------ مجلة علوم الرافدين، المجلد 24، العدد 1، ص108-120، 2013------

إمكانية استخدام أفلام التشخيص الفوتوغرافي كمقياس جرعة للأشعة فوق البنفسجية ودراسة خواصها البصرية

حلا إبراهيم جاسم
قسـ ـم الفيزيـ ـ ـاء
كـ ـلية الـعلوم
جامعة الموصل

(تاريخ الاستلام 17/ 6 /2012 ؛ تاريخ القبول 10 /9 / 2012)

الملخص

تم استخدام مطيافية الضوء المرئي _ والأشـعة فـوق البنـفسجية UV- visible spectrophotometer لتحديد الخواص البصرية للفلم الفوتوغرافي المسـتخدم لغرض التشخيص الطـبي بواسطة الأشعة السينية PVC (Polyvinyl chloride)، إذ تم تشعيعه بجرع متفاوتة من الأشعة فوق البنفسجية نوع UV_c بطول موجي 245 nm. تراوحت قمم الامتصاصية الضوئية .Abs مابين (0.032 - 0.073) وقمم معامل الخـ ـمود k_o مابين (2.8×10^{-5} - 1.2×10^{-5}) وقمم ثابت العـزل الكهربائي الحـقيقي ε_1 مابين(2.2-3.2) وقمم التـوصيلية البـصرية الضوئـية σ مابـين (sec^{-1} 4.4×10^{10} - 1.6×10^{10} sec^{-1})، لأقـل جرعـة شعاعية ($102859\ \text{erg/mm}^2$) وأعلى جـرعة ($720014\ \text{erg/mm}^2$) على التوالي. أظهرت النتائج أن هناك علاقة طردية مـ ـ ـ ـابين الخواص البصرية أعلاه وجرعة الأشعة فوق البنفسجية. اتضح أن هناك إمكانية عـالية لاستـخدام الـفلم الشعاعي مجراعاً للأشعة فوق البنـفسجية.

الكلمات الدالة: أفلام التشخيص الفوتوغرافي، مجراع، الخواص البصرية، الأشعة فـوق البنفـسجية UV_c.

The Possibility of Using Photographic Diagnostic Films as Dosimeter of UV-Radiation and Study the Optical Properties of these Films

Hala I. Gasem
Department of Physics
College of Science
University of Mosul

ABSTRACT

UV- visible spectrophotometer was used to determine the optical properties of the dental x-ray radiation films poly (vinyl chloride). The films were irradiated with varying doses of ultraviolet radiation UV_c with 245nm. Optical absorbance peaks Abs. ranged from (0.032- 0.073), the peaks of extinction coefficient k_o ranged from (1.2×10^{-5}- 2.8×10^{-5}), while the peaks of the real dielectric constant ε_1 were found to be between the (2.2- 3.2), and the of the optical conductivity σ ranged from (1.6×10^{10} sec^{-1} - 4.4×10^{10} sec^{-1}). The above data were obtained for lower radiation dose (102859 erg/mm^2) and higher radiation dose (720014 erg/mm^2). The results showed that there is a direct correlation between the optical properties and radiation dose. The results revealed that there is a high possibility for using the dental X-ray radiation films as dosimeters of UV_c- radiation.

Keywords: Dental x-ray radiation film, dosimeter, optical properties, UV_c -radiation.

المقدمة

يتكون الفلم الفوتوغرافي Poly(vinyl chloride) PVC ذو الصيغة الكيميائية $(CH_2CHCL)_n$ (Fluka, 2007/2008) والمستخدم لأغراض التشخيص الشعاعي بواسطة الأشعة السينية من صفيحة رقيقة من مادة شفافة إما من مادة السليلوز (Cellulose) أو من مادة البولستر (Polyester) مضافا إليه صبغة ذات لون ازرق (Stuart and Michael, 2000).

يستخدم الفلم الفوتوغرافي في مجالات عديدة منها مجالات التشخيص في طب الأسنان، كما تم اعتباره مجراعاً للأشعة السينية (Meredith and Massy, 1977) وذلك لما يحتويه من مواصفات ومميزات مهمة كونه رخيص الثمن ومتوفراً ولا يحتاج عند استخدامه إلى طاقة كهربائية ويستطيع قياس الأشعة عند أكثر من نقطة في ظروف ثابتة إلا أن قراءات الفلم لا تتم إلا من خلال منحني الخواص أو الحساسية.

استخدمت مطيافية الضوء المرئي وفوق البنفسجية في كثير من الدراسات التي تتناول التغيرات الحاصلة على المركبات الكيميائية والنماذج البيولوجية من خلال التغير الحاصل في الكثافة البصرية عند الطول الموجي لتلك المركبات والنماذج، إذ استخدمت في معرفة التغيرات الحاصلة في تركيب البوليمرات أو

المواد بشكل عام نتيجة تسخينها أو تشعيعها (Akber *et al.*, 1980) (Srivastara and Virk, 2000) (سليمان، 2006) (Tanu Sharma *et al.*, 2007) فضلا عن استخدامها في إيجاد معامل الامتصاص وفي قياس التأثير الشعاعي للأشعة المؤينة وإيجاد الجرعة الشعاعية لبعض المواد المتحسسة للشعاع من خلال التغير الطيفي الحاصل لتلك المواد (محيميد و حسن، 1999) (Singh and Prasher, 2004) .

