# حساب توزع الاستطاعة ومعاملات التفاعلية الحرارية لمفاعل الطاقة VVER-640 باستعمال الكود MCNP5-beta

محمد رامي العلي[1]

## الملخص

استعمل كود مونتي كارلو MCNP5-beta في هذا البحث لحساب توزع الاستطاعة والمعاملات الحرارية للتفاعلية لمفاعل الطاقة VVER-640.

بيّنت نتائج الحساب أن الاستطاعة الحرارية في سدس قلب المفاعل تساوي القيمة MW(304.02)، وأن معاملي ذروة الاستطاعة القطري والمحوري هما (1.47) و(1.60) على الترتيب.

وبلغت المعاملات الحرارية للتفاعلية القيم:

$-2.770\times10^{-5}\ K^{-1}$ و $-3.044\times10^{-5}\ K^{-1}$ و $-4.147\times10^{-4}\ K^{-1}$ على الترتيب لدرجة حرارة الوقود ولدرجة حرارة المهدئ ولكثافته.

أظهرت النتائج توافقاً جيداً مع نتائج بعض الدراسات التحليلية التي أجريت للمفاعل VVER-640. إذْ إنَّ المفاعل المدروس مازال قيد الإنشاء ولم يوضع في الخدمة بعد، ولا تتوافر دراسات للمقارنة.

الكلمات المفتاحية: كود MCNP5-beta، مفاعل الطاقة VVER-640، توزع الاستطاعة، معامل ذروة الاستطاعة، قطري، محوري، تفاعلية، معاملات حرارية.

(1) قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة دمشق.

# Calculation of the power distribution and reactivity thermal coefficients of the VVER-640 using MCNP5-beta code

**M. Rami Al Ali**

## ABSTRACT

**The MCNP5-beta Monte Carlo code was used to calculate the power distribution and the reactivity thermal coefficients of the VVER-640 reactor.**

**The calculated value of the power distribution the sixth reactor core , radial and axial power peak were 304.02, 1.47, 1.60 MW , respectively in addition, the calculated value of the reactivity thermal coefficients of the fuel and coolant temperature and coolant density were $-2.770.10^{-5}$ $K^{-1}$ ,$-3.044.10^{-5}$ $K^{-1}$, $-4.147.10^{-4}$ $K^{-1}$ respectively .**

**The results showed good agreements with presently published results previous about VVER-640 reactor.**

**Keywords: MCNP5-beta Code, VVER-640 reactor ,power, distribution, reactivity, thermal coefficient.**

## 1. مقدمة:

يعدُّ التصميم النتروني المرحلة الأهم في تصميم المفاعل، ويشمل دراسة التفاعلات النترونية والمقاطع العرضية الفعّالة وحسابات الحرجية والتدريع وتفاعل الإشعاع مع المادة، وتعيين المعاملات النترونية ذات الأهمية الكبيرة في أمان المفاعل ومنها [1]:

- الكتلة الحرجة الأصغرية.
- فائض التفاعلية في قلب المفاعل.
- التدفق النتروني في مجالات الطاقة المختلفة.
- توزع الاستطاعة ومعامل ذروة الاستطاعة.
- معاملات التفاعلية.

يمكن أمثلة المعاملات النترونية واقتراح التغيرات الضرورية في مكونات النظام عند التصميم النتروني للمفاعل (أي اختيار التصميم الأمثل نترونياً قبل البناء الفعلي للنموذج الحقيقي). وتستعمل المعاملات النترونية في دراسة الحالة المستقرة للسلوك الهيدروليكي الحراري للمفاعل واستجابته لحالات الحوادث. وعموماً يعطي التصميم النتروني تصوراً عن أداء المفاعل في ظروف العمل الطبيعية وغير الطبيعية. ويمكن إيجاز المعاملات النترونية المهمة في أمان المفاعل التي حُسِبَتْ في هذا البحث بما يأتي: الاستطاعة وتوزعها في سدس قلب المفاعل، ومعامل ذروة الاستطاعة القطري والمحوري، والمعاملات الحرارية للتفاعلية.

## 2. مفاعلات الطاقة من النوع VVER:

إن الشركة OKB Gidropress هي شركة تصميمات هندسية روسية ذات خبرة أكثر من 65 عاماً في تصميم المفاعلات وتطويرها من نوع VVER، وهي تعني "مفاعل طاقة نووي يستعمل فيه الماء مبرداً ومهدئاً" وباللغة الانكليزية Water-cooled Water-moderated "WWER Energy Reactor" وهذا النوع من المفاعلات يماثل المفاعلات الغربية والأمريكية PWR، إذْ تشمل النماذج المختلفة منها نسبة كبيرة من إنتاج الطاقة الكهربائية، وتبدأ بمفاعلات 300MW إلى مفاعلات 1500MW.

تصمم المفاعلات VVER طبقاً للمعايير الروسية ومعايير وكالة الطاقة الذرية الدولية والمعايير الأوروبية الغربية؛ وكذلك وفقاً لمتطلبات العملاء (الشركات أو الدول التي ترغب في اقتناء هذه النوعية من المفاعلات قد تفرض قيود أمان إضافية تتطلب كلفة اقتصادية حسب الطلب) إذْ يبلغ العمر الافتراضي للمفاعل VVER نحو 60 عاماً.

