

دراسة تأثير بعض السموم المستخرقة في تركيبية الوقود للمفاعل PWR-1150 باستخدام الكود GETERA

حسن أبوفاور

قسم العلوم الأساسية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق - سورية

تاريخ الإيداع 2011/12/28

قبل للنشر في 2012/05/28

الملخص

جرى في هذا البحث توصيف تغير خصائص استحقاق حزمة الوقود للمفاعل PWR-1150 من أجل قيم مختلفة للسموم المستخرقة في الحزمة (من حيث عدد قضبان الوقود المحتوية على السموم المستخرقة والنسبة الوزنية للماص في قضيب الوقود)، وقد جرى الاستدلال على تأثير كل من النسبة الوزنية للماص وعدد القضبان المحتوية على الماص في سلوك استحقاق الحزمة، ثم اختبرت التركيبية المناسبة للوقود عند رفع التخصيل إلى 4.4% التي تمثلت باستخدام 18 قضيباً بوقود وماغس (وقود بتخصيل 3.7% وماغس بنسبة وزنية 4.0% غير مخصب) وبقية القضبان تحتوي وقوداً مخصباً 4.4% فقط.

استخدم في هذا العمل الكود GETERA لإجراء حسابات الاستحقاق للوقود، وقورنت النتائج ببعض النتائج التجريبية لنماذج مشابهة.

الكلمات المفتاحية: كود GETERA90، السموم المستخرقة، المفاعل PWR-1150، حزمة الوقود.

Studying The Effect Of Using Some Burnable Absorber On PWR-1150 Fuel Using The Code GETERA

H. Abou Faoor

Department of Basic Science, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering,
Damascus University, Syria

Received 28/12/2011

Accepted 28/05/2012

ABSTRACT

This analysis deals with the evaluation of the fuel burnup behavior for PWR-1150 reactor assembly by modifying with changing both, the number of fuel rod which have burnable absorber (BA) and the percent weight of BA in each rod. The achieved result presented in this paper enables determine the suitable structure of reactor assembly when fuel enrichment equal to 4.4%.

The GETERA 90 code was used to perform assembly burnup calculation. For validation purposes they are compared with selected experimental data for similar reactor.

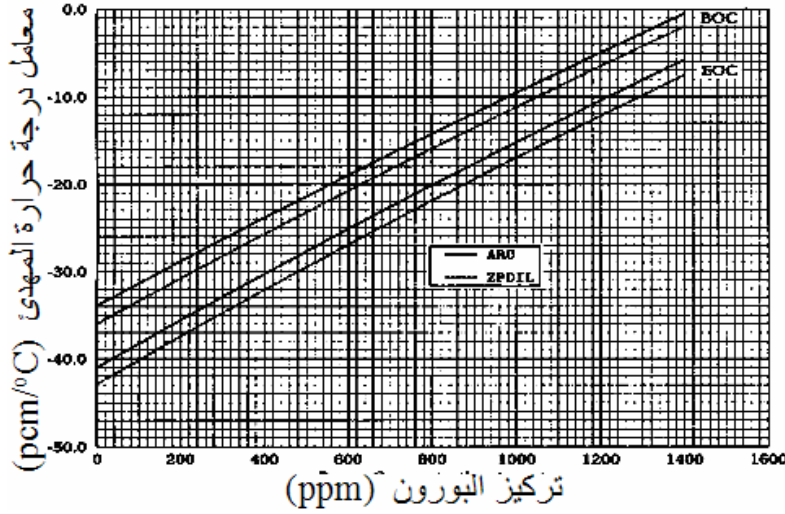
Key words: GETERA 90 code, Burnable Absorber, PWR-1150 Reactor, Fuel Assembly.

1 - مقدمة:

تعتمد زيادة مدة زمن دورة الوقود في قلب المفاعل (كمطلب اقتصادي) على زيادة فائض تفاعلية القلب في بداية الدورة (BOC)، ومن ثمّ على كمية التحميل الأولي للوقود في القلب الذي يمتلك حداً علوياً حرجاً يقابل قيمة فائض التفاعلية التي يمكن تعويضها عبر عناصر التحكم بالمفاعل [1,2].

ويمكن الآن زيادة حمل الوقود الابتدائي في القلب عبر استخدام السموم (الماصات) المستخرقة (BAS) ذات المقطع العرضي الكبير لامتناس النيترونات الحرارية التي تستهلك فائض التفاعلية خلال المراحل الأولى من حياة القلب، وتختار هذه السموم وفق خصائص استحقاقها [1-3]. وتمكن السموم المستخرقة من زيادة التحميل الأولي للوقود في القلب من دون زيادة متطلبات التحكم، فضلاً عن أهميتها في موازنة السلوك الزمني لفائض التفاعلية وتفادي الوصول إلى معامل تفاعلية موجب للمهدئ [3].

