

## تحديد أفضل سمك لعدد من المهدآت للنيوترونات السريعة

د. رشيد محمود يوسف

كلية علوم وتقانات البيئة

جامعة الموصل

خالد علي إسماعيل

قسم الفيزياء / كلية التربية

جامعة تكريت

القبول

٢٠٠٨ / ٠٦ / ٠٣

الاستلام

٢٠٠٧ / ٠٩ / ٢٣

### Abstract

The study aims to determine the optimum thickness for some moderators which are used for obtaining thermal neutrons and for wide range of neutron energy ( $0.03 - 15 \times 10^6$ ) eV. The study involves two groups of materials: the first group consisted of  $H_2O$ ,  $D_2O$ , Be, & C), while the second one are made of hydrocarbon materials ( $C_{25}H_{52}$ ,  $C_6H_{10}O_5$ ,  $C_6H_{12}O_6$ ,  $C_{28}H_{48}O_2$ ,  $C_{18}H_{34}O_2$ ,  $C_5H_{10}O_2$ , & Tissue equivalent material). The results revealed that the best moderator in the first group was water as it has a large scattering macroscopic cross section ( $\Sigma_s$ ), absorption macroscopic cross section ( $\Sigma_a$ ) and it contains a high percentage of Hydrogen and that the lowest moderator within the same group is Graphite (c) since it has a higher diffusion coefficient (D), and also has a higher diffusion length (L). In the second group, it was found the best moderator was ( $C_{25}H_{52}$ ), and the lowest one is ( $C_6H_{10}O_5$ ), for the same reasons mentioned above. Besides, that a lot of physical parameters are calculated which are related to neutron diffusion in the second group materials, such as ( $\Sigma_a$ ), ( $\Sigma_s$ ), (D), (L), (H%), ( $\xi$ ), and molecular weight (M) for the hydrocarbon compounds.

### الخلاصة

يهدف البحث إلى تحديد أفضل سمك مهدي  $L_s$  للحصول على نيوترونات حرارية ولمدى واسع من الطاقات ( $0.03 - 15 \times 10^6$  eV)، إذ شملت الدراسة مجموعتين من المواد: المجموعة الأولى تكونت من ( $H_2O$ ,  $D_2O$ , Be, C)، والمجموعة الثانية مكونة من عدد من المواد الهيدروكربونية ( $C_{25}H_{52}$ ,  $C_6H_{10}O_5$ ,  $C_6H_{12}O_6$ ,  $C_{28}H_{48}O_2$ ,  $C_{18}H_{34}O_2$ ,  $C_5H_{10}O_2$ , ) (Tissue equivalent material). إذ تبين أن أفضل المهدآت من المجموعة الأولى هو الماء

وذلك لامتلاكه على مقطع عرضي عياني كبير للاستطارة ( $\Sigma_s$ ) والامتصاص ( $\Sigma_a$ ) واحتوائه على نسبة عالية من الهيدروجين وان أردأ المهدآت ضمن نفس المجموعة هو الكرافيت (C)، لامتلاكه على معامل انتشار (D) كبير وطول انتشاري (L) كبير أيضاً، وأفضل المهدآت من المجموعة الثانية هو ( $C_6H_{10}O_2$ )، وأردأها ( $C_5H_{10}O_5$ )، لنفس الأسباب السابقة. فضلاً عن حساب العديد من المعلمات الفيزيائية الخاصة بانتشار النيوترون لعناصر المجموعة الثانية مثل ( $\Sigma_s$ ) ، ( $\Sigma_a$ ) ، (D) ، (L) ، ( $\xi$ ) ، (H%) والوزن الجزيئي للمركبات الهيدروكربونية (M).

## ١) المقدمة :

تعد الوقاية من النيوترونات السريعة مسألة مهمة، فقد انشغل العلماء بدراسة الوسائل والطرق الكفيلة بتحويل النيوترونات السريعة إلى حرارية كي يسهل عملية امتصاصها وتعد المولدات النيوترونية مصادر للنيوترونات السريعة وهذه النيوترونات تشكل خطراً على حياة الإنسان، لذلك يجب احاطة هذه المولدات بحواجز واقية تعمل على توهين هذه النيوترونات. وعملية التوهين تحدث من خلال تفاعلات الاستطارة المرنة واللامرنة وكذلك بواسطة الأسر النيوتروني. أن المقطع العرضي للأسر النيوتروني كبير فقط للنيوترونات الحرارية ( $E_n=0.025eV$ )، والقريبة منها وتؤدي عملية الاستطارة المرنة واللامرنة إلى فقدان جزء كبير من طاقة النيوترونات السريعة ( $E_n > 0.5MeV$ ) لذا يجب إخضاع النيوترونات السريعة لتفاعلات الاستطارة لخفض طاقتها قبل إزالتها عن طريق أسرها.

فقد قام الباحثان<sup>[1]</sup> بإيجاد طول الاسترخاء لنيوترونات ذات الطاقة 14 MeV، في مادة الكونكريت، وتبين أن طول الاسترخاء لا يتغير كثيراً عند تغير سمك الدرع والمسافة بين المصدر والكاشف. ودرس الباحثان<sup>[2]</sup> توهين النيوترونات 14 MeV، في الحديد إذ وجد أن المقطع العرضي للإزالة لا يختلف كثيراً للمهدآت التي على شكل صفائح أو بشكل اسطواني. أما بيتو<sup>[3]</sup> فقد قام بإيجاد المقطع العرضي للإزالة في الحديد والرصاص والألمنيوم عند الطاقة 14 MeV للنيوترونات القاسفة. وقام الباحثون<sup>[4]</sup> بحساب نسبة الفيض النيوتروني السريع إلى الحراري كدالة للمقطع العرضي للامتصاص لمادتي (Fe, Ti) وتوصل الباحثون<sup>[5]</sup> إلى طريقة جديدة لتخمين الطيف النيوتروني الابتدائي باستخدام بيانات كرة بونير Bonner sphere، المعتمدة على طيف التخمين باستخدام (Unfolding Code). وقام<sup>[6]</sup> بحساب المقطع العرضي العياني للامتصاص كدالة لنسبة النيوترونات فوق الحرارية إلى الحرارية لمادتي (FeO, TiO<sub>2</sub>). كما وقام<sup>[7]</sup> بإيجاد المقطع العرضي الكلي لمجموعة من العناصر (Fe, Al, Ti)، كدالة للطاقة، يهدف البحث إلى معرفة أفضل المواد المهدئة للنيوترون فضلاً عن تحديد سمك هذه المهدآت.

