حساب معامل التضاعف الفعَّال للمفاعل MTR-22 MW المحمَّل بالوقود المعياري والمُختلط باستخدام الكود MCNP-5C

نورس غازي الهلامي

مدرس في كلية العلوم، جامعة الفرات، دير الزور، الجمهورية العربية السورية.

E-mail: nawrasalhoulami@alfuratuniv.edu.sy.

الملخص

استخدم الكود MCNP (Monte Carlo N-Particle) لنمذجة مفاعل اختبار المواد MTR-22 MW المُحمَّل بالوقود المعياري وبالوقود المُختلط.

أظهرت النتائج توافقاً جيداً مع نتائج بعض الدراسات السابقة المُتعلِّقة بالمفاعل ذاته.

وتبيَن مدى كفاءة النموذج ثلاثي الأبعاد للمفاعل MTR-22 MW؛ إذ بلغت قيمة معامل التضاعف الفعَال بالنسبة للوقود المعياري1.22266 وبخطأ نسبي أقل من0.1% وبلغت قيمته للوقود المختلط 1.19763 وبخطأ نسبي أقل من0.1% أيضاً.

توضِّح هذهِ النتيجة مدى التوافق الدقيق بين طريقة مونتي كارلو التي صُمِّم على أساسها الكود MCNPوالقياسات التجريبية للمفاعلMTR-22 MW.

الكلمات المفتاحية: مفاعل اختبار المواد، أمان الحرجيّة، طريقة مونتي كارلو، الكود MCNP-5C.

1- المقدمة: Introduction

يُعدُّ المفاعلMTR(Materials Testing Reactor) من أكثر أنواع مفاعلات البحث انتشاراً، وتُشكِّل الاختلافات الكثيرة في تصميم هذا المفاعل عقبةً أمام وصف تصميم قياسي له. تتغيَّر استطاعة هذا النوع من المفاعلات من عدة واطات إلى عدة عشرات من الميغاواط(ALIKHAN, 1999).

وقعَ الاختيار في هذا البحث على المفاعل البحثي من نوع MTR باستطاعة 22MW، وذلك كون هذا المفاعل ينجز مهاماً عديدةً؛ كإجراء الاختبارات من أجل تطوير الطاقة النووية، وبنفس الوقت إنتاج النظائر للتطبيقات الطبية، كما أنَّه يتمتَّع بهامش أمان عالي، يتمثَّل في معاملات درجة الحرارة السالبة، كما يحقِّق هذا النوع من مفاعلات اليورانيوم منخفض الإغناء التوجهات العالمية في استخدام اليورانيوم منخفض الإغناء(LUE) 20% أو أقل في مفاعلات البحث والاختبار، حيث أنَّ الأسلحة النووية تتطوَّر بواسطة اليورانيوم عالي الإغناء(HUE)، لذا عُمَل على إيقاف استخدام الوقود عالي الإغناء المستخدم في مفاعلات البحث النووية(Lewis, 2008).

غالباً ما تجري الحسابات التصميمية لمفاعلات الأبحاث بالاعتماد على كودات codes. تعتمدُ هذهِ الكودات على أحدا الطريقتين(Nero, 1979): الطريقة الأولى هي طريقة الانتشار أو الانتثار؛ إذ تعتمدُ هذهِ الطريقة على الحل المباشر لمعادلة الانتقال لحساب المقاطع العرضية لكافة مكونات المفاعل، والحل المباشر لمعادلة الانتشار لحساب ثابت التضاعف الفعَّال، والتوزُّع الفراغي للتدفق النتروني، والطاقة في المفاعل. بينما تعتمدُ الطريقة الثانية على المبادئ الأساسية للإحصاء؛ إذ تعتمد على احتمالات تفاعل النترون مع مكونات المفاعل، وتُعرف هذهِ الطريقة عادةً بطريقة مونتي كارلوMonte Carlo (Metropolis & Ulam, 1949)، والتي بني على أساسها الكود MCNP.

استثمر الكودMCNP-5C في هذهِ الدراسة للقيام بنمذجة المفاعل البحثي من النوعMTR باستطاعة 22MW، كما حسبَ عن طريق هذا الكود أحد أهم معاملات أمان الحرجيّة وهو معامل التضاعف الفعَّال.