ومن المميزات الرئيسية لاستخدام السموم المستخرقة BAS لتعويض فائض التفاعلية بدلاً من الاستخدام المفرد للسميات المنحلة هو الوصول إلى القيمة المطلوبة لتفاعلية القلب مع الحفاظ على التنظيم الذاتي لقلب المفاعل [1,4]، وذلك عبر تأمين تغذية عكسية سالبة للمفاعل فيما يخص معامل درجة حرارة المهدئ، حيث يتأثر هذا المعامل تأثراً واضحاً بتغير تركيز البورون كما يبيّن الشكل (1)، ويصل إلى قيم موجبة عند تراكيز محددة للبورون، التي تضع حداً لكمية البورون المسموح استخدامها كماص منحل في القلب، فدون استخدام السموم المستخرقة تظهر الحاجة لوجود تركيز عالٍ من البورون في مخططات التحميل الطويلة أكثر من القيمة الموافقة لتأمين القيمة السالبة لمعامل درجة حرارة المهدئ (MTC) $\Delta T \approx 0.2 \frac{\Delta k}{k}$ (الذي يعدّ من أهم قيود التشغيل في الحالة الساخنة) [2] (HFP). مما يقتضي ضرورة استخدام نوع آخر من الماصات (كالسموم المستخرقة) التي تؤمن توازن الطيف النتروني دون التأثير في خصائص المهدئ أو التشغيل الآمن للمفاعل [2] [4].



الشكل (1) تأثير تركيز البورون المنحل على معامل درجة حرارة المهدئ [4]

وبسبب التفاعلية العالية لعناصر الوقود الطازجة فإن التباين الطاقى بين الحزم المستحترقة والحزم الطازجة سيكون كبيراً، مما يؤدي إلى بلوغ قيم عالية لمعاملات ذرى الاستطاعة، وهنا يؤدي السموم المستحترقة التي تضاف في التصاميم الحديثة للوقود الطازج دوراً مهماً، حيث تمتص السموم المستحترقة النيوترونات في المراحل الأولى للدورة، مما يساعد على تخفيض تفاعلية هذه الحزم وإنقاص فرق الاستطاعة بين حزم الوقود وتخفيض قيم ذرى الاستطاعة، إذ إن هذه السموم تحترق مع استنزاف الوقود تدريجياً ليقل تأثيرها مع تقدم التشغيل، وهذا يتوافق مع تناقص الحاجة إليها مع تقدم زمن التشغيل بسبب استهلاك التفاعلية وظهور سموم ناتجة عن الانشطار، وبذلك يمكن الوصول إلى استحقاقها الكامل عندما تنتهي الحاجة إليها (نهاية الشوط الأول لتشغيل الوقود الطازج) إذا جرت إدارة استخدامها بشكل جيد [2].

أظهرت التقانات الأخيرة في استخدام السموم المستحترقة مثل (أكسيد الغادالينيوم Gd_2O_3 كمزيج مع الوقود) مقارنة باستخدام قضبان السموم العنصرية (التي تتوضع في قضبان التحكم والأمان) عدداً من الحسنات [1]:

1. لا تغير في نسبة اليورانيوم/ مهدئ في شبكة الوقود.
2. لا يوجد تأثير ميكانيكي متبادل بين السموم ومكونات حزمة عناصر الوقود.
3. التخلص من ضرورة إزالة السموم في أثناء إعادة الشحن والاستغناء عن التكاليف الإضافية لنقل السموم المشععة وتخزينها.

4. حرية اختيار مواضع عناصر الوقود في القلب مما يتيح استخدام طريقتي تحميل الوقود قطريا OUT-IN أو IN-OUT التي تمتاز بتخفيض التسرب القطري للنيوترونات عبر إبقاء جزء من حصة الوقود الطازج في المناطق الداخلية للقلب دون زيادة قيمة ذرى الاستطاعة؛ وذلك عبر كبح تفاعليتها الزائدة باستخدام السموم المستحقة في بعض قضبان هذه الحزم؛ مما يؤمن زيادة وسطي استحقاق الوقود وتأمين تجانس مقبول للتدفق النيوتروني وإطلاق الطاقة [1,4].

2- المفاعل PWR-1150: [1A,8,9]

