

دراسة نثرونية لعملية تحويل المفاعل المرجعي IAEA MTR 10 من MW من الوقود عالي الإغناء باليورانيوم إلى الوقود منخفض الإغناء

بيداء الأشقر⁽¹⁾

المخلص

أُجريت في هذا البحث الحسابات النثرونية والحرارية لمفاعل البحث المرجعي IAEA MTR 10 MW، نثرونيا باستخدام البرنامج MTRMC، وذلك ضمن إطار عملية التحويل من الوقود عالي الإغناء باليورانيوم (HEU) إلى الوقود منخفض الإغناء (LEU). حُسِبَ معامل التضاعف الفعال، والتدفق النثروني للمجموعات الطاقية الثلاث (حرارية، فوق حرارية، سريعة)، وتوزع الاستطاعة من أجل قلب عياري بوقود طازج لحالتي الإغناء المدروستين، وقد قُوِّرَتِ النتائج بالقيم المنشورة عالمياً. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها توافقاً جيداً مع تلك المذكورة في تقرير الوكالة الدولية للطاقة الذرية رقم IAEA-TECDOC-233، إذ بلغت قيمة معامل التضاعف الفعال القيمة (1.20720) من أجل الوقود بإغناء 93%، والقيمة (1.16152) من أجل الوقود بإغناء 20%، في حين بلغت القيمة العظمى للتدفق النثروني الحراري من أجل الوقود مرتفع الإغناء القيمة (3.058E+14) ومن أجل الوقود منخفض الإغناء القيمة (2.7988E+14) وبفرق نسبي لا يتجاوز القيمة (8%).

الكلمات المفتاحية: المفاعل MTR، البرنامج MTRMC، تدفق نثروني، توزع الاستطاعة.

(1) أستاذ مساعد، قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة دمشق، سورية.

Neutronic study for the Conversion process of the IAEA MTR 10 MW from the Highly Enriched Uranium (HEU) to the Low Enriched Uranium (LEU)

B.Achkar ⁽¹⁾

ABSTRACT

In this research work a neutronic design for the IAEA MTR 10 MW research reactor was developed using the MTRMC code, in view of the conversion process from the use of Highly Enriched Uranium fuel (HEU) to the use of Low Enriched Uranium fuel (LEU). The effective multiplication factor, the neutron flux for the three energy groups (fast, epithermal, thermal), and the power distribution for a standard core with fresh fuel for the 2 percentage of enrichment. The results of the present work are compared with previously published results.

The results of this work show a good agreement with published results in the International Atomic Energy Agency report, IAEA-TECDOC-233, as the effective multiplication factor calculated value was (1.20720) for the fuel with enrichment of 93 %, and (1.16152) for the fuel with enrichment of 20 %, while the maximum value of the thermal neutronic flux was (3.058E+14) for the fuel with high enrichment, and (2.7988E+14) for the fuel with low enrichment, with relative difference smaller than 8 %.

KEY WORD: MTR nuclear reactor, MTRMC program, neutronics flux, power distribution

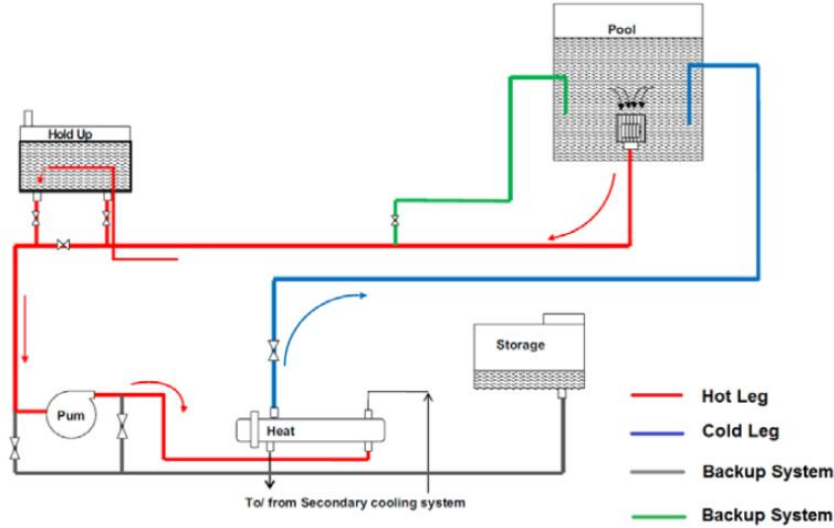
(1) Department of Physics, Faculty of Science, University of Damascus, Damascus, Syria.

المقدمة:

نظراً إلى السياسات الدولية المتعلقة بحظر الأسلحة النووية كجزء من أسلحة الدمار الشامل، أصبح من الصعب، إن لم يكن من المحذور، تزويد المفاعلات البحثية بالوقود ذي الإغناء المرتفع باليورانيوم (HEU)، لهذا السبب توجهت الوكالة الدولية للطاقة الذرية IAEA نحو تحويل المفاعلات العاملة بالوقود عالي الإغناء باليورانيوم، إلى وقود منخفض الإغناء باليورانيوم (LEU). وقد زوّدت الوكالة مشغلي المفاعلات البحثية، بأدلة توجيهية لمساعدتهم في عمليات تحويل المفاعلات من الوقود HEU إلى الوقود LEU. تضم هذه الأدلة المعلومات جميعها التي تمكّن المستثمر من إنجاز عملية التحويل الخاصة بالمفاعل القديم والحصول على ترخيص المفاعل الجديد، وقد صدرت عدّة تقارير تقنية عن الوكالة الدولية للطاقة الذرية تضم دراسات إمكانية تحويل المفاعلات ومواصفات الوقود الجديد، من أجل مفاعلات تعمل بالماء العادي أو الثقيل، وكذلك آثار التغييرات التصميمية في معاملات أمان المفاعل. ويضم التقرير التقني للوكالة الدولية للطاقة الذرية التصميم المرجعي لمفاعل اختبار المواد البحثي الذي من المفترض أن يستخدمه المصمّمون والمستثمرون للوصول إلى تحويل مفاعلات من النوع MTR إلى منخفضة الإغناء. يعرض التقرير المذكور [1] نتائج دراسات تحليلية نظرية شاملة لمفاعلات MTR، قام بإجرائها دول أعضاء في الوكالة الدولية للطاقة الذرية، وفي هذه الدراسة قُورنت نتائج التصميم النتروني، من حساب لمعامل التضاعف الفعال، والتدفقات النترونية، وتوزعات الاستطاعة بالنتائج المنشورة في التقرير؛ وذلك لتعزيز الثقة بالكود MCNP من جهة ولتقديم إسهام محلي في هذه التجارب العالمية.

