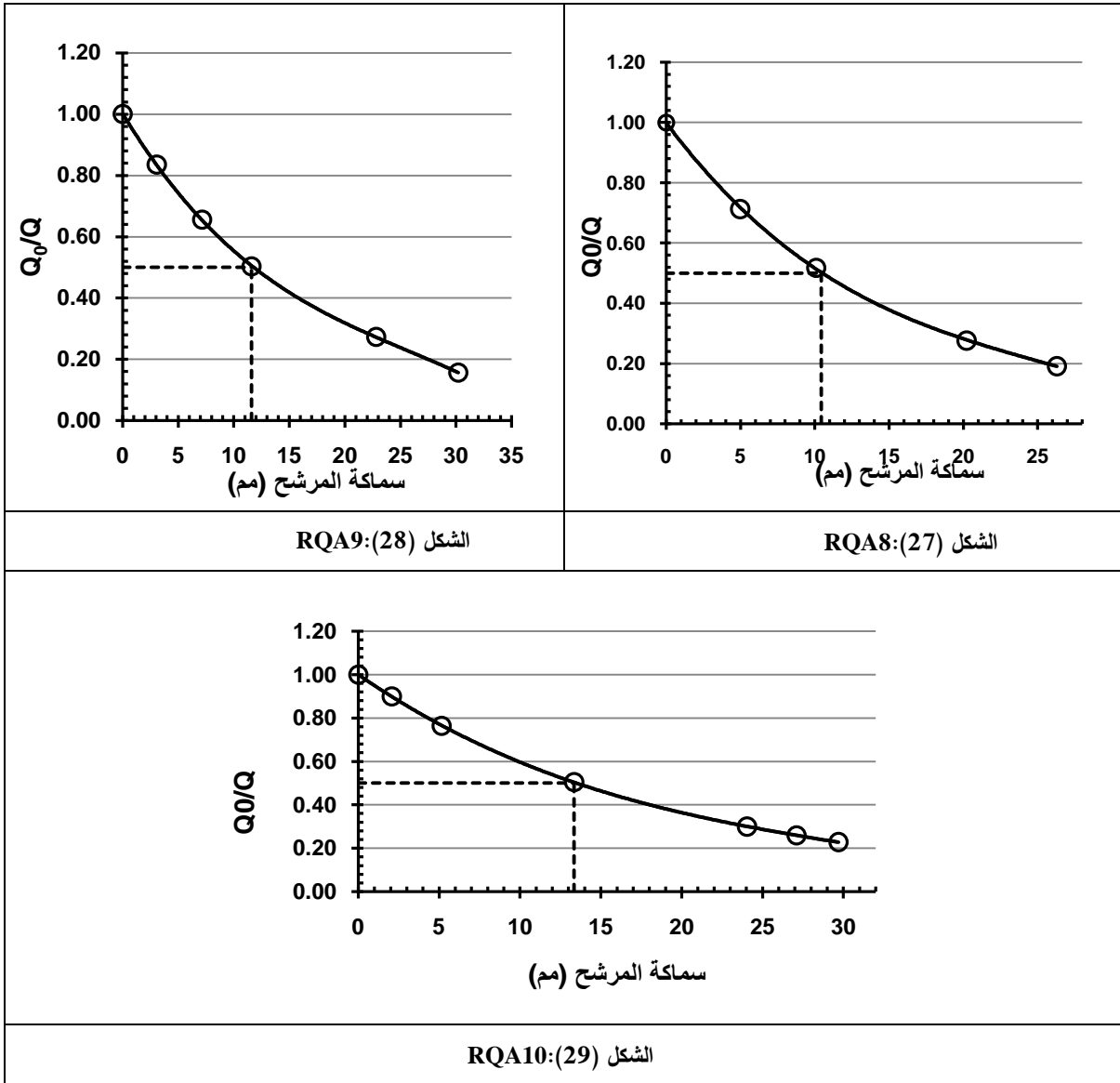
الشكل (23): RQA4



الشكل (26): RQA7



الشكل (25): RQA6



### 3.10. النتائج التجريبية الخاصة بإنشاء النوعيات الإشعاعية RQT:

تبين الجداول ذات الأرقام من 27 حتى 30 والمنحنيات البيانية من 30 حتى 32 نتائج القياسات التجريبية لعملية

تحديد سماكة طبقة النصف للحزم الإشعاعية RQT.