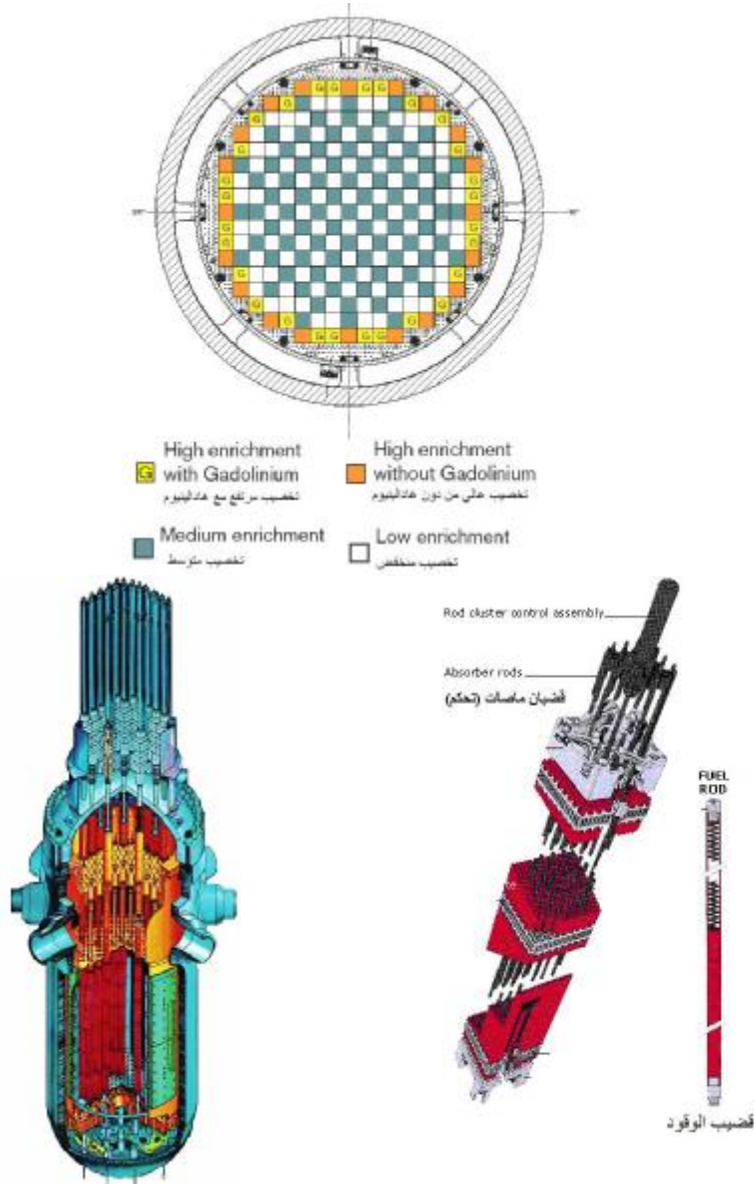
إن معظم محطات الطاقة النووية (العاملة أو قيد الإنشاء) في معظم دول العالم هي من نوع مفاعلات الماء الخفيف، وبصورة خاصة مفاعلات الماء المضغوط، وأشهر الشركات المصنعة له في الولايات المتحدة هي شركة Westinghouse التي تنتج الحصة الكبرى منها فضلاً عن شركة Babcock and Wilcox وشركة Combustion Engineering وشركة Areva .

يظهر الشكل (2) والجدول (1) بعض مواصفات مفاعلات الماء المضغوط التي قد تتغير تبعاً للشركة الصانعة لكن تبقى الخصائص الجوهرية لهذه المفاعلات نفسها.

تتكون مادة الوقود في هذه المفاعلات من ثاني أكسيد اليورانيوم UO_2 المضغوط على شكل كبسولات صغيرة (Pellets) بحيث يكافئ قطرها نوعاً ما ارتفاعها. ويجري تليد كبسولات الوقود الصغيرة هذه (عملية تسخينها إلى درجات حرارة عالية) ومن ثم تحدد أبعادها وعزلها (بجو من الهليوم) بمادة الغلاف، ومن ثم تمثل الوحدة الناتجة قضيب الوقود.

تتكون مادة الغلاف من سبيكة الزركونيوم Zircaloy-4 التي تمتاز بانخفاض قيمة المقطع العرضي لامتصاص النيوترونات الحرارية، وهي تحتوي على كميات صغيرة من القصدير والحديد والكروم والنيكل فضلاً عن الزركونيوم، وتجمع قضبان الوقود في حزم (Assembly) وتستبدل عند إعادة شحن الوقود، ومن ثم فإن هذه الحزم ستمثل الوحدة التشغيلية للتعامل.

يحتوي مفاعل (PWR-1150Mw) على ما يقارب 193 مجموعة (أي قرابة 40-50 ألف قضيب وقود محملة بقرابة 90.2 ton من UO_2).



مفاعل PWR رباعي الدورة

مجموعة الوقود لمفاعل PWR

الشكل (2) شكل توضيحي للمفاعل PWR-1150 وحزمة الوقود ومقطع في قلب المفاعل

الجدول (1) الخصائص النترونية والتصميمية والترموهيدروليكية للمفاعل PWR-1150

القيمة	المعامل	القيمة	المعامل
21.4×21.4	أبعاد المجموعة (cm)	3411	الاستطاعة الحرارية (MWt)
21.5	خطوة المجموعة (cm)	1150	الاستطاعة الكهربائية (MWe)
264	عدد قضبان الوقود في المجموعة	33.7	المردود %
1.25	البعد بين قضبي وقود (cm)	UO ₂	نوع الوقود
0.94	القطر الخارجي لعنصر الوقود (cm)	H ₂ O	المبرد
1.32	الخطوة/القطر	Zircaloy-4	مادة غلاف الوقود
0.0572	سماكة الغلاف (cm)	H ₂ O	المهدئ
0.819	قطر كبسولة الوقود (cm)	366	الارتفاع الفعال (cm)
0.0082	الفراغ بين الغلاف والقرص (cm)	337	القطر المكافئ الفعال (cm)
155	ضغط الدارة الأولية (bar)	1.09	نسبة الارتفاع/القطر
62	تدفق المبرد (10 ⁶ kg/hr)	32.800	حجم القلب الفعال (m ³)
178	الاستطاعة الخطية المتوسطة (W/cm)	104	استطاعة القلب الحجمية الوسطية (kW/l)
426	الاستطاعة الخطية العظمى (W/cm)	90.200	كتلة الوقود (kg)
68.5	التدفق الحراري الوسطي (W/cm ²)	37.8	الاستطاعة النوعية (kW/kgU)
183	التدفق الحراري الأعظمي (W/cm ²)	33.000	الاستحراق (السعة الحرارية) (MWD/MTU)
300°	درجة حرارة الدخول (C°)	مربعة	مجموعة الوقود
332°	درجة حرارة الخروج (C°)	193	عدد مجموعات الوقود
1788°	درجة حرارة الوقود الأعظمي (C°)	17×17	مصفوفة عناصر الوقود