## 3.الكود MCNP:[3]

الكود MCNP هو من إحدى طرائق مونتي كارلو (Monte Carlo N-Particle) التي تدرس تفاعل الجسيمات مع المادة بأنواعها المختلفة عند الطاقات جميعها، ويجري تطوير هذا

الكود في مختبرات لوس آلاموس الوطنية في الولايات المتحدة الأمريكية. ويعتمد هذا الكود الذي أعد أصلاً للنترونات طرائق مونتي كارلو لتتبع الحركة الفردية للجسيمات في الأوساط المادية. وقد عُدِّلَ ليشمل محاكاة مصادر أخرى كمصادر الأشعة غاما والإلكترونات. ويشمل الكود MCNP عدداً من مكتبات المقاطع العرضية حيث تتوافر معلومات كافية للعناصر جميعها من Z=1 إلى Z=98. ويحاكي الكود MCNP انتقال النترونات في مجال الطاقة ($10^{-}$ MeV (20-$^{11}$) والفوتونات في مجال الطاقة MeV (100-$10^{-3}$)، وتتميز النسخة MCNP5-beta بإمكانية التعامل مع الكود من خلال نافذة مزودة بواجهة لإدخال المعطيات وللرسم البياني.

## 4. أجزاء المفاعل VVER-640:

تتكون محطة الطاقة النووية للمفاعل VVER-640 بشكل رئيسي من الأجزاء الآتية:
المفاعل والدارة الأولية والدارة الثانوية ومنظم الضغط وأنظمة التحكم والتشغيل وأنظمة الأمان.

ويتكون المفاعل VVER-640 من الأجزاء الرئيسية الآتية:

1- قلب المفاعل VVER-640: يستعمل أكسيد اليورانيوم كوقود نووي بنسبة إغناء تساوي 3.6% وتصنع عناصر وقوده على شكل قضبان أسطوانية تحيط بها أغلفة من خليطه الزركونيوم [4]، كما يستعمل الماء الخفيف مهدئاً للنترونات ومبرداً لقلب المفاعل [5]، وذلك لميزاته الجيدة من حيث الناقلية والسعة الحرارية ومقطع الامتصاص واللزوجة والكثافة.
2- يستعمل الماء عاكساً يعمل على خفض تسرب النترونات إلى خارج حدود المفاعل،
3- قضبان التحكم: تستعمل قضبان التحكم كعناصر أمان وتحكم في المفاعل بهدف إبقاء المفاعل تحت السيطرة، وتعمل هذه القضبان آلياً عند الحاجة لخفض استطاعة المفاعل أو رفعها أو لإيقافه بأقصى سرعة عند حالات الطوارئ، وتصنع قضبان التحكم من كربيد البور $B_4C$.
4- وعاء المفاعل: يحتوي على مكونات المفاعل جميعها ويصنع من خليطه من الفولاذ غير القابل للصدأ.
5- حاوية المفاعل: بناء حصين من الخرسانة يحوي وعاء المفاعل.

### 4.1. ميزات الأمان في مفاعلات الجيل الجديد عالية الأمان VVER:

كانت التعديلات والتحديثات جميعها في أجيال المفاعلات الروسية من حيث أنظمة الطاقة طفيفة وبسيطة ولكن التعديلات الرئيسية كانت في أنظمة الأمان، وتقسم المفاعلات تاريخياً إلى أربعة أجيال.

الجيل الرابع من المفاعلات VVER يتميز بإضافات أمان جديدة إلى المفاعلات السابقة له، وتشمل:

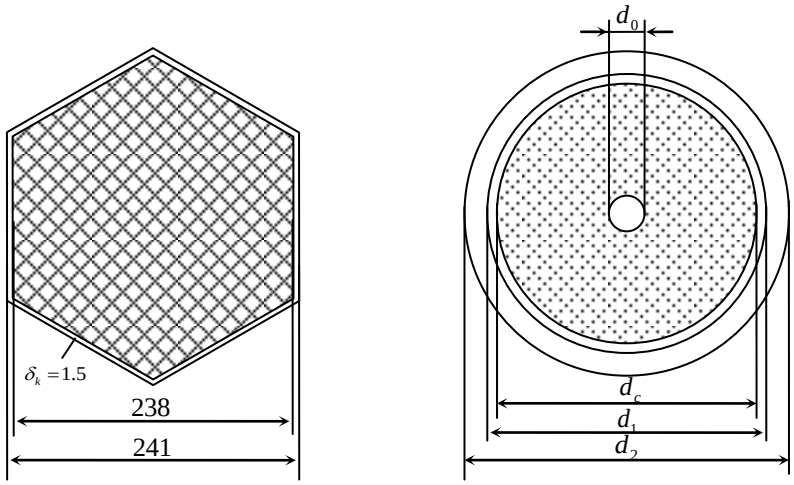
1. نظاماً سلبياً Passive يقوم بإعادة غمر قلب المفاعل بالمياه Passive Core Re-flooding Additional System، ففي حالة فقد مياه تبريد الدارة الأولية، مع تعطل نظام تبريد قلب المفاعل في حالة الطوارئ ECCS ( Emergency Core Cooling System Second Stage Accumulator System).
2. يقوم النظام بإمداد قلب المفاعل بالمياه ومحلول حمض البور بهدف تبريد الوقود على المدى الطويل.
3. نظاماً سلبياً لإزالة حرارة قلب المفاعل Passive Heat Removal System، في حالة تعطل مصادر الطاقة الكهربية جميعها، يقوم النظام بإزالة الحرارة المتبقية في قلب المفاعل، وهو يعمل مدداً طويلة، ولو حدث تسرب لمياه الدارة الأولية، فالنظام يعمل مع نظام خزانات المرحلة الثانية للنظام ECCS.
4. نظام خزانات المرحلة الثانية للنظام ECCS.
5. نظام سريع لحقن محلول البور في قلب المفاعل Quick Boron Entry System،
6. حماية إضافية ضد الزلازل إذْ يمكن إيقاف تشغيل المحطة بشكل آمن من أجل تسارع للزلزال قدره (0.1 g).