الجدول (28): يبين النتائج المتعلقة بالنوعية RQT-9

V= 120 kV, A= 10 mA

الجدول (27): يبين النتائج المتعلقة بالنوعية RQT-8V=

100 kV, A= 10 mA

نسبة التوهين	وسطي قراءات الحجيرة (nC/min)	السماكة المضافة (mm Al)	نسبة التوهين	وسطي قراءات الحجيرة (nC/min)	السماكة المضافة (mm Al)
1.000	2.438	0	1.000	1.733	0
0.698	1.701	4.048	0.798	1.383	2.001
0.495	1.206	8.43	0.497	0.862	6.90
0.284	0.692	16.206	0.297	0.514	13.03
0.247	0.602	18.288	0.248	0.430	15.203
0.166	0.405	22.351	0.212	0.368	17.204
			0.157	0.272	21.333

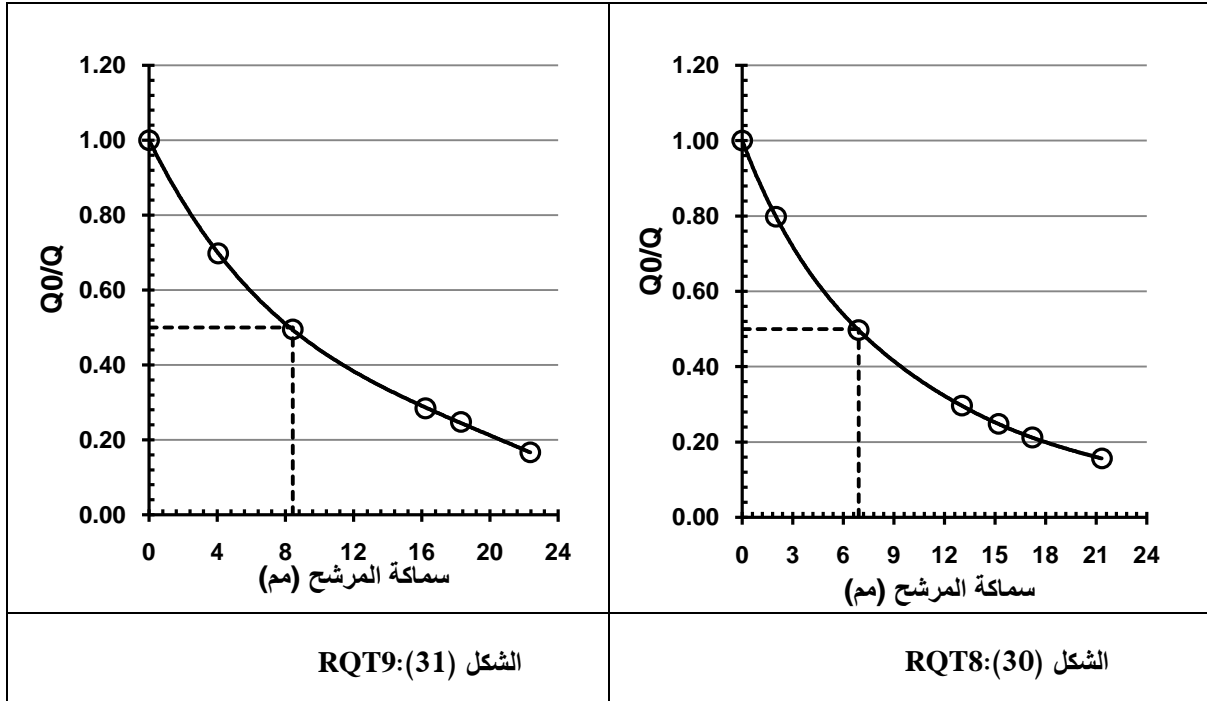
الجدول (29): يبين النتائج المتعلقة بالنوعية RQT-10V=

