



الجمهورية العربية السورية  
هيئة الطاقة الذرية

هـ ط ذ س- و/ت د ع 764  
شباط 2008

تقرير عن دراسة علمية مخبرية  
قسم الوقاية و الأمان

تحضير مقياس الجرعة الهلامي FXG و دراسة استجابته لطاقات أشعة-X المنخفضة  
والمتوسطة

الدكتور ممدوح برّو  
الدكتور محمد حسان خريطة

هـ ط ذ س- و/ت د ع 764

## تحضير مقياس الجرعة الهلامي FXG و دراسة استجابته لطاقات أشعة-X المنخفضة والمتوسطة

د. ممدوح برو & د. محمد حسان خريطة  
قسم الوقاية و الأمان، هيئة الطاقة الذرية السورية.

### مستخلص:

وُجد أن طريقة قياس الجرعة بالمواد الهلامية قادرة على معالجة قضايا معقدة تتعلق بقياس توزع الجرعة خصوصاً في تطبيقات المعالجة الإشعاعية الحديثة العالية التقنية. مقياس الجرعة الهلامي المتلون المكون من كبريتات الحديد و الكزليلينول البرتقالي و الجلوتين Ferrous-sulphate Xylenol-orange and Gelatin (FXG) هو أحد الأنظمة المستخدمة في مثل هذه التطبيقات. تبدي بعض مقاييس الجرعة الكيميائية استجابة مختلفة لطاقات الأشعة السينية الصغيرة و المتوسطة عندما تقارن مع فوتونات غاما عالية الطاقة. اختبرت استجابة مقياس الجرعة FXG للطاقة و لمعدل الجرعة. بالإضافة إلى دراسة استجابة الكاشف، تناول البحث خصائص أخرى مهمة تتعلق بقياس الجرعة من أجل حزم أشعة سينية مختلفة النوعية و في مجال جهود مطبقة على الأنبوب تتراوح ما بين 100kV و 300kV. استخدمت وحدة معالجة بالأشعة السينية العميقة (orthovoltage) لغرض تشيع عينات نظامية الحجم من FXG مأخوذة من مجموعات مختلفة لجرع إشعاعية في المجال 0Gy إلى 8Gy.

تضمن العمل في المرحلة الأولى تحضير مقياس الجرعة الهلامية المتلون بالإشعاع (FXG) و معايرته باستخدام أشعة غاما؛ ثم تم التحقق من استقرار النظام و إمكانية إعادة توليد القياسات. وتوصلنا إلى النتائج المطلوبة التي يمكن الاستناد إليها في متابعة المرحلة التالية من الدراسة. المرحلة الثانية تمحورت حول تشيع عينات من المادة الهلامية الحساسة بطاقات متزايدة من أشعة-X ودراسة خصائص المادة الهلامية كمقياس جرعة في هذه الحالة، مع التركيز على تبيان تغير استجابة المادة الهلامية الحساسة لتغير طاقة أشعة-X المطبقة. ومن ثم استنتاج تابعة الاستجابة للطاقة الإشعاعية و مقارنة النتائج مع قياسات مأخوذة من مقاييس جرعة معروفة أخرى مثل حجيرات التأين. لقد بينت التجارب أن للكاشف الهلامي FXG مجال ديناميكي مناسب للجرع المستخدمة في المعالجة الإشعاعية؛ وكذلك فإن استجابة الكاشف بتابعة معدل الجرعة ثابتة في مجال طاقات الأشعة المستعملة.

### الكلمات المفتاحية:

قياس الجرعة الإشعاعية، كاشف هلامي متلون بالإشعاع، نوعيات حزمة الأشعة السينية.

# **Preparation of the FXG gel dosimeter and studying its response for low and medium energy X-rays.**

Mamdouh Bero

*Protection and Safety Department, Syrian Atomic Energy Commission*

## **Abstract:**

Gel dosimetry method was found to be capable of addressing complicated issues related to dose measurements particularly in modern sophisticated radiotherapy applications. Ferrous-sulphate Xylenol-orange and Gelatin (FXG) radiochromic gel dosimeter is one of the systems used for such applications. Some chemical dosimeters show different response for low and medium energies X-rays in comparison with high energy  $\gamma$ -photons. The energy and dose rate dependence of the FXG dose response was examined. In addition to the detector response other important dosimetric properties of the system were investigated for different X-ray beam qualities with tube voltages in the range 100 – 300kV. An orthovoltage X-ray therapy unit was used to irradiate standard sized samples of FXG from different batches for radiation doses in the range 0 - 8Gy.

This work includes in the first stage the preparation of the radiochromic gel dosimeter (FXG) as well as its calibration in gamma radiation field. Furthermore, the stability and reproducibility of measurements were tested. The obtained results were found to be suitable as a basis to carry on the next stage of this study. The second phase was centred about the delivery of radiation doses from X-ray source that has increasing energy and evaluating the gel material properties as a dosimeter in this case, with concentration on finding the changes of the gel material response with the changes in the applied X-ray energy. Therefore establishing the response radiation energy dependence and comparing the measurement results with other results taken from other known dosimetry system such as ion chambers. Experiments shows that the FXG gel detector has a dynamic range suitable for the dose delivered in radiotherapy treatment; its response as a function of the dose rate is also stable in the range of radiation energies applied.

## **Key Words:**

Radiation dosimetry; radiochromic gel detector; X-ray beam qualities

## المحتويات

رقم الصفحة	العنوان
2	مستخلص
4	المحتويات
5	1 المقدمة
6	2. مقياس الجرعة الهلامي و الأجهزة المستخدمة
6	1.2 مواد الكاشف <i>FXG</i>
6	2.2 تصنيع مقياس الجرعة
7	3.2 تشيع العينات
7	4.2 جهاز توليد أشعة $X$
9	5.2 جهاز التشيع بالكوبالت
9	6.2 القياسات الضوئية
10	3. نظام قياس الجرعة الإشعاعية الممتصة و طريقة العمل
10	1.3 مكونات النظام
20	2.3 قياس معدل الجرعة الممتصة بواسطة حجيرة تأين
11	3.3 طريقة القياس
12	4. النتائج و المناقشة
13	1.4 منحنى الاستجابة للجرعة
14	2.4 ارتباطه بمعدل الجرعة
14	3.4 تأثير طاقات الأشعة السينية
15	4.4 استقرارية مقياس الجرعة
17	الخلاصة
17	كلمة الشكر
18	المراجع