## ٢) الجانب النظري :

عند قصف مادة بنيوترونات فان هذه النيوترونات سوف تتعرض إلى احتمالية التفاعل مع نوى ذرات مادة الهدف بتفاعلات الاستطارة المرنة واللامرنة التي تؤدي إلى تقليل طاقتها إلى أن تمتص مما يؤدي إلى انتزاع نيوترونات من هذا السيل وبالتالي إلى إضعاف شدتها كلما توغلت النيوترونات أكثر داخل المادة. يطلق على هذه العملية بتوهين النيوترونات Neutron attenuation [8] ويعتمد معدل سير تفاعل نووي معين في مادة ما على كل من عدد النيوترونات القاصفة وطاقاتها وعلى نوع نوى ذرات المادة. يعبر عن اعتماد التفاعل على طاقة النيوترون القاصف وطبيعية مادة الهدف باستخدام مفهوم عام يسمى المقطع العرضي Cross Section للتفاعل [9] فنواة كل هدف تشكل مساحة سطحية مقدارها ( $\sigma$ ) تقع في مستوى عمودي على اتجاه مسار الجسيم القاصف للهدف لكون إن  $\sigma$  تتعلق عادة بنواة هدف واحد وجسيم قاصف واحد لذلك تسمى بالمقطع العرضي المجهرى Microscopic cross section، ووحدته barn في حين أن المقطع العياني Macroscopic cross section، يعطى بالعلاقة [10].

$$\Sigma = N \sigma \quad \dots\dots\dots (1)$$

إذ يمثل N عدد ذرات المادة في السم<sup>3</sup> الواحد، وان وحدة قياس  $\Sigma$  هي ( $\text{cm}^{-1}$ ). والمقطع العرضي المجهرى الكلي هو حاصل جمع المقطع العرضي المجهرى للاستطارة والامتصاص [11]. أن احتمالية حدوث جميع التفاعلات النيوترونية التي يكون فيها النيوترون هو الجسيم المنبعث من التفاعل تمثل المقطع العرضي لاستطارة النيوترون ( $\sigma_s$ ) وهو مجموع المقطع العرضي للاستطارة المرنة ( $\sigma_{el}$ ) والمقطع العرضي للاستطارة اللامرنة ( $\sigma_{inel}$ ) [12]

$$\sigma_s = \sigma_{el} + \sigma_{inel} \quad \dots\dots\dots (2)$$

وبعد امتصاص النيوترون من قبل نواة الهدف تتوافر فرصة لحدوث أكثر من تفاعل نووي واحد ومن ثم فإن نواة الهدف تطلق جسيمات الفا أو البروتونات او كاما وربما تبعث أكثر من جسيم واحد

$$\sigma_a = \sigma(n,\gamma) + \sigma(n,f) + \sigma(n,p) + \sigma(n,\alpha) \quad \dots\dots(3)$$

ويعرف المقطع العرضي العياني للزالة Macroscopic Removal cross section، على انه معكوس طول الاسترخاء ( $\lambda$ )

$$\Sigma_{rem} = 1/\lambda \quad (\text{cm}^{-1}) \quad \dots\dots\dots(4)$$

ان احتمالية ازالة النيوترونات من مدى الطاقة الساقطة ويعتمد على طاقة النيوترونات ومكونات مادة الحاجر والمقطع العرضي المجهرى ( $\sigma_{rem}$ ) للنيوترونات السريعة [13]

$$\sigma_{rem} = 0.6 \sigma_t \quad \dots\dots\dots (5)$$

والعلاقة بين ( $\Sigma_{rem}$ ) و ( $\sigma_{rem}$ )

$$\Sigma_{rem} = \sigma_{rem} = \frac{0.6 \cdot \sigma_t \cdot \rho}{A} \quad (\text{cm}^{-1}) \quad \dots\dots(6)$$

إذ يمثل  $\rho$  كثافة العنصر و  $A$  الوزن الذري للعنصر

### (3) الحسابات :

لايجاد احتمالية امتصاص النيوترون الحراري  
Thermal neutron macroscopic absorption cross section  $\Sigma_a$  نستخدم العلاقة  
الآتية:

$$\Sigma_a = \frac{N_0 \rho}{M} [N_1 \sigma_{a1} + N_2 \sigma_{a2} + N_3 \sigma_{a3} \dots] \sqrt{\frac{\pi T_0}{4 T_N}} \dots (7)$$

اذ تمثل  $M$  الوزن الجزيئي للمادة المهدئة، و  $\rho$  كثافة المادة المهدئة، و  $N_0$  عدد فوكادرو ، و  $N_1 : N_2 : N_3$  عدد ذرات العنصر الاول والثاني والثالث من المادة المعترضة على التوالي، و  $\sigma_{a1} : \sigma_{a2} : \sigma_{a3}$  احتمالية الامتصاص للعنصر الاول والثاني والثالث على التوالي بوحدة barn، و  $T_0$  درجة الحرارة المطلقة عند طاقة النيوترون الحراري وتساوي  $290^0$  مطلقة، و  $T_N$  درجة الحرارة المطلقة عند حرارة  $22^0$ م وتساوي  $295^0$  مطلقة.