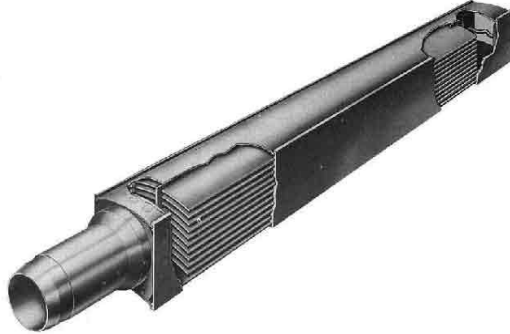
1- المفاعلات من النوع MTR:

مفاعلات اختبار المواد (MTR: Material Testing Reactor) [2] هي مفاعلات بحثية من نمط البركة عموماً، تعمل بوقود اليورانيوم العالي أو المنخفض الإغناء. وتتكون من دارتين: أولية وثانوية (انظر الشكل (1))، إذ تعمل الدارة الأولية على ضخ المبرد عبر قلب المفاعل لتخليصه من الحرارة المتولدة عن الانشطار مروراً بالمكونات الأخرى للدارة الأولية كحوض التفكك وصولاً إلى الجانب الأولي للمبادلات الحرارية ليعود بعدها إلى بركة المفاعل مجدداً. بالمقابل تعمل الدارة الثانوية على نقل الحرارة من الجانب الثانوي للمبادلات الحرارية من خلال تدوير الماء عبر مكوناتها وصولاً إلى أبراج التبريد التي تقوم بطرح الحرارة إلى الوسط الخارجي.



(الشكل 1) دائرة تبريد المفاعل MTR-10 MW.

تمتاز هذه المفاعلات بكثافة استطاعية عالية يوفرها تصميم عناصر الوقود المعتمد على توضع اليورانيوم ضمن صفائح من الألمنيوم التي تتراصف بدورها جنباً الى جنب بشكل متوازٍ مكونة قناة للتبريد بين كل صفيحتين انظر الشكل (2). تؤمن الكثافة الاستطاعية العالية لقلب المفاعل تدفقات نثرونية عالية تساعد هذه المفاعلات على إنجاز العديد من التجارب ذات الصلة بإنتاج الطاقة النووية، كذلك على التعلم والتدرب على تشغيل محطات الطاقة النووية وإدارتها[3].



(الشكل 2) مقطع في عنصر وقود لهذا النوع من المفاعلات وفيه تبدو صفائح الوقود الطولية[1].

2- البرنامج MTRMC [4].

طُوِّرَ برنامج محلياً باستخدام لغة Visual Basic-2012 يستخدم في أمثلة تصميم مفاعلات البحث من النوع MTR. يتضمّن البرنامج MTRMC الكود MCNP وواجهات مستخدم توافر إمكانية نمذجة أشكال وتصاميم مختلفة لقلب مفاعل من النوع MTR.

يتمتع البرنامج MTRMC بواجهات مستخدم بسيطة تسمح باختيار شكل قلب المفاعل وتصميمه من خلال تعبئة مصفوفة من العناصر الفارغة (8x9)، التي تمثل شبكة القلب من دون الماء المحيط بقلب المفاعل بالمكونات المناسبة وفقاً لتصميم المفاعل المراد نمذجته، ومن ثم يحوّل البرنامج المعاملات المختلفة التي أُدخِلت (أبعاد هندسية، مواد،...) إلى ملف دخل للكود MCNP، متضمناً بطاقات الأوامر الخاصة بحساب التوزع الفراغي للتدفق النيوتروني وتوزع الاستطاعة في قلب المفاعل، وغيرها من الحسابات التي يطلبها المستخدم.

يعتمد البرنامج "MTRMC" في عمله على البدء وفقاً لمعاملات ابتدائية مقترحة، ومن ثم العمل على أمثلة هذه المعاملات من خلال تنفيذ الحسابات النيوترونية المطلوبة كلها بشكل أدق:

- 1) حسابات الحرجية وتحديد معامل التضاعف الفعال K_{eff} .
- 2) توصيف الطيف النيوتروني للمفاعل عند مختلف مجالات الطيف (حراري + فوق حراري + سريع + ... الخ)؛ وذلك في مناطق قلب المفاعل وحواية المفاعل كلها.
- 3) توزع الاستطاعة في نقاط حساب التدفق النيوتروني.