إنَّ تحديد هذا المعامل المهم قبلَ وبعدَ أي عملية تطوير في بنية قلب المفاعل

(كاستبدال الوقود النووي في قضبان الوقود بوقود نووي جديد، أو استبدال قضبان التحكُّم، أو تصميم قنوات تدفق نتروني لاستخدامها بمختلف التطبيقات العلمية...) مهمٌ جداً للحفاظ على شروط تشغيل آمنة لهذا المفاعل.

2- توصيف المفاعلMTR-22MW:

مفاعل البحث MTR-22MW هو من نوع البركة باستطاعة 22 ميغا واط. يَستخدم وقود اليورانيوم-U3O8 AL منخفض التخصيب كوقود معياري، كما يُمكن أن يحتوي على ثلاثة أنواع بنسب مُختلفة من هذا الوقود كوقود مُختلط. ويُستخدم فيه الماء الخفيف كمبرِّد ومهدِّئ، والبريليوم كعاكس للنترونات. يتميَّز هذا المفاعل بقدرة عالية لتدفق النترونات(ALIKHAN, 1999) (10^{14} n/cm^2.s) .

يقعُ القلب داخل وعاء المفاعل الرئيس وعلى عمق سبعة أمتر من سطح المياه التي تملأ الوعاء الرئيس. ويتألَّف من 30 موقعاً في شبكة القلب المصنوعة من سبيكة الألمنيوم المقاوم للتآكل، 29 موقعاً لعناصر الوقود وموقعاً مركزياً للمصيدة النترونية. تتوزَّع عناصر الوقود في قلب هذا المفاعل وفق ترتيب 6X5، محاطةً بمدخنة من خليطة الزركونيوم المقاوم للتآكل لتوجيه مياه التبريد في قلب المفاعل. يتألَّف كل عنصر وقود من19 صفيحة وقود، ويتمُّ التحكُّم بالمفاعل بواسطة 6 صفائح تحكُّم ماصة مكوَّنة من خليطة (الفضة ـ الكادميوم) مغلَّفة بمادة الستانستيل(Khan *et al*).

يوضِّح الجدول(1) البيانات المتعلِّقة بالمفاعل MTR، كما يوضِّح الجدول(2) النسب الوزنية لمكونات الوقود للأنواع الثّلاث، ويبين الجدول(3) مواصفات وأبعاد عنصر الوقود(Khamis *et al.*, 2006; Khan *et al*.).

الجدول(1): البيانات المتعلقة بالمفاعل MTR

الاستطاعة	20 MW
مادة الوقود	U – Al
شكل الوقود	صفائح
نسبة الإغناء	90% وحول إلى 20%
كثافة التدفق النتروني الأعظمية $n.cm^{-2}.s^{-1}$	$1x10^{14}$

الجدول(2): النسب الوزنية لمكونات الوقود للأنواع الثّلاث.

النوع المعياري		النوع الأول		النوع الثاني	
المادة	النسبة الوزنية	المادة	النسبة الوزنية	المادة	النسبة الوزنية
^{235}U	12.377 %	^{235}U	6.598 %	^{235}U	8.398 %
^{238}U	50.450 %	^{238}U	26.894 %	^{238}U	34.230 %
O	11.263 %	O	6.004 %	O	7.642 %
AL	25.910 %	AL	60.504 %	AL	49.730 %
الكثافة g/cm^3	4.802	الكثافة g/cm^3	3.299	الكثافة g/cm^3	3.655

الجدول(3): مواصفات وأبعاد عنصر الوقود.