ولايجاد احتمالية تشتت النيوترون الحراري  
Thermal neutron macroscopic scattering نستخدم العلاقة

$$\Sigma_s = \frac{N_0 \rho}{M} [N_1 \sigma_s1 + N_2 \sigma_s2 + N_3 \sigma_s3 \dots] \dots (8)$$

ويتم حساب معامل انتشار النيوترون Thermal neutron Diffusion Coefficient من العلاقة<sup>[14]</sup>

$$D = \frac{1}{3 \Sigma_s (1 - \mu)} \dots (9)$$

اذ ان  $\mu$  هو قيمة معدل جيب تمام زاوية التشتت

The average value of the cosine of the scattering angle وتساوي

$$\mu = \frac{2}{3M} \dots (10)$$

حيث أن  $M$  الوزن الجزيئي للمهدئ.

اما حساب طول الانتشار في المهدئ Thermal neutron diffusion length في المهدئ نستخدم العلاقة الآتية<sup>[15]</sup>:

$$L^2 = D / \Sigma_a \dots (11)$$

ان أفضل سمك تهدئة Best length moderation للنيوترونات السريعة fast neutron وتحويلها إلى نيوترونات حرارية thermal neutron جرى حسابه بالاعتماد على نظرية فيرمي لعمر النيوترون Fermi age theory ، اذ ان المساحة التي يقطعها النيوترون ( $\tau$ )، معتمداً على الطاقة ( $E$ )  $\tau$  ابتداءً من خروج النيوترون من المصدر عندما

تكون طاقته ( $E_0$ ) ، إلى المكان الذي يكون فيه طاقة النيوترون ( $E$ )، ان المتغير الذي يعتمد على الطاقة يدعى Lethargy ويرمز له بـ ( $u$ ) ويعطى بالعلاقة<sup>[13]</sup>

$$u = \ln E_0/E \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$du = - dE / E$$

حيث ان  $\tau$  يعتمد على  $u$

$$\tau(u) = \int_0^u \frac{D(u)}{\xi \Sigma_s(u)} du \quad \dots\dots (13)$$

ويمكن كتابة

$$\tau(E) = \tau(E_0 \rightarrow E) = \int_E^{E_0} \frac{D(E)dE}{\xi \Sigma_s(E)E}$$

$$= \int_E^{E_0} \frac{D(E)dE}{\xi \Sigma_s E} \quad \dots\dots (14)$$

اذ أن  $\xi$  هي معدل الزيادة في التسكرين (التهدئة) لكل تصادم The average increase in lethargy per collision ويمكن أن تحسب من العلاقة<sup>[13]</sup>

$$\xi = \frac{2}{\frac{2}{3} + A} \quad \dots (15)$$

وتوجد صيغة أخرى بالنسبة للمركبات

$$\xi_{comp.} = \frac{\sum_{is}^n \sigma_{si} N_i \xi_i}{\sum_{is}^n \sigma_{si} N_i} \quad \dots\dots (16)$$

$$\tau(E) = L_s^2 = \frac{D(E)}{\xi \Sigma_s(E)} \ln \frac{E_0}{E} \quad \dots\dots\dots (17)$$

إذ يمثل  $D(E)$  معامل انتشار النيوترونات الحرارية في المهدئ عند الطاقة  $L_s$  ،(0.025eV) أفضل سمك للتهدئة<sup>[13]</sup>.

الجدول (1): يمثل المعلمات الخاصة بانتشار النيوترون لعناصر المجموعة الأولى فضلاً عن البيانات اللازمة لحساب نفس المعلمات لعناصر المجموعة الثانية<sup>[16]</sup>

الجدول (1): ثوابت الانتشار للنيوترون

Ele.	M	$\Sigma_a$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\Sigma_s$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\xi$	L (cm)	D (cm)	$\sigma_a$ (b)	$\sigma_s$ (b)	$\rho$ ( $\text{g/cm}^3$ )	H %
D <sub>2</sub> O	20	$3.3 \times 10^{-5}$	0.45	.57	100	.33	0.001	13.6	1.1	20
H <sub>2</sub> O	18	0.022	3.45	.948	2.76	.17	0.66	103	1.0	11.1
Be	9	$124 \times 10^{-5}$	.86	.207	21	.54	0.01	7	1.85	-
C	12	$32 \times 10^{-5}$	.384	.158	54.2	.94	0.004	4.8	1.60	-

$$\sigma_s(\text{H}) = 38 , \sigma_s(\text{O}) = 4.2 , \sigma_s(\text{C}) = 4.2 : \sigma_a(\text{H}) = .33, \sigma_a(\text{O}) = 20 \times 10^{-5}, \sigma_a(\text{C}) = 0.004$$

#### ٤) النتائج والمناقشة :

تم دراسة أفضل سمك للحصول على فيض نيوتروني حراري لمجموعتين من المواد شملت المجموعة الأولى المواد الآتية (الماء، والماء الثقيل، والبريليوم، والكرافيت)، أما المجموعة الثانية فشملت مجموعة من المواد الهيدروكربونية وهي البرافين، وحامض الأوليك، وحامض الفاليريك، ومادة التوكوفيرول، والنشأ، وسكر الكلوكوز والنسيج المكافئ للمادة (87% كلوكوز + 13% نشأ)، فضلاً عن حساب العديد من المعلمات الفيزيائية الخاصة بانتشار النيوترون خلال المهدآت وذلك لعناصر المجموعة الثانية (الهيدروكربونات) منها المقطع العرضي العياني للامتصاص ( $\Sigma_a$ )، والمقطع العرضي العياني للتشتت ( $\Sigma_s$ )، ومعامل التسكين ( $\xi$ )، ومعامل الانتشار (D)، والطول الانتشاري خلال المهدئ (L)، (M)، ونسبة الهيدروجين في المركب (H%). الجدول (2) يمثل الثوابت الفيزيائية المحسوبة للمجموعة الثانية وكذلك كثافة تلك المواد.