هناك العديد من المحاولات في استخدام كاشـــــــف الأثر النووي (CR-39) مجراعاً للأشـــــعة فوق البنفسجية من نوع B بوصفه جزءاً من الأشعة الشمسية الساقطة والتي يتعرض لها الأشخاص بشكل عام (Wong *et al.*, 1992) (Shweikani *et al.*, 2002)، كما استعمل (الجبوري، 1984) طريقة كيميائية لتجريع الأشعة فوق البنفسجية. توصل (Nagpal, 2000) الى أن معاملة المواد حراريا (CaF2:Eu, CaF2:Tb) تمتلك حساسية عالية جدا للأشعة فوق البنفسجية بطول 250nm وبهذا تستخدم هذه المواد في قياس جرعة الأشعة فوق البنفسجية. أجريت دراسة من قبل كل من (Nadeem and Ahmed, 2000) و(Ezekoye and Okeke, 2006) على الخواص البصرية لأفلام (PhHgS) وأفلام (ZnS) على التوالي، حيث تم حساب الامتصاصية الضوئية A والنفاذية T ومعامل الانكسار n_o ومعامل الخمود k_o والتوصيلية البصرية الضوئية σ وثابت العزل الكهربائي ε.

تناولت الدراسة التي قام بها (Deshmukh *et al.*, 2008) تشعيع أفلام (PVC-PMMA) بالأشعة فوق البنفسجية ودراسة الخواص البصرية لتلك الأفلام من ضمنها معامل الامتصاص α والنفاذية البصرية T ومعامل الانكسار n_o وثابت العزل البصري ε'_{∞}.

أما في البحـث الحالي فستتم دراسـة إمكانية استخدام الفلم الفوتوغرافي مجراعاً للأشـــــعة فوق البنفسجية من نوع UV_c ذات الطاقة العالية باستخدام تقنية مطيافية الضوء المرئي وفوق البنفسجية (UV-Visible light) (UV-Visible Spectrophotometer) ودراسة الخواص البصرية للفلم الفوتوغرافي بعد تشعيعه بالأشعة فوق البنفسجية.

الجانب النظري

عند مرور شعاع خلال مادة سمكها (x) فأن شدة الشعاع الساقط (I_o) يكون أكبر من شدة الشعاع النافذ (I) بسبب الامتصاص والتشتت داخل المادة والانعكاس من سطحه. إن السبب الرئيسي في تقليل الشدة هو عملية الامتصاص الحاصلة داخل النموذج، ولإيجاد معامل الامتصاص (α) Absorption Coefficient الذي يعتمد على طاقة الفوتون الساقط وعلى خصائص المادة ويعرف على انه قياس لنسبة الخسارة في الشعاع من الحزمة الساقطة مباشرة خلال ســـمك معين ويمكن حسابه باستخدام العـــلاقة الأساسية بين طيـــف الانبـــعاث والامتصاص (Nadeem and Ahmed, 2000).

$$I = I_o e^{-\alpha x} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

ومعادلة الامتصاصية A هي:

$$A = \log\frac{I_o}{I} = \log\frac{1}{T} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

حيث أن T تمثل النفاذية

$$\therefore \quad \alpha = 2.303\ \frac{A}{x} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

يرتبط معامل الانكسار الحـقيقي (n_o) (Refractive Index) مع الانعـكاسية (R) Reflectance بالعلاقة (داؤد، 2000).

$$R = \left[\frac{(n_o - 1)^2 + k_o}{(n_o + 1)^2 + k_o}\right] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

إذ أن (k_o) معامل الخمود (Extinction Coefficient) ويعرف بأنه كمية ما تمتصه الكترونات الوسط من طاقة فوتونات الشعاع الساقط عليها.

$$n_o = \left[\left(\frac{1+R}{1-R}\right)^2 - (k_o^2 + 1)\right]^{1/2} + \left(\frac{1+R}{1-R}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

تم حساب الانعكاسية من المعادلة الآتية (Nadeem and Ahmed, 2000).

$$R = 1 - A - T \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

وتعرف الانعكاسية بأنها النسبة بين شدة الشعاع المنعكس إلى شدة الشعاع الساقط عند الحد الفاصل بين وسطين.

ويمكن الحصول على معامل الخمود من العلاقة (Ugwa and Onah, 2007):

$$k_o = \frac{\alpha\lambda}{4\pi} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

حيث أن λ الطول الموجي

أما ثابت العزل الكهربائي المعقد (ε) (Dielectric Constant) فيعرف على أنه الاستقطاب الحاصل لشحنات مادة الوسـط نتيجة امـتصاص طاقة الشعاع الساقط من قبل شحنات الوسط ويعطى بالمعادلة (Nadeem and Ahmed, 2000).

$$\varepsilon = (n_o - ik_o)^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (9)$$

حيث أن ε_1 , ε_2 الأجزاء الحقيقية والخيالية على التوالي لثابت العزل الكهربائي:

$$\therefore \ \varepsilon_1 = n_o^2 - k_o^2 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (10)$$

$$\varepsilon_2 = 2n_o k_o \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (11)$$

وتم حساب ثابت العزل الكهربائي الحقيقي ε_1 من المعادلة رقم (10)
وبما أن معامل الخمود قليل جدا بحدود (10^{-5}) عندها يهمل وتصبح المعادلة:

$$\varepsilon_1 = n_o^2 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (12)$$

تعرف التوصيلية البصرية الضوئية (σ)(Optical Conductivity) على أنها ميل المادة للتوصيل الكهربائي لمدى يعتمد على شدة الشعاع الضوئي ويمكن حسابها من العلاقة (Ezekoye and Okeke, 2006)

$$\sigma = \frac{\alpha n_o c}{4\pi} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (13)$$