## 1. المقدمة:

الأشعة السينية وتسمى أيضاً أشعة-X واحدة من أكثر أنواع الإشعاعات المؤينة استخداماً في مجالات عديدة كالطب و الصناعة و البحوث العلمية. تسبب الأشعة السينية عند تفاعلها مع المواد تغييرات كيميائية وفيزيائية و حيوية متنوعة؛ وقد يسبب التعرض غير المبرر للأشعة السينية أضراراً إشعاعية غير مقبولة. فقد تسبب جرعة زائدة من الأشعة السينية حروقاً في الجلد أو تساهم في زيادة احتمال الإصابة بالسرطان في فترة لاحقة من العمر أو تخلفاً عقلياً و تشوهات خلقية للأجنة. وتستخدم الأشعة السينية على نطاق واسع في علاج السرطان، فهي تقتل الخلايا السرطانية بسهولة أكبر من قتلها الخلايا العادية نتيجة الاختلاف في استجابة الخلايا المختلفة للإشعاع و لهذا فإن التحديد الدقيق لطاقة الأشعة الممتصة مهم في تطبيقات الإشعاع المؤين بشكل عام و الأشعة السينية على وجه الخصوص. هذه الأشعة قادرة على تأيين الجزيئات العضوية وبالتالي تحليل الروابط الكيميائية فيها و تشكيل جذور حرّة نشطة كيميائياً و هذا ما يعرف بالأثر الكيميائي للإشعاع المؤين.

تستعمل مقاييس الجرعة المعتمدة على الأثر الكيميائي للإشعاع المؤين بشكل روتيني و منذ زمن طويل. وقد درست بعض هذه الأنظمة بشكل مستفيض و غدت بعضها من الطرق القياسية في قياس الجرعة الإشعاعية مثل نظام محلول كبريتات الحديد في وسط حمضي و المسمى " محلول فريكي " [1]. اقترح فيما بعد استعمال مواد هلامية حساسة للإشعاع من أجل قياسات للجرعة الممتصة و تحديد التوزع الحجمي للجرعة باستعمال طرق التصوير المقطعية الحديثة مثل الرنين المغناطيسي و التصوير الطبقي و كانت البداية لهذا المنحى في عام 1984 [2]. ثم تطورت طرق قياس توزع الجرعة بالمواد الهلامية من قبل العديد من الباحثين في العقد الماضي حيث تم اقتراح مواد هلامية مختلفة حساسة للإشعاع من أجل قياسات غير تدخلية للتوزع الحجمي للجرعة الإشعاعية [1] [2].

تم توظيف هلام الجلوتين المتلون بمكونات معدلة تختلف بعض الشيء عن المواد الهلامية المذكورة آنفاً و درست خصائصه و ميزاته كمقياس للجرعة الإشعاعية الممتصة و استعمل بالتوازي مع تقنية التصوير الطبقي بالضوء المرئي في قياس الجرعة الإشعاعية في ثلاثة أبعاد [3] [4]. تبين أن الهلام المتلون بالإشعاع FXG و الذي يعد من الكواشف الإشعاعية المعتمدة على الأثر الكيميائي للإشعاع بأنه و صفة حساسة تعطي نتيجة واعدة في هذه التطبيقات. يعتمد النظام على التغيرات الحاصلة في الخصائص الضوئية للوسط الهلامي الشفاف عندما يتعرض للإشعاع المؤين. اقتصر التجارب في مجال الكواشف الهلامية على قياس جرعة الأشعة المؤينة عالية الطاقة من مستوى الطاقات المستخدمة في المعالجة الإشعاعية (أشعة- $\gamma$ ، أشعة-X و الإلكترونات عالية الطاقة الناتجة عن المسرعات خطية) و لم يعط البحث في مجال طاقات أشعة-X المنخفضة (مثل تلك المستعملة في التشخيص الإشعاعي) الكثير من الاهتمام و بقيت العمومية و الضبابية تلف هذا المجال الهام. و قد كان هذا مبرراً في الكواشف الكيميائية التقليدية نظراً لضعف حساسيتها الإشعاعية، إلا أن الكواشف الهلامية التي تمتاز في أغلب الأحيان بالحساسية العالية و لهذا فهي تبقى مرشحة نظرياً لقياس جرعات صغيرة تغطي مجال الجرعة المعطاة في بعض أساليب التشخيص الإشعاعي. تم توجيه البحث في هذا الاتجاه في محاولة لتقييم جدوى استعمال هذه الكواشف القليلة الكلفة و السهلة الاستخدام في مجال أشعة-X المنخفضة الطاقة الواسعة الانتشار. و قد أضاءت هذه الدراسة بعض الميزات الإضافية لمقياس الجرعة الهلامي FXG وذلك باستخدامه لقياس جرعة الأشعة السينية المنخفضة والمتوسطة الطاقة.

تستخدم أشعة-X المنخفضة و المتوسطة الطاقة بشكل كبير في التشخيص الطبي و تساهم الجرعة الناتجة عن هذه الاستخدامات إلى حد كبير في جرعة عموم الناس و المجتمع بحيث تصل نسبة التعرض الناتج عن التطبيقات الطبية إلى 30% من إجمالي التعرض الإشعاعي في البلدان المتقدمة. إن وجود مقياس جرعة موثوق و سهل التحضير و الاستعمال في متناول اليد و يغطي المجال المذكور من الطاقات الإشعاعية، يعد من الأمور المرغوب فيها عملياً خصوصاً إذا كان ذو حساسية عالية. تعاني الكواشف و مقاييس الجرعة المستخدمة في هذا المجال من مساوئ متعددة منها الكلفة المرتفعة و عدم التوافق مع بنية النسيج في الجسم و حاجتها لوجود تقنية متكاملة يديرها متخصصون. و لهذا فإن تطوير كاشف هلامي حساس و موثوق يخدم هذه الأغراض سيتمكن من تجاوز بعض تلك السلبيات. تشكل هذه الدراسة خطوة في هذا الاتجاه حيث توسع مفاهيمنا عن استجابة المادة الهلامية الحساسة للإشعاع المؤين في مجال الطاقات المنخفضة و المتوسطة و هي خاصة لم تدرس سابقاً حيث تركزت الدراسات على دراسة المجراع الهلامي في مجال الطاقات المرتفعة