جدول (2): الثوابت المتعلقة بانتشار النيوترونات الحرارية

Element	M	$\Sigma_a \times 10^{-3}$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\Sigma_s$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	L (cm)	D (cm)	$\xi$	$\rho$ ( $\text{g/cm}^3$ )	H %
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	102.14	16.1	2.28	3.0	0.147	0.933	0.938	9.8
C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	282.47	18.8	2.63	2.6	0.127	0.942	0.891	12.0
C <sub>28</sub> H <sub>48</sub> O <sub>2</sub>	416.69	19.2	2.7	2.54	0.124	0.950	0.95	11.5
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	180.16	10.7	1.57	4.46	0.213	0.909	0.921	6.7
C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>	162.14	10.2	1.5	4.68	0.223	0.900	0.94	6.2
C <sub>25</sub> H <sub>52</sub>	352.7	22	3.04	2.25	0.111	0.951	.850	14.7

الشكل (1)، يمثل العلاقة بين أفضل سمك مهدئ كدالة لطاقة النيوترونات القاسفة eV ( $15 \times 10^6 - 0.03$ )، لمواد المجموعة الأولى وبين الشكل تسلسل المواد حسب أفضليتها في تهدئة النيوترون إذ أن أفضل المهدآت في هذه المجموعة هو الماء والسبب في ذلك هو امتلاكه على أكبر عامل تسكين  $\xi$  وأكبر مقطع عرضي للامتصاص  $\Sigma_a$  والاستطارة  $\Sigma_s$  وأقل معامل انتشار D وأقل قيمة للطول الانتشاري L وأقل كثافة  $\rho$  ضمن المجموعة الأولى وأنه يحتوي على الهيدروجين اذ يعد الهيدروجين من المهدآت الجيدة للنيوترونات ثم يأتي بعده الماء الثقيل ثم البريليوم. إما اقل مادة لتهدئة النيوترون فهو الكرافيت وذلك لامتلاكه على معامل انتشار D وطول انتشاري L وأقل مقطع عرضي للاستطارة والامتصاص وأقل عامل تسكين  $\xi$ . أن تسلسل المواد حسب أفضلية التهدئة لمواد المجموعة الثانية وضحت في الشكل (2) اذ يتضح من الشكل أن أفضل مهدئ ضمن هذه المجموعة هو شمع البرافين Paraffin C<sub>25</sub>H<sub>52</sub> وذلك لان هذه المادة تمتلك أكبر نسبة من الهيدروجين فضلاً عن المواصفات التي

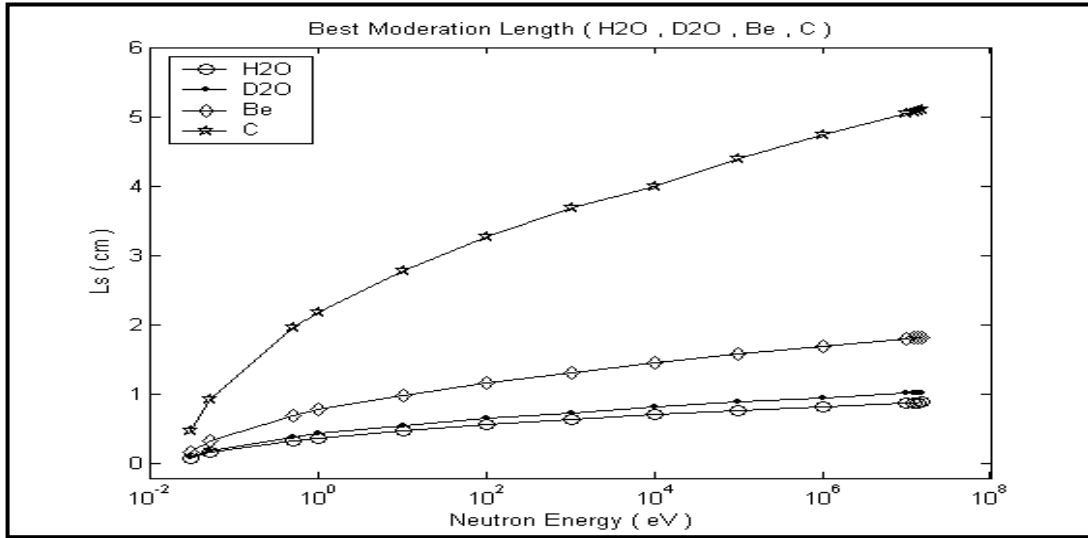
ذكرت للمواد الجيدة التهئة في الشكل السابق ثم تليها مادة التوكوفيرول Tocopherol وهي مادة سائلة وصيغتها الكيميائية  $C_{28}H_{48}O_2$ ، ثم حامض الاولييك Olicacid وهو سائل دهني  $C_{18}H_{34}O_2$  ثم حامض الفاليريك Valericacid وهو مادة سائلة ( $C_5H_{10}O_2$ ) ثم سكر الكلووز  $C_6H_{12}O_6$  ثم المادة المكافئة للنسيج Tissue equivalent Materials، وهذه المادة مكونة من مزيج من سكر الكلووز ومادة النشا بنسبة  $(13\% C_6H_{10}O_5 + 87\% C_6H_{12}O_6)$ . أما اقل هذه المواد تهئة فهي مادة النشا Starch للأسباب المذكورة سابقاً وصيغتها الكيميائية  $C_6H_{10}O_5$ .