حيث أن c تمثل سرعة الضوء في الفراغ.
ويمكن الحصول على القيمة النهائية لمعدل جرعة الأشعة فـوق البنفسـجية UV_c ذات الطول الموجي 245 nm والتي تقدر بـ ($9.524\ erg/mm^2.sec$) (الجميلي، 2009).
وأن الجرعة = معدل الجرعة × زمن التشعيع

الجـانب العمـلي

المواد المستعملة وتحضير العينات

تم استخدام أفلام التشخيص الطبي بسمك قدره (163 µm)، تم تقطيع هذه الأفلام إلى اثني عشرة عينة وكل عينة بمساحة (1 cm × 4 cm) بما يتناسب مع مساحة الخلية المستخدمة في جهاز التحليل الطيفي، إحدى هذه العينات عدت أنموذجاً قياسياً، والبقية عرضت للأشعة فوق البنفسجية UV_c عن طريق جهاز على شكل مصباح قلمي PEN – Ray - Lamp إنتاج شركة SAN GABRIEL, CA موديل Ultra – Violet, INC بطول موجي يقدر بـ (245 nm) ولفترات زمنية مختلفة (3,7,9,11,13,19,21) ساعة بحيث وضعت

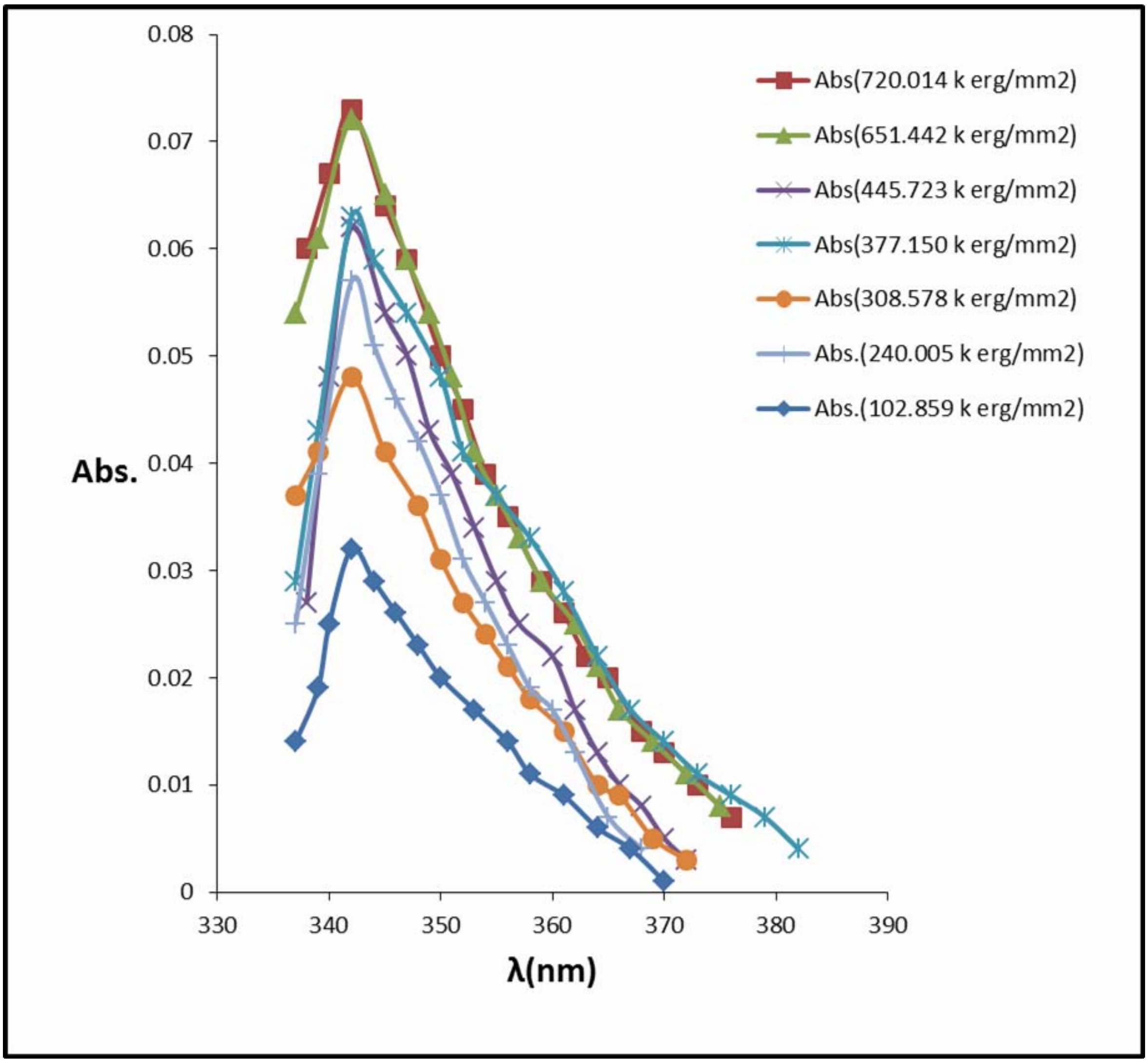
العينات على بعد 4 cm من المصدر المشع المذكور أعلاه، تم تحليل العينات بعد عملية التشعيع بجهاز التحليل الطيفي.

القيــــاســـــات العـــــملية

إن معظم الخواص البصرية للعينات يمكن تعيينها عن طريق منحني الاستجابة الطيفية، وقد تم استخدام جهاز التحليل الطيفي UV-Visible Spectrophotometer من إنتاج شركة Shimadzu موديل UV-210A، وعند مدى ذات طول موجي(nm 1100- 190) لقياس العلاقة بين الامتصاصية والطول ألموجي. ولأن توزيع مراكز الامتصاص منتظم خلال العينة لذا فان كمية الضوء الممتص من قبل الغشاء دالة لسمكه وتتبع قانون لامبرت كم موضح بالعلاقة رقم (3).