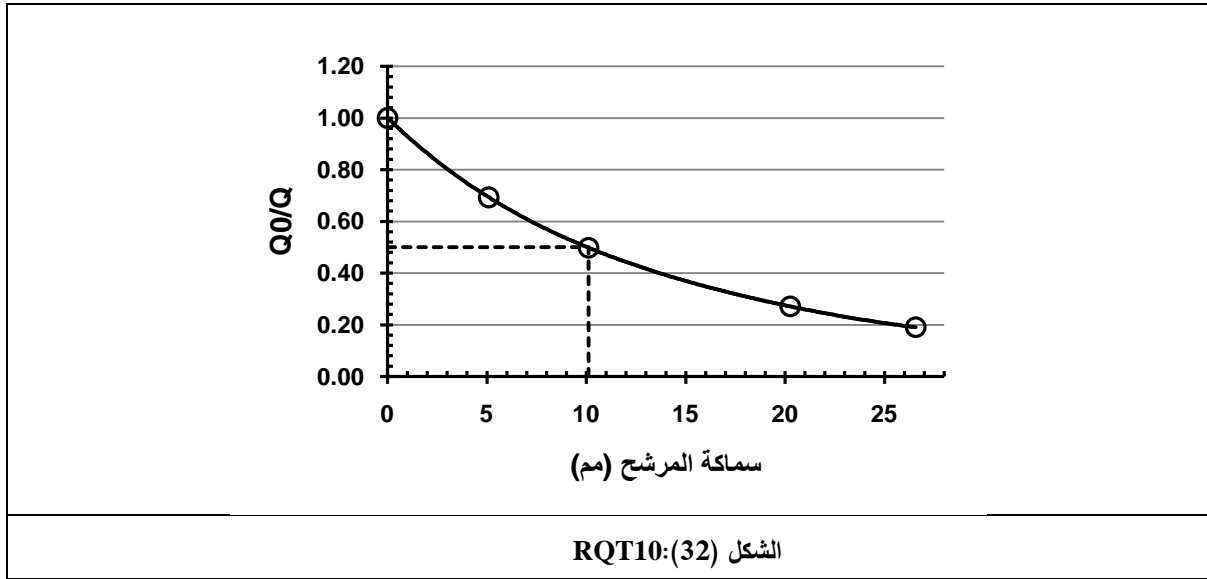
150 kV, A= 10 mA

نسبة التوهين	وسطى قراءات الحجيرة (nC/min)	السماكة المضافة (mm Al)
1.000	3.690	0
0.693	2.557	5.093
0.498	1.837	10.11
0.271	1.001	20.254
0.191	0.704	26.567

الجدول (30): يبين النتائج النهائية المتعلقة بإنشاء النوعيات الإشعاعية RQT.

الفلاتر المضافة	الفرق النسبي	<sup>1</sup> HVL (mm Al)	الجهد المطبق (kV)	النوعية الإشعاعية
0.267	0.00	6.90	100	RQT8
0.316	0.004	8.43	120	RQT9
0.381	0.001	10.11	150	RQT10





3.11. النتائج التجريبية الخاصة بإنشاء النوعيات الإشعاعية RQR-M:

تبين الجداول من 31 حتى 35 والمنحنيات البيانية من 33 حتى 36 نتائج القياسات التجريبية لعملية تحديد سماكة طبقة النصف RQR-M.

**الجدول (32):** يبين النتائج المتعلقة بالنوعية RQR-M2

V= 28 kV, A= 10 mA

**الجدول (31):** يبين النتائج المتعلقة بالنوعية RQR-

M1V= 25 kV, A= 10 mA

نسبة التوهين	وسطي قراءات الحجيرة (nC/min)	السماكة المضافة (mm Al)	نسبة التوهين	وسطي قراءات الحجيرة (nC/min)	السماكة المضافة (mm Al)
1.000	1.825	0	1.000	1.349	0
0.794	1.448	0.105	0.753	1.016	0.105
0.547	0.999	0.305	0.517	0.698	0.291
0.480	0.875	0.374	0.343	0.463	0.509
0.382	0.697	0.524	0.248	0.335	0.724
0.325	0.592	0.629	0.212	0.287	0.829
0.243	0.444	0.890	0.133	0.179	1.165
0.156	0.285	1.213			