الارتفاع الفعّال	80.00 cm
المقطع العرضي لعنصر الوقود	8.00 x 8.00 cm^2
سماكة صفيحة الوقود مع الغلاف	0.15 cm
سماكة صفيحة الوقود بدون الغلاف	0.07 cm
عرض صفيحة الوقود	6.40 cm
سماكة العارضة الجانبية	0.50 cm
عرض العارضة الجانبية	8.00 cm
سماكة الماء بين صفائح الوقود	0.27 cm
المسافة بين كل عنصري وقود	0.39 cm

3- معامل التضاعف اللانهائي k_∞ :

تنحصرُ نهاية النيترونات الانشطارية في ثلاث حالات فقط، الأولى: أن يتمُّ امتصاص النترون سواءً من طرف الوقود أو من المواد الأخرى، مثل المهدِّئ والمبرِّد ومكونات وعاء المفاعل. الحالة الثانية: تسرُّب النترونات خارج المفاعل، فتصبح مفقودةً بالنسبة للتفاعلات الانشطارية. الحالة الثالثة: تفكُّك النترون إلى بروتون والكترون وهذهِ الحالة غالباً ما تهمل لأنَّ عمر نصف تفكك النترون طويل جداً (حوالي 12 دقيقة) مقارنةً بدورة النترونات في المفاعل(Lewis, 2008). إذا فرضنا جدلاً أنَّ لدينا مفاعل كبير جداً لهُ أبعاد غير منتهية، فلا يمكن للنترونات أن تتسرَّب إلى خارجه، وهكذا تصبح نهايتها عن طريق الامتصاص فقط. يُحدَّد تضاعف النترونات في هذهِ الحالة بمعامل التضاعف اللانهائي k_∞ الذي يعرَّف بأنَّه النسبة بين عدد النترونات المنتجة إلى عدد النترونات المفقودة بالامتصاص فقط، كما في المعادلة التالية(Oka, 2014):

$$k_\infty = \frac{n_p}{n_A} \qquad (1)$$

حيث n_p عدد النترونات المُنتجة و n_A عدد النترونات المفقودة بالامتصاص.

ويُعبَّر عادةً عن معامل التضاعف اللانهائي هذا بالمعادلة الشهيرة بالمعاملات الأربعة التالية(Oka, 2014):

$$k_\infty = \frac{n_p}{n_A} = \eta\,\varepsilon\,p\,f \qquad (2)$$

حيث η معامل الانشطار الحراري (المردود النتروني)، و ε معامل الانشطار السريع، و p احتمال الهروب من الامتصاص، و f معامل الانتفاع الحراري.

4- مُعامل التضاعف الفعَّال k_{eff} :

يُعرَّف معامل التضاعف الفعَّال k_{eff} بنسبة عدد النترونات عندَ نهاية الدورة النترونية إلى عدد النترونات عند بدايتها، ويدلُّ هذا المعامل على استمرارية تفاعل الانشطار النووي المتسلسل المدعَّم ذاتياً، فعندما(Oka, 2014):

$k_{eff} < 1$ يكون المفاعل تحت حرج، ومع الزمن يتوقف تفاعل الانشطار المتسلسل.

$k_{eff} = 1$ يكون المفاعل حرج، ويستمر تفاعل الانشطار بمعدَّل ثابت مع الزمن.

$k_{eff} > 1$ يكون المفاعل فوق حرج، ويستمر تفاعل الانشطار بمعدَّل متزايد مع الزمن.

يمكنُ التعبير عن معامل التضاعف الفعَّال باستعمال الجداء لستة معاملات، كما في العلاقة التالية:

$$k_{eff} = \eta \varepsilon P_s P P_{th} f \qquad (3)$$

حيث η المردود النتروني، و ε معامل الانشطار السريع، و P_s معامل البقاء السريع، و P احتمالية تجاوز الأسر التجاوبي، و P_{th} معامل الانتفاع الحراري، و f معامل البقاء الحراري.

5- طريقة مونتي كارلو: Monte Carlo Method

تُستعمل طريقة مونتي كارلو لدراسة تفاعل الجسيمات بأنواعها المُختلفة (نترونات، فوتونات، إلكترونات) مع المادة. وتُستعمل خصوصاً في حل المسائل المُعقدة التي يصعب حلها أو نمذجتها باستعمال الكودات الحاسوبية التي تعتمد على الطرق الحتمية deterministic methods.