يحوي قلب المفاعل VVER-640 بشكل رئيسي 163عنصر وقود سداسية الأضلاع و 121 قضيباً للتحكم والأمان. ويعطي الجدول (1) المواصفات الهندسية لمكونات قلب المفاعل VVER-640.

**الجدول (1) المواصفات الهندسية لمكونات قلب المفاعل VVER-640 [6]**

| | |
|---|---|
| نصف القطر الداخلي لقضيب الوقود ($r_0$) | 0.007cm |
| نصف قطر قضيب الوقود (Fuel pine)($r_c$) | 0.386 cm |
| نصف قطر قضيب الوقود مع الغلاف ($r_1$) | 0.458 cm |
| نصف قطر أنبوب الماء الذي يحيط قضيب الوقود ($r_2$) | 0.68 cm |
| الارتفاع الفعال لقضيب الوقود | 300 cm |
| ارتفاع القلب | 346 cm |
| السمك الإضافي | 9.6 cm |
| نصف قطر قلب المفاعل | 158.5 cm |
| عدد عناصر الوقود (Fuel assembly) | 163 |
| عدد قضبان الوقود في عنصر الوقود | 293 |
| *الخطوة بين عناصر الوقود السداسية الشكل | 23.6 cm |
| طول عنصر الوقود السداسي الشكل | 23.4 cm |
| عدد قضبان التحكم في عنصر الوقود | 18 |
| المسافة بين قضبان الوقود | 1.275 cm |
| العدد الكلي للقضبان في عنصر الوقود | 312 |

***الخطوة: هي المسافة بين مركزي عنصري وقود اللذين يحملان شكل مسدس .**



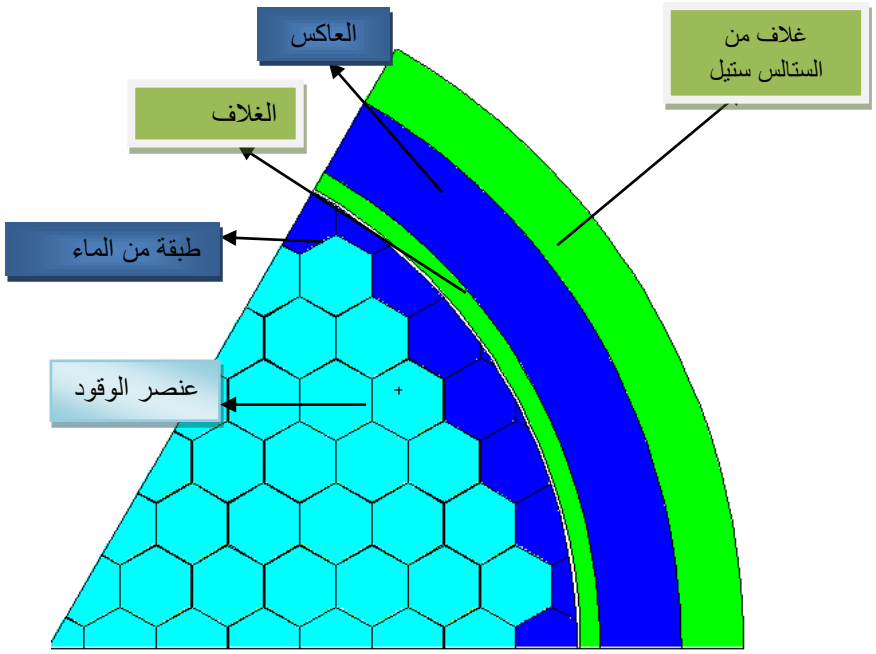

**كاسيت سداسي ( مجموعة العناصر المنتجة للحرارة )** **مقطع عرضي للعنصر المنتج للحرارة**

.