**الجدول (34):** يبين النتائج المتعلقة بالنوعية RQR-M4

V= 35 kV, A= 10 mA

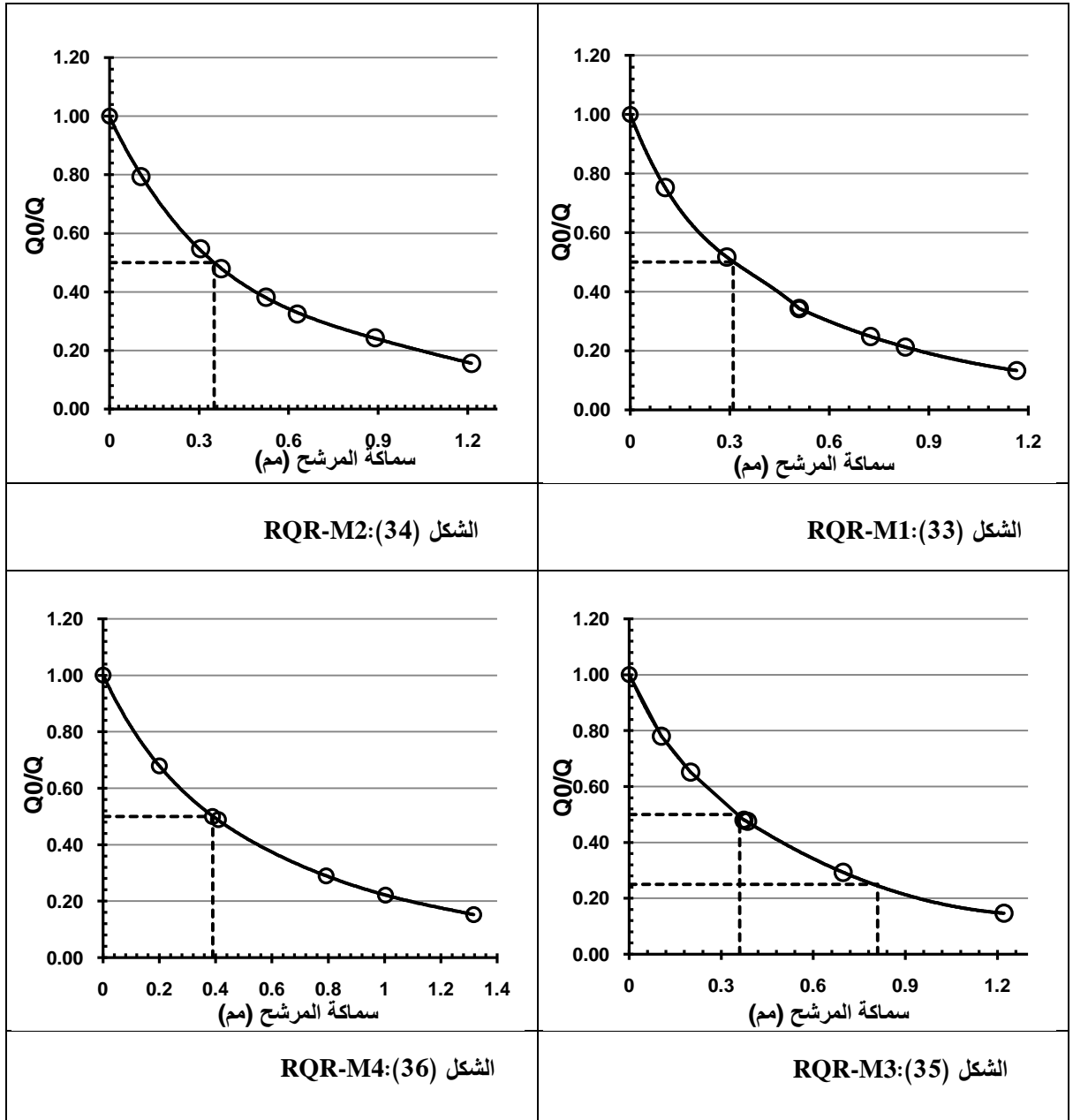
**الجدول (33):** يبين النتائج المتعلقة بالنوعية RQR-M3V=

30 kV, A= 10 mA

نسبة التوهين	وسطي قراءات الحجيرة (nC/min)	السماكة المضافة (mm Al)	نسبة التوهين	وسطي قراءات الحجيرة (nC/min)	السماكة المضافة (mm Al)
1.000	3.360	0	1.000	2.289	0
0.679	2.281	0.200	0.780	1.785	0.105
0.499	1.677	0.388	0.652	1.491	0.200
0.489	1.642	0.410	0.480	1.099	0.374
0.290	0.973	0.792	0.476	1.089	0.386
0.222	0.744	1.003	0.293	0.671	0.697
0.152	0.511	1.316	0.147	0.336	1.221

الجدول (35): يبين النتائج النهائية المتعلقة بإنشاء النوعيات الإشعاعية RQR-M.