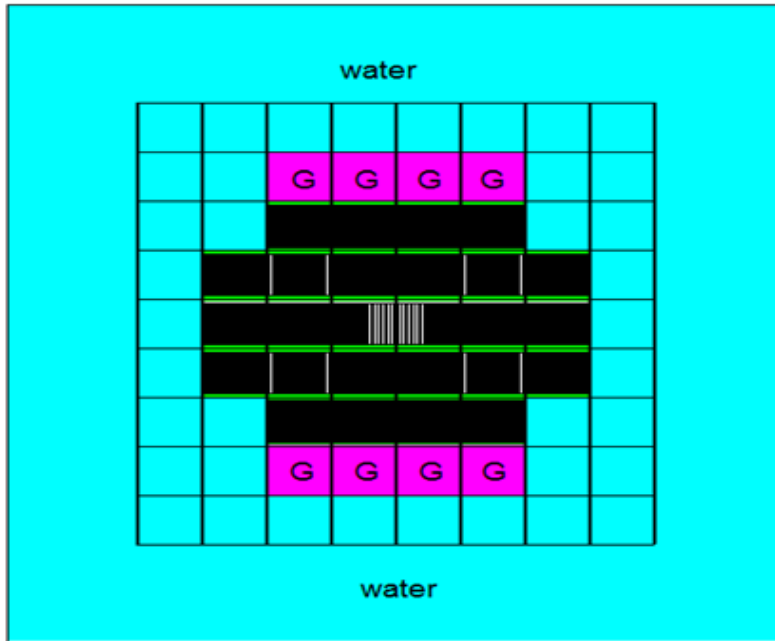
2-1- الكود MCNP 4C:

يعدّ الكود MCNP4C من أهم إصدارات كودات نقل الجسيمات النووية والذرية المبنية على طريقة مونتّي كارلو التي بدأ تطويرها في مخبر لوس الاموس منذ الأربعينيات، إذ يعالج الكود مسائل النقل النيوتروني للنيوترونات التي لا تتجاوز طاقتها 20 MeV، وكذلك الفوتونات أو الإلكترونات التي لا تتجاوز طاقتها 1000 MeV، فضلاً عن معالجته لمسائل النقل النيوتروني/الفوتوني المترابط أو النقل النيوتروني/الفوتوني/الإلكتروني المترابط وغيرها، إذ يعالج مسائل النقل ثلاثية الأبعاد (إحداثيات ديكارتية) دون اللجوء لأيّ تقريب في فضاء المكان أو الاتجاه أو الطاقة أو الزمان، كما هو متبع في طرائق أخرى [5].

ومن أشهر إمكانيات الكود تقدير معامل التضاعف K_{eff} للمنظومات الحرجة والمفاعلات الانشطارية، فضلاً عن التطبيقات المهمة في مجالات مختلفة كحسابات التدرّج لمختلف المصادر المشعة بما في ذلك المفاعلات النووية.

3- توصيف المفاعل MTR-10 MW.

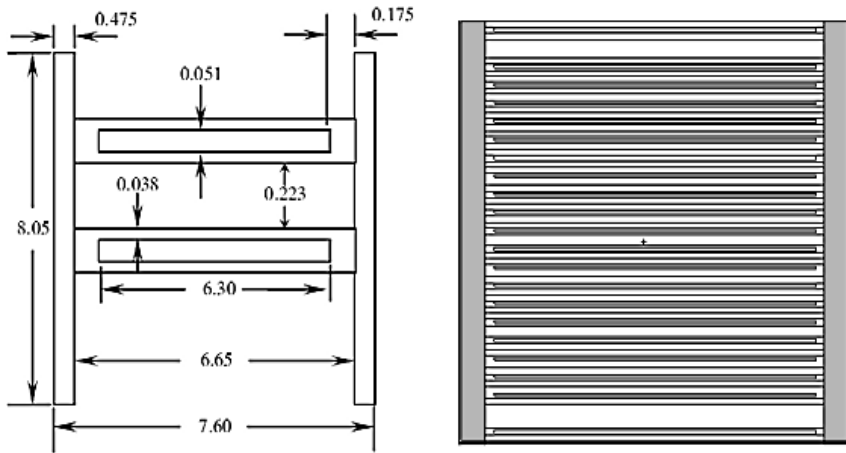
مفاعل البحث [1] MTR-10 (انظر الشكل (3)) هو مفاعل بحثي من نوع البركة باستطاعة 10 ميغا واط، يُستخدم فيه الماء الخفيف كمبرد ومهدئ، وخليطة الألمنيوم - يورانيوم (U-AL) كوقود بإغناء (93%) أو (20%). يتألف القلب من 6X5 موقعاً منها 22 موقعاً لعناصر الوقود وموقع مركزي للمصيدة النثرونية. يتألف كل عنصر وقود من 23 صفيحة وقود، ويجمع حزمة الوقود عارضتين من الألمنيوم بسماكة 0.475 سم. يجري التحكم بالمفاعل بواسطة 4 عناصر وقود تحكمية يتألف كل منها من 17 صفيحة وقود و4 صفائح من الألمنيوم تتوضع في الموقع الأول والثالث، والحادي والعشرين، والثالث والعشرين حيث يتوضع قضيب التحكم (مادة ماصة للنترونات مثل (خليطة الفضة والألمنيوم والكاديوم)) بين صفيحتي الألمنيوم انظر الشكل (4). يتوضع عاكس من الغرافيت على جانبي منطقة الوقود التي بدورها محاطة بالماء من باقي الجهات. يبين الجدول (1) مواصفات عنصر الوقود وأبعاده.



(الشكل 3) مقطع عرضي لقلب المفاعل MTR-10 باستخدام ميزة الرسم في الكود MCNP5C.

الجدول (1) مواصفات عنصر الوقود وأبعاده.

23	عدد صفائح الوقود في كل عنصر وقود	
17	عدد صفائح الوقود في عنصر الوقود التحكيمي	
60.00 cm	الارتفاع الفعال	
7.60 x 8.05 cm ²	المقطع العرضي لعنصر الوقود	
0.127 cm	سماكة صفيحة الوقود مع الغلاف	
0.051 cm	سماكة صفيحة الوقود من دون الغلاف	
6.30 cm	عرض صفيحة الوقود	
0.475 cm	سماكة العارضة الجانبية	
0.223 cm	سماكة الماء بين صفائح الوقود	
U-AL		الوقود
93%	20%	الإغناء
3.075gr/cm ³	5.36 gr/cm ³	الكثافة
280 gr	313 gr	وزن اليورانيوم 235 في كل عنصر وقود



(الشكل 4) مقطع عرضي في عنصر الوقود التحكيمي.