ولمقارنة أفضل وأردئ مهدئ في المجموعتين الأولى والثانية. يلاحظ من الشكل (3) أن شمع البرافين يمثل أفضل تهئة من الماء وذلك لاحتوائه على نسبة (14.7%) من الهيدروجين بينما الماء (11.1%) فضلاً عن اختلافهما في التركيب الكيميائي إذ أن الكربون أفضل تهئة من الأوكسجين للأسباب المذكورة سابقاً فضلاً عن أن نسبة الكربون اكبر بكثير من نسبة الأوكسجين، إما اقل مادة في تهئة النيوترون فهي الكربون وهي اقل بكثير من النشا وذلك لعدم احتوائها على الهيدروجين فضلاً عن الأسباب المذكورة سابقاً.

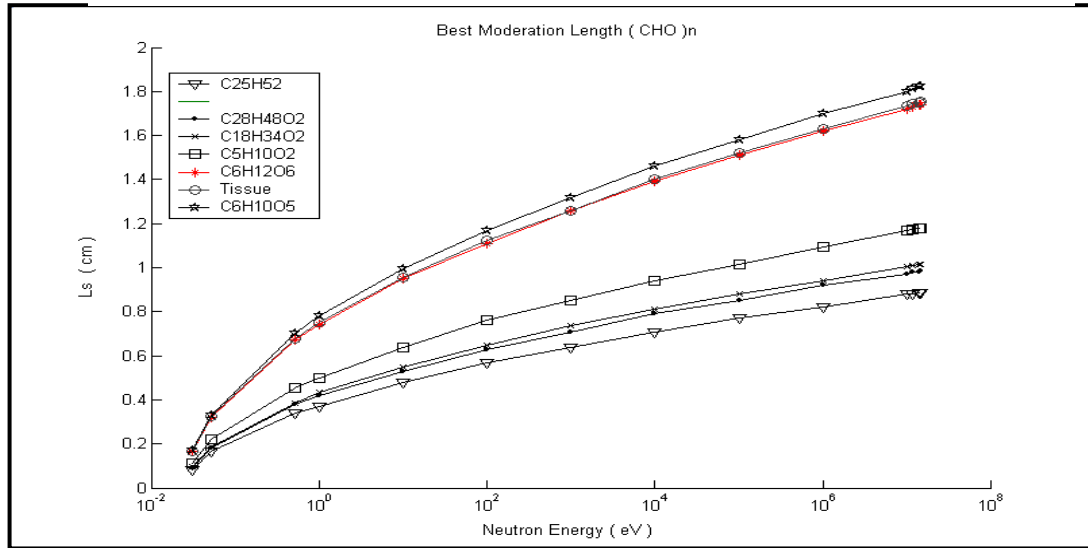
ولدراسة العلاقة بين المقطع العرضي العياني للامتصاص  $\Sigma_a$  وأفضل سمك تهئة وذلك الطاقة (15) MeV ويلاحظ من الشكل (4) ان العلاقة بينهما عكسية تقريباً؛ أي كلما كبر المقطع العرضي للامتصاص قل السمك المهدئ وهذا يعني تفضيل في التهئة. كذلك يلاحظ أن العلاقة بين المقطع العرضي للاستطارة  $\Sigma_s$  وسمك التهئة هي أيضاً علاقة عكسية تقريباً كما في الشكل (5)، وهذا يعني أن المهدآت الجيدة تمتلك مقاطع عرضية للامتصاص والاستطارة كبيرة.

أن العلاقة بين عامل التسكين  $\bar{E}$  وسمك التهئة، فيظهر من الشكل (6) أن العلاقة بينهما عكسية؛ أي كلما كبرت قيمة عامل التسكين للمادة فهذا يعني إنها مهدئة جيدة. بينما نجد أن العلاقة بين طول انتشار النيوترون L داخل المهدئ وسمك التهئة هي طردية كما واضح من الشكل (7)؛ أي أن المهدآت التي تمتلك طول انتشاري كبير تكون قليلة التهئة.

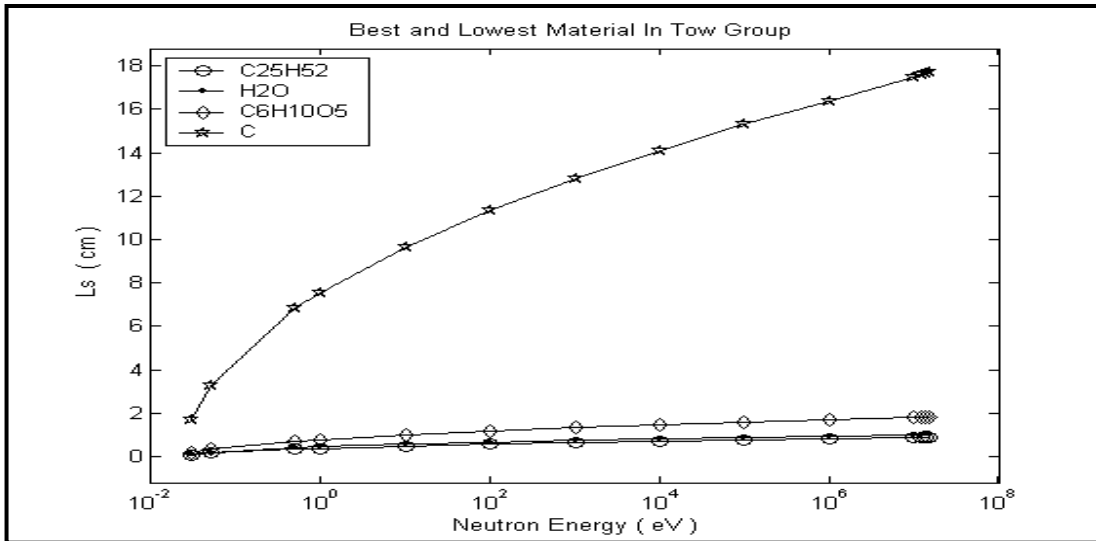
أن الشكل (8) يمثل العلاقة بين عامل انتشار النيوترون D في المهدئ وسمك التهئة ويظهر من الشكل أن العلاقة بينهما طردية أي أن المهدآت التي تمتلك عامل انتشار كبير تكون قليلة التهئة، فيما نجد من الشكل (9)، أن العلاقة بين النسبة المئوية للهيدروجين (H%) في المهدئ وسمك التهئة هي علاقة عكسية؛ أي أن المهدآت الجيدة تمتلك نسب عالية من الهيدروجين.