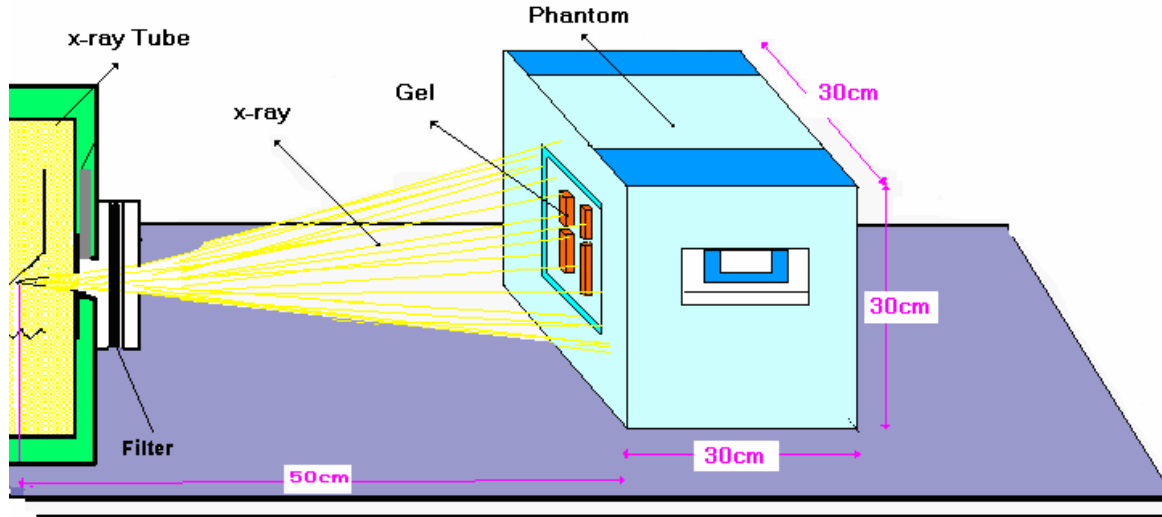
و الجرعات المتوسطة كتلك المستخدمة في المعالجة الإشعاعية تحديداً. و بالتالي يمكن أن تساهم هذه الدراسة في تطوير نظام قياس جرعة متعدد المهام يمتاز بحساسيته وبساطته و قلة تكلفته [5].

## 2. مقياس الجرعة الهلامي و الأجهزة المستخدمة:

1.2. مواد الكاشف FXG: يعد الماء الثلاثي التقطير و المنزوع الشوارد العالي النقاوة المكون الرئيسي "حوالي 91% من الحجم النهائي" للكاشف الهلامي FXG المحضر. استخدم مسحوق جلاتين تجاري من النوع المستعمل في الصناعات الغذائية  $(C_{17}H_{32}N_5O_6)_x$  بتركيز 8% و هو التركيز الذي يعطي الكاشف استقرار شكلي في الأبعاد. أمونيوم كبريتات الحديدي سداسي المئات  $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ ، نوع تحليلي و حمض الكبريت المركز 98%  $H_2SO_4$  و ملح الكزليلينول البرتقالي  $C_{31}H_{28}N_2O_{13}SNa_4$  بتركيز 0.5 mM و 50 mM و 0.1 mM على الترتيب؛ هي المكونات الكيميائية الثلاث اللازمة من أجل عمل النظام بشكل مناسب. معروف أن المؤشر الأيوني يشكل معقد لوني مع أيونات الحديد  $Fe^{3+}$  و لا يكون أي معقد مع أيونات الحديدي  $Fe^{2+}$  كما أنه يساعد في إزاحة سويات الامتصاص لمادة الكاشف من مجال الأشعة فوق البنفسجية إلى المجال المرئي.

2.2. تصنيع مقياس الجرعة: تؤثر إجراءات التحضير بشكل عام في مواصفات النظام و لهذا يطلب إتباع أسلوب معروف بشكل مستمر. يتكون النظام من جزأين رئيسيين، مزيج الماء و الجلاتين الذي يعطي 75% من الحجم النهائي، و جزءاً المواد الكيميائية الفعالة التي تكون نسبة 25% الباقية. مُزج مسحوق الجلاتين مع الماء النقي و ترك المزيج فترة 15 دقيقة لينتشر. ثم سخّن مزيج الجلاتين و الماء مع المحافظة على التحريك من خلال محرك مغناطيسي حتى الذوبان و الحصول على سائل صافي و ذلك عند حوالي الدرجة  $45^{\circ}C$ . و حضر الجزء الكيميائي بإضافة حمض الكبريت أولاً ثم تذويب أيونات الحديدي في الماء الحمضي و أخيراً إضافة المؤشر الأيوني. يجب مزج المواد الكيميائية بحذر و عند درجة حرارة مناسبة و هي حوالي  $35^{\circ}C$ . أخذ العدد المطلوب من العينات من كل مجموعة فوراً بعد التحضير و وضعت في حوامل تستخدم لمرة واحدة و من ثم وضعت هذه العينات في براد لبضعة ساعات من أجل الحصول على عينات هلامية صلبة و مستقرة.

3.2. تشعيع العينات: استخدمت ثلاث منابع مختلفة لتعريض عينات مقياس الجرعة FXG. جهاز التشعيع الأساسي في هذه الدراسة هو وحدة الأشعة السينية العميقة المستخدمة في المعالجة و نوعها (Thermax DTK 300). تعطي هذه الوحدة نسبة استطاعة تصل إلى 3kW، و هي قابلة للتشغيل بجهود تسريع مابين 40kV و 300kV. الوحدة مزودة بثمانية مرشحات مختلفة إضافية، استخدمنا منها عملياً فقط 6 مرشحات، انظر الجدول 1 من أجل التفاصيل. أنجزت معظم عمليات التشعيع عند مسافة منبع إلى السطح SSD ثابتة و هي 50cm من أجل حجم الحقل  $8 \times 10 \text{cm}^2$ . كما أن القياسات أخذت في الهواء من أجل مخاريط مفتوحة و مغلقة النهاية بارتياح تجريبي يقدر بحوالي 0.3%. نبين في الجدول 2 ميزات المخاريط المتوفرة. يوضح الشكل التالي وضعية التجربة أثناء عينات الهلام:



الشكل 1: يظهر الترتيبات الهندسية لتشجيع عينات الهلام على سطح الفانتوم.

#### 4.2. جهاز توليد أشعة X:

##### بطاقة الجهاز:

-اسم الجهاز: Therapax3 x-ray System.....

-موديل الجهاز: Therapax DTX300 x-ray System.....

-الرقم الرئيسي للجهاز: Sr. No.=9607-1920.....

-الشركة الصانعة: PANTAKINC.....

-الطاقة الاسمية للجهاز: 40-300 KV...(3KW) .....

##### أنبوب الأشعة X المركب على الجهاز:

-نوع الأنبوب: Comet X-ray Tube Type MXR-321... ..

-رقم الأنبوب: Sr. No.=52-2690.....

-قطر البؤرة المحرقة: 8 mm .....

-مرشحات تقسية الحزمة: Inherent Filtration 3 mm of Be.....

##### نظام المراقبة الإشعاعية:

نبين فيما يلي نموذج نظام المراقبة الإشعاعية المركب مع الجهاز و الشركة الصانعة له.