إنَّ طريقة مونتي كارلو هي طريقة احتمالية probabilistic method، تحاكى فيها الأحداث الاحتمالية الفردية بشكلٍ تتابعي، بحيث يؤخذ إحصائياً عينة من التوزعات الاحتمالية لتلك الأحداث لوصف كامل الظاهرة المدروسة، وتنجز عملية المحاكاة باستعمال الحاسب، ذلك لأنَّ عدد الأحداث اللازمة لوصف الظاهرة يكون كبيراً نسبياً؛ إذ تتمُّ فعليّاً باستعمال هذهِ التقنية متابعة وملاحقة كل جسيم من الجسيمات التي يصدرها المصدر من لحظة ولادتها إلى لحظة امتصاصها أو هروبها من الحيّز المَدروس.

تؤخذ عادةً عينات عشوائية من التوزعات المُحتملة وتُستعمل المُعطيات الفيزيائية للوسط من كثافة ومقطع فعَّال للتفاعل لتعيين حصيلة الجسيمات في كل خطوة من خطوات تاريخ الجسيمات المَدروسة(Metropolis & Ulam, 1949).

6- الكود MCNP

الكود MCNP كود ثلاثي الأبعاد مُتعدد الأغراض. يعمل هذا الكود بالاستفادة من طريقة مونتي كارلو. طوّر هذا الكود في مخابر لوس آلا موس الوطنية بالولايات المتحدة الأمريكية. يستطيع هذا الكود حل مسائل نقل النترونات والفوتونات والإلكترونات، كذلك يستطيع حساب مُعاملات أمان الحرجية للأنظمة الحرجة.

يعالج الكود أي تصميم هندسي ثلاثي الأبعاد للمادة المعروفة على شكل خلايا محاطة بسطوح هندسية. وقد مرَّ هذا الكود بمراحل تطوير مُتعددة إلى أن أصبح في نسخته المسماة MCNP-5C(Shultis & Faw, 2011).

6-1- ملف الدخل Input File

تُعتبر كتابة ملف الدخل للكود MCNP-5C بشكلٍ صحيح المرحلة الأساسيّة لحل المسألة الفيزيائية المطلوبة، ويتكوَّن ملف الدخل من ثلاثة أجزاء رئيسة هي:

1- الخلايا التي تحاكي الوسط المادي الذي ينتقل خلاله الإشعاع.

2- السطوح التي تُشكِّل الخلايا.

3- المعلومات، والتي تشمل على:

ـ توصيف المصدر وطيفه.

ـ تركيب ونسب المواد داخل الخلايا.

ـ المعلومات المطلوبة من البرامج (Tallies).

ويتضمن ملف الدخل لأيَّة مسألة العناصر التالية:

ـ بطاقة العنوان Title card

ـ بطاقة الخلايا Cell Cards

ـ بطاقة السطوح Surface Cards

ـ التحويلات أو الانتقالات Transformations

ـ نمط الاصدار Mode

ـ مصدر الجسيمات Source

ـ المواد المستخدمة Materials

ـ أهمية الاصدار لكل خلية Importance

ـ معلومات أخرى Other data

2-6- ملف الخرج Output File

تتضمن ملفات الخرج المعلومات التي كنا قد طلبناها في ملف الدخل.

7- النتائج والمناقشة: Results and Discussions

1-7- نمذجة المفاعل MTR-22MW باستعمال الكودMCNP-5C:

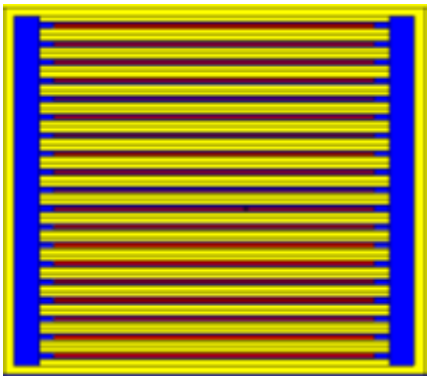
سنبّين فيما يلي الطريقة التّي تمَّت بها نمذجة قلب مفاعل MTR-22 بشكلٍ عام وذلك باستعمال الكودMCNP-5C.