المناقشة والنتائج:

1. مقارنة نتائج معامل التضاعف الفعال:

أظهرت نتائج حسابات الحرجية التي أُجريتْ لقلب المفاعل MTR-10 MW من أجل نسبيتي الإغناء (93%) و(20%) باستخدام البرنامج "MTRMC"، كما هو مبين في الجدول (2):

- A. انخفاض قيمة معامل التضاعف الفعال بانخفاض نسبة الإغناء، أي انخفاض قيمة فائض التفاعلية للقلب، ومن ثمَّ إمكانية استخدام عنصر التحكم المستخدم في حالة الوقود المرتفع الإغناء من أجل الوقود منخفض الإغناء [6].
- B. توافق جيد في قيمة معامل التضاعف الفعال مع القيم المنشورة عالمياً للدول المشاركة في تقرير الوكالة الدولية للطاقة الذرية رقم IAEA-TECDOC-223، إذ بلغت قيمة معامل التضاعف الفعال القيمة (1.20720) من أجل الوقود مرتفع الإغناء، وهي أقرب لقيمة معامل التضاعف الفعال للأرجنتين (1.200) وبفارقٍ نسبي لا يتجاوز (0.59%)، في حين بلغت من أجل الوقود منخفض الإغناء، القيمة (1.16152)، مقترية من قيمة معامل التضاعف الفعال لألمانيا (1.168) وبفارقٍ نسبي لا يتجاوز (0.6%).

الجدول (2) مقارنة قيمة معامل التضاعف الفعال بالقيم المنشورة عالمياً للدول المشاركة [1].

معامل التضاعف الفعال k_{eff}						
الإغناء	العمل الحالي	ألمانيا	أمريكا	النمسا	فرنسا	الأرجنتين
%20	1.16152	1.168	1.168	1.181	1.187	1.183
%93	1.20720	1.189	1.183	1.197	1.202	1.200

2. مقارنة نتائج التدفق النثروني الحراري الأعظمي في المصيدة النثرونية:

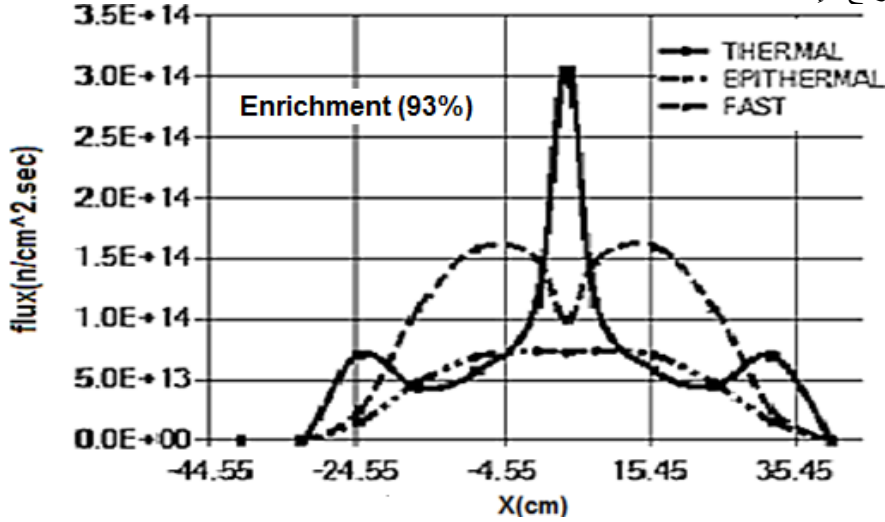
- يبين الجدول (3) نتائج التدفق النثروني الحراري في المصيدة النثرونية من أجل نسبي الإغناء إذ يمكننا ملاحظة ما يأتي:
- تقارب في قيم التدفق النثروني الحراري الأعظمي في المصيدة النثرونية من أجل نسبي الإغناء (20%، 93%)، إذ بلغت قيمة التدفق النثروني الحراري الأعظمي من أجل الوقود مرتفع الإغناء (93%) القيمة (3.058E+14 n/cm².s) وبفارق نسبي لا يتجاوز (8%) عن قيمة التدفق النثروني الحراري الأعظمي من أجل الوقود منخفض الإغناء المذكورتين (20%) التي بلغت القيمة (2.7988E+14 n/cm².s)، وهذا يقود إلى إمكانية استخدام الوقود المنخفض الإغناء بدلاً من الوقود مرتفع الإغناء.
 - توافق جيد لنتائج التدفق النثروني الحراري الأعظمي من أجل نسبي الإغناء مع النتائج المتوافرة المنشورة عالمياً [1-6-7].

الجدول (3) مقارنة قيم التدفق النثروني الحراري في المصيدة النثرونية ب القيم المنشورة عالمياً.