الفلاتر المضافة (mm Mo)	الفرق النسبي	<sup>1</sup> HVL (mm Al)	الجهد المطبق (kV)	النوعية الإشعاعية
0.029	0.107	0.31	25	RQR-M1
0.029	0.129	0.35	28	RQR-M2
0.029	0.061	0.35	30	RQR-M3
0.029	0.083	0.388	35	RQR-M4



3.12. النتائج التجريبية الخاصة بإنشاء النوعيات الإشعاعية RQA-M:

تبين الجداول من 36 حتى 40 نتائج القياسات التجريبية لعملية تحديد سماكة طبقة النصف ومعامل التجانس للحزم الإشعاعية RQA-M.

الجدول (37): يبين النتائج المتعلقة بالنوعية RQA-M2

V= 28 kV, A= 10 mA

نسبة التوهين	وسطي قراءات الحجيرة (pC/min)	السماكة المضافة (mm Al)
1.000	100.6	0
0.891	89.62	0.105
0.716	72.06	0.305
0.512	51.53	0.616
0.510	51.33	0.626
0.301	30.34	1.150
0.242	24.39	1.368
0.192	19.32	1.628
0.130	13.12	2.047

الجدول (36): يبين النتائج المتعلقة بالنوعية RQA-

M1V= 25 kV, A= 10 mA

نسبة التوهين	وسطي قراءات الحجيرة (pC/min)	السماكة المضافة (mm Al)
1.000	59.64	0
0.877	52.29	0.105
0.759	45.29	0.218
0.507	30.23	0.574
0.319	19.01	1.003
0.249	14.84	1.221
0.171	10.22	1.577

الجدول (39): يبين النتائج المتعلقة بالنوعية RQA-M4

V= 28 kV, A= 10 mA

نسبة التوهين	وسطي قراءات الحجيرة (pC/min)	السماكة المضافة (mm Al)
1.000	240.2	0
0.735	176.5	0.310
0.519	124.6	0.711
0.408	97.98	1.003
0.292	70.04	1.458
0.239	57.45	1.750
0.192	46.22	2.097
0.143	34.35	2.621

الجدول (38): يبين النتائج المتعلقة بالنوعية RQA-

M3V= 25 kV, A= 10 mA

نسبة التوهين	وسطي قراءات الحجيرة (pC/min)	السماكة المضافة (mm Al)
1.000	134.7	0
0.805	108.5	0.200
0.724	97.49	0.305
0.516	69.54	0.643
0.313	42.23	1.177
0.266	35.80	1.363
0.184	24.73	1.807
0.138	18.59	2.143

الجدول (40): يبين النتائج النهائية المتعلقة بإنشاء النوعيات الإشعاعية RQA-M.

الفلاتر المضافة (mm Al)	الفرق النسبي	<sup>1</sup> HVL (mm Al)	الجهد المطبق (kV)	النوعية الإشعاعية
2	0.025	0.574	25	RQA-M1
2	0.07	0.64	28	RQA-M2
2	0.06	0.66	30	RQA-M3
2	0.07	0.73	35	RQA-M4

#### 4. مناقشة النتائج:

4.1. النوعيات الإشعاعية RQR: يتبين من الجدول ( 16 ) أن القيم التجريبية لسماكات نصف القيمة  $^{1}HVL$  ولمعاملات التجانس (h) تقع ضمن الحد الموصى به في المراجع وهو أن لا يتجاوز الفرق النسبي عن  $0.03[2][3]$ .

4.2. النوعيات الإشعاعية RQA: بالعودة للنتائج المدرجة في الجدول ( 26 ) حيث تظهر القيم التجريبية لسماكات النصف للنوعيات الإشعاعية RQA نجد أن هذه القيم تقع ضمن الحد المسموح به وهو  $\pm 3\%$ [4], وبالنظر إلى قيم الفلاتر المضافة نلاحظ أنه بالنسبة للنوعيات الإشعاعية من RQA-4 حتى RQA-10 تم الاكتفاء بسماكات الألمنيوم المدرجة في الجدول (6.3.) من البروتوكول المعتمد، أما بالنسبة للنوعيتين RQA-2 و RQA-3 فتم إضافة سماكات إضافية من الألمنيوم لتحقيق القيم المقبولة لسماكة نصف القيمة. ننوه في هذا السياق إلى أن بروتوكول الوكالة ذكر بأن النوعيات الإشعاعية RQA تنتج بشكل تلقائي بإضافة الفلاتر المضافة للنوعيات RQR مع السماكات المدرجة في الجدول (6.3.)، وقد تم تجريب ذلك عملياً الجدول (41) إلا أن قيم سماكات النصف التي تنتج بعضها كان ضمن الحد المقبول وبعضها خارج الحد المقبول ولكن حتى بالنسبة للقيم المقبولة لم تكن أقرب إلى قيم سماكات النصف المرجوة مقارنةً مع القيم التي اعتمدها فعلياً في الجدول (26).