**(الشكل 1) مقطع عرضي لقضيب الوقود وعنصر الوقود موضح عليه الأبعاد اللازمة**

### 5. نمذجة المفاعل VVER-640 باستخدام الكود MCNP5-beta:

استخدم الكود MCNP5-beta لنمذجة قلب المفاعل VVER-640، إذْ جرى أولاً نمذجة الخلية الواحدية التي تتكون من قضيب الوقود (Fuel pin) وغلافه وقناة الماء المحيطة به. وللحصول على عنصر الوقود (Fuel assembly) كُررت الخلية الواحدية باستعمال التعليمة (fill) 312 مرة، وللحصول على تشكيلة القلب كاملة كُرر عنصر الوقود 163 مرة، ونُفِّذَتِ الحسابات على سدس قلب المفاعل؛ وذلك بمراعاة أن المفاعل VVER-640 مكون من بنية متجانسة (توضع منتظم للوقود والمهدئ) ومحاطة بطبقة عاكسة من الماء موزعة على جوانب القلب، ويوضّح الشكل (2) مقطعاً عرضياً لسدس قلب المفاعل VVER-640باستعمال رسام الكود MCNP5-beta [6].




**(الشكل 2) مقطع عرضي لسدس قلب المفاعل VVER-640 باستعمال رسام الكود MCNP5-beta**

## 6. النتائج والمناقشة:

جرى التأكد أولاً من صحة بناء النموذج ثلاثي الأبعاد للمفاعل VVER-640 باستعمال رسام الكود MCNP5–beta. ومن ثم شُغِّلَ الكود وحُسِبَتْ كل من الاستطاعة وتوزعها في قلب المفاعل، ومعامل ذروة الاستطاعة القطري والمحوري، والمعاملات الحرارية للتفاعلية، وفي أثناء الحساب أخذ بالحسبان ما يأتي:

- الحجم الاسمي (النظري) للمصدر في كل دورة: 20000 نترونٍ.
- القيمة المتوقعة لمعامل التضاعف الفعّال: 1.0 .
- عدد الدورات الاختبارية (غير الفعالة): 25 دورة.
- العدد الكلي للدورات: 200 دورة.

واختيرت نقاط المصدر كمصادر ابتدائية في مركز كل عنصر وقود في البطاقة (ksrc).

### 6.1. حساب الاستطاعة في قلب المفاعل VVER-640:

يُعَبَّر عن استطاعة المفاعل بالعلاقة الآتية: [7]

$$P = E_f \times \phi_{th} \times \Sigma_f \times V \qquad (1)$$

إذْ:

P(W)– استطاعة المفاعل،

$E_f(J)$– طاقة الانشطار لمادة الوقود،

$\varphi_{th}(n/cm^2)$– التدفق النتروني الحراري،

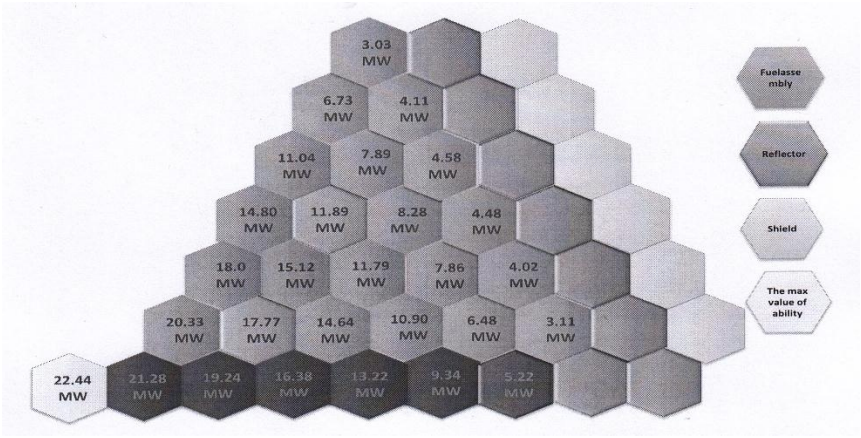
$\Sigma_f(cm^{-1})$– المقطع الجهري للانشطار،

$V(cm^3)$– حجم المفاعل.

استعملت البطاقة Fm4 المرافقة للبطاقة F4 المتاحة في الكود MCNP5-beta لحساب الاستطاعة لقلب المفاعل VVER-640؛ وذلك من خلال حساب الاستطاعة المتحررة في كل عنصر وقود.

#### 6.1.1. توزع الاستطاعة الحرارية في سدس قلب المفاعل VVER-640

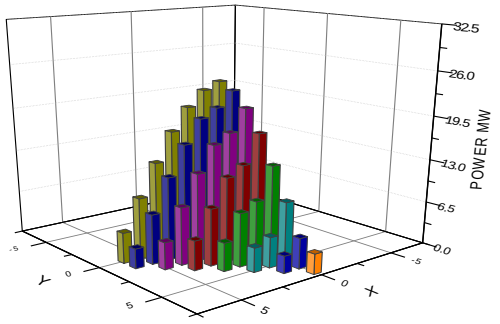
يوضّح الشكل (3) توزع الاستطاعة لحزم الوقود في سدس قلب المفاعل VVER-640 مقدرة بواحدة MW. يلاحظ من الشكل (3) أن هناك اختلافاً واضحاً في توزع الاستطاعة وفق المستوي xy، إذْ بلغت قيمة الاستطاعة المحسوبة للسدس MW(304.02) بنسبة خطأ لا تتجاوز 1.34%، وأن قيمة الاستطاعة العظمى تعود لحزمة الوقود المركزية (22.44MW).