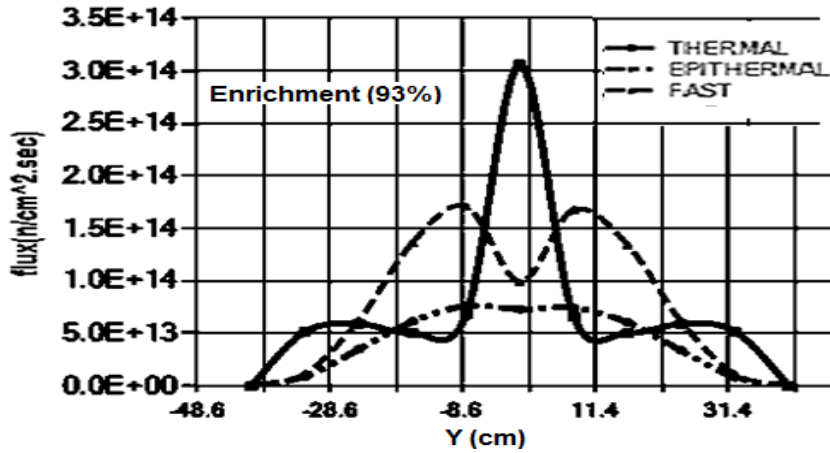
التدفق النثروني الحراري في المصيدة النثرونية					
الإغناء	العمل الحالي	المرجع [6]	المرجع [7]	سويسرا [1]	الأرجنتين [1]
%20	2.7988E+14	2.860E+14	2.558E+14	2.025E+14	1.722E+14
%93	3.058E+14	2.950E+14	2.780E+14	2.220E+14	1.981E+14

3. نتائج توزيع التدفق النتروني في قلب المفاعل للمجموعات الطاقية الثلاث من أجل الوقود مرتفع الإغناء:

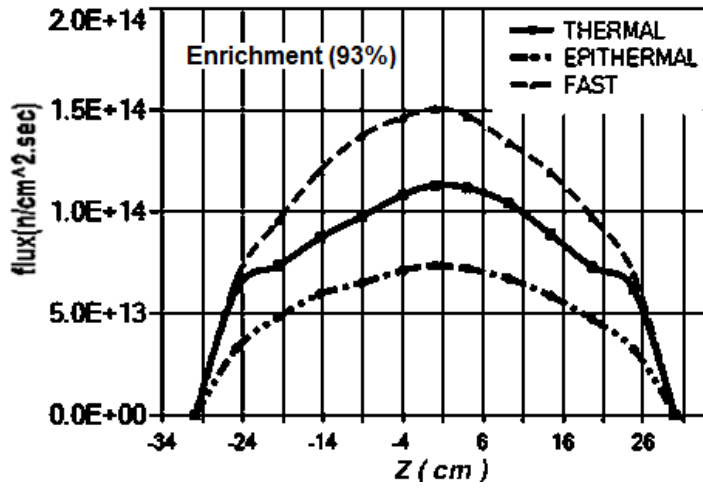
تظهر الأشكال (5) و(6) و(7) على التوالي نتائج توزيع التدفق النتروني في قلب المفاعل للمجموعات الطاقية الثلاث كتابع للمحاور X,Y,Z على الترتيب من أجل الوقود مرتفع الإغناء.



(الشكل 5) توزيع التدفق النتروني للمجموعات الطاقية الثلاث كتابع للمحور X من أجل الوقود مرتفع الإغناء.



(الشكل 6) توزيع التدفق النتروني للمجموعات الطاقية الثلاث كتابع للمحور Y من أجل الوقود مرتفع الإغناء.



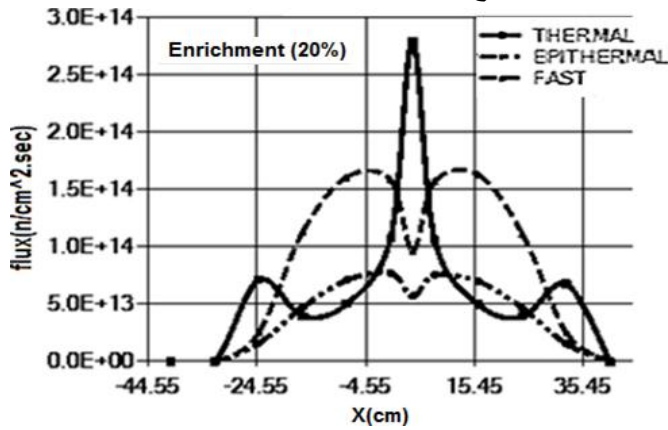
(الشكل 7) توزيع التدفق النثروني للمجموعات الطاقية الثلاث كتابع للمحور Z من أجل الوقود مرتفع الإغناء.

4. نتائج توزيع التدفق النثروني في قلب المفاعل للمجموعات الطاقية الثلاث من أجل

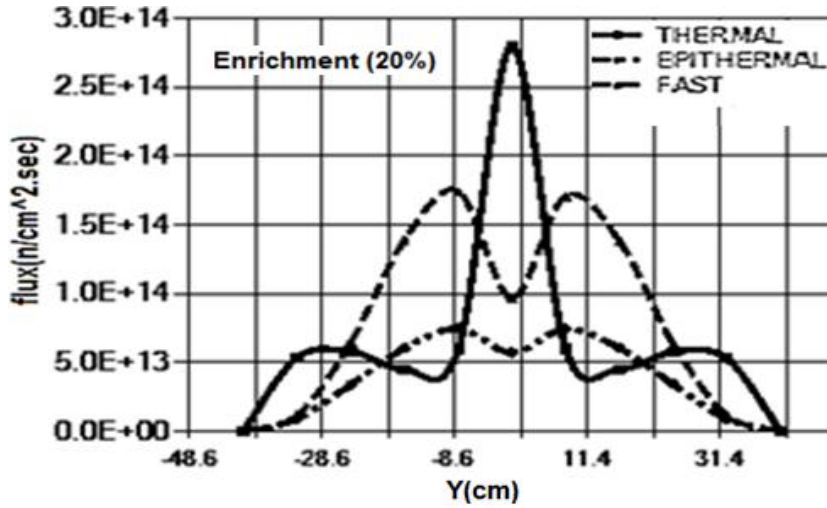
الوقود منخفض الإغناء:

تظهر الأشكال (8) و(9) و(10) على التوالي نتائج توزيع التدفق النثروني في قلب المفاعل