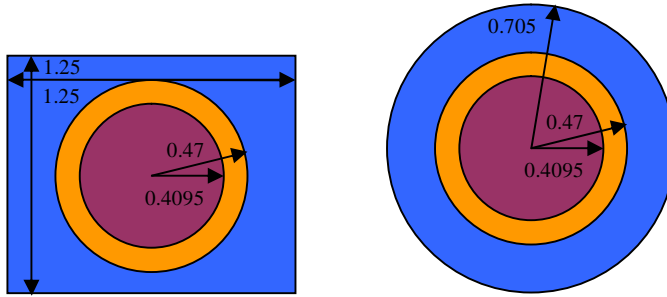
3- نمذجة الخلية الواحدة للمفاعل باستخدام الكود GETERA90:

يستخدم الكود الروسي المطور [5] GETERA 90 لإجراء الحسابات النترونية للخلايا الأحادية أو مجموعة الخلايا المكونة لحزم وقود المفاعل بأشكالها الهندسية كلها (كروية واسطوانية ومستوية) وفي مختلف مجالات الطيف الطاقية للنيوترونات (الحراري والسريع). وأهم الحسابات التي ينجزها الكود هي:

1. تحضير الثوابت النترونية (ثوابت المجموعة) باستخدام 93 مجموعة طاقة من أجل استخدامها في المسائل ثلاثية الأبعاد.
2. حساب معدل استحراق الوقود و تراكيز نواتج الانشطار.
3. حساب معامل التضاعف اللانهائي وعوامله الأربعة.
4. حساب توزيع التدفق الحراري والسريع ضمن الخلية.
5. حساب حصة النيوترونات المتأخرة.
6. حساب سرعة التفاعل والتكامل الرنيني (التجاوي - الطنيني).

7. حساب معاملات التفاعلية لاستخدامها في مسائل حل ديناميكية المفاعل.
8. حساب الخلية الواحدة مع وجود الماص النثروني الحبيبي (Gd_2O_3 300-500 μm).
9. الحساب التقريبي لقلب المفاعل ذي معدلات الاستحراق المختلفة (دورة تحميل الوقود).
يحتوي الكود GETERA على مكتبة نثرنية تدعى (BNAB90) تعتمد على ملفات المقاطع العرضية المأخوذة من (JNDL-2 و ENDFB-4) وتضم هذه المكتبة 93 مجموعة. تجري محاكاة الخلية الواحدة للمفاعل باستخدام الكود GETERA عبر توصيف هذه الخلية من حيث:

1. تحديد أبعادها على فرض أنها دوائر ذات أنصاف أقطار محددة (أي إيجاد الخلية المكافئة لخلية المفاعل الحقيقية)، ففي الحالة المدروسة جرت محاكاة الخلية الواحدة للمفاعل وفق ما هو مبين بالشكل (3) التي تتألف من قضيب وقود وواقية القضيب وحصّة هذا القضيب من المهديّ محسوبة بناءً على مكونات حزمة الوقود (17*17) التي وُصفت سابقاً.



مقطع في خلية وقود المفاعل

الخلية المكافئة

الشكل (3) يوضح الخلية المكافئة للخلية الحقيقية

2. توصيف المواد المكونة لها نوعاً وكماً.
3. تحديد درجات الحرارة لكل منها.
4. تحديد مصفوفة ترتيب مكونات الحزمة (مثل عدد قضبان الوقود مع السموم المستخرقة ومواقعها بالنسبة إلى قضبان الوقود العادية).
5. تحديد المعاملات المطلوب حسابها، والخطوات الزمنية المطلوب عندها إجراء الحساب، وتحديد مواصفات البيئة التي سيُشغل الوقود فيها.
ويبين المخطط ملحق 1 ملف الدخل لإحدى الحالات التي اختُبرت (من أصل إحدى عشرة حالة)، وهي ملف الدخل للكود GETERA في حال وقود بتخصيب 4.4% يحتوي على 12 قضيب وقود تحتوي سموماً مستخرقة من Gd_2O_3 بنسبة 5.0%.

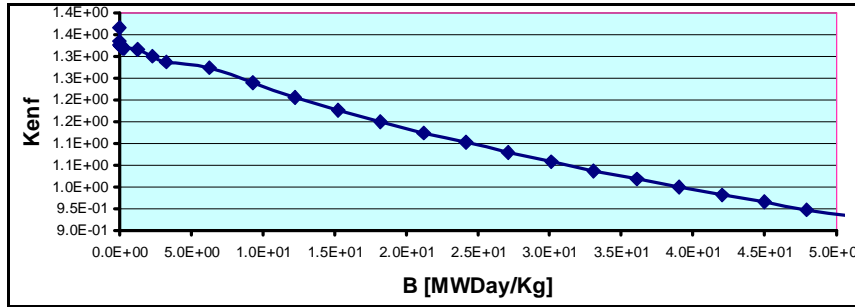
ومن أهم نتائج تشغيل هذا الملف عبر الكود GETERA90 هو دراسة تغيير معامل التضاعف اللانهائي مع زمن التشغيل، ومن ثم دراسة تغيير تفاعلية الوقود خلال استحقاقه داخل القلب، (يمكن أن يقاس زمن التشغيل باليوم أو عبر الاستحقاق).