**(الشكل 3) توزع الاستطاعة الحرارية في سدس المفاعل مقدرة بالواحدة MW**

### 6.1.2. التوزع القطري للاستطاعة الحرارية لسدس قلب المفاعل VVER-640 وفق المحورين oy, ox:

يوضّح الشكل (4) التوزع القطري للاستطاعة الحرارية لسدس المفاعل VVER-640 وفق المحورين ox وoy. يلاحظ من الشكل (3) أن الاستطاعة تكون أعظم ما يكون في عنصر الوقود المركزي لقلب المفاعل، ثم تتناقص تدريجياً بالاقتراب من حافة المفاعل، وتبلغ أصغر قيمة لها في عناصر الوقود المجاورة للعاكس.




**(الشكل 4) توزع الاستطاعة الحرارية لسدس المفاعل في المستوي xy**

### 6.1.3. معامل ذروة الاستطاعة القطري والمحوري:

يتضمن معامل ذروة الاستطاعة للمفاعل النووي مركبتين إحداهما قطرية والأخرى محورية. وتعرّف المركبة القطرية (معامل ذروة الاستطاعة القطري الأعظمي) بأنها نسبة القيمة القصوى لاستطاعة حزمة الوقود إلى القيمة الوسطية لاستطاعة حزم الوقود الكلية.

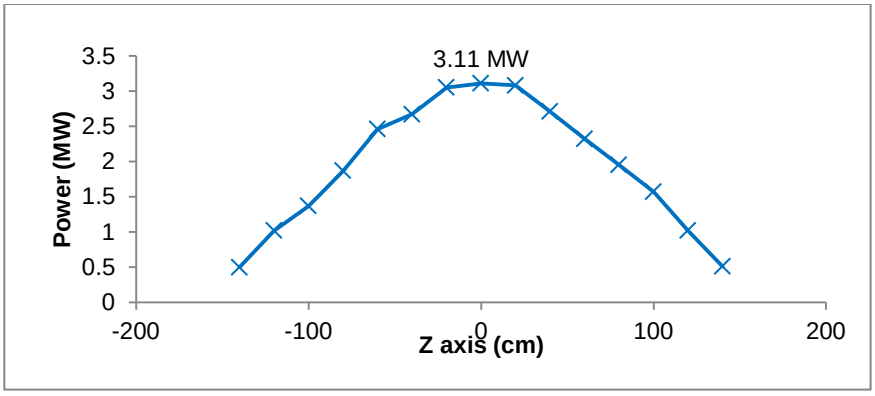
حسبت القيمة العظمى للاستطاعة لحزمة الوقود في المركز، وكانت (22.44 MW) والقيمة الوسطية للاستطاعة لحزم الوقود وكانت (15.31MW)، ومنه فمعامل ذروة الاستطاعة القطري (1.47).

ولحساب معامل ذروة الاستطاعة المحوري استخدمت البطاقة FS المتاحة في الكود MCNP5-beta، إذْ جُزِّئت حزم الوقود إلى 15 جزءاً وفق المحور oz، وحُسِبَتِ الاستطاعة لكل جزء.

يوضّح الشكل (5) توزع الاستطاعة لحزمة الوقود المركزية (ذات الاستطاعة القصوى) وفق المحور oz إذْ بلغت الاستطاعة العظمى في المركز 3.11 MW في حين بلغ وسطي الاستطاعة للأجزاء كلّها 1.94 MW ومنه فمعامل ذروة الاستطاعة المحوري يساوي (1.6).

وحُسِبَ معامل ذروة الاستطاعة الحجمي، وذلك بأخذ جداء معاملي ذروة الاستطاعة القطري والمحوري، وبلغت قيمته (2.35).

قورنت النتائج التي حصلنا عليها باستعمال الكود MCNP5-beta بنتائج المرجع [7] ، ويعطي الجدول (2) نتائج هذه المقارنة.




**(الشكل 5) توزع الاستطاعة لحزمة الوقود المركزية ذات الاستطاعة القصوى وفق المحور oz**

**الجدول (2) معاملات ذروة الاستطاعة لحزمة الوقود المركزية للمفاعل VVER-640**

| معامل ذروة الاستطاعة | هذا البحث | [7] |
|---|---|---|
| **المحوري** | 1.60 | 1.49 |
| **القطري** | 1.47 | 1.40 |
| **الحجمي** | 2.35 | 2.09 |

### 6.2. معاملات التفاعلية للمفاعل VVER-640 Reactivity coefficients:

#### 6.2.1. معامل التفاعلية لدرجة حرارة الوقود:

لدراسة تأثير تغير درجة حرارة الوقود في تفاعلية المفاعل VVER-640 ثبتنا درجة حرارة المهدئ وكثافته عند القيم ($T=20\ C^0=293\ K$ و $\rho=1\ g/cm^3$)، وغُيِّرَتْ درجة حرارة الوقود فقط.