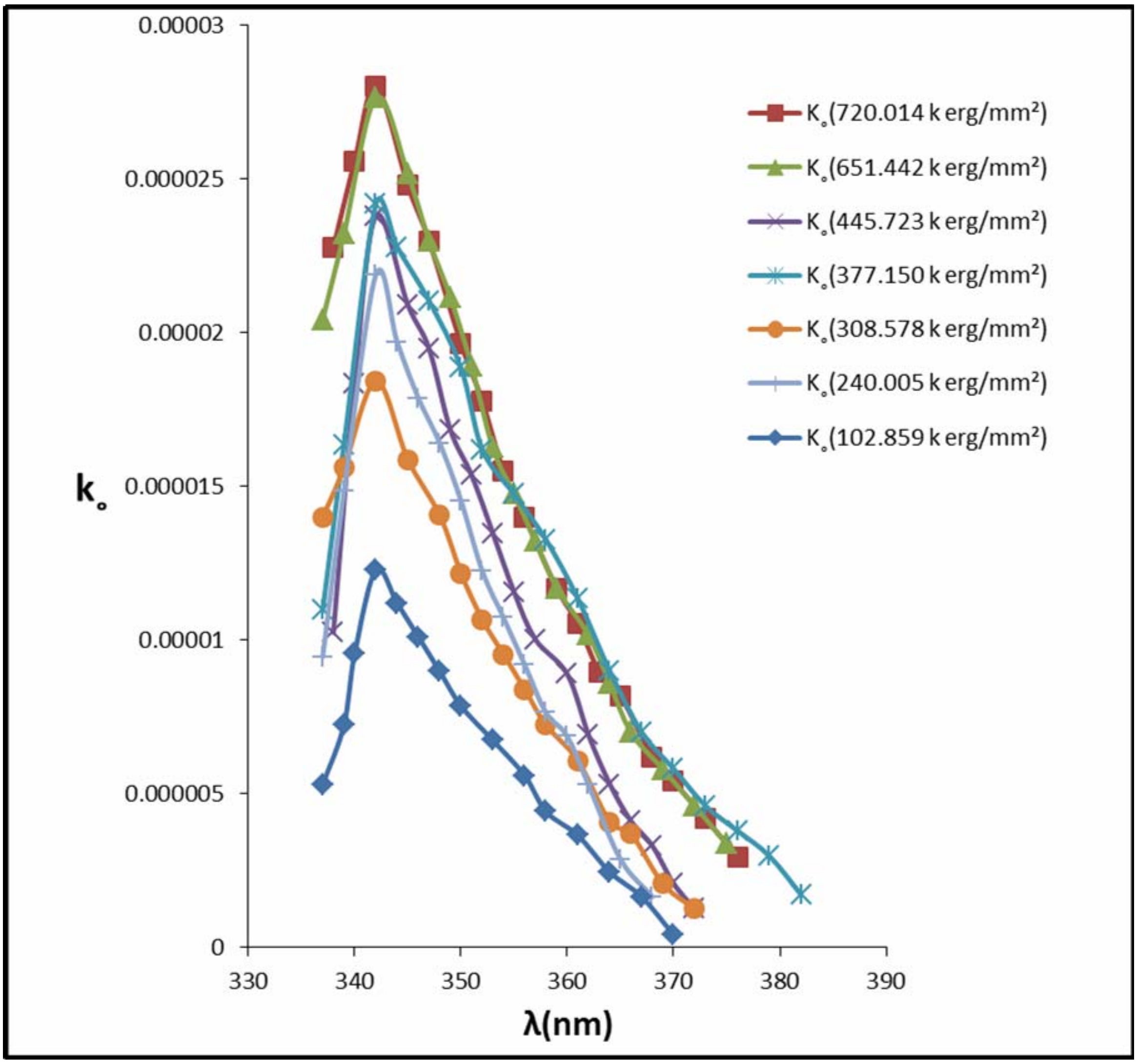
النتائــــــج و المناقــــــشة

يوضح الشكل (1) العلاقة بين الامتصاصية للفلم الشعاعي المستخدم في التشخيص الطبي والأطوال الموجية باستخدام الأشعة فوق البنفسجية UV_c ولجرع تتفاوت بين ($102.859 - 720.014\ k\ erg / mm^2$)، إذ يلاحظ أنه مع زيادة الجرعة تزداد الامتصاصية وذلك بسبب أن الشعاع يؤدي إلى تفكك أواصر التكافؤ الرئيسة إلى جذور(radical). وكذلك فأن التشعيع يؤدي إلى تهيج للجزيئات وتوليد الكترونات حرة وأيونات تتحرك خلال شبكة المادة العضوية إلى أن تصطاد في مكان ما مخلفَة فجوات، وهذه التأثيرات تؤدي إلى زيادة الامتصاصية للأشعة الساقطة أكثر من امتصاص المادة غير المشعة، فكلما ازدادت كمية الجرعة ازدادت هذه التأثيرات مما يزيد من الامتصاص (Ashour *et al.*, 2006). وقد أظهرت النتائج أن أعلى امتصاصية ضوئية تقع عند الطول الموجي (342 nm) لجميع العينات المشععة.