يتألَّف ملف الدخل من ثلاثة أجزاء أساسية: بطاقة الخلايا، وبطاقة السطوح، وبطاقة البيانات. نُمذج المفاعل ابتداءً من الخلية الواحدية ومن ثمَّ عنصر الوقود (حزمة الوقود)، فالمصيدة النترونية، فعنصر التحكُّم، فعنصر العاكس. وبما أنَّ شكل مكونات القلب متوازي مستطيلات، أعطى ذلك سهولة في النمذجة، حيثُ استعملت السطوح المستوية لتشكيل الخلايا المُمثّلة للعناصر المذكورة سابقاً.

- الخلية الواحدية لعنصر الوقود: تمثِّل الخلية الواحدية في المفاعل البنية الأصغر، والتّي كلُّ عددٍ معيَّنٍ منها يُشكِّل حزمة الوقود(assembly). تُستخدم الخلية الواحدية في بعض حسابات المفاعل، مثل حسابات الخلية التي تحسب المقاطع العرضية الجهرية لمختلف مواد المفاعل. ويبين الشكل(1) الخلية الواحدية لهذا المفاعل، وهي صفيحة الوقود مع غلافها (خليطة الألمنيوم) وقناة الماء المحيطة بها.

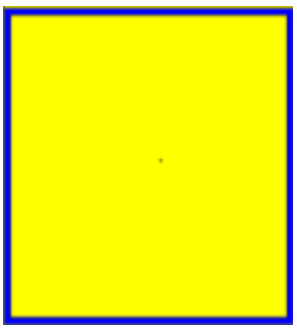
الشكل(1): الخلية الواحدية للمفاعلMTR-22MW المُستعمل في الكودMCNP.

- **عنصر الوقود:** تمثِّل حزمة الوقود ما يسمى عنصر الوقود؛ إذ لدينا في مفاعل MTR-22MW كل عنصر وقود يتألَّف من 19 صفيحة وقود المبيّنة سابقاً، ويجمع حزمة الوقود عارضتين من الألمنيوم بسماكة 0.5 cm. يبين الشكل(2) مقطع عرضي لنموذج عنصر الوقود.



الشكل(2): مقطع عرضي لعنصر الوقود للمفاعلMTR-22MW المُستعمل في الكودMCNP.

- **المصيدة النترونية:** تتألَّف المصيدة النترونية من ماء محاط بالألمنيوم، وتقع في مركز قلب المفاعل تقريباً، وتعمل المصيدة النترونية عمل المُجمِّع للنترونات الحرارية، وذلك بالاعتماد على خاصية الماء المهدِّئ الجيّد للنترونات، وبالتالي يكون التدفق النتروني الحراري أعظمياً والتدفق النتروني السريع أصغرياً في المصيدة النترونية. يوضح الشكل(3) مقطع عرضي في المصيدة النترونية.

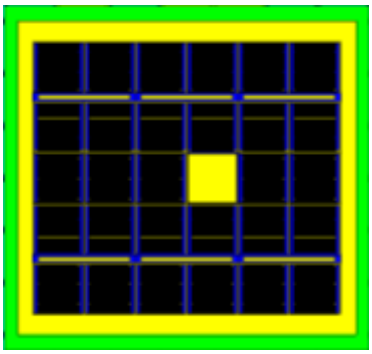


الشكل(3): مقطع عرضي للمصيدة النترونية للمفاعلMTR-22MW المُستعمل في الكودMCNP.

- **عنصر التحكُّم:** يُستعمل في المفاعل قضبان تحكُّم تتكوَّن من مادة ماصة للنترونات الحرارية، وذلك للتحكُّم باستطاعة وحرجيَّة المفاعل. ولدينا في مفاعلMTR-22MW قضبان التحكُّم على شكل صفائح. تتألّف المادة الماصة في هذا المفاعل من خليطة من(الفضة- الكادميوم- الإنديوم)، ويتألَّف عنصر التحكُّم من المادة الماصة وغلافها ودليل عنصر التحكُّم. ويوضح الشكل(4) عنصر التحكُّم، حيثُ تتألَّف المادة الماصة في مفاعل MTR-22MW من خليطة (الفضة- الكادميوم- الإنديوم).

