محاكاة حجب خرسانة بناء مستخدمة في المنطقة الوسطى من سورية للنترونات

سلمان حسن[1]

تاريخ الإيداع 2014/06/11
قبل للنشر في 2014/09/25

الملخص

استُخدم الكود MCNP-5BETA في هذا العمل من أجل محاكاة حجب النترونات لخرسانة بناء مستخدمة في المنطقة الوسطى من سورية، إذْ قورنت القيم المحسوبة بواسطة هذا الكود بالقيم التجريبية لكل مكعب من مكعبات الخرسانة المقيسة بعد نمذجة كامل التوضع التجريبي من المنبع إلى الكاشف النتروني حتى المخبر الذي أجريت فيه التجارب كاملاً.

قُورنت القيم المحسوبة للجرعة النترونية بالقيم التجريبية إذْ كانت الفروق بين القيم المحسوبة والتجريبية محصورة بين 0.008% و8% كحد أقصى. وبالنظر إلى تقارب النتائج التجريبية والحسابية باستخدام الكود، فإنه يمكن التفكير باستخدام الكود حسابياً فقط لتحسين خصائص حجب النترونات لهذه الخرسانة، وذلك بإضافة مواد مهدئة أو ماصة إليها، وكذلك التفكير باستخدام الكود لتحسين خصائص الحجب النتروني لخرسانات أخرى لم تُدرسْ تجريبياً من قبل.

الكلمات المفتاحية: الكود MCNP5-BETA، المنبع النتروني، خرسانة البناء، حجب النترونات.

[1] قائم بالأعمال، قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة دمشق، سورية.

Simulation of the shielding characteristics against neutrons for the concrete used in the Central Region of Syria

S. Hasan[(1)]

Received 11/06/2014
Accepted 25/09/2014

ABSTRACT

The MCNP-5BETA code was used to simulate the neutron shielding characteristics of the concrete, as building material, used in the Central Region of Syria. The simulation is done for all the experimental conditions from source to dosimeter up to the laboratory .The calculated doses were found to have between 0.008% and 8% relative differences with respect to the experimentally determined values. Since these differences are universally acceptable the MCNP-5BETA code could be used to estimate the shielding characteristics against neutrons for these concrete by adding absorption or moderation materials to it. The same could be also valid for new concretes which experimental shielding characteristics against neutrons were not experimentally measured.

Key words: MCNP5-BETA code, Neutron source, Concrete, Building materials, Neutron shielding.

[(1)] Member of Technical Staff, Department of Physics, Faculty of Sciences, Damascus University, Syria.

المقدمة

تستخدم الخرسانة البيتونية استخداماً كبيراً في عمليات التدريع والوقاية من الآثار الضارة الناتجة عن الإشعاعات المختلفة، وذلك بسبب كفاءتها ورخص ثمنها وفعاليتها في توهين النترونات والفوتونات في آن معاً، كما تعدُّ الخرسانة البيتونية من أكثر المواد استخداماً في تدريع المنشآت النوويةً؛ وذلك بهدف الحد من تسرب الإشعاعات المختلفة والناتجة عن النشاطات النووية إلى الوسط المحيط.

تُحدد كفاءة الخرسانة البيتونية في حجب النترونات بمقدار توهينها لحزمة نترونات توضع أمام أحد أوجهها وتقاس شدة الحزمة الناتجة من الوجه المقابل (أو تقاس الجرعة النترونية، بحسب مبدأ عمل الكاشف) وبحسب معدل التوهين؛ وذلك بطرح قيمة الشدة الخارجة من الوجه الخلفي للخرسانة من شدة الحزمة الداخلة في الوجه الأمامي القريب إلى المنبع، و ينسب الفرق إلى شدة الحزمة الداخلة في الوجه الأمامي.

أو يمكن أيضاً حساب معامل التوهين الخطي للنترونات لأية مادة [$\mu[cm^{-1}$] إذا كان الكاشف يقيس الجرعة الناتجة عن اختراق تدفق نتروني تم الحصول عليه من أحد المصادر النترونية لمادة سماكتها x، أن تقاس الجرعة النترونية D(x) في نقطة ما تقع خلف المادة (عكس جهة ورود النترونات)، بحيث تكون قد حددت الجرعة النترونية الناتجة عن المصدر نفسه دون وجود العينة التي تعدُّ بمنزلة الجرعة الابتدائية D(0) سابقاً، ويحسب معامل التوهين الخطي μ من المعادلة (1)[1].