PTW Freiburg, Dosimeter Sr. No.57348-A-890

220 VAC Opration

Ion Chamber Sr. No. 7862-084

##### مرشحات تقسية الحزمة الإشعاعية ( Beam Hardening Filters ):

لقد زود الجهاز بثمانية مرشحات لتقسية الحزمة الإشعاعية؛ نبين في الجدول التالي خصائصها:

الجدول 1: خصائص مرشحات لتقسية الحزمة الإشعاعية

رمز المرشح	سماعة مكونات المرشح (mm)	الجهد لمطبق (kV)	تيار الأنبوب (mA)	سماعة النخن النصفى (HVL)
F1	1.65 AL	75	29.5	2.05mm of AL
F2	2.40 AL	90	28.1	3.00mm of AL
F3	3.10 AL	100	28.2	3.90mm of AL
F4	0.1 Cu+ 2.5 AL	135	22.5	0.36mm of Cu
F5	0.35 Cu+ 1.0 AL	180	16.1	0.83mm of Cu

F6	0.9 Cu+ 1.0 AL	225	13.4	1.68mm of Cu
F7	0.3 Sn+0.5 Cu+1.5 AL	270	10.5	2.65mm of Cu
F8	0.80 Sn+0.25 Cu+1.5 AL	300	10	3.70mm of Cu
Warm-up 7 Pb				

### مخاريط تحديد الحزمة الإشعاعية (Cones):

لقد زود الجهاز باثنتي عشر مخروط تستعمل في تحديد الحزمة في التطبيقات الطبية يبين الجدول التالي خصائص هذه المخاريط:

الجدول 2: خصائص مخاريط تحديد الحزمة الإشعاعية.

أبعاد المقطع العرضي لنهاية المخروط	المسافة بين المحرق ونهاية المخروط (FSD)	رمز المخروط
دائري بقطر 4cm	30cm	A
دائري بقطر 6cm	30cm	B
دائري بقطر 8cm	30cm	C
مستطيل 6cm × 8cm	30cm	D
مستطيل 8cm × 8cm	30cm	E
مستطيل 6cm × 12cm	50cm	F
مستطيل 10cm × 8cm	50cm	G
مستطيل 12cm × 8cm	50cm	H
مستطيل 15cm × 8cm	50cm	I
مستطيل 10cm × 20cm	50cm	J
مستطيل 12cm × 15cm	50cm	K
مستطيل 20cm × 20cm	50cm	L

### 5.2. جهاز التشعيع بالكوبالت:

استخدم أيضا جهاز معالجة إشعاعية بالكوبالت نوع (Theatron Elite – 80) ذو حقل إشعاعي بتحديد مربع الشكل  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  حيث كانت المسافة منبع – سطح SSD=80cm و معدل جرعة عند مستوى عينات الهلام في الماء هو 2.1Gy/min. وذلك من أجل بيان استجابة الهلام FXG للجرعة الناتجة عن أشعة- $\gamma$ . استخدمنا في كل تشعيع 4 عينات من FXG وعُرِضت العينات جرعة متزايدة وصلت إلى 50Gy من أشعة غاما. وضعت العينات على سطح مجسم صلب من البيرسبيكس أبعاده  $30 \times 30 \times 15 \text{ cm}^2$  من أجل تشعيعها. وأعطيت العينات جرعة وصلت إلى 8Gy من الأشعة السينية. جرى التشعيع في فترة تراوحت ما بين بضعة ساعات إلى يوم بعد تحضير الهلام FXG و من ثم قيس الامتصاص الضوئي خلال بضعة ساعات تلت التشعيع. و كررت القياسات الضوئية بعد ذلك خلال عدة أيام.

6.2. القياسات الضوئية: قَدِّرت الكثافة الضوئية لعينات الهلام FXG بالقياسات المأخوذة من مطيافية فوق بنفسجية/مرئية و هي جهاز ثنائي الحزمة الضوئية مع قابلية لمسح طيفي وزمني. تم تشغيل الجهاز بنمط الامتصاص و عليه قيست الكثافة الضوئية لعينات FXG ذات المسار الضوئي 1 cm عند طول موجة ثابت يتوافق مع التغيرات الأعظمية التي تسببها الأشعة المؤينة في الهلام المتلون بالأشعة.

### 3. نظام قياس الجرعة الإشعاعية الممتصة و طريقة العمل:



### 1.3. مكونات النظام:

- اسم الجهاز: UNIDOS.
- الشركة الصانعة وعنوانها: PTW.
- الرقم المتسلسل والنموذج: 10002.
- حجيرة التأين الملحقة به: ذات الرقم المتسلسل والنموذج الآتي: 0.2 cc-30013.
- معامل معايرة الحجيرة كيرما الهواء: 4.94 mGy/nC.

### 2.3. قياس معدل الجرعة الممتصة بواسطة حجيرة تأين:

لحساب معدل الجرعة الممتصة على السطح وعند النقطة الفعالة نستخدم العلاقة التالية :

$$D_W = M_u \cdot N_K \cdot B \cdot (\mu_{en} / \rho)_{W,air} \cdot K_u \cdot K_{T,P} \quad (1)$$

حيث أن:

- $D_W$ : الجرعة الممتصة على سطح الفانتوم.
- $M_u$ : القيمة المقاسة بواسطة جهاز قياس الجرعة (قراءة الجهاز).
- $N_K$ : معامل المعايرة للحجيرة .
- $B$ : معامل التبعثر الخلفي وقيمته تساوي الواحد لأن القياس يتم على سطح فانتوم مائي وليس في الهواء
- $(\mu_{en} / \rho)_{W,air}$ : نسبة معامل امتصاص الطاقة في الماء إلى الهواء
- $K_u$ : معامل تصحيح يأخذ بالحسبان تغير الاستجابة الناتجة عن تغير التوزيع الطيفي لحزمة تخترق الفانتوم إلى العمق المرجعي وهذا المعامل قريب جداً من الواحد في معظم الحالات العملية (معامل وثيقية الطيف).
- $K_{T,P}$ : معامل تصحيح الضغط والحرارة ويحسب من العلاقة :

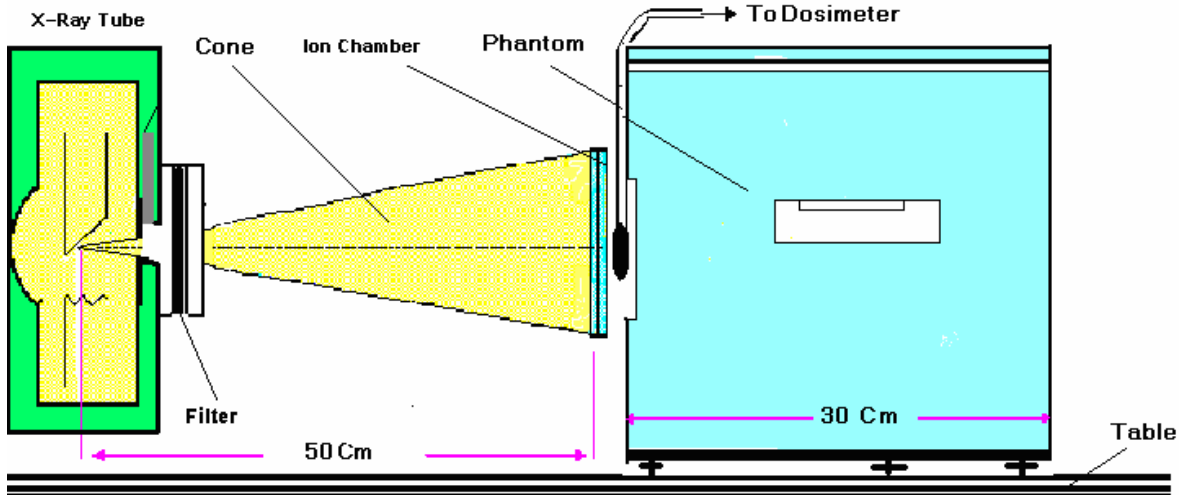
$$K_{T,P} = P_0 (273.16 + T) / P (273.16 + T_0) \quad (2)$$