الجدول (41): يبين النتائج النهائية المتعلقة بإنشاء النوعيات الإشعاعية RQA.

النوعية الإشعاعية	الجهد المطبق (kV)	$^{1}HVL$ (mm Al)	الفرق النسبي	الفلاتر المضافة (mm Al)
RQA2	40	2.28	<u>0.036</u>	RQR2 + 4
RQA3	50	3.92	<u>0.032</u>	RQR3 + 10
RQA4	60	5.50	0.019	RQR4 + 16
RQA5	70	6.93	0.019	RQR5 + 21
RQA6	80	8.45	0.030	RQR6 + 26
RQA7	90	9.28	0.009	RQR7 + 30
RQA8	100	10.43	<u>0.034</u>	RQR8 + 34
RQA9	120	11.95	0.030	RQR9 + 40
RQA10	150	13.55	0.019	RQR10 + 45

4.3. النوعيات الإشعاعية RQT: بملاحظة قيم الفلاتر المضافة في الجدول (30) يتبين أن سماكة الفلاتر المضافة من النحاس والتي تم اعتمادها نتيجة العمل التجريبي أعلى قليلاً من القيم الموصى بها [4] وذلك بهدف تقسية الحزمة أكثر للوصول إلى قيمة سماكة النصف الموصى بها.

4.4. النوعيات الإشعاعية RQR-M: في هذا المجال تم اعتماد فلتر من الموليبدنوم بسماكة  $0.029\text{ mm}$  وهو الفلتر الوحيد المتوفر في المخبر وبملاحظة النتائج في الجدول (35) نجد أن قيم سماكات النصف بالنسبة للنوعيتين RQR-M1 و RQR-M2 كانت بعيدة عن ما هو موصى به في البروتوكول حيث



ينبغي لسماكة النصف أن لا تختلف بأكثر من 0.02 مم عن السماكات الموصى بها في الجدول (6.5.) من البروتوكول المعتمد، ولكن بما أنه لا يوجد في المخبر العياري الثانوي السوري سوى فلتر موليبيدينوم وحيد بسماكة 0.029 مم وأنه من الصعب معرفة سماكة فلتر الموليبيدينوم اللازم لتحقيق سماكات النصف الموصى بها قبل إجراء العمل التجريبي فإنه سيتم اعتماد ما تم التوصل إليه في الجدول (35) ولكن ينبغي العمل على تأمين سماكة من هذا الفلتر أعلى حيث أن السماكة الموصى بها 0.030 مم. نشير هنا إلى أن ما تم التوصل إليه عند إنشاء النوعيات الإشعاعية RQR-M يشبه ما توصلت إليه الوكالة الدولية للطاقة الذرية حيث يبين الجدول (42) [11] قيم سماكات النصف والفلتر المضافة لكلا المخبرين وتظهر المشكلة جليةً من خلال ملاحظة الفرق النسبي بين نتائج كلا المخبرين وما هو موصى به وفق [7].

الجدول (42): يبين مقارنة بين النوعيات الإشعاعية RQR-M لكل من المخبر العياري السوري و IAEA.

المخبر العياري السوري			IAEA			الجهد المطبق (kV)	النوعية الإشعاعية
الفلتر المضافة (mm Al)	الفرق النسبي	<sup>1</sup> HVL (mm Al)	الفلتر المضافة (mm Al)	الفرق النسبي	<sup>1</sup> HVL (mm Al)		
0.029	<u>0.107</u>	<b>0.31</b>	0.03	<u>0.107</u>	<b>0.31</b>	25	RQR-M1
0.029	<u>0.129</u>	<b>0.35</b>	0.03	<u>0.161</u>	<b>0.36</b>	28	RQR-M2
0.029	<u>0.061</u>	<b>0.35</b>	0.03	<u>0.152</u>	<b>0.38</b>	30	RQR-M3
0.029	<u>0.083</u>	<b>0.39</b>	0.03	<u>0.170</u>	<b>0.42</b>	35	RQR-M4

4.5. النوعيات الإشعاعية RQA-M:

بالنسبة لهذه النوعيات نلاحظ من الجدول (40) أن قيم سماكات النصف المحققة تجريبياً تقع ضمن  $\pm 3\%$  مقارنةً مع القيم الواردة في الجدول (6.6.) من البروتوكول [4].