$$D(x) = D_0 e^{-\mu x} \qquad (1)$$

تعدُّ الطريقة التجريبية لقياس توهين مادة ما هي الطريقة المُثلى التي تعطي نتائج صحيحة وواقعية عن المادة المستخدمة. ولكن وجود كودات نمذجة تتعامل مع النترونات والفوتونات وتتابع مسارها وتفاعلاتها مع المادة ساعد على حل كثير من المسائل الإشعاعية التي تتطلب دراسة نظرية قبل تطبيقها، وذلك بسبب الخطورة أحياناً أو بسبب التكاليف الباهظة، ومن ضمن هذه المسائل التي يمكن حلها باستخدام هذه الكودات حساب معامل التوهين الخطي للمادة.

تعدُّ كودات مونتي كارلو من أهم الكودات المعتمدة عالمياً لدراسة تفاعل الجسيمات بأنواعها المختلفة (النترونات والفوتونات والإلكترونات) مع المادة. كما تستخدم بشكل خاص في حل المسائل المعقدة التي يصعب حلها أو نمذجتها باستخدام الكودات الحاسوبية التي تعتمد على الطرائق الحتمية (Deterministic methods). إن طريقة مونتي كارلو هي طريقة احتمالية (Probabilistic method)، إذْ تُحاكى فيها الأحداث الاحتمالية الفردية بشكل تتابعي، بحيث تؤخذ إحصائياً عينة من التوزعات الاحتمالية لتلك الأحداث لوصف كامل الظاهرة المدروسة. وتنجز عملية المحاكاة (النمذجة) باستخدام الحاسب. ذلك لأن

عدد الأحداث اللازمة لوصف الظاهرة يكون كبيراً نسبياً. إذْ تتم فعلياً باستخدام هذه التقنية متابعة وملاحقة كل جسيم من الجسيمات التي يصدرها المنبع من لحظة ولادتها إلى لحظة امتصاصها أو هروبها من الحيز المدروس. تؤخذ عادة عينات عشوائية من التوزعات الاحتمالية وتستخدم المعطيات الفيزيائية للوسط من كثافة ومقطع فعّال للتفاعل لتعيين حصيلة الجسيمات في كل قصة من قصص حياة الجسيمات المدروسة[2].

يعالج الكود MCNP (Monte Carlo N-Particle Code) مختلف التشكيلات الهندسية ثلاثية الأبعاد بأشكالها جميعها، ويستخدم الكود معطيات المقاطع العرضية المقابلة لكل نقطة من قيم الطاقة باستخدام مكتبة المعطيات النووية ENDF/B-V. وبواسطة MCNP يمكن للمستخدم تغيير ظروف المصدر في مجال واسع، وتعيين احتمال التوزيعات المستقلة لوسطاء المصدر كالطاقة، والزمن، والموضع والاتجاه [2].

يستخدم الكود MCNP-5BETA في هذا العمل من أجل محاكاة حجب نتروني لخرسانة بناء مستخدمة في المنطقة الوسطى من سورية، إذْ حُسبتْ باستخدام الكود الجرعة النترونية المقيسة لهذه الخرسانة، ومن ثم قُورنتِ القيم الحسابية التي تم الحصول عليها مع قيم تجريبية أجريت للخرسانة نفسها[3]، وذلك بهدف دراسة موثوقية الكود في الحسابات الإشعاعية (والنووية عموماً)، وبهدف استخدام الكود في دراسة تغير خواص الحجب النتروني للخرسانة عند تغير تركيبها، وذلك من أجل تحسين خصائص حجب النترونات لهذه الخرسانة أو أية خرسانات أخرى دون اللجوء إلى العمل التجريبي المكلف الذي يستهلك المزيد من الوقت. ولحساب توهين خرسانات جديدة مفترضة بهدف حجب النترونات.

تتركب خرسانة البناء المستخدمة في المنطقة الوسطى من حصيات عادية وبودرة بيضاء ورمل أصفر وإسمنت بورتلاندي وماء، ويبيّن الجدول (1) المواد المستخدمة في الخرسانة ونسبتها وكثافتها وأماكن الحصول عليها. كما يبيّن الجدول (2) العناصر الداخلة في تركيب هذه الخرسانة [3].