الشكل (1): السمك المهدئ دالة لطاقة النيوترونات لمواد المجموعة الأولى

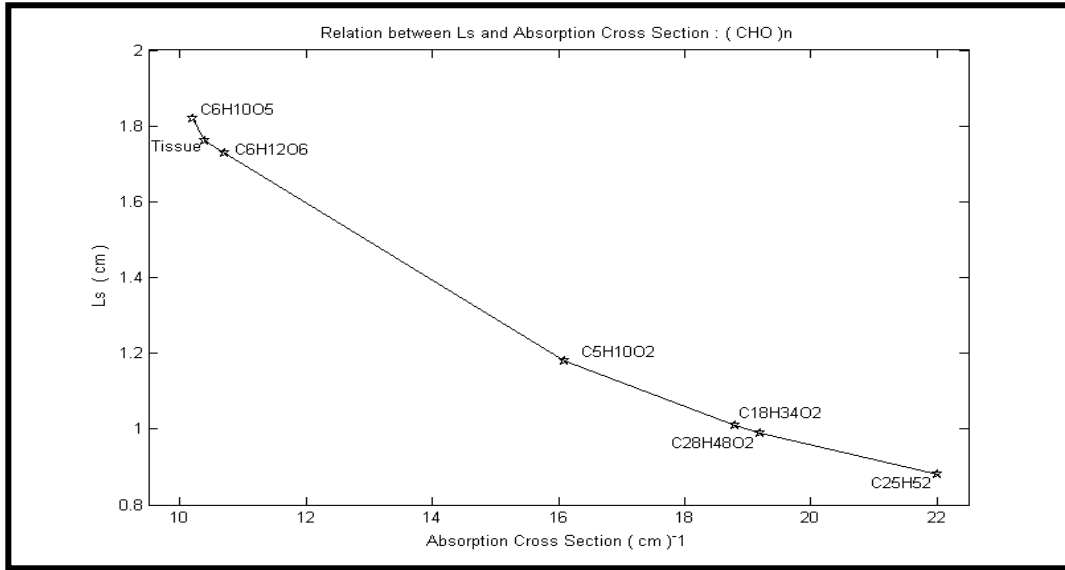


الشكل (2): السمك المهدئ دالة لطاقة النيوترونات لمواد المجموعة الثانية

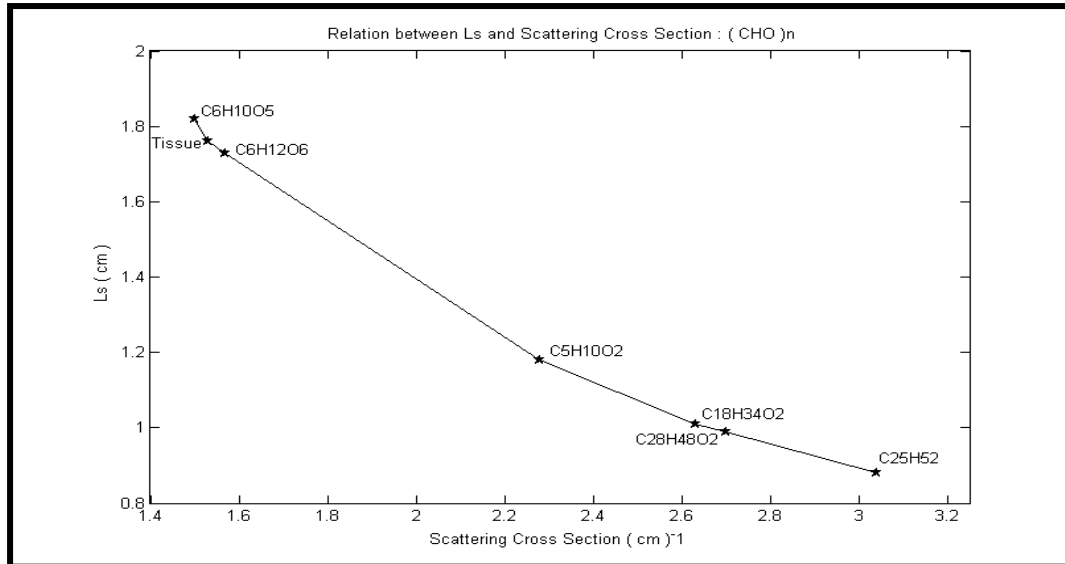


الشكل (3): أفضل وأردي مهدئ في المجموعتين