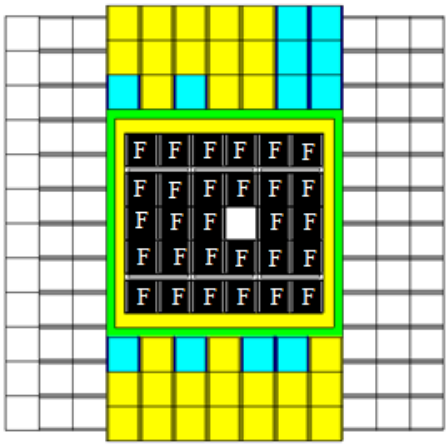
الشكل(4): عنصر التحكُّم للمفاعلMTR-22MW المُستعمل في الكودMCNP.

- عنصر العاكس (البريليوم): يُستعمل في المفاعل بشكلٍ عام عاكس للنترونات، يقعُ على جوانب وأسفل قلب المفاعل. وظيفة العاكس هي إعادة النترونات لقلب المفاعل. يُستعمل عدَّة أنواع من العواكس ذات مقطع عرضي كبير للتبعثر ومقطع صغير للامتصاص، مثل الماء الثّقيل أو الغرافيت أو البريليوم. ويُستعمل في مفاعل
MTR-22MW البريليوم الذي تبلغ كثافته $1.85\ g/cm^3$. يبين الشكل(5) عنصر العاكس المُستعمل في الكودMCNP.

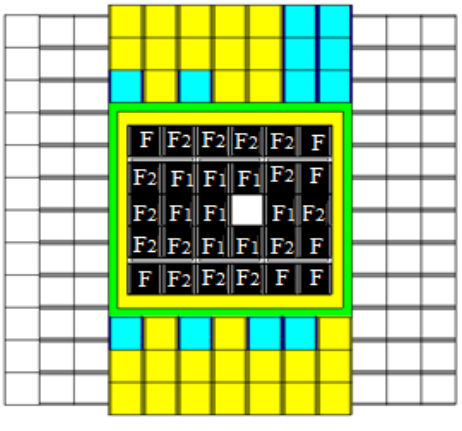


الشكل(5): عنصر العاكس للمفاعلMTR-22MW المُستعمل في الكودMCNP.

- قلب المفاعل: بعدَ الانتهاء من نمذجة مكونات القلب، تَشكَّلَ لدينا قلب المفاعل الكلّي وفق التّشكيلة المبينة في الشكل(6) في حال الوقود المعياري، ووفق التّشكيلة المبينة في الشكل(7) في حال الوقود المختلط، وأخذت تشكيلة العناصر العاكسة حول قلب المفاعل وتوزُّع عناصر الوقود وفق دراسة أجريت في هيئة الطاقة الّذرية الّسورية حول مفاعلMTR-22MW (Khamis *et al.*, 2006) .



الشكل(6): مقطع عرضي لقلب المفاعل MTR-22MW في حالة الوقود المعياري المُستعمل في الكودMCNP.



الشكل(7): مقطع عرضي لقلب المفاعل MTR-22MW في حالة الوقود المختلط المُستعمل في الكودMCNP.

2-7- حساب معامل التضاعف الفعَّال: k_{eff}

بشكلٍ عام يمثِّل معامل التضاعف الفعَّال k_{eff} نسبة عدد النترونات الناتجة عن الانشطار في جيل ما مقسومةً على عدد النترونات الناتجة عن الانشطار في الجيل السابق له، وتحسب من المعادلة التالية (Briesmeister, 1997):

$$k_{eff} = \frac{Number\ of\ fissions\ in\ one\ generation\ (i+1)}{Number\ of\ fissions\ in\ preceding\ generation\ (i)} \qquad (4)$$

نحصل على صيغة معامل التضاعف الفعَّال k_{eff} مباشرةً من التكامل لمعادلة الانتقال لبولتزمان Boltzman transport equation بدون وجود مصدر خارجي، والتي تكتب كما يلي(Briesmeister, 1997):

$$k_{eff} = \frac{\rho_a \int_V \int_0^\infty \int_E \int_\Omega \nu \sigma_f \Phi dV\ dt\ dE\ d\Omega}{\int_V \int_0^\infty \int_E \int_\Omega \nabla J\ dV\ dt\ dE\ d\Omega + \rho_a \int_V \int_0^\infty \int_E \int_\Omega \nu(\sigma_f + \sigma_c + \sigma_m)\Phi dV\ dt\ dE\ d\Omega} \qquad (5)$$

حيث E طاقة النترونات، و Φ تدفق النترونات، و Ω أتجاه النترونات، و V حجم المفاعل ، و ν سرعة النترونات، و t الزمن، و J تدفق تيار النترونات، و ρ_a كثافة المادة، و σ_c و σ_f و σ_m المقاطع العرضية للأسر النتروني (n,pn) وللانشطار وللتضاعف (n,xn) على التوالي.