الجدول (1) المواد الداخلة في تركيب خرسانة البناء المستخدمة في المنطقة الوسطى وخواصها

مكونات الخرسانة العادية	مكان الإنتاج	الكثافة g/cm^3	نسبتها في الخرسانة
حصيات عادية	حسياء- حمص	2.830	%50.70
بودرة بيضاء	كفربهم-حماة	1.980	%4.09
رمل أصفر	حمص	1.890	%17.98
اسمنت بورتلاندي	حماة	2.000	%17.99
ماء	حمص	1.000	%9.24

الجدول (2) العناصر الداخلة في تركيب خرسانة المنطقة الوسطى ونسبتها ضمن الخرسانة.

العنصر	النسبة	العنصر	النسبة	العنصر	النسبة
H	0.0103	Al	0.0119	Ti	0.0023
B	0.0002	Si	0.115	Cr	0.0001
C	0.0156	p	-	Mn	0.0001
O	0.5155	K	0.0009	Fe	0.0097
F	0.0004	S	0.0068	Pb	0.0076
Na	0.0015	Cl	0.0001	Sb	0.0132
Mg	0.0583	Ca	0.2305		

طرائق إجراء المحاكاة

ورد في المرجع [3] أنه حُضّرتْ ست عينات من الخرسانة السابقة بهدف تحديد توهينها للنترونات، إذ صممت كل عينة على شكل مكعب بحيث تختلف كل عينة عن الأخرى بطول ضلعها، وراوحت أطوال أضلاع هذه العينات بين (5-10) cm. يبين الجدول (3) خصائص هذه العينات.

كما استخدم منبع (Am-Be) كمصدر نتروني الذي يصدر $1.1\times10^{7}\,n/s$ في أثناء التجربة. تعطى بعض مواصفات منبع Am-Be المستخدم في هذا العمل في الجدول (4) [4].

الجدول (3) خصائص عينات الخرسانة التي حُضّرتْ

رقم العينة	1	2	3	4	5	6
طول ضلع العينة (cm)	5	6	7	8	9	10
الكثافة (g/cm^3)	2.192	2.161	2.128	2.107	2.066	2.035

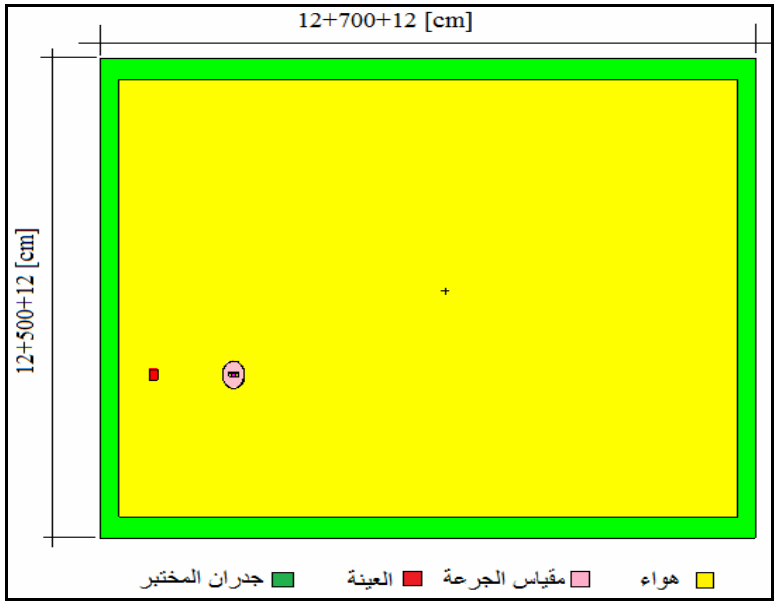
الجدول (4) المواصفات التقنية لمنبع Am-Be المستخدم

توصيف المنبع	مزيج من أكسيد الأمريشيوم مع معدن البيريليوم، موضوع ضمن كبسولات من ستانلس ستيل (الفولاذ)
النشاطية الإشعاعية عند التصنيع	5 Ci
الإصدار النتروني	$1.1x10^{7}$ n/s
نوع الكبسولة	X.14
الإصدار النتروني	$\sim2.2x10^{6}$ n/s per ci
معدل تعرض أشعة غاما	~2.5 mR/h at 1m per Ci~25μsv/h at 1m per Ci
معدل جرعة النترونات	~2.2 mR/h at 1m per Ci ~22μsv/h at 1m per Ci