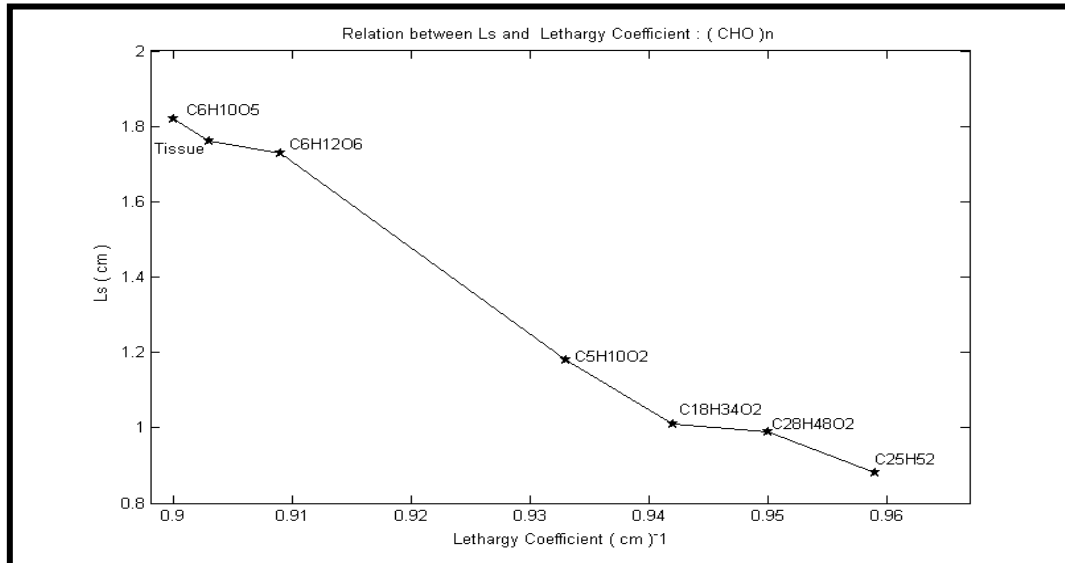




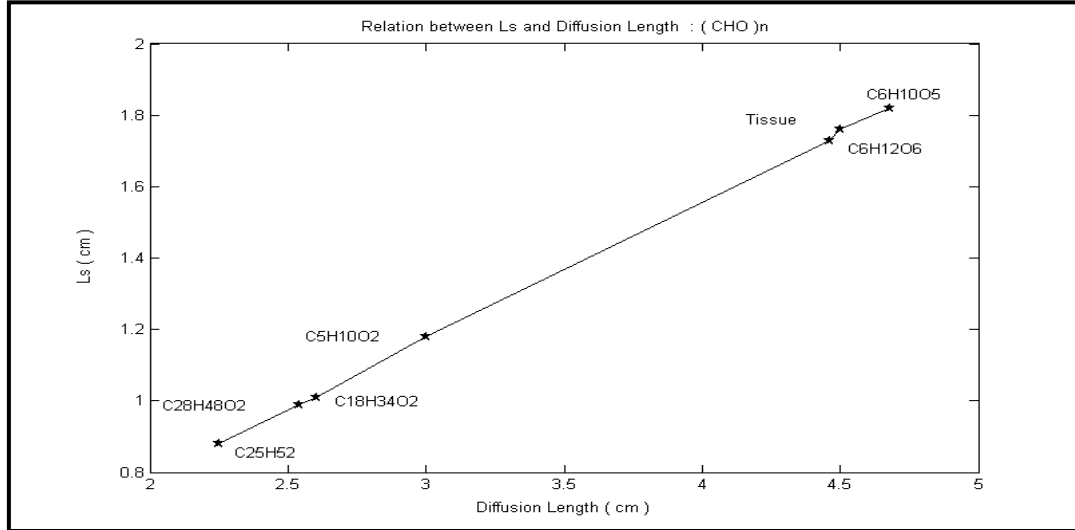
الشكل (4): السمك المهدئ دالة لمقطع العرضي لامتصاص النيوترونات لمواد المجموعة الثانية



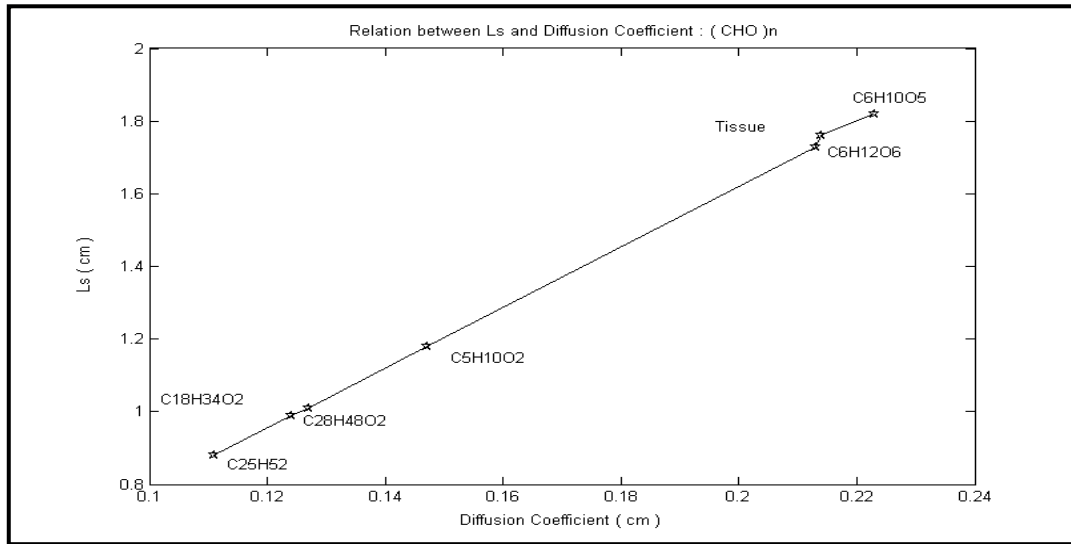
الشكل (5): السمك المهدئ دالة لمقطع العرضي لاستطارة النيوترونات لمواد المجموعة الثانية