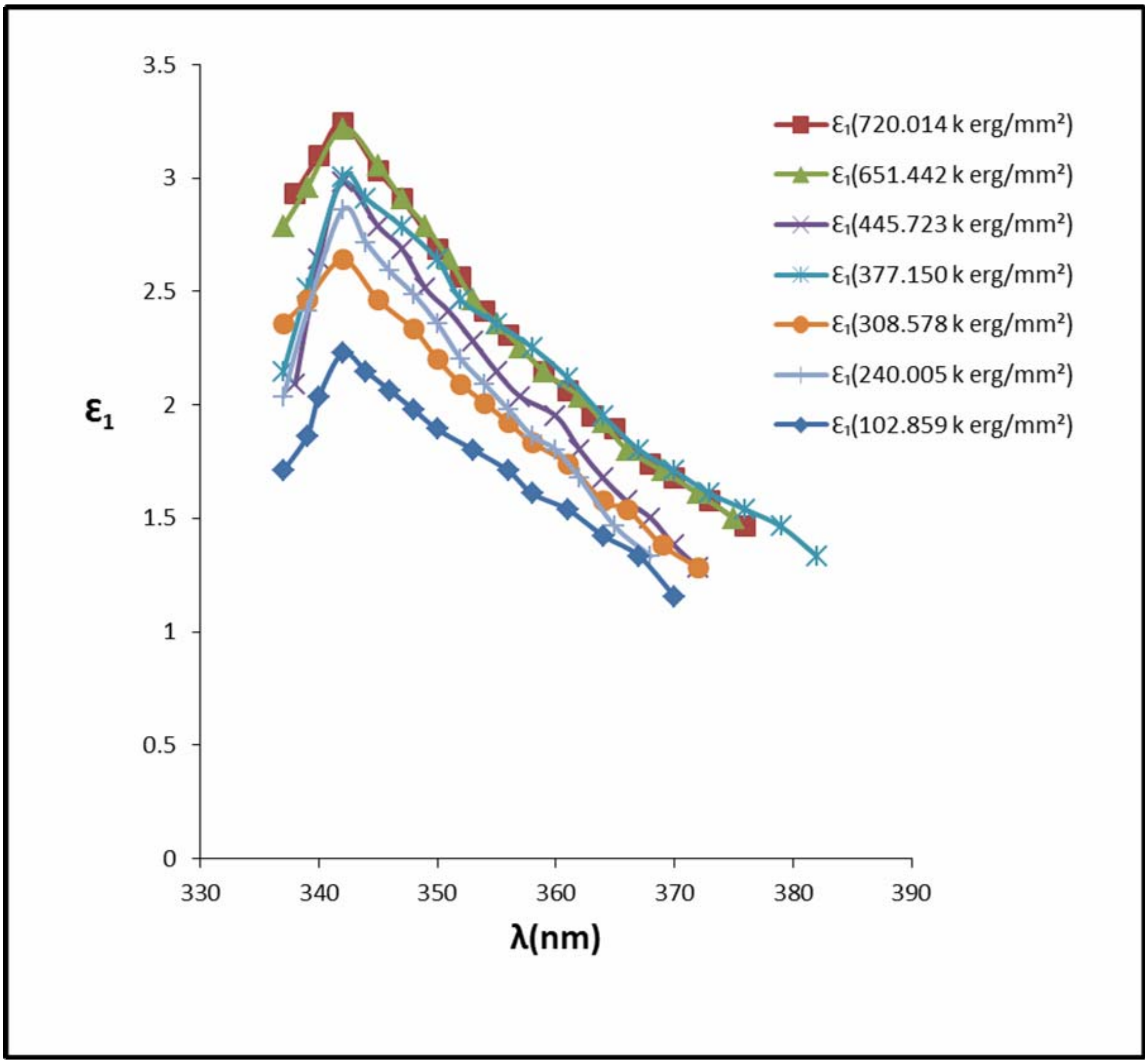
الشكل 1 : يوضح العلاقة بين الامتصاصية الضوئية للفلام الفوتوغرافي والطول الموجي ولجرع متفاوتة.

الشكل (2) يبين التغير الحاصل بين معامل الخمود k_o والطول الموجي باستخدام UV_c ولجرع تتفاوت بين ($102.859 - 720.014$ k erg / mm^2)، إذ يلاحظ من الشكل أن معامل الخمود k_o يزداد بزيادة الجـرعة وذلك لأن معامل الخمود هو كمية ما تمتصه الكترونات الوسط من طاقة الأشـــعة الساقطة، كـما يلاحظ من الشكل التأثير الواضح للشعاع بـحيث تـغيرت قيمة k_o من (1.2×10^{-5}) عند جرعة مقدارها (102.859 k erg/mm^2) إلى (2.8×10^{-5}) لجرعة مقدارها (720.014 k erg/mm^2).