يَعتمدُ الكود MCNP-5C على المعادلة السابقة لحساب معامل التضاعف الفعَّال، كما يعتمدُ على حساب ثلاثة معاملات للتضاعف هي معامل التضاعف الفعَّال المبني على التصادم k_{eff}^{C} ومعامل التضاعف الفعَّال المبني على الامتصاص k_{eff}^{A} ومعامل التضاعف الفعَّال المبني على طول المسار k_{eff}^{TL}(Briesmeister, 1997).

حُسبَ معامل التّضاعف الفعَّال للنترونات k_{eff} بواسطة بطاقة المصدر للتفاعلات الحرجية KCODE وذلك باعتبار أنَّ كل عناصر الوقود هي نقاط لمصدر الانشطار وتقعُ في مركز كل عنصر وقود. وأخذ بالاعتبار

الحجم الأسمي للمنبع في كل دورة وكان 10000 نترون. وأُخذت القيمة 1.2 كقيمة ابتدائيّة للمعامل k_{eff} وبلغَ عدد الدورات الأختبارية والكليّة 30 و 230 دورةً على التّرتيب.

بلغت قيمة معامل التضاعف الفعَّال من أجل الوقود النظامي 1.22266 وبانحراف معياري قدره $\sigma = 0.00057$ وبخطأ نسبي 0.06%، وبلغت قيمته للوقود المختلط 1.19763 وبانحراف معياري قدره $\sigma = 0.00050$ وبخطأ نسبي 0.05%.

يُظهرُ الجدول(4) قيم معامل التضاعف الفعَّال k_{eff} المَحسوب في هذا البحث وفي عِدَّة دراساتٍ سابقةٍ لهذا المفاعل في حال الوقود المعياري وفي حال الوقود المُختلط، حسبَ فيها معامل التضاعف الفعَّال بطرق وبكودات مُختلفة، كما يَظهر الانحراف المعياري(في حال وجوده) والخطأ النسبي(في حال وجوده)، ويلاحظ التقارب الجيّد بين نتائجنا ونتائج هذهِ الدراسات.

الجدول(4): قيم k_{eff} المَحسوبة في هذا العمل وفي دراساتٍ أخرى

نوع الوقود	الوقود معياري	σ	الخطأ النّسبي (%)	الوقود مختلط	σ	الخطأ النّسبي (%)
هذا العمل	1.22266	0.00057	0.06	1.19763	0.00050	0.05
(Ismael Yosef, 2018)	1.22249	0.00049	1.18	1.05360	0.00048	3.66
(Khamis *et al.*, 2006)	1.23698	0.00073	2.84	1.09224	0.00014	0.22
(Nagy *et al.*, 2004)	1.18775	0.00278	0.33	1.05595	0.00075	0.08
(Al-Jahmany *et al.*, 2013)	1.21842	---	---	1.05272	---	---
(Khamis *et al.*, 2006)	1.22386	---	---	1.08733	---	---
(Kalcheva *et al.*, 2005)	0.9993	0.0002	0.02	---	---	---

8- الاستنتاجات Conclusions

طُبِّقت طريقة مونتي كارلو لتصميم نموذج ثلاثي الأبعاد للمفاعل البحثيMTR باستطاعة 22MW باستخدام الكود MCNP-5C، فوجدَ بأنَّ طريقة مونتي كارلو ناجحةً لنمذجة هذا النوع من المُفاعلات، وذلك ضمنَ حدود الأخطاء الناتجة عن التقريبات للمواد المُستخدمة في المفاعل ولأبعاد المفاعل.