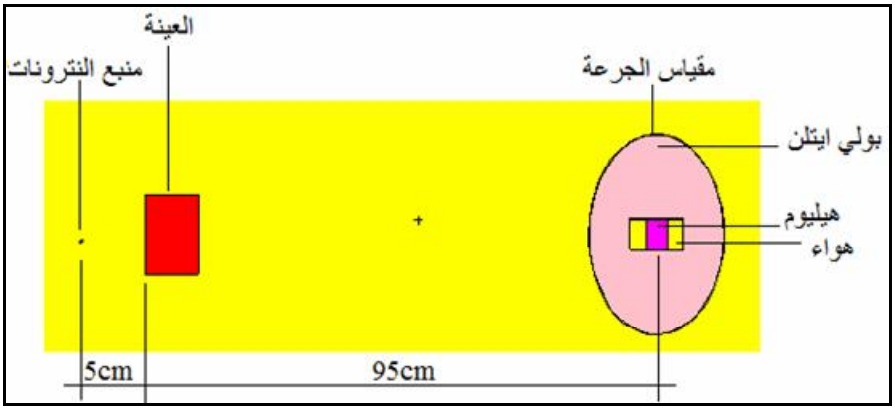
ورد في المرجع نفسه أنه وُضع المصدر النتروني أمام العينة المدروسة على بعد 5cm من الوجه المقابل للعينة، كما وضع مقياس الجرعة النترونية نموذج LB 6411 في الجهة المقابلة وعلى بعد 100cm من العينة كما هو مبيّن بالشكل (1).

قيست الجرعة النترونية باستخدام مقياس كروي للجرعة النترونية، ففي المرحلة الأولى قِيست الجرعة النترونية الابتدائية دون وجود أية عينة D_0، ومن ثم قِيستِ الجرعة النترونيةَ الناتَجة بعد وضع العينة D(x).

أُجريت هذه العملية على العينات جميعها، ووضعت القيم التي تــم الحــصول عليهــا تجريبياً للجرعات المقيسة مع وجود الخرسانة ومن دونها.



الشكل (1) توضع منبع النترونات وعينة الخرسانة ومقياس الجرعة النترونية ضــمن مختبــر العمل التجريبي كما أُجريت نمذجته باستخدام رسام الكود MCNP5BETA [3].



الشكل (2) مقطع عرضي باستخدام رسام الكود MCNP-5BETA يبيّن المنبــع النترونــي، وعينة الخرسانة، والكاشف النقطي.

أمَّا بخصوص مراحل المحاكاة ذاتها فقد أُجريتْ وفق المراحل الآتية:

1- أُجريتْ نمذجة المختبر الذي أُجري القياس فيه وفق الأبعاد 7mx5mx4m وسماكة جدارن بيتونية 12cm [3].

2- أُجريتْ نمذجة مقياس الجرعة النترونية نموذج LB 6411 كما هو موصف على شكل كرة من البولي إيتيلن قطرها 25cm تحتوي بداخلها على أنبوبة الكاشف طولها 10cm وقطرها 4cm وأخذ الطول الفعال للأنبوبة 4cm بحسب مواصفات الجهاز المعتمدة من قبل المصنع، وقد مُلئ الحجم الفعال بغاز الهيليوم [5].

3- أُجريتْ نمذجة عينة الخرسانة البيتونية على شكل مكعب وفق أبعاد العينات المدروسة [3].

4- وضع المنبع أمامِ العينة وعلى بعد 5cm من الوجه المقابل للمنبع كما هو مبين بالشكل (2)، وقد وُصّف المنبع النتروني وفق البطاقة SDEF التي تأخذ الشكل الآتي [4]:

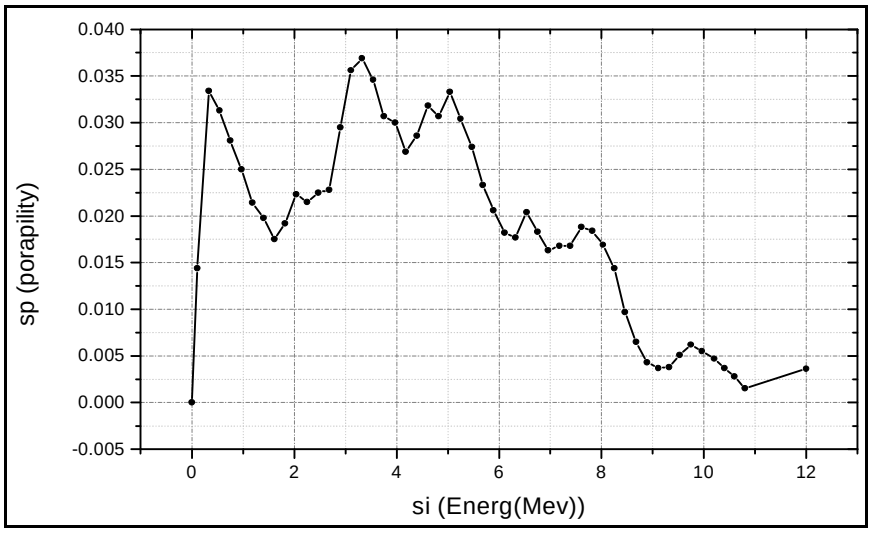
sdef par=1 pos=0 0 0 erg=d1

إذْ إنَّ:

par=1 نوع الجسيم المدروس وتأخذ رقم 1 للنترونات.

pos=0 0 0 موضع المنبع النقطي

erg=d1 التوزع الطاقي للنترونات كما هو مبيّن بالشكل 3 [6]، ويحدد تقسيم الطيف الطاقي للنترونات بـــ Si1، أمَّا احتمالية هذه الطاقات فيحدد بـــSp1,



الشكل (3) التوزع الطاقي للنترونات الصادرة عن منبع Am-Be .

ولحساب التدفق النتروني الواصل إلى نقطة القياس وهي على بعد 100cm من المنبع، استخدمت البطاقة F5 التي تمثل كاشفاً نقطياً في نقطة القياس الواقعة ضمن الحجم الفعال من أنبوبة مقياس الجرعة. ومن أجل الحصول على الجرعة النترونية أدخلت معـــاملات تحويل الجرعة - التي تحول الكثافة النترونية عند نقطة القياس إلى جرعة نترونية مقابلة - إلى ملف الدخل de5,df5 [2]، إذ تمثل de5 قيم الطاقة، أما معاملات تحويل الجرعة المقابلة فتمثلها البطاقة df5. أمَّا عدد النترونات الصادرة عن المنبع في الثانية فقد وضـــع بالبطاقة $fm = 1.1x10^{7}$.

شُغِّلَ الكود باستخدام الحاسب لعدد كبير من الجسيمات يصل إلى 2169171 نترونـــاً وحصلنا على قيم الجرع النترونية لكل ملف دخل باحتمـــال خطـــأ 0.02، وهـــي نـــسبة منخفضة وجيدة.

بلغت قيمة الجرعة الأعظمية دون وجود خرسانة بيتونية التي تـــم الحـــصول عليهـــا باستخدام الكود القيمة $137(mSv/h)$، في حين أن القيمة التي كان قد تم الحصول عليها تجريبياً هي $151\ (mSv/h)$ حيث تبلغ قيمة الخطأ النسبي بين القيمتين قرابة 9%.

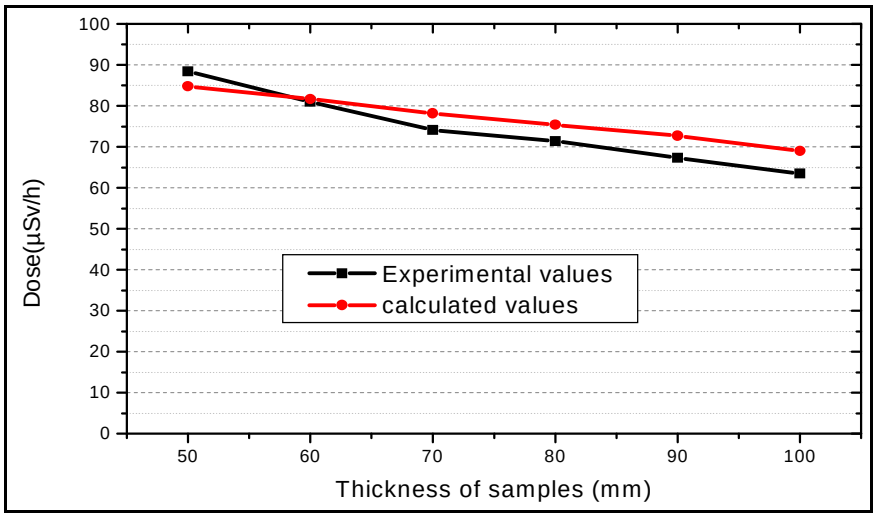
أمَّا النتائج التي تم الحصول عليها عند تشغيل الكود لاختبار كل عينة مـــن العينـــات المدروسة فقد وُضعت في الجدول (5) الذي يبيّن القيم التجريبية والقيم الحسابية للجرعـــة الإشعاعية الناتجة عن المنبع، كما قورن بين القيم الحسابية والتجريبية في الشكل (5).