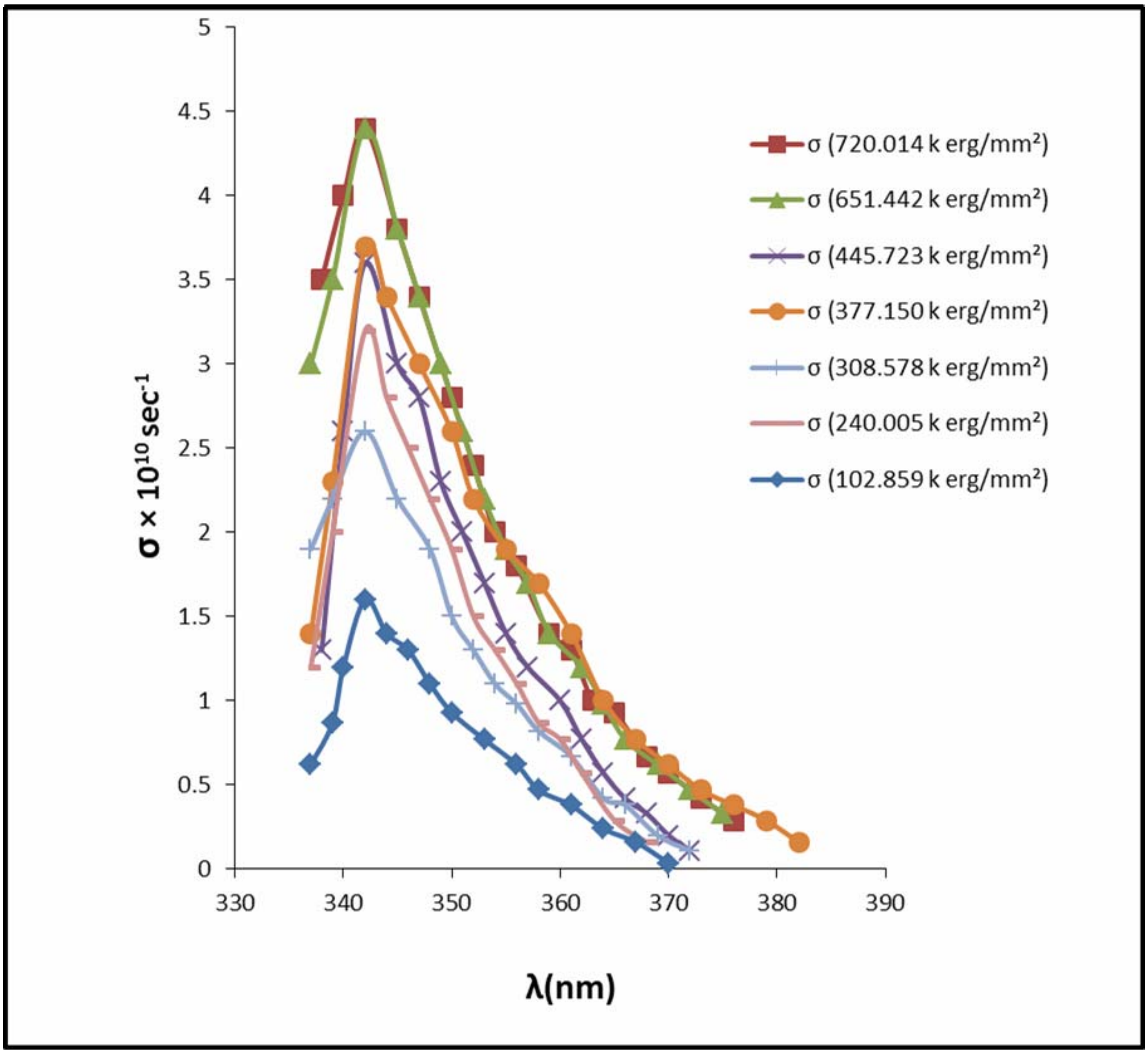
الشكل 2 : تغير معامل الخمود k_o للفلم الفوتوغرافي مع الطول الموجي ولجرع متفاوتة.

الشكل (3) يوضح تغير الجزء الحقيقي لثابت العزل الكهربائي ε_1 مع الطول الموجي باستخدام الأشعة فوق البنفسجية UV_c ولجرع تتفاوت بين ($102.859 - 720.014$ k erg / mm^2)، حيث يلاحظ أن ثابت العزل الكهربائي الحقيقي ε_1 يزداد مع زيادة الجرعة نتيجة امتصاص طاقة الشعاع الساقط من قبل شحنات الوسط، وهذا يدل على أن ε_1 يتغير طرديا مع كمية الشعاع الممتص إذ أظهرت النتائج أن قيمة ثابت العزل الكهربائي الحقيقي ε_1 ازدادت مـن 2.2 لجرعة مقدارها (102.859 k erg/mm²) إلى 3.2 عـــند جرعة مقدارها (720.014 k erg/mm²).



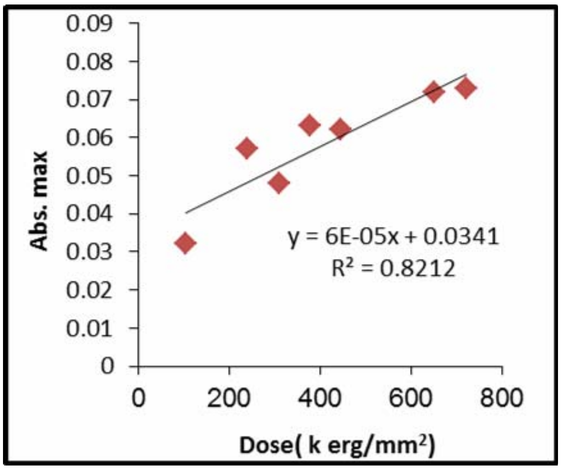
الشكل 3 : يوضح العلاقة بين ثابت العزل الكهربائي الحقيقي ε_1 للفلم الفوتوغرافي والطول الموجي ولجرع متفاوتة.

الشكل (4) يبين تغير التوصيلية البصرية الضوئية σ مع الطول الموجي باستخدام الأشعة فوق البنفسجية UV_c ولجرع تتفاوت بين (102.859 k erg/mm² –720.014 k erg/mm²)، إذ يلاحظ ازدياد التوصيلية البصرية الضوئية σ مع الجرعة نتيجة ميل المادة للتوصيل الكهربائي لمدى يعتمد على شدة الشعاع الضوئي، فقد ازدادت قيمة التوصيلية البصرية الضوئية σ من(1.6×10^{10} sec^{-1}) لجرعة مقدارها (102.859 k erg/mm²) إلى (4.4×10^{10} sec^{-1}) عند جرعة مقدارها (720.014 k erg/mm²).