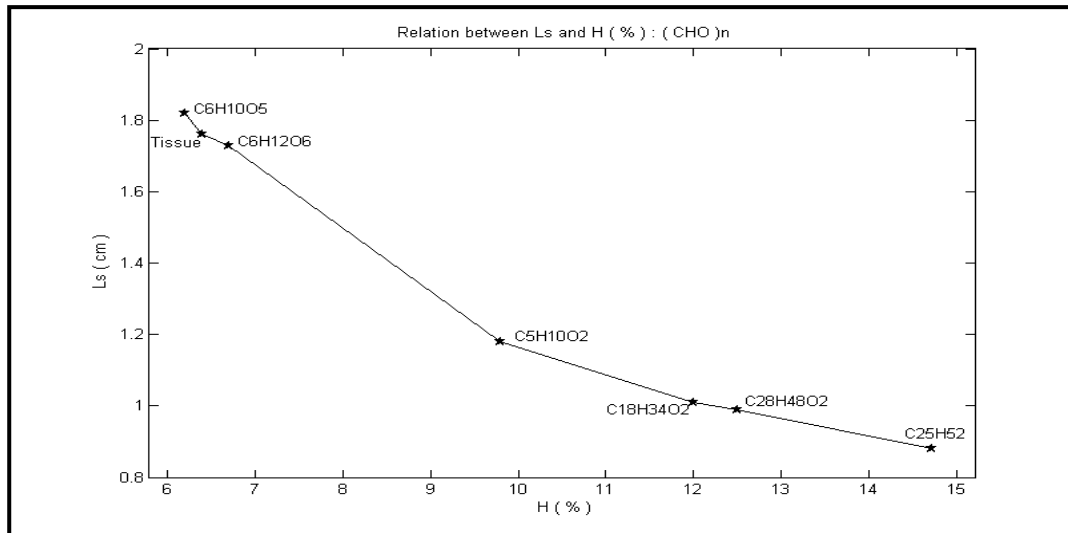
الشكل (6): السمك المهدئ دالة لعامل التسكين (التهديئة) لمواد المجموعة الثانية



الشكل (7): السمك المهدء دالة لطول انتشار النيوترون في مواد المجموعة الثانية



الشكل (8): السمك المهدء دالة لعامل انتشار النيوترون في مواد المجموعة الثانية



الشكل (9): السمك المهدء دالة لنسبة الهيدروجين في مواد المجموعة الثانية

## (٥) الاستنتاج :

أن المواد التي تمتلك نسبة عالية من الهيدروجين تمثل أفضل المهدآت، ويظهر من النتائج أن المواد التي تمتلك مقطعاً عرضياً عيانياً كبيراً للاستطارة  $\sum_s$  والامتصاص  $\sum_a$  تشكل مهدآت جيدة، والمواد التي تمتلك عامل تسكين كبير  $\xi$  تكون مهدآت جيدة أيضاً، فيما المواد التي تمتلك معامل انتشار  $D$  وطول انتشاري  $L$  كبير تكون مهدآت غير جيدة. وبشكل عام فإن عناصر المجموعة الثانية وهي المواد الهيدروكربونية  $(CHO)_n$  تظهر تهيئة للنيوترونات السريعة أفضل من عناصر المجموعة الأولى.

## References

## (6) المصادر

- 1) Nargolanlla, S. S and Przybylowice, E. P "Actvation Anslysis with neutron Generators". John wiley and sons, New york, (1973).
- 2) Cooper, P. N and Kabir, B. M. "The Removal Cross section of Iron at 14.1 MeV" Journal of Nuclear Energy, Vol.26, pp.569-571, (1972).
- 3) Peto, G., Angeli, I. and Csikai, J. "Measurement of Removol cross section of primary neutron for Al, Fe, and pb Laboratory manual IAEA Training Course Utiliza of neutron Generators, Debreoen, (1982).
- 4) Elphic, R. C, Binder, A. B, Lucey, P. G. "Lunar Fe and Ti Adundances: comparison of lunar prospector and Clementine Data". (1998).
- 5) Vega–Carrille H. R, Pilor M. T "Catalogue to selet the initial guess spectrum during unfolding". Nuclear Instrument and method in physics Research A. 476: pp. 270-272. (2002).
- 6) Lawrence, D. J, Maurice, S, Feldman, W. C "Lunar prospector neutron measurement and lunar  $TiO_2$ ". (2001).
- 7) Barbeau, P. S, Collar, J. I and Whaley, P. M. "Design and characterization of a neutron calibration facility for sub – KeV Nuclear Recoils". (2007).
- 8) Book of abstracts for peresentation and posters. "Imaging and neutron". Oak Ridge, Tennessee 37831. USA. (2005).
- 9) Byrne J. "neutron nuclei and Bristol" institute of physics publishing: neutron physics (2004).

- 10) Leinweber. G, Barry. M, Ballad. V. "Neutron capture and total cross-Section measurements and resonance parameters of Gadolinium". Nuclear science and engineering: 154, 261-279. (2006).
- 11) Holbert K. E. "Neutron cross section". (2007).
- 12) Knoll. G. "Radiation detection and measurement", 3<sup>rd</sup> ed. John wiley and sons. New york. (2000).
- 13) Lamarsh. J. R. "Introduction to nuclear Reactor theory". Addison-Wesley publishing Com. (1966).
- 14) Raymond L. Murray. "Neuclear Energy". Fifth ed. Raleigh, North Carolina (2000).
- 15) Weston M. Atacey. "Nuclear Reactor physics" John Wiley & sonc, Inc. (2001).
- 16) Samuel G. & Alexander S. "Nuclear Reactor Engineering". Van Nostrand Ltd. (1967).