حيث:

- $P$ : الضغط أثناء القياس.
- $T$ : درجة الحرارة المئوية أثناء القياس.
- $P_0$ : الضغط الجوي النظامي ويساوي 1013 mbar.
- $T_0$ : درجة الحرارة في الشروط المرجعية وتساوي 20 °C.

### 3.3. طريقة القياس:

1. نقوم بإجراء الترتيبات الهندسية اللازمة لقياس معدل الجرعة الإشعاعية كما هو مبين في الشكل 2 :



- الشكل 2:** يظهر الترتيبات الهندسية لقياس معدل الجرعة الإشعاعية على سطح الفانتوم.
2. نثبت الحوض المائي (الفانتوم) أو صفائح البيرسيبيكس باتجاه الحزمة الإشعاعية ونؤكد من أن الفانتوم والمحددات على توازي.
  3. ننزع الغطاء الواقي عن حجيرة التأين ونثبتته على سطح الفانتوم بحيث يكون المحور المركزي للحزمة الإشعاعية ونقطة القياس للحجيرة متطابق مع مركز الساحة الإشعاعية (التصالب الشعري)
  4. نشغل مقياس الجرعة لمدة 15-20 دقيقة ثم نصل حجيرة التأين إلى المقياس (يجب التأكد من مطابقة الحجيرة الموصولة مع الحجيرة المختارة من الذاكرة في مقياس الجرعة).
  5. نختار نمط القياس المناسب على مقياس الجرعة لأخذ 3 قياسات بمعدل  $50M_u$  لكل قياس حسب المؤقت الزمني لجهاز الأشعة. ثم نحسب متوسط القراءات ( $m Gy/M_u$ ) لكل فلتر ولكل مخروط (Cone).
  6. نحسب معامل التصحيح  $K_{T,P}$  لأجل الحرارة والضغط الجوي باستخدام القيم التالية:

$$T = \dots\dots\dots^\circ C \quad \text{درجة الحرارة المحيطة بحجيرة التأين:}$$

$$P = \dots\dots\dots mbar \quad \text{الضغط الجوي في مكان القياس:}$$

$$P_0 = 1013 mbar \quad \text{مستوى سطح البحر}$$

ثم نبدل في المعادلة (2) فنحصل على:

$$K_{T,P} = \frac{1013 mbar}{\dots\dots\dots} \times \frac{(\dots\dots\dots + 273.2)^\circ C}{293.2^\circ C} \quad (3)$$

$$K_{T,P} = \dots\dots\dots$$

**ملاحظة:** يمكن إدخال درجة الحرارة والضغط المقاسان مباشرة إلى جهاز قياس الجرعة الإشعاعية (UNIDOS) لحساب الـ  $K_{T,P}$ . وكذلك يمكننا إدخال معامل معايرة الحجيرة المستخدمة.

7. نستخدم المعادلة (1) لحساب معدل الجرعة الإشعاعية على سطح الفانتوم مع ملاحظة أن:
 
$$(\mu en / \rho)_{w,air} = 1 \quad \text{نسبة معامل امتصاص الطاقة في الماء إلى الهواء = 1 (لأن القياس في وسط واحد وهو الهواء).}$$
- $K_u$ : معامل تصحيح يأخذ بالحسبان تغير الاستجابة الناتجة عن تغير التوزيع الطيفي لحزمة تخترق الفانتوم إلى العمق المرجعي وهذا المعامل قريب جداً من الواحد في معظم الحالات العملية (معامل موثوقية الطيف)  $= 1$ .

#### 4. النتائج و المناقشة:

أجرينا أولاً قياس الجرعة بالطريقة المرجعية مستخدمين حجيرة تأين مناسبة و تم تحدد قيم الجرعة المعطاة لعينات المادة الهلامية كتابع لوحداث المراقبة ( $M_u$ ) التي يظهرها الجهاز. و وضع منحني الاستجابة الأساسي لمقياس الجرعة من أجل أشعة غاما الناتجة عن منبع  $^{60}Co$  و من ثم تمت مقارنة استجابة الكاشف عند التشعيع بالأشعة السينية عند الجهد 100kV. درست أيضاً استجابة الكاشف FXG لطاقات مختلفة من الأشعة السينية و ذلك من خلال تغيير الجهد المطبق و تطبيق فلاتر توهين مختلفة. و درس استقرار النظام من أجل الآثار السابقة و اللاحقة للتشعيع و بناءً عليه يمكن وضع مقترحات عملية لتخزين و استخدام الكاشف. تؤمن الوصفة الهلامية المقترحة قراءة توزع الجرعة بشكل سهل و سريع و اقتصادي من خلال استخدام ماسح طبقي ضوئي يعمل في المجال المرئي من الأطوال الموجية.

كان حساب نتائج قياس الجرعة بالطريقة المرجعية وفقاً لطريقة العمل المذكورة سابقاً و سجلت النتائج في الجدول التالي:

**الجدول 3:** نتائج قياس الجرعة باستخدام حجيرة التأين.

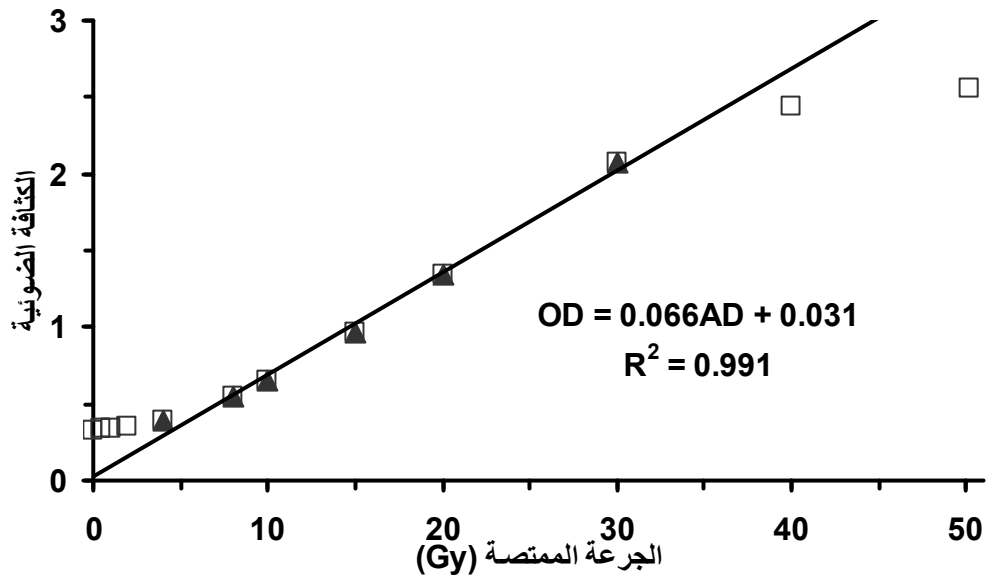
المرشح	Dose Rate (mGy/50 $M_u$ )				Dose Rate (mGy/ $M_u$ )
	FSD Reading(1)	Reading(2)	Reading(3)	Average	
	(cm)				

<b>F1</b>	30	790.1	790.3	790.2	790.1	<b>16.112</b>
<b>F2</b>	30	805.1	805.0	805.1	805.1	<b>16.487</b>
<b>F3</b>	50	767.3	767.7	767.5	767.3	<b>15.764</b>
<b>F4</b>	50	750.6	751.1	750.9	750.6	<b>15.663</b>
<b>F5</b>	50	617.5	618.6	618.9	617.5	<b>13.171</b>
<b>F6</b>	50	583.1	584.0	584.2	583.1	<b>12.586</b>
<b>F7</b>	50	534.4	534.5	534.5	534.4	<b>11.651</b>
<b>F8</b>	50	490.2	490.1	490.2	490.2	<b>10.754</b>

ولحساب زمن التعريض اللازم للحصول على القيم التالية للجرعة:  
 0.5Gy, 1.0Gy, 2.0Gy, 4.0Gy, 8.0Gy من أجل مرشحات محددة و حقل إشعاعي معين:  
**الجدول 4:** الزمن اللازم لتقديم جرع معينة باستخدام فلاتر ومسافات مختلفة.

المرشح	الزمن اللازم للتعريض ( $M_u$ )					
	FSD (cm)	0.5 Gy	1.0 Gy	2.0 Gy	4.0 Gy	8.0 Gy
<b>F1</b>	<b>30</b>	<b>31.03</b>	<b>62.07</b>	<b>124.13</b>	<b>248.26</b>	<b>496.52</b>
<b>F2</b>	<b>30</b>	<b>30.33</b>	<b>60.65</b>	<b>121.31</b>	<b>242.62</b>	<b>485.23</b>
<b>F3</b>	<b>50</b>	<b>31.72</b>	<b>63.44</b>	<b>126.87</b>	<b>253.74</b>	<b>507.49</b>
<b>F4</b>	<b>50</b>	<b>31.92</b>	<b>63.84</b>	<b>127.69</b>	<b>255.38</b>	<b>510.76</b>
<b>F5</b>	<b>50</b>	<b>37.96</b>	<b>75.92</b>	<b>151.85</b>	<b>303.70</b>	<b>607.40</b>
<b>F6</b>	<b>50</b>	<b>39.73</b>	<b>79.45</b>	<b>158.91</b>	<b>317.81</b>	<b>635.63</b>
<b>F7</b>	<b>50</b>	<b>42.91</b>	<b>85.83</b>	<b>171.66</b>	<b>343.32</b>	<b>686.64</b>
<b>F8</b>	<b>50</b>	<b>46.49</b>	<b>92.99</b>	<b>185.98</b>	<b>371.95</b>	<b>743.91</b>

1.4. منحنى الاستجابة للجرعة:  
 و جد أن الكثافة الضوئية للهلام FXG تابعة للجرعة الإشعاعية الممتصة و ذلك عند إجراء القياس في مجال الأطوال الموجية المناسبة ضمن مجال الجرع من 4-30 Gy و يخضع منحنى استجابة الجرعة للنظام لتابع خطي من الدرجة الأولى، الشكل 3.



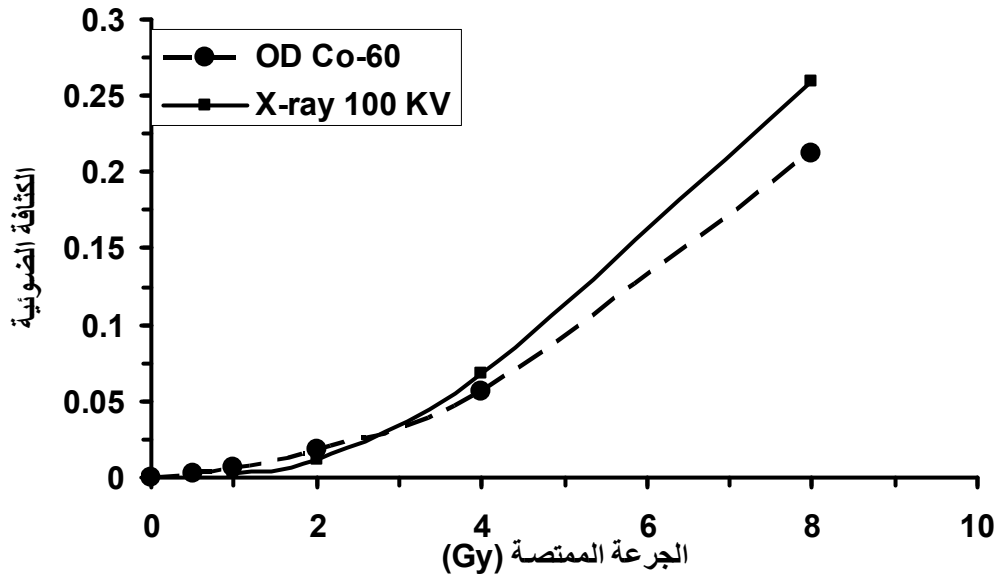
**شكل 3:** منحنى استجابة FXG للجرعة من أجل التشعيع بالكوبالت  $^{60}\text{Co}$  و أفضل مطابقة للخط المستقيم في المجال 4 – 30 غراي.