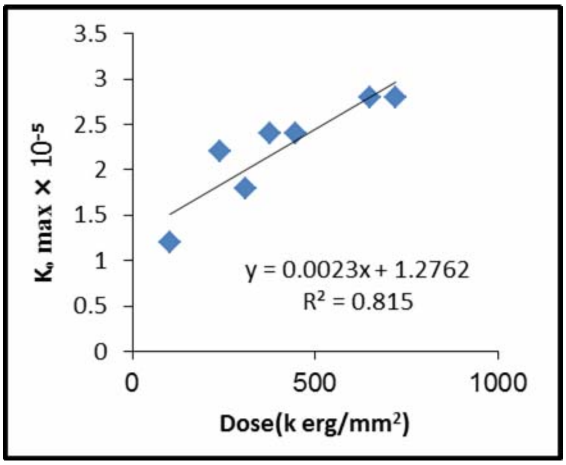


الشكل 4: تغير التوصيلية البصرية الضوئية σ للفلم مع الطول الموجي ولجرع متفاوتة.

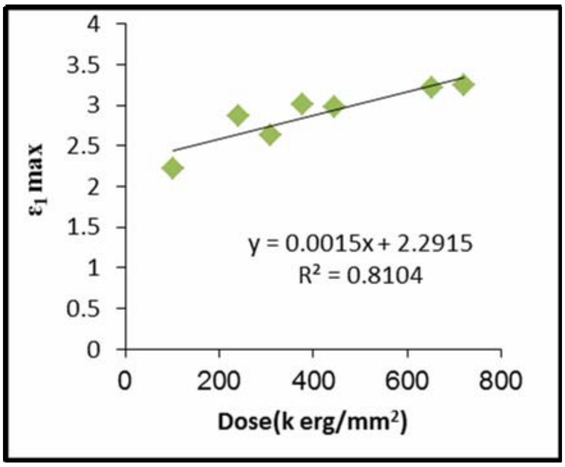
يوضح الشكل(5(a,b,c,d)) العلاقة مابين قمم الامتصاصية الضوئية .Abs وقمم معامل الخمود k_oوقمم ثابت العزل الكهربائي الحقيقي ε_1 وقمم التوصيلية البصرية الضوئية σ مع جرعة الأشعة فوق البنفسجية UV_c على التوالي.



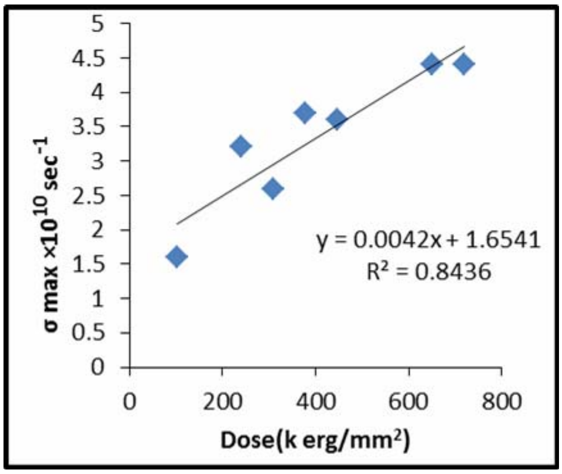
(a)



(b)



(c)



(d)

الشكل 5 : العلاقة بين قمم كل من الامتصاصية الضوئية .Abs وقمم معامل الخمود k_o وقمم ثابت العزل الكهربائي الحقيقي ε_1 وقمم التوصيلية البصرية الضوئية σ على التوالي ولجرع متفاوتة.

من خلال الشكل (5) تم التوصل إلى معادلات خطية بملائمة (R^2= 0.8) تربط الجرعة الشعاعية مع الخواص أعلاه، والتي يمكن من خلالها توصيف الفلم الفوتوغرافي المستخدم في هذا البحث مجراعاً للأشعة فوق البنفسجية UV_c وكما مبين أدناه.

بالنسبة للشكل (a) المعادلة الخطية التي تربط الجرعة مع الامتصاصية الضوئية .Abs تكون كالآتي :

$$Abs.max = 6 \times 10^{-5}\ Dose\left(k\frac{erg}{mm^2}\right) + 0.0341 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(14)$$

وبالنسبة للشكل (b) تكون المعادلة الخطية التي تربط الجرعة مع معامل الخمود k_o كالآتي :

$$k_o\ max \times 10^{-5} = 2.3 \times 10^{-3}\ Dose\left(k\frac{erg}{mm^2}\right) + 1.2762 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(15)$$

وبالنسبة للشكل (c) المعادلة الخطية التي تربط الجرعة مع ثابت العزل الكهربائي الحقيقي ε_1 تكون كالآتي:

$$\varepsilon_1 \max = 1.5 \times 10^{-3} \text{ Dose} \left(k \frac{erg}{mm^2}\right) + 2.2915 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (16)$$

أما بالنسبة للشكل (d) تكون المعادلة الخطية التي تربط الجرعة مع التوصيلية البصرية الضوئية كالآتي :

$$\sigma \max \times 10^{10}(sec^{-1}) = 4.2 \times 10^{-3} \text{ Dose} \left(k \frac{erg}{mm^2}\right) + 1.6541 \quad \ldots\ldots\ldots . (17)$$

الاستنتاجـات

1- وجد أن كلا من الامتصاصية الضوئية .Abs ومعامل الخمود k_o وثابت العزل الكهربائي الحقيقي ε_1 والتوصيلية البصرية الضوئية σ تتناسب طرديا مع جرعة الأشعة فوق البنفسجية UV_c.