لحساب معامل التفاعلية لدرجة حرارة الوقود استخدمت العلاقة الآتية [8]:

$$\alpha_f = \frac{\Delta K_{eff}}{\Delta T} \qquad (2)$$

إذْ:

$\Delta K_{eff}$ – التغير في معامل التضاعف الفعال،

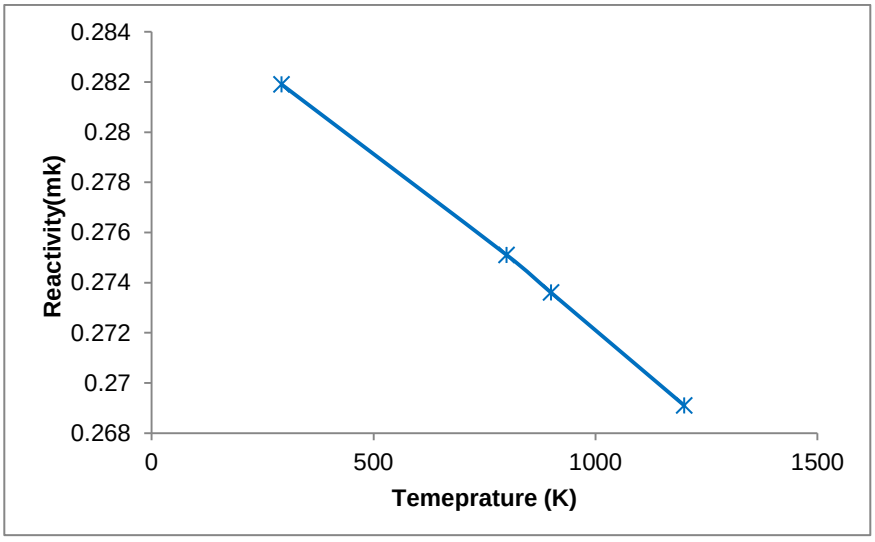
$\Delta T$ - التغير في درجة الحرارة.

حُسِبَ تغير التفاعلية للمفاعل VVER-640 بتغير درجة حرارة الوقود (معامل دوبلر) اعتماداً على بيانات مكتبة المقاطع العرضية المتاحة في الكود MCNP5-beta.

يعطي الجدول (3) معاملات التفاعلية لدرجة حرارة الوقود للمفاعل VVER-640 ، ويوضّح الشكل (6) تناقص تفاعلية قلب المفاعل VVER-640 كتابع لدرجة حرارة الوقود .

**الجدول (3): معاملات التفاعلية لدرجة حرارة الوقود للمفاعل VVER-640**

| معامل التفاعلية لدرجة حرارة الوقود $\alpha_f(K)^{-1}$ | التفاعلية كنسبة مئوية $\rho\%$ | التفاعلية $\rho$ | $k_{eff}$ | درجة حرارة الوقود MeV | درجة حرارة الوقود K |
|---|---|---|---|---|---|
| | 28.19 | 0.2819 | 1.39271 | $2.5\times10^{-8}$ | 293 |
| $-2.56\times10^{-5}$ | 27.51 | 0.2751 | 1.37954 | $8.94\times10^{-8}$ | 800 |
| $-2.92\times10^{-5}$ | 27.36 | 0.2736 | 1.37662 | $1.01\times10^{-7}$ | 900 |
| $-2.80\times10^{-5}$ | 26.91 | 0.2691 | 1.36822 | $1.27\times10^{-7}$ | 1200 |




**(الشكل 6) التفاعلية كتابع لدرجة حرارة الوقود للمفاعل VVER-640**

حُسِبَ معامل التفاعلية لدرجة حرارة الوقود بأخذ القيمة الوسطية ($\overline{\alpha_f} = -2.77x10^{-5}\ K^{-1}$) إذْ نلاحظ أنها تملك قيمة سالبة.

**6.2.2. معامل التفاعلية لدرجة حرارة المهدئ للمفاعل VVER-640:**

لدراسة تأثير تغير درجة حرارة المهدئ في تفاعلية المفاعل، ثُبِّتَتْ درجة حرارة الوقود وكثافة المهدئ عند القيمتين ($1\ g/cm^3$) و($293\ K=20\ C^0$) على الترتيب، وزيدَتْ درجة حرارة المهدئ.

لحساب معامل التفاعلية لدرجة حرارة الماء $\alpha_t$ استخدمت العلاقة الآتية [9]:

$$\alpha_t = \frac{\Delta K_{eff}}{\Delta T_w} \qquad (3)$$

إذْ:

$\Delta K_{eff}$ – التغير في معامل التضاعف الفعال،

$\Delta T_w$ – التغير في درجة حرارة المهدئ.

تُغَيَّرُ درجة حرارة الخلية بشكل مباشر بإدخال درجة الحرارة التي نختارها الموافقة لدرجة حرارة مكتبة المقاطع العرضية، تُدْخَلُ درجة الحرارة بواسطة التعليمة *tmp* إذْ تحول درجة الحرارة من واحدة الكلفن إلى واحدة *Mev* عن طريق عامل تحويل مناسب موافق للكود MCNP5-beta، حيث أخذنا ثلاث قيم فقط توافق درجة حرارة تشغيل المفاعل، ثم حُسِبَ الوسطي لهذه القيم، ويعطي الجدول (4) نتائج هذا الحساب.