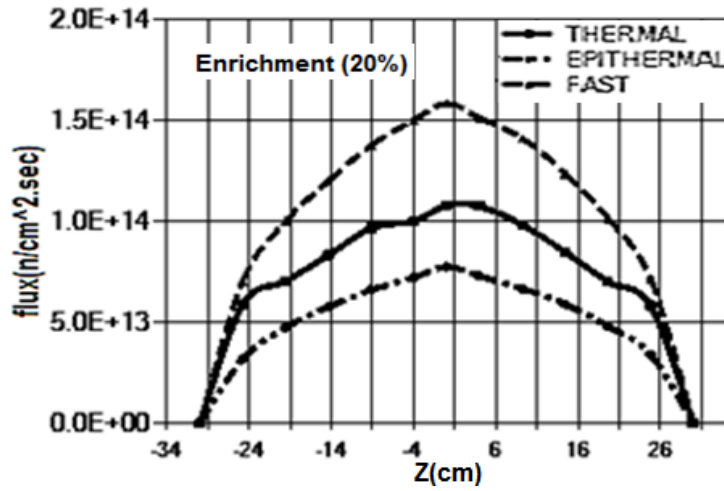
للمجموعات الطاقية الثلاث كتابع للمحاور X,Y,Z من أجل الوقود منخفض الإغناء.



(الشكل 8) توزيع التدفق النثروني للمجموعات الطاقية الثلاث كتابع للمحور X من أجل الوقود منخفض الإغناء.



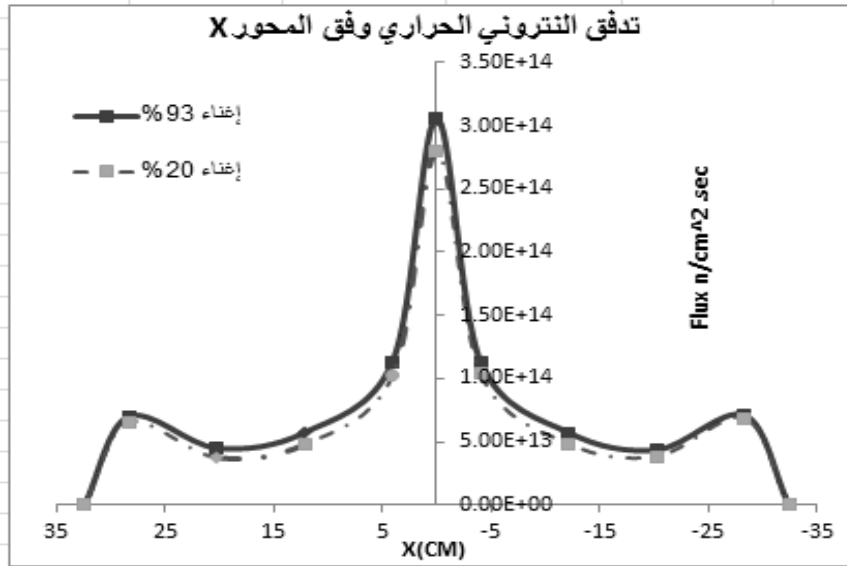
(الشكل 9) توزيع التدفق النيوتروني للمجموعات الطاقية الثلاث كتابع للمحور Y من أجل الوقود منخفض الإغناء.



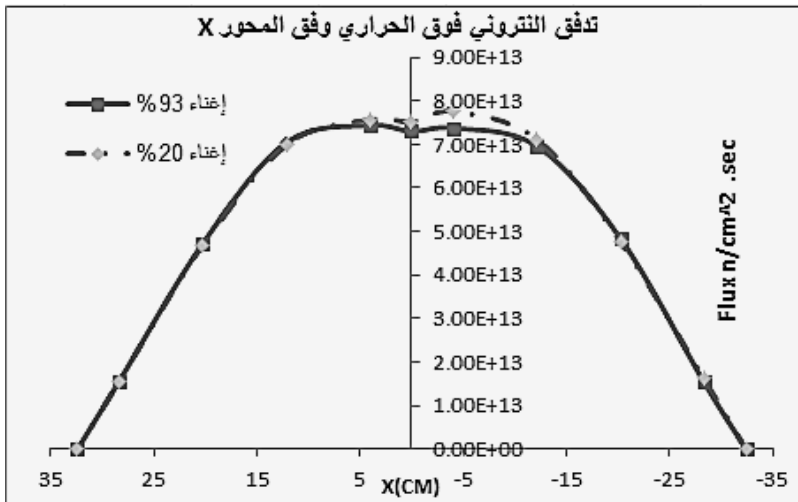
الشكل 10. توزيع التدفق النيوتروني للمجموعات الطاقية الثلاث كتابع للمحور Z من أجل الوقود منخفض الإغناء.

5. مقارنة نتائج توزيع التدفق النيوتروني في قلب المفاعل من أجل نسبي الإغناء:

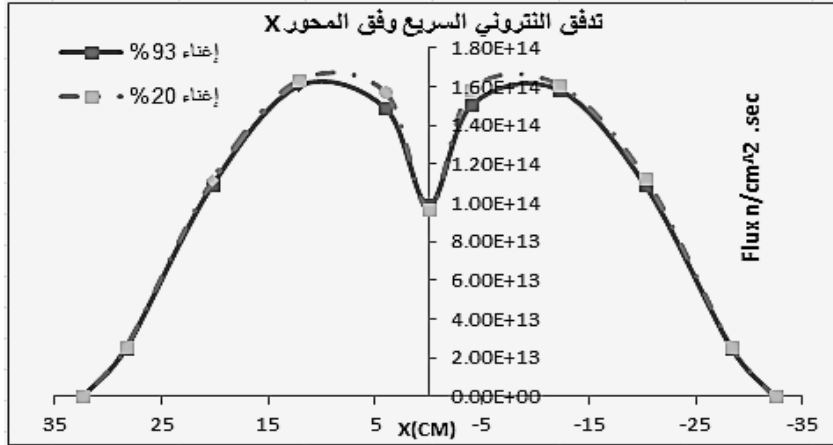
تبيّن الأشكال (11) و(12) و(13) مقارنة نتائج توزيع التدفق النيوتروني في قلب المفاعل للمجموعات الطاقية الثلاث كتابع للمحاور X من أجل نسبي الإغناء (20%) و(93%)، إذ يمكننا ملاحظة التقارب في قيم التدفق النيوتروني للمجموعات الطاقية الثلاث على مستوى قلب المفاعل من أجل نسبي الإغناء المذكورتين.