2- هناك إمكانية عالية لاستخدام أفلام التشخيص الطبي في قياس جرعة الأشعة فوق البنفسجية من خلال تطبيق المعادلات الخطية((5(a-d) والتي تربط الجرعة الشعاعية مع الامتصاصية الضـوئية.Abs ومعامل الخمود k_o وثابت العزل الكهربائي الحقيقي ε_1 والتوصيلية البصرية σ على التوالي.

المصادر العـربية

الجبوري، حسين علي أحمد (1984). تأثير الأشعة المؤينة وفوق البنفسجية على نسبة نضوح الهيموكلوبين وترسب البوتاسيوم من كريات الدم الحمراء. رسالة ماجستير- الجامعة المستنصرية، كلية العلوم، بغداد، العراق.

الجميلي، فراس محمد علي فتحي (2009). قياس الجرعات الشعاعية الكهرومغناطيسية باستعمال كواشف الأثر النووي وتحديد كفاءاتها الذاتية مع إدخال المعالجة الصورية الحاسوبية في قياس معاملات الأثر النووي. اطروحة دكتوراه – جامعة الموصل، كلية العلوم، موصل، العراق.

داؤد، فريـــال كاظم (2000). دراسة الصفات الضوئية والكهربائية بطريقتي التبخير والترسيب الحراري للأغشية الرقيقة SO_2. رسالة ماجستير – الجامعة المستنصرية، بغداد، العراق.

سليمان، إسماعيل رمضان (2006). تأثير التسخين في الامتصاصية الضوئية لكاشف الأثر النووي -PM 355 المشع لجسيمات ألفا. رسالة ماجستير – جامعة الموصل، كلية التربية، موصل، العراق.

محيميد، أحمد خلف؛ حسن، هناء إحسان (2000). استخدام الزجاج الاعتيادي كمقياس للأشعة كاما. مجلة التربية والعلم. (43)، 65-55.

المصادر الأجنبية

Akber, R. A.; Nadeem, K. H.; Majid, C. A.; Hussain, A.; Zaman, N.; Chaudhary, M. A.; Kham, H. A. (1980). Studies of structural changes produced by high doses of γ -rays in some plastic track detectors. *Nucl. Instr. and Meth., In Phys. Research*, **173**, 217- 221.

Ashour, A. H.; Saad, H. M.; Ibrahim, M. M. (2006). Electrical conductivity for irradiated, grafted polyethylene and grafted polyethylene with metal complex. *Egypt. J. Solids,* **29**(2), 351-360

Deshmukh, S. H.; Burghate, D. K.; Shilaskar, S. N.; Chaudhari, G. N.; Deshmukh, P. T. (2008). Optical properties of polyaniline doped PVC – PMMA thin films. *Indian J. Pure and Appl. Phys.*, **46**, 344 – 348.

Ezekoye, B. A.; Okeke, C. E. (2006). Optical properties in PbHgS ternary thin films deposited by solution growth method. *The Pacific J. Sci. Technol.*, University of Nigeria, Nsukka, **7**, (2).

Fluka, (2007/2008). "Laboratory Chemicals and Analytical Reagents". Fluka, chemic AG, RdH. 1652 p.

Meredith, W. J.; Massey, J. B. (1977). "Fundamental Physics of Radiographic". John Wright, Bristol. 5 p.

Nadeem, M. Y.; Ahmed, W. (2000). Optical properties of ZnS thin films. *Turk J. Phys*., **24**, 651 – 659.

Nagpal, J. S. (2000). Ultraviolet radiation dosimetry- perspectives, problems and parameters. *Radiat. Protect*, **24**(5), 83-88.

Shweikani, R.; Raja, G.; Sawaf, A. A. (2002). The possibility of usining plastic detector CR-39 as UV- dosimeter. *Radiat. Measurements*, **35** (1350- 44870**)** 281-285.

Singh, S.; Prasher, S. (2004). UV-vis. Spectroscopic and etching studies of IR exposed CR-39 plastic track detector. *Nucl. Inst. And Method in Phys. Research* B **215**, 169-173.

Srivastava, A.; Virk, H. S. (2000). Modification of optical and structural response of CR-39 polymer by 50 MeV Lithium ion irradiation. Conference Nuclear Track in Solids, Nuclear Society of Slovenia.

Stuart, C. W.; Michael, J. P. (2000). "Principles and Interpretation". 4th ed., John Scbrefer, United States St. Louis London Philadelphia Sydney Toronto, 2000.

Tanu, S.; Sanjeev, A.; Shyam, K.; Mittal, V. K.; Kalsi, P. C.; Manchanda, V. K. (2007). Effect of gamma irradiation on the optical properties of CR-39 polymer. *J. Materials Sci.*, **42** (4),1127-1130.

Ugwa, E. I.; Onah, D. U. (2007). Optical characteristics of chemical bath deposited CdS in film characteristics within UV, visible and NIR radiation. *The Pacific J. Sci. and Technol.*, **8**, (1).

Wong, C. F.; Fleming, R. A.; Carter, S. J.; Ring, I. T.; Vishrakar, M. D. (1992). Measurement of human exposure to ultraviolet-B solar radiation using CR-39 dosimeter. *Health Phys.*, **63**(4), 457-461.