**الجدول (4) معاملات التفاعلية لدرجة حرارة المهدئ للمفاعل VVER-640 باستخدام الكود MCNP5-beta**

| درجة حرارة الماء $C^0$ | درجة حرارة الماء(Mev) | $K_{eff}$ | التفاعلية $\rho$ | التفاعلية كنسبة مئوية $\rho\%$ | معامل التفاعلية لدرجة حرارة الماء $\alpha_t(K^0)^{-1}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 20 | $2.52\times10^{-8}$ | 1.39271 | 0.28204 | 28.204 | |
| 225 | $4.29\times10^{-8}$ | 1.38899 | 0.28000 | 28.000 | $-1.814\times10^{-5}$ |
| 250 | $4.51\times10^{-8}$ | 1.38888 | 0.27990 | 27.99 | $-4.40\times10^{-6}$ |
| 275 | $4.72\times10^{-8}$ | 1.38716 | 0.27910 | 27.910 | $-6.88\times10^{-5}$ |

حُسِبَ معامل التفاعلية لدرجة حرارة الوقود بأخذ القيمة الوسطية ($\overline{\alpha_f} = -3.044x10^{-5}\ K^{-1}$).

نلاحظ من القيمة التي نتجت من الحساب أن قيمة معامل درجة حرارة المهدئ سالبة عند درجة حرارة تشغيل المفاعل.

### 6.2.3. معامل التفاعلية لكثافة المهدئ للمفاعل VVER-640:

لدراسة تغيّر تفاعلية المفاعل VVER-640 بتغير كثافة المهدئ أُنْقِصَتْ كثافة الماء من ($1\ g/cm^3$) إلى ($0.714\ g/cm^3$) مع تثبيت درجة حرارة الوقود والمهدئ عند درجة الحرارة $20\ C^0$.

حُسِبَ معامل التفاعلية لكثافة الماء من العلاقة الآتية [10]:

$$\alpha_\rho = \frac{\Delta K_{eff}}{\Delta \rho} \times \frac{\partial \rho}{\partial T} \qquad (4)$$

إذْ:

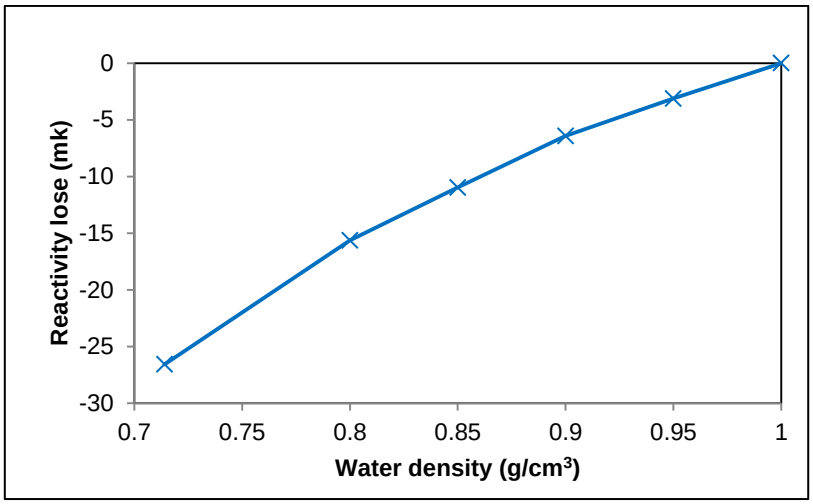
$\Delta K_{eff}$ – التغير في معامل التضاعف الفعال،

$\frac{\partial \rho}{\partial T}$ – تغير التفاعلية بتغير درجة الحرارة، علماً أن $\frac{\partial \rho}{\partial T} = -2.1\times10^{-3}$، [10].

يعطي الجدول (5) معاملات التفاعلية لكثافة الماء، ويوضّح الشكل (7) تغير التفاعلية كتابع لكثافة الماء للمفاعل VVER-640. إذْ يلاحظ من الشكل أن قيمة التفاعلية تنقص بنقصان كثافة المهدئ.

**الجدول (5) معاملات التفاعلية لكثافة المهدئ للمفاعل VVER-640**

| كثافة المهدئ ($g/cm^3$) | $K_{eff}$ | التفاعلية $\rho$ | التفاعلية كنسبة مئوية $\rho\%$ | معامل التفاعلية لكثافة المهدئ $\alpha_\rho(K)^{-1}$ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1.39284 | 0.28204 | 28.204 | |
| 0.95 | 1.38679 | 0.27891 | 27.891 | -2.54×10-4 |
| 0.9 | 1.38047 | 0.27561 | 27.561 | -2.66×10-4 |
| 0.85 | 1.37185 | 0.27106 | 27.106 | -3.6×10-4 |
| 0.8 | 1.36314 | 0.26640 | 26.640 | -3.66×10-4 |
| 0.714 | 1.34311 | 0.25546 | 25.546 | -8.41×10-4 |




**(الشكل 7) نقصان التفاعلية كتابع لكثافة المهدئ للمفاعل VVER-640**

نأخذ القيمة الوسطية لمعامل التفاعلية لكثافة الماء : $\overline{\alpha_\rho} = -4.174\times10^{-4}(K^0)^{-1}$ .