درست تغييرات التفاعلية مع زمن التشغيل من أجل إحدى عشرة حالة مختلفة؛ من حيث تركيز السموم المستحقة المستخدمة، وعدد قضبان الوقود التي تحتوي هذه السموم، وكانت نتائج الدراسة لهذه الحالات هي:

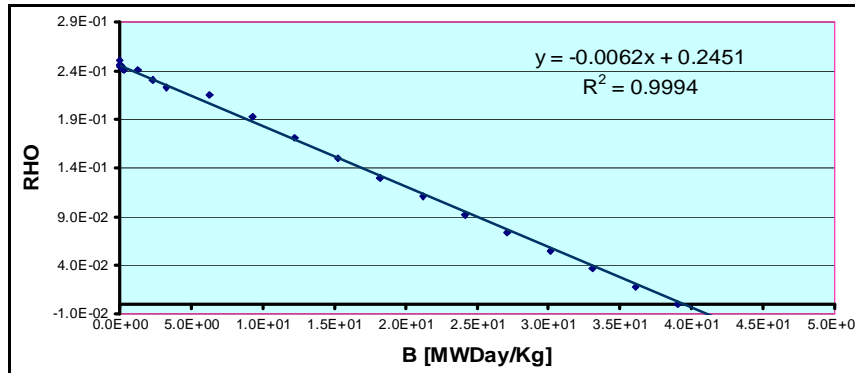
1. تخصيب الوقود %4.4 دون وجود سموم مستحقة:

جرى باستخدام الكود GETERA توصيف استحقاق الوقود دون سموم صلابة ضمن بيئة عمل المفاعل PWR-1150، ويبين الشكل (4) مخططات تغيير معامل التضاعف والتفاعلية مع الاستحقاق.

تغيير معامل التضاعف مع الاستحقاق



علاقة التفاعلية بالاستحقاق



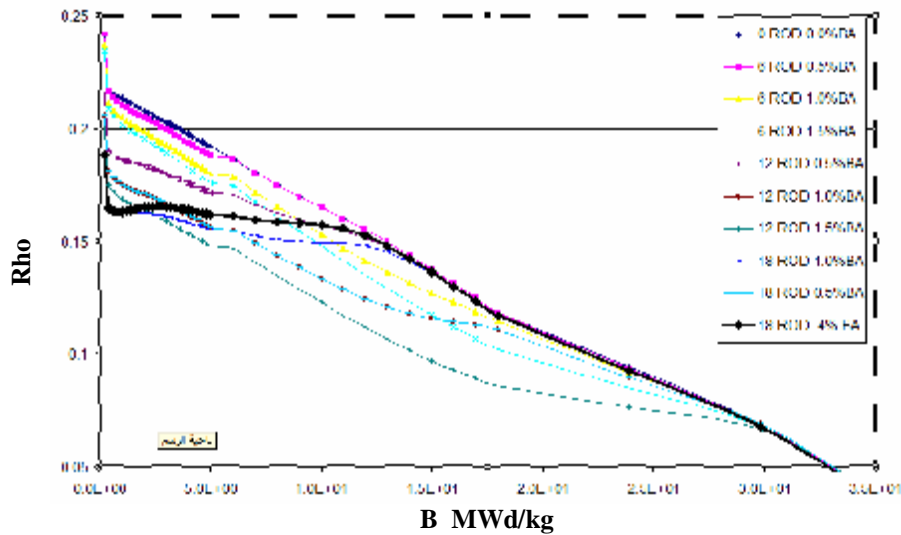
الشكل (4) خصائص استحقاق الوقود %4.4 دون سموم في بيئة المفاعل PWR-1150

2. تخصيص الوقود 4.4% مع وجود سموم مستحرقه:

استخدم الكود GETERA لتوصيف استحراق الوقود بوجود سموم مستحرقه (Gd₂O₃) بنسب مختلفه وبعدد قضبان مختلفه لدراسة تأثير كل من نسبة الماص وعدد قضبان الوقود الموزع فيها في سلوك استحراق الوقود؛ وذلك للوصول إلى تركيبة الوقود التي تناسب بيئة المفاعل PWR-1150، إذ يجب أن نحصل على تركيبة وقود تبقى فيه التفاعلية ثابتة طوال مدة الشوط الأول دون بقاء أثر لاحق للماص في الأشواط الآتية:

ملاحظة: اعتمد تخصيص الوقود في القضبان المحتوية على الماص بنسبة 3.7% حيث تلائم خصائص الناقلية الحرارية للمزيج (وقود + ماص) في حين تخصيص الوقود في بقية القضبان 4.4% [1-3,7].