وهكذا يمكن حساب الجرعة وفقاً للمعادلة المبينة أدناه إذا كان بالإمكان قياس تغيّر كثافة FXG الضوئية:

$$AD = \frac{\Delta OD}{\epsilon l G (Fe^{3+}) \rho} = a \cdot OD + b \quad (4)$$

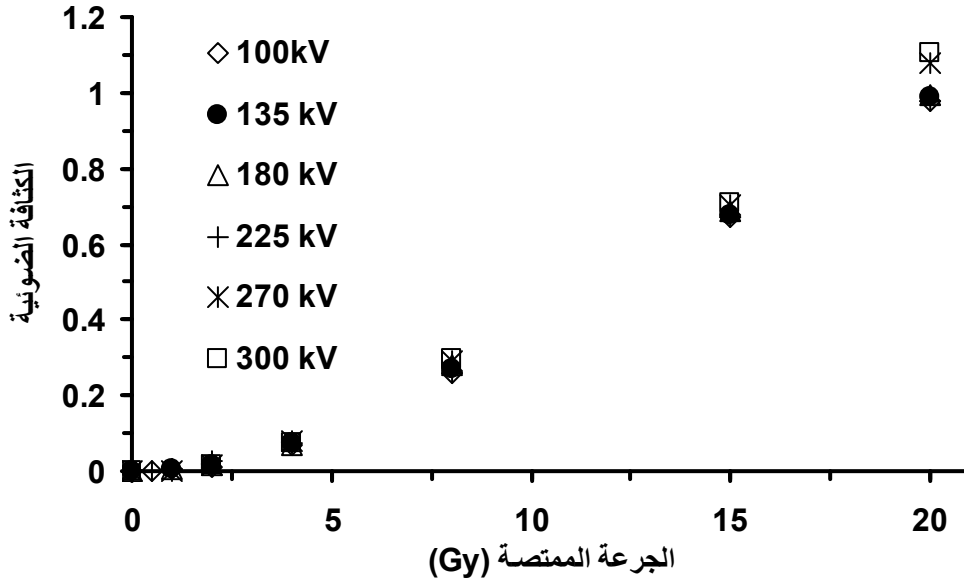
حيث أن  $\Delta OD$  هي التغيرات الملاحظة في الكثافة الضوئية ما بين العينة المعرضة للإشعاع و عينة أخرى غير مشععة؛  $\epsilon (M^{-1} \text{ cm}^{-1})$  هو معامل الامتصاص الجزيئي للهلام عند الطول الموجي المعتمد معطى في درجة حرارة الغرفة؛  $l$  هو طول المسار الضوئي مقاساً بوحدة cm؛ و  $G(F^{3+})$  هو ناتج التفاعل الكيميائي الذي يسببه الإشعاع؛ و أخيراً  $\rho$  هي كثافة المواد واحدها (كيلوغرام بالليتر). يسمى ميل أفضل تطابق مع مستقيم من المرتبة الأولى في المجال المدروس الحساس للجرعة؛ و هو التغير الذي ينتج عن توضع مقدار من الطاقة الإشعاعية قدره 1Gy و يساوي  $66 \times 10^{-3} \text{ cm}^{-1} \text{ Gy}^{-1}$  عند الطول الموجي 585nm. يُظهر النظام FXG استجابة أقل عند جرعة أدنى و هذه العتبة في استجابة مقياس الجرعة أثر معروف في العديد من أنظمة قياس الجرعة المعتمدة على الأثر الكيميائي. من المعروف أيضاً أن النظام FXG حساس للشوائب الموجودة في مواد الكاشف، على سبيل المثال مسحوق الجلوتين غير المخبري المستعمل؛ و تؤثر على استجابة النظام عند الجرعة الصغيرة [4]. العتبة الأخرى عند الجرعة العالية ناتجة عن إشباع النظام، غير أنه يمكن التحكم بهذه الخصائص من أجل تطبيقات مطلوبة و ذلك من خلال اختيار الأمثل من التراكيز الكيميائية في النظام بشكل أساسي أيونات الحديد و المؤشر الأيوني.

2.4. ارتباطه بمعدل الجرعة: أظهرت تقارير سابقة أن استجابة مقياس الجرعة الكيميائية غير متعلقة بالتغيرات المعتدلة في معدل الجرعة الإشعاعية [5]. و تدل النتائج التجريبية على هلام FXG، شكل 2، أنه مستقل عن معدل الجرعة.

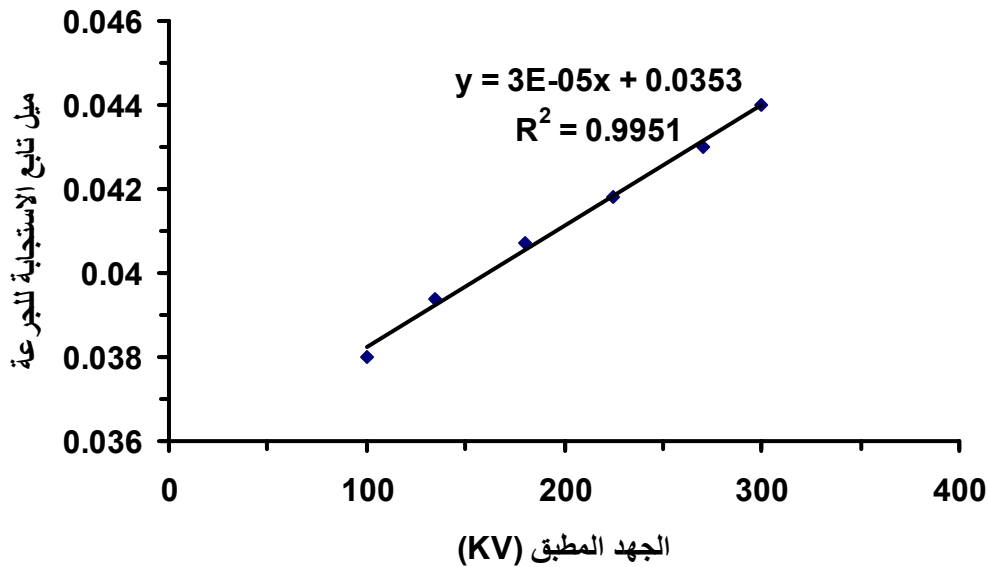


**شكل 4:** مقارنة ما بين استجابة FXG لمصدرين إشعاعيين مختلفين الكوبالت  $^{60}\text{Co}$  و الأشعة السينية 100kV من أجل جرعة مختلفة.

3.4. تأثير طاقات الأشعة السينية: من الشكل 3 يمكن أن نجد أن التغيرات في استجابة FXG ليست ذات أهمية في مجال الجرعة المدروسة. بعض التغيرات يمكن ملاحظتها خصوصاً عند قيم الجرعة العليا غير أنها لم تكن قابلة للإعادة و لهذا فهي تحتاج للمزيد من التحري.