مما سبق يمكن حساب معامل التفاعلية الكلي لدرجة حرارة الماء $(\alpha_w)$ من العلاقة الآتية:

$$\alpha_w = \overline{\alpha}_\rho + \overline{\alpha}_t \qquad (5)$$

وأعطى الحساب القيمة $\alpha_w = -4.478\times10^{-4}\,(K^0)^{-1}$ .

قورنت القيمة $\alpha_w = -4.478\times10^{-4}\,(K^0)^{-1}$ للمفاعل VVER-640 بالقيمة المحصول عليها المرجع [7] ، وبناء عليه يلاحظ أن هناك توافقاً جيداً بين قيم معاملات التفاعلية المحسوبة في هذا البحث وفي المرجع[7].

الجدول (6) مقارنة بين قيم معاملات التفاعلية للمفاعل VVER-640 و VVER-1000

| معامل التفاعلية $(K)^{-1}$ | المفاعل VVER-640 الكود MCNP5-beta | المفاعل VVER-1000 [7] |
|---|---|---|
| $\overline{\alpha_f}$ | $-2.770\times10^{-5}$ | $-2.52\times10^{-5}$ |
| $\overline{\alpha_t}$ | $-3.044\times10^{-5}$ | $-3.23\times10^{-5}$ |
| $\overline{\alpha_\rho}$ | $-4.174\times10^{-4}$ | $-4.05\times10^{-4}$ |
| $\alpha_w$ | $-4.478\times10^{-4}$ | $-4.35\times10^{-4}$ |

يبيّن الجدول (6) أن قيم معاملات التفاعلية سالبة لكلا المفاعلين VVER-640 و VVER-1000 وهي مطلوبة في المفاعلات؛ وذلك لأنها تجعل المفاعل مضبوط ذاتياً وأكثر

أماناً. إذْ تؤدي زيادة الاستطاعة إلى زيادة درجة حرارة المهدئ، ومنه إضافة تفاعلية سالبة، وتؤدي هذه الإضافة إلى تباطؤ أو إيقاف زيادة الاستطاعة، ومن جهة أخرى يلاحظ أن مستوى الأمان للمفاعل VVER-640 أكبر مما هو عليه للمفاعل VVER-1000، وذلك بسبب كبر معاملات التفاعلية للمفاعل VVER-640 مقارنة بالمفاعل VVER-1000؛ مما يجعل المفاعل VVER-640 أكثر أماناً وموثوقية.

## 7. الاستنتاجات:

استخدم في هذا البحث الكود MCNP5-beta لنمذجة قلب المفاعل VVER-640 وحساب الاستطاعة الحرارية وتوزعها في سدس قلب المفاعل؛ وكذلك حساب المعاملات الحرارية للتفاعلية للمفاعل VVER-640.

بيَّنت نتائج الحساب أن الاستطاعة الحرارية في سدس قلب المفاعل تساوي MW(304.02)، وأن معاملي ذروة الاستطاعة القطري والمحوري هما (1.47) و(1.60) على الترتيب. وبلغت المعاملات الحرارية للتفاعلية القيم: $-2.770\times10^{-5}$ $K^{-1}$ و$-3.044\times10^{-5}$ $K^{-1}$ و$-4.147\times10^{-4}$ $K^{-1}$ على الترتيب لدرجة حرارة الوقود ولدرجة حرارة المهدئ ولكثافة المهدئ.

قُورِنَتْ قيم المعاملات الحرارية للتفاعلية المحسوبة للمفاعل VVER-640 في هذا البحث بتلك المحسوبة في المرجع [7] للمفاعل VVER-640 و VVER-1000 ودلّت على وجود توافق جيد بين هذه القيم.

# Reference

**[1] LIAQUAT ALIKHAN, (1999) "Study of reactor design parameters" University of the Punjab. Lahore.**

**[2] A.V. Dementeev and others, (1989), "Exploration regime of VVER" book: Moscow.**

**[3] Oak Ridge National Laboratory,(2000),"Rsicc Computer Code Collection MCNP4C"**

[4]. الأشهب،مطاوع (1991) هندسة المفاعلات (1,2) جامعة دمشق

[5].الظواهرة، سعدو (2006) استخدام المواد الماصة للنترونات في المفاعلات من النوع VVER

**[6] M.Rami.AL-Ali, Dr. M. Nahili and Dr. S. AL-Zawahera, "Calculation of the effective multiplication factor ,neutron flux distributions for VVER- 640 energy reactor using MCNP5-beta code, to be in print".**

**[7] F.A.Ovichinikov, V.V.Siminov.1988''Explotatsionie Rejimi VVER''Book 259p.Moscow 1988.**

**[8] prof.dr.ir. H. van Dam . prof.dr.ir. T.H.J.J. van der Hagen . dr.ir. J.E. Hoogenboom, "Nuclear Reactor Physics" Delft University of Technology Physics of Nuclear Reactors Mekelweg 15, 2629 JB Delft The Netherlands (April 2005)**

[9]. ايفانوف،ف.أ (1994) استثمار محطات الطاقة النووية سان بطرس بورغ (مرجع روسي)

[10]. كيريللوف، ب.ل (1990) دليل في الحسابات الحرلرية والهيدروليكية (مفاعلات- مبادلات-مولدات بخار) موسكو (مرجع روسي).