## 5. الخلاصة والتوصيات:

سيتم اعتماد النوعيات الإشعاعية التي تم إنشاؤها ضمن هذه الدراسة لتقديم خدمات القياس والمعايرة لكافة الكوشف والأجهزة المستخدمة في مجال قياس الجرعات وضبط جودة أجهزة التشخيص الطبية التشخيصية بأنواعها المختلفة وذلك في المخبر الوطني للقياسات الإشعاعية. حيث تعتبر هذه الخدمات جديدة من نوعها على مستوى المنطقة.

يوصى بضرورة تأمين فلتر موليبيدينوم بسماكة أعلى من المتوفرة حالياً في المخبر العياري وذلك فيما يتعلق بالنوعيات الإشعاعية RQR-M حتى تصبح قيم سماكات النصف لهذه النوعيات ضمن الحد المقبول به.

تعتبر هذه الدراسة نقطة بداية على طريق تطوير القياس والمعايرة في مجالات التشخيص المختلفة حيث يمكن اعتماد نتائجها والانطلاق فيما بعد إلى عملية اعتماد طرائق للمعايرة والقياس في مجالات التشخيص المختلفة مثل الطرائق المستخدمة في معايرة حجيرات التأين بمفهوم كيرما الهواء، معايرة الحجيرة المستخدمة في التصوير الطبقي المحوري ومعايرة الأجهزة المستخدمة في اختبارات الحزم الإشعاعية المستخدمة من قبل فرق ضبط الجودة.

## كلمة الشكر

نتقدم بفائق الشكر لكل من المدير العام لهيئة الطاقة الذرية السورية الاستاذ الدكتور ابراهيم عثمان ولرئيس قسم الوقاية والأمان د.سعيد المصري لدعمهم الدائم والمستمر وتشجيعهم البحث العلمي. كل الشكر والتقدير للسيد رضوان عبد السلام وأحمد أبو نجاج ونهى جاويش لمساعدتهم في القياسات التجريبية وفي تركيب واختبار التجهيزات المستخدمة في القياس.

## المراجع

1. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Basic Medical Radiation Safety Package Part D - Radiation Protection in Diagnostic Radiology 19/1/01
2. انتاج الأشعة السينية وخصائصها, دبلوم الدراسات العليا الإقليمي التخصصي الوقاية الإشعاعية و أمن المصادر المشعة, د. مصطفى حمو ليلا, هيئة الطاقة الذرية السورية, 2001.
3. مبادئ الفيزياء النووية, دبلوم الدراسات العليا الإقليمي التخصصي الوقاية الإشعاعية و أمن المصادر المشعة, د. سامي حداد, قسم الفيزياء, هيئة الطاقة الذرية السورية, 2001.
4. IAEA, Dosimetry in Diagnostic Radiology: An International Code of practice, Technical Reports Series no. 457, IAEA, Vienna (2007).
5. Regional training course on Diagnostic Radiology Dosimetry based on TRS 457 (RAS/6/054) 28 February - 4 March 2010; Riyadh, Saudi Arabia.
6. SSDL Newsletter No. 56, April 2008
7. IEC, Medical Diagnostic X ray Equipment — Radiation Conditions for Use in the Determination of Characteristics, IEC-61267, IEC, Geneva (2005).
8. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, X and Gamma Reference Radiation for Calibrating Dosemeters and Dose rate Meters and for Determining their Response as a Function of Photon Energy — Part 1: Radiation Characteristics and Production Methods, ISO 4037-1:1996(E), Geneva (1996).
9. Radiation Oncology Physics: a handbook for teachers and students, IAEA, Vienna, July 2005.
10. NIST HANDBOOK 150-2D, Technical Guide for Ionizing Radiation Measurements, C.Douglas Faison and Carroll S. Brickenkamp, Editors September 2004
11. IAEA HUMAN HEALTH SERIES PUBLICATIONS No.4, implementation of the international code of practice on dosimetry in diagnostic radiology, IAEA, Vienna (2011)