فقد كانت نتائج حساب معامل التضاعف الفعَّال في حال الوقود المعياري والوقود المختلط على توافق جيّد مع الدراسات السابقة لهذا المفاعل.

يُعتبر هذا العمل دليلاً على دقَّة طريقة مونتي كارلو في نمذجة المنظومات الفيزيائية والهندسية المُعقَّدة، وفي حسابات معاملات أمان الحرجيّة كمعامل التضاعف الفعَّال.

نأمل بواسطة هذهِ النمذجة للمفاعلMTR-22 MW أن يتمُّ حساب مُعاملات أخرى لأمان الحرجيّة، كمُعامل زيادة تفاعليّة القلب(ρ_{ex}) Excess Core Reactivity، ومُعامل وثوقيّة صفائح التحكم Control Plates Worth (CPsW)، ومُعامل الأغلاق(SM) Shutdown Margin ، ومُعامل أمان التفاعليّة Reactivity Safety Factor (RSF). كما نأمل أن تُستخدم نمذجة هذا المفاعل لدراسة استبدال الوقود النووي التقليدي(اليورانيوم المُخصّب) بأنواع جديدة من الوقود النووي.

References

AL-JAHMANY, J., NAHILI, M., & AL-ZAWAHERA, S., 2013- **Calculation of the effective multiplication factor, neutron flux and power distribution for ETRR-2 egyptian second research reactor using MCNP4C2 code**. *Damascus University Journal for the Basic Sciences*, 29(2), 373-390 .

ALIKHAN, L., 1999- **Study of reactor design parameters**. *University of the Punjab. Lahore* .

BRIESMEISTER, J., F., 1997- **A general Monte Carlo N-particle transport code**. *LA-12625-M* .

ISMAEL YOSEF, et.al., 2018- **STUDYING OF FULE BURNUP IN THE REACTOR MTR22 BY USING CODES MCNP-5C & GETERA**. *Atomic Energy Commission of Syria* .

KALCHEVA, S., KOONEN, E., & PONSARD, B., 2005- **Validation of MCNP and ORIGEN-S 3-D computational model for reactivity predictions during BR2 operation** .

KHAMIS, I., KHATTAB, K., SOLEMAN, I., & GHAZI, N., 2006- **Neutronic design of a 22 MW MTR type nuclear research reactor** .

KHAN, R., ALI, R., BOECK, H., & STUMMER, T., **Neutronic Analysis of MTR Reactor Core using Monte Carlo Techniques** .

LEWIS, E., 2008-**Fundamentals of nuclear reactor physics.** Elsevier .

METROPOLIS, N., & ULIAM, S., 1949- **The monte carlo method**. *Journal of the American statistical association*, *44*(247), 335-341 .

NAGY, E., ELAFIFY, M., & ENANY, 2004- **Neutronic cell calculations using homogeneous models in ETRR-2**. *Alexandria Engineering Journal*, *43*(1), 11-19 .

NERO, A. V., 1979- **A guidebook to nuclear reactors**. Univ of California Press .

OKA, Y., 2014- **Nuclear reactor design**. Springer .

SHULTIS, J. K., & FAW, R. E., 2011- **An MCNP primer .**

Calculation of the Multiplication Factor of MTR -22 MW Reactor fueled by Original and Mixed Fuel Using MCNP-5C Code

Nawras Ghazi Alhoulami
Faculty of Science, Al Furat University, Deir-ez-Zor, Syrian Arab Republic.
E-mail: nawrasalhoulami@alfuratuniv.edu.sy.

Abstract

The MCNP(Monte Carlo N-Particle)code has been used to simulate the Material Testing Reactor (MTR-22 MW), fueled by original and mixed fuel.
The results showed a good acceptance with previous studies done on the same type of reactors, and the 3D design of the same reactor was efficient.
It showed a multiplication factor of 1.22266 with relative error less than 0.1% for the standard fuel and 1.19763 with relative error also, less than 0.1% for the mixed on.
This result illustrated the agreement between the Monte Carlo method, which MCNP designed by it, and the experimental value related to MTR-22 MW.

Key words: Material Testing Reactor - Critically Safety - Monte Carlo method - MCNP-5C code.