يبين الشكل (5) سلوك تشغيل الوقود ذي التخصيب 4.4% ضمن بيئة المفاعل PWR-1150 من أجل عدد قضبان ونسب وزنية مختلفة للماص، حيث رسمت على المخطط نفسه للتمكن من إجراء المقارنة واختيار الحالة الأمثل:



الشكل (5) تأثير النسبة الوزنية للماص وعدد القضبان في سلوك استحراق الوقود ذي التخصيب 4.4%

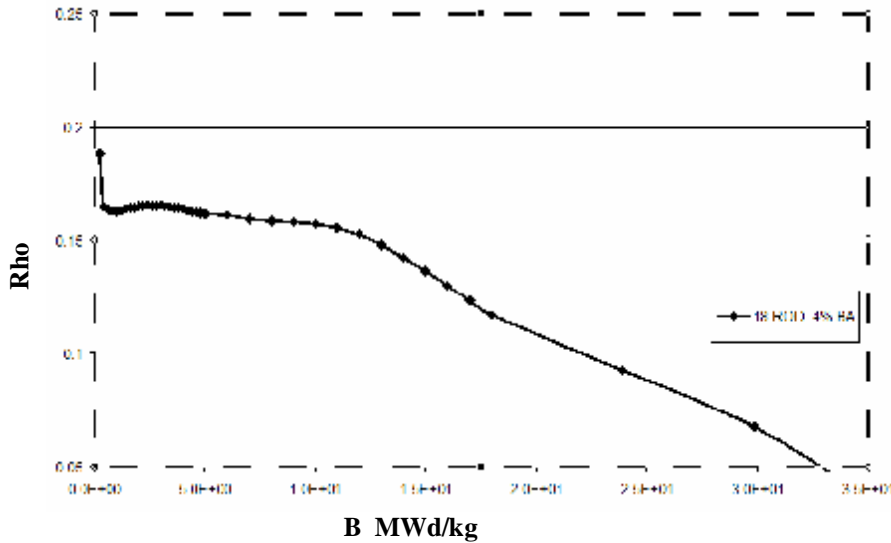
4- مناقشة النتائج:

من خلال مقارنة الشكلين (4) و (5) نستنتج ما يأتي:

1. إن زيادة نسبة الماص من أجل عدد محدد من القضبان في الحزمة سيؤدي إلى زيادة مدة أثر السام في استحقاق الوقود التي قد تتجاوز مدة شوط التشغيل الأول (الوقود الطازج)، علماً بأن هذه الزيادة في النسبة الوزنية للماص تترافق دائماً مع زيادة ميل (انحدار) مخطط العلاقة بين التفاعلية والاستحقاق خلال الشوط الأول ولم تؤمن علاقة ثابتة بينهما.

2. إن زيادة عدد القضبان من أجل نسبة وزنية ثابتة يؤدي إلى زيادة تأثير الماص في المراحل الأولى (استقرار وثبات لمنحنى العلاقة خلال الشوط الأول) دون امتداد لاحق للأثر إلى الأشواط التالية (أي الحفاظ على الخصائص الزمنية لتشغيل الوقود).

وقد بينت النتائج أن تركيبة الوقود الفضلى التي تؤمن استقرار العلاقة بين التفاعلية والاستحقاق في الشوط الأول دون تأثير في شكل العلاقة في الأشواط اللاحقة (أي كبح للتفاعلية الزائدة في الشوط الأول متوافق مع استحقاق كامل للمسموم خلال هذه المرحلة دون بقاء أثر لاحق لها) يتمثل في حزمة الوقود التي تحتوي على 18 قضيباً (بوقود و ماص صلب) (وقود بتخصيب 3.7% و ماص بنسبة وزنيه 4.0% غير مخصب) وبقية القضبان تحتوي على وقود مخصب 4.4% فقط كما هو مبين بالشكل (6)، وقد أبدت هذه التركيبة ثباتاً مقبولاً لمنحنى التفاعلية واستحقاقاً شبه كامل للماص خلال مدة الشوط الأول المقابل لاستحقاق يساوي 12 MWd/kg:



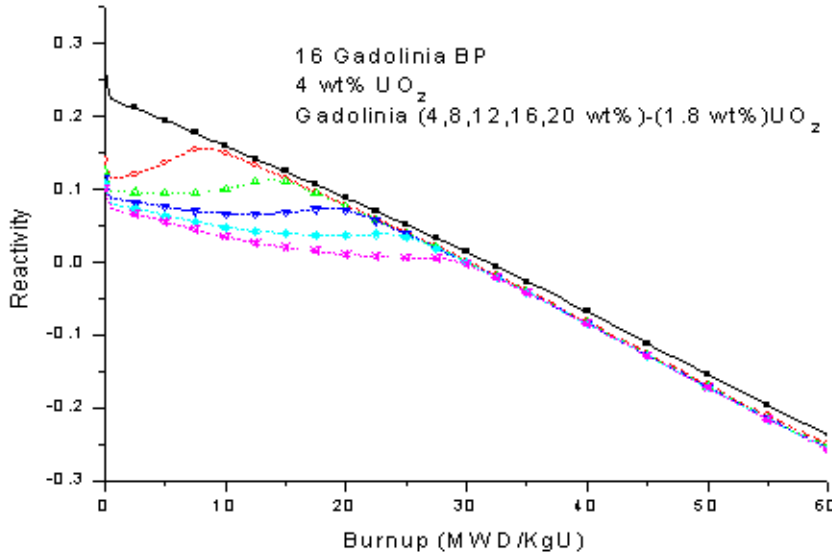
الشكل (6) خصائص استحقاق الوقود عند استخدام BA في 18 قضيباً بنسبة وزنية 4.0 %