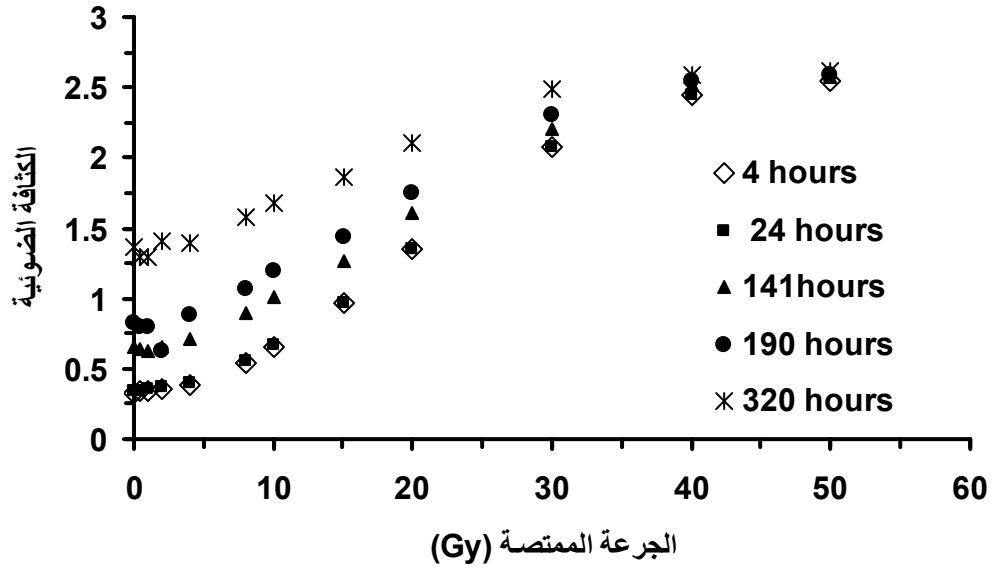


شكل 5: استجابة مقياس الجرعة الهلامي FXG عند التشعيع بحزم أشعة سينية مختلفة الطاقات.



شكل 6: استجابة الجرعة للكاشف FXG من أجل حزم أشعة سينية مختلفة الطاقات.

4.4. استقرارية مقياس الجرعة: تدرس استقرارية مقياس الجرعة عادة في حالتين قبل و بعد التشعيع. نظرياً يجب أن يكون مستقراً قبل أن يوضع في العمل و أن تحصل الآثار الإشعاعية بسرعة خلال فترة قصيرة من الزمن و من ثم يفضل أن تكون هذه الآثار مستقرة. تتأكسد أيونات الحديد ببطء في FXG، و هكذا تحصل تغيرات قبل التشعيع مشابهة لما هو ملاحظ في مقياس الجرعة الفريكي التقليدي. ذكرت هذه الأكسدة الطبيعية على أنها تتناسب مع مربع تركيز أيونات الحديد [6]، [7]. يُظهر الشكل 7 أن استقرار قراءات FXG مقبولة في الأيام الأولى بعد التحضير لكن الحالة تصبح أسوأ عندما تترك العينات لفترات أطول. الهلام FXG أيضاً أقل استقراراً عند التراكيز الأعلى من  $Fe^{2+}$ ، وهذا يبدو واضحاً في العينات المعرضة لجرع أقل حيث يبقى تركيز  $Fe^{2+}$  الموجود فيها أعلى.



شكل 7: استقرارية FXG عند جرعة ممتصة مختلفة. البيانات الخاصة بعينات لم تعط أي جرعة (أي من أجل جرعة ممتصة = 0) تقدم معلومات عن الاستقرارية قبل التشعيع.

### **الخلاصة:**

تُظهر هذه التجارب سلوك الكاشف الهلامي المتلون بالإشعاع FXG عندما يتعرض لأشعة سينية ذات طاقات صغيرة و متوسطة. استجابة النظام بشكل عام مشابهة لاستجابته الملاحظة عندما يشعع بأشعة غاما عالية الطاقة، وهذا يعني أن نظام FXG غير حساس لنوع الأشعة و طاقة الفوتونات و نوعية حزمة الأشعة السينية. تبين استقرارية النظام في فترة انتظار قبل و بعد التشعيع و بشكل كمّي. لكاشف FXG استقرارية نسبية جيدة في الأيام الأولى بعد التصنيع غير أن النظام يصبح غير مستقر من أجل فترة تخزين أطول. يمكن تعديل مواد الكاشف FXG من حيث الشكل و المحتوى بسهولة عندما يطلب ذلك و عليه يمكن جعله يحاكي في الحجم و الكثافة و الصفات الفيزيائية الأخرى لجسم ذو أهمية، وهذه واحدة من ميزات النظام الفريدة.

### **كلمة الشكر:**

نود شكر هيئة الطاقة الذرية السورية على تغطية نفقات هذا البحث و تأمين مستلزماته، و نشكر السيد الدكتور المدير العام على تشجيعه المتواصل لنا. كذلك نرغب بشكر الزميل مازن النصار من دائرة المعايرة الإشعاعية و الزملاء خالد والي و أسامة أنجق من دائرة الوقاية البشرية و عبد القادر سعدية من مركز الطب النووي والإشارة لمساعدتهم في تشعيع العينات.

- [1]. Fricke H and Hart EJ, 1966, 'Chemical Dosimetry' in Radiation Dosimetry, Volume II, ed. Attix FH and Roesch WC, (Academic Press, New York), pp 167-239.
- [2]. Gore JC, Kang YS and Shulz RJ, 1984a, Measurements of radiation dose distributions by nuclear magnetic resonance (NMR) imaging, *Phys. Med. Biol.* **29**, 1189-1197.
- [3]. Bero MA, Gilboy WB, Glover PM and Keddie JL, 1999, Three-dimensional radiation dose measurements with ferrous benzoic acid xylenol orange gelatin gel and optical absorption tomography, *Nucl. Instr. and Meth. A* **422**, 617-620.
- [4]. S.J. Doran, K.K. Koerkamp, M.A. Bero, P.M. Jenneson, E.M. Morton and W.B. Gilboy, 2001, *Phys. Med. Biol.* **46**, 3191.
- [5]. Bero MA, 2001, Development of a Three-Dimensional Radiation Dosimetry System, **thesis**, University of Surrey.
- [6]. M. J. Day, 1990, Radiation dosimetry using nuclear magnetic resonance: an introductory review, *Phys. Med. Biol.* **35**, 1605.
- [7]. B. L. Gupta, 2003, Excited species in the FBX dosimeter system, *Rad. Phys. Chem.*, **67**, 737.



SYRIAN ARAB REPUBLIC  
ATOMIC ENERGY COMMISSION  
DAMASCUS- P.O.BOX: 6091



Report on Scientific Laboratory Study  
Department of Protection and Safety

**Preparation of the FXG gel dosimeter and studying its response  
for low and medium energy X-rays.**

Dr. M. Bero  
Dr. M. H. Kharita

AECS – PR \RSS 764

February 2008