الجدول (5) القيم التجريبية والحسابية للجرعة النترونية.

طول ضلع العينة	$Dose_{exp}(mSv/h)$	$Dose_{cal}(mSv/h)$	الخطأ النسبي
5	88.44	84.78	%4
6	81.00	81.66	%0.008
7	74.11	78.19	%5
8	71.45	75.41	%5
9	67.34	72.76	%7
10	63.45	69.00	%8
القيمة الوسطية	74.30	77.04	%3

$Dose_{exp}$: الجرعة المحسوبة تجريبياً مقدرة (mSv/h).

$Dose_{cal}$: الجرعة المحسوبة باستخدام الكود مقدرة (mSv/h).



الشكل (5) القيم التجريبية والحسابية للجرعات النترونية المحسوبة و المقيسة لعينات الخرسانة البيتونية.

مناقشة النتائج

1- من الشكل (5) نجد أن النقاط التجريبية والحسابية متقاربة مع بعضها بعضاً، إذْ تكون القيمة التجريبية أكبر عند العينة رقم 1 ثم يتقاطع الخطان عند السماكة 60mm للعينة رقم 2 إذْ تتساوى الجرعتان الحسابية والتجريبية لهذه العينة، ومن ثم تصبح القيم التجريبية للجرعة النترونية أقل من القيم الحسابية.

2- تبلغ القيمة الحسابية الوسطية للجرعة (mSv/h) 77.04، في حين تبلغ القيمة التجريبية لها (mSv/h) 74.3، ويكون الخطأ النسبي بين القيمتين 3%، وهي قيمة منخفضة.

3- يمكن استخدام النمذجة السابقة وفق الشروط نفسها وبإجراء عملية الحساب على العينات جميعها ومن ثم أخذ القيمة الوسطية لها، وذلك من أجل حساب التوهين لأية خرسانة بيتونية مفترضة أو لتحسين خصائص هذه الخرسانة دون العمل تجريبياً.

4- لمّا كانت القيمة التجريبية الوسطية للجرعة النترونية أقل من القيمة الحسابية الوسطية ،فإن هذا الأمر أفضل ويعطي مجال أمان إضافياً فيما لو تم اللجوء إلى القيم الحسابية واعتمادها بدلاً من القيم التجريبية إذا تعذر إجراؤها لسبب أو لآخر.

5- تم التحقق عملياً من كفاءة الكود MCNP5-BETA في مقدرته على إعطاء قيم للجرعات مقاربة للقيم التي يتم الحصول عليها تجريبياً، وهذا يساعد على استخدامه لدراسات أخرى متعلقة بهكذا عمليات قياس.

الاستنتاج

يمكن بعد المناقشة الآنفة الذكر استنتاج إمكانية استخدام النموذج المعتمد في محاكاة هذه الخرسانة من أجل تحسين خصائص حجب النترونات لها، ومن أجل حساب التوهين لخرسانات أخرى. كما أن تقدير معامل التوهين حسابياً باستخدام الكود MCNP-5BETA يوفر المزيد من الوقت اللازم للتجريب ويساعد على تحسين خصائص أية خرسانة لحجب النترونات عن طريق تغيير نسب مكوناتها أو إضافة مواد ماصة أو مهدئة للنترونات إليها، إذْ تُحدّدُ خصائص هذه الخرسانة باستخدام الكود دون الحاجة إلى إجراء المزيد من التجارب المكلفة والمؤذية أحياناً، ومن ثم يمكن اختبار صحة النتائج والتحقق منها تجريبياً إذا لزم الأمر.

References

1-Dorschel, B., Schuricht, V., Steuer, J., 1996. The Physics of Radiation Protection. Nuclear Technology Publishing, Ashford, UK

2-MCNP. 2005. A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5 Volume I: Overview and Theory Los Alamos National Laboratory.

3- Albarhoum, M., Soufan, A. H., Mustafa, H. 2012. Experimental determination of the shielding characteristics of the dwelling houses' building materials against neutrons in the Central Region of Syria , Annals of Nuclear Energy 47 (2012) 134–139

4-Amersham, 1975. Neutron Source Americium - 241/Beryllium and Californium - 252 Technical Bulletin 76/7

5-http://www.Berthold.com, Neutron probe LB 6411

6-http://www.fusor.net/Neutron ,Radiation detection/ Silvered GM: High/Low End Performance. Posted by Carl willis on 2009-09-19 00:15