ويمكن التعبير عن معادلة تغير التفاعلية مع الاستحراق الناتجة:

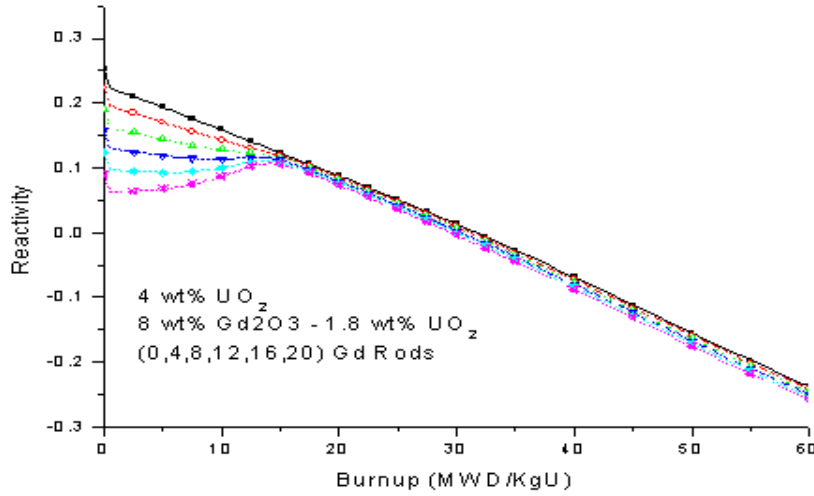
$$r = \begin{cases} 16.51 & B \leq 12.5 \\ 0.2451 - 0.0054B & B > 12.5 \end{cases}$$

حيث تبقى التفاعلية شبه ثابتة خلال الشوط الأول قبل أن يبلغ الاستحراق القيمة 12.5 MWd/kg، ثم تظهر الخصائص الخطية للاستحراق بعد الشوط الأول وفق المعادلة $r = 0.2451 - 0.0054B$ محافظاً على خصائص النموذج الخطي للتفاعلية (LRM) التي تعمل وفقها مفاعلات الماء المضغوط.

ويبين الشكل (7) والشكل (8) النتائج التجريبية لاستحراق وقود بتخصيب 4.0% مع عدد مختلف من القضبان التي تحتوي سموماً مستحرفة بنسب مختلفة جرى تشغيلها في مفاعل PWR-1000 [4,7].



الشكل (7) خصائص استحراق الوقود للمفاعل PWR1000 مع 16 قضيباً يحتوي سموماً مستحرفة بنسب مختلفة وتخصيب الوقود 4.0 %



الشكل (8) خصائص استحقاق الوقود للمفاعل PWR1000 مع عدد مختلف من قضبان التي تحتوي سموماً مستحترقة بنسبة 8.0% وتخصيب الوقود 4.0%.

وبمقارنة نتائج الدراسة التحليلية لهذا العمل بالنتائج التجريبية المرجعية يمكن استنتاج الآتي:

رغم اختلاف تخصيب الوقود المستخدم واستطاعة المفاعل فإن النتائج متقاربة نوعاً ما إذ تدل النتائج المرجعية للمفاعل PWR1000 عند تخصيب للوقود 4.0% على ضرورة استخدام السموم المستحترقة في 16 قضيباً تحتوي سموماً مستحترقة بنسبة 8.0% للحصول على تفاعلية ثابتة وكبح التفاعلية الزائدة فقط خلال الشوط الأول للتشغيل، في حين بيّنت النتائج التي حصلنا عليها للمفاعل PWR-1150 عند تخصيب 4.4% للوقود أننا نحتاج إلى 18 قضيباً يحتوي على السموم المستحترقة GD2O3 بنسبة 4.0% للحصول على تفاعلية ثابتة في الشوط الأول للتشغيل.

5- الاستنتاج

دُرست في هذا البحث خصائص استحقاق الوقود في بيئة مفاعلات الماء المضغوط وجرى تعريف تأثير استخدام السموم المستحترقة من خلال دراسة مقارنة بين حزم تختلف عن بعضها بعدد القضبان الحاوية على السموم المستحترقة والنسبة الوزنية للسموم في القضبان، وكنتيجة تطبيقية وصفت تركيبة الوقود المثلى لمفاعل الماء المضغوط PWR-1150 التي تؤمن تحسين خصائص تشغيل القلب من حيث تجانس الطيف النيوتروني عبر مقطع القلب دون الحاجة لوضع الحزم الطازجة على محيط القلب؛ مما يجنب النظام أضرار هذه الطريقة مثل التسرب النيوتروني العالي والضرر الناتج عن التدفق المرتفع للنيوترونات السريعة على الهيكل؛ وكل ذلك عبر كبح تفاعلية الحزم الطازجة العالية في المراحل الأولى لتشغيلها باستخدام السموم المستحترقة رغم وجودها في المناطق الداخلية للقلب.