(الشكل 11) توزيع التدفق النتروني الحراري في قلب المفاعل كتابع للمحور X من أجل نسبي الإغناء.



(الشكل 12) توزيع التدفق النتروني فوق الحراري في قلب المفاعل كتابع للمحور X من أجل نسبي الإغناء.



(الشكل 13) توزيع التدفق النيوتروني السريع في قلب المفاعل كتابع للمحور X من أجل نسبيتي الإغناء.

6. نتائج توزيع الاستطاعة في قلب المفاعل من أجل نسبيتي الإغناء:

تظهر الأشكال (14) و(15) نتائج توزيع الاستطاعة في قلب المفاعل من أجل الوقود مرتفع ومنخفض الإغناء على الترتيب، إذ يمكننا ملاحظة التقارب الكبير في توزيع الاستطاعة لقلب المفاعل من أجل نسبيتي الإغناء. بلغت الاستطاعة الكلية المحسوبة كما هو مبين في الجدول (4) من أجل الوقود ذي الإغناء المرتفع القيمة (9.992 MW) وبفارق نسبي نحو (0.08%) عن الاستطاعة الاسمية للمفاعل (10 MW)، في حين بلغت من أجل الوقود منخفض الإغناء القيمة (9.974 MW) وبفارق نسبي نحو (0.26%) عن الاستطاعة الاسمية.

0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0.3712	0.3862	0.3787	0.3647	0	0
0	0.3549	0.3231	0.5117	0.5075	0.3184	0.3551	0
0	0.3414	0.4366	0.3179	0.3175	0.4341	0.3426	0
0	0.3628	0.3291	0.5197	0.5108	0.3208	0.353	0
0	0	0.3758	0.39	0.3913	0.3771	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

(الشكل 14) توزيع الاستطاعة في قلب المفاعل من أجل الوقود مرتفع الإغناء.

0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0.3712	0.3844	0.3863	0.3719	0	0
0	0.3549	0.3189	0.5064	0.5099	0.3246	0.3522	0
0	0.3424	0.4317	0.3235	0.3199	0.4288	0.336	0
0	0.3602	0.3244	0.5102	0.5132	0.3222	0.3594	0
0	0	0.3783	0.3886	0.3822	0.3726	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

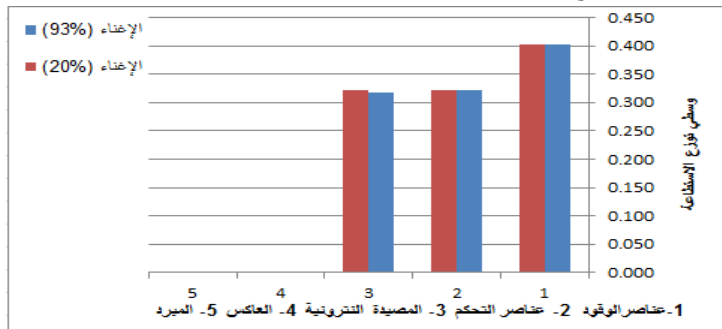
(الشكل 15) توزيع الاستطاعة في قلب المفاعل من أجل الوقود منخفض الإغناء.

الجدول (4) المجموع الكلي للاستطاعة المحسوبة من أجل نسبي الإغناء.

نوع الوقود	مرتفع الإغناء	منخفض الإغناء
استطاعة المفاعل الكلية (MW)	9.992±0.005	9.974±0.005
التغير النسبي عن الاستطاعة الاسمية	0.08%	0.26%

7. مقارنة نتائج توزيع الاستطاعة في قلب المفاعل من أجل نسبي الإغناء 20% و 93%:

يبين الشكل (16) نتائج وسطي توزيع الاستطاعة في مختلف مناطق قلب المفاعل من أجل نسبي الإغناء المذكورتين، إذ يمكننا ملاحظة التقارب الكبير لوسطي توزيع الاستطاعة لكلتا الحاليتين، إذ بلغ وسطي توزيع الاستطاعة لعناصر الوقود كما هو مبين في الجدول (5) من أجل الوقود مرتفع الإغناء القيمة (0.403 MW)، في حين بلغ من أجل الوقود منخفض الإغناء القيمة (0.402 MW)، وهذه النتائج تدعم أيضاً إمكانية استخدام الوقود منخفض الإغناء بديلاً للوقود مرتفع الإغناء.



(الشكل 16) وسطي توزيع الاستطاعة في مختلف مناطق قلب المفاعل من أجل نسبي الإغناء.

الجدول (5) مقارنة نتائج وسطي توزع الاستطاعة في قلب المفاعل من أجل نسبتي الإغناء.