الرموز (Nomenclature)

BOC	Beginning of Cycle
BOL	Beginning of Life
BP	Burnable Poison
BA	Burnable absorber
CZP	Cold Zero Power
EOC	End of Cycle
EOL	End of Life
FTC	Fuel Temperature Coefficient
HFP	Hot Full Power
HZP	Hot Zero Power
LRM	Linear Reactivity Model
LWR	Light Water Reactor
MTC	Moderator Temperature Coefficient
MWd/kgIHM	MWd per kg IHM, equivalent to GWD per MTIHM
ppm	part per million
PWR	Pressurized Water Reactor
RCCA	Rod Cluster Control Assembly
TFU	Fuel temperature
TMO	Moderator temperature
w/o	Weight percent
wt%	Weight percent

ملحق 1

<pre> :poly &vvod @ cell 1 tv rcel(1,1)= 0.409, 0.470, 0.705, ncelsos(1,1)=1,3,4, @ cell 2 guide tube rcel(1,2)=0.545,0.632, 0.705, ncelsos(1,2)=4,3,4, @ cell 3 tveg rcel(1,3)= 0.409, 0.470, 0.705, ncelsos(1,3)=2,3,4, t=3*900 ,575, troiz= @ izotop / u1 gd1 cll obol modl voda @ *h* @ 0.00000e+00, 0.00000e+00, 0.00000e+00, 4.84000e-02, @ *o* @ 0.00000e+00, 0.00000e+00, 0.00000e+00, 2.42000e-02, @ zr @ 0.00000e+00, 0.00000e+00, 4.10000e-02, 0.00000e+00, @ nb @ 0.00000e+00, 0.00000e+00, 4.06000e-04, 0.00000e+00, @ fe @ 0.00000e+00 0.00000e+00, 2.38000e-03, 0.00000e+00, @ ni @ 0.00000e+00, 0.00000e+00, 3.40000e-04, 0.00000e+00, @ cr @ 0.00000e+00, 0.00000e+00, 6.77000e-04, 0.00000e+00, @ u235 @ 9.32906e-04, 7.80506e-04, 0.00000e+00, 0.00000e+00, @ u238 @ 2.02695e-02, 2.03142e-02, 0.00000e+00, 0.00000e+00, @ o @ 4.24048e-02, 4.21895e-02, 0.00000e+00, 0.00000e+00, @ gd57 @ 0.00000e+00, 5.54473e-05, 0.00000e+00, 0.00000e+00, @ gd54 @ 0.00000e+00, 7.72364e-06, 0.00000e+00, 0.00000e+00, @ gd55 @ 0.00000e+00, 5.02391e-05, 0.00000e+00, 0.00000e+00, @ gd56 @ 0.00000e+00, 7.25243e-05, 0.00000e+00, 0.00000e+00, </pre>	
<pre> material(1)='chmc', ntcell=3,1, krat=2.,53., @ alout= 0.0000,1.0000, 0.0377,0.9623, &end *h* *o* zr nb ni cr u235 u238 o gd57 gd54 gd55 gd56 @:corr &vvod &end @:stop </pre>	<pre> @----- kinf(0) ----- :fire &vvod &end :burn &vvod qv=108,endburn=0.2, iesbur=1,1,1,1,0,0,1,0,0, &end :corr &vvod &end :fire &vvod &end :burn &vvod qv=108,endburn=0.2, iesbur=1,1,1,1,0,0,1,0,0, &end :corr &vvod &end :fire &vvod &end :burn : </pre>

المراجع REFERENCES

- [A1] أبو فاعور، حسن، بيطار، همام. (2007). "التصميم النتروفيزيائي التشغيلي لمفاعل طاقة حراري PWR-1000، جامعة حلب، مشروع تخرج.
- [1] Pavlov, V. I., Sidorenko, V. D., Pozdnyakov, N. E. (1992). "Effectiveness Of Using Burnable Absorbers In A VVER-1000", Plenum Publishing Corporation, Vol. 73, No. 6, pp. 466-470.
- [2] Duderstadt, J. J., Hamilton, L. J. (1976). "Nuclear Reactor Analysis", Department of Nuclear Engineering, The University of Michigan, DUD 621. 4832.
- [3] Jiang, sh. (2009). "Nuclear Fuel Management Optimization Using Estimation of Distribution Algorithms", PhD Thesis, Imperial College London ,University of London, UK.
- [4] John Wiley and Sons, (?), " Nuclear Fuel Management", H. W. Graves, Jr.
- [5] Belousov N., Bichkov S., Marchuk Y. "The Code GETERA for cell and polycell calculations at al.. Models and. Capabilitie"s. – In: Proceedings of the 1992 Topical Meeting on Advances in Reactor Physics. Charleston, SC, USA, 8–11 March, 1992, v.2, p.516–523.
- [6] Zhiwen .X.U., (2003). "Design Strategies for Optimizing High Burnup Fuel in Pressurized Water Reactors", Massachuets Institute Of Technology", Doctor Of Philosophy, China.
- [7] Alekseev, P. N., D'yakov, A. V., Kolokol, A. S., Proshkin, A. A., Shimkevich, A. L., (2007). "Improvement Of The Operating Characteristics Of VVER Oxide Fuel", Atomic Energy, Vol. 102, No. 2.
- [8] USNRC Technical Training Centre, (2009). "Pressurized Water Reactor PWR System". Reactor Concepts Manual.
- [9] E.D Blakeman, D.E Peplow, J.C Wagner, "PWR Facility Dose Modelling Using MCNP5 and the CADIS/ADVANTG Variance-Reduction Methodology". ORNAL 2007