وسطي توزع الاستطاعة في مختلف مناطق قلب المفاعل					
الإغناء	عناصر الوقود	عناصر التحكم	المصيدة النترونية	العاكس	المبرد
93%	0.403	0.323	0.318	0	0
20%	0.402	0.323	0.322	0	0

8. مقارنة نتائج معامل ذروة الاستطاعة القطري والمحوري من أجل نسبتي الإغناء 20% و 93%:

يتألف معامل ذروة الاستطاعة للمفاعل النووي من مركبتين المركبة القطرية والمركبة المحورية، يحسب معامل ذروة الاستطاعة القطري الأعظمي بنسبة قيمة استطاعة حزمة الوقود الأعظمية إلى القيمة الوسطية لاستطاعة حزم الوقود الكلية، ولحساب معامل ذروة الاستطاعة المحوري تجزأ حزمة الوقود إلى عدد من الأجزاء، وتحسب استطاعة كل جزء، ومن ثم تؤخذ نسبة الجزء ذي الاستطاعة الأعظمية إلى متوسط الاستطاعة للأجزاء جميعها في الحزمة.

يبين الجدول (5) نتائج حساب معاملي ذروة الاستطاعة القطري والمحوري من أجل نسبتي الإغناء، وقد أظهرت النتائج توافقاً جيداً مع تلك المنشورة عالمياً [8]. بلغ معامل ذروة الاستطاعة القطري من أجل الوقود مرتفع الإغناء القيمة (1.352)، في حين بلغ من أجل الوقود منخفض الإغناء القيمة (1.338)، وبلغ معامل ذروة الاستطاعة المحوري من أجل الوقود مرتفع الإغناء القيمة (1.292)، في حين بلغ من أجل الوقود منخفض الإغناء القيمة (1.287)

الجدول (5) معامل ذروة الاستطاعة القطري والمحوري من أجل نسبتي الإغناء.

نوع الوقود	مرتفع الإغناء	المرجع [8]	منخفض الإغناء	المرجع [8]
معامل ذروة الاستطاعة المحوري	1.292	1.44	1.287	1.48
معامل ذروة الاستطاعة القطري	1.352	1.28	1.338	1.15

الاستنتاجات والتوصيات:

صُمم في هذا البحث، مفاعل البحث المرجعي المعتمد من قبل الوكالة الدولية للطاقة الذرية IAEA 10 MW، نترونيا باستخدام وقود U-AL بإغناءين، الأول بنسبة إغناء عالية من اليورانيوم (HEU)، والثاني بنسبة إغناء منخفضة لليورانيوم (LEU)، وذلك ضمن إطار عمليات تحويل هذا المفاعل من الوقود مرتفع الإغناء إلى الوقود منخفض الإغناء.

- أظهرت الحسابات النثرنية لقلب المفاعل من أجل نسبتي الإغناء 20% و 93% للوقود ما يأتي:
- تقارب في قيم معامل التضاعف الفعال من أجل نسبتي الإغناء، ويفرق نسبي لم يتجاوز (0.6%) عن المنشورة عالمياً.
 - تقارب في قيمة التدفق النثرني الحراري الأعظمي في منتصف القلب من أجل نسبتي الإغناء، وقد بلغ الفرق في التدفق النثرني الحراري الأعظمي عند الانتقال من الوقود مرتفع الإغناء إلى منخفض الإغناء (8%)، وجاءت هذه القيم متوافقة مع القيم المنشورة عالمياً.
 - تطابق تقريبي في المنحنيات المعبرة عن وسطي توزع التدفق النثرني للمجموعات الطاقية الثلاث (حراري، فوق حراري والسريع) في قلب المفاعل من أجل نسبتي الإغناء.
 - أظهرت حسابات توزع الاستطاعة لقلب المفاعل من أجل نسبتي الإغناء تقارباً كبيراً، وقد بلغ وسطي توزع الاستطاعة لعناصر الوقود من أجل الوقود مرتفع الإغناء القيمة (0.403 MW)، في حين بلغ من أجل الوقود منخفض الإغناء القيمة (0.402 MW)
- تدعم النتائج السابقة إمكانية استبدال الوقود مرتفع الإغناء بوقود منخفض الإغناء، ومن ثم تطبيق قوانين الوكالة الدولية للطاقة الذرية التي تنص على تحويل وقود المفاعلات عالية الإغناء كلها إلى منخفض الإغناء.

References

- [1] IAEA Technical Document (IAEA TECDOC-233), 1980, "Research Reactor Core Conversion from the Use of Highly Enriched Uranium to the Use of Low Enriched Uranium Fuels", IAEA-TECDOC-233, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.
- [2] Khamis, I., Khattab, K., Soleman, I., Ghazi, N., 2006, "Neutronic design of a 22 MW MTR type nuclear research reactor", AECS, IAEA-INIS Vol 38, Vienna.
- [3] Frank J.Rahn ,Achilles G. ,Adamantiades J. E. K ,Chaim B., 1984, "A Guide to Nuclear Power Technology", New Yor, USA.
- [4] H.AL-Saleh,B.Achkar and M. Albarhoum, 2015, "Development of a program to optimize the neutronic design of the MTR-research reactor", Damascus University Journal for Basic Sciences, Damascus.
- [5] MCNP4C2, 2008, " RSICC Computer Code Collection MCNP4C2", Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge Tennessee 37831-6362.
- [6] Khamis I. Kattaab K. Suleman I. and Hanna Abdul Malek. "Neutronic design for 10 MW MTR type research reactor using the WIMSD4 and CITATION cods", Damascus University Journal for Basic Sciences, Damascus.
- [7] Anis Bousbia-Salah, Hocine Benkharfia, Nateekool Kriangchaiporn, Alessandro Petruzzi, Francesco D'Auria, Nidal Ghazi, 2008," MTR benchmark static calculations with mcnp5 code", Annals of Nuclear Energy; 35(5):845-855
- [8] IAEA Technical Document (IAEA TECDOC - 643), 1992, "Research reactor core conversion guidebook", IAEA TECDOC - 643), International Atomic Energy Agency, Vienna. Austria.