تطوير برنامج حاسوبي لمحاكاة تشغيل المفاعل VVER-1000

حسن أبوفاعور[1] و بيداء الأشقر[2] وسائد دبابنة[3]

تاريخ الإيداع 2014/03/10
قبل للنشر في 2014/09/25

الملخص

طُوّرتْ في هذا البحث بنية حاسوبية باسم "VVERHGMLC" تستخدم بيئة النوافذ وتؤمن محاكاة تشغيل المفاعل VVER-1000، وإجراء حساباته النترونية (الحرجية وتوزع الطيف النتروني)، وحسابات استحراق الوقود، وتوزع الاستطاعة عبر قلب المفاعل، وحسابات تصميم مخطط تحميل الوقود لقلب المفاعل، وتقدير تشعيع الهيكل بالنترونات السريعة ومراقبة تغيّر المحتوى النظيري للوقود ضمن مختلف أنواع قضبان الوقود في الحزم فضلاً عن إمكانية دراسة آثار تعديل قيم المعاملات التصميمية ومقارنته للقلب على المعاملات سابقة الذكر.

يُنفّذ البرنامج مهامه عبر تشغيل عدد من الكودات تشمل MCNP وGETERA والبرنامج NRFLC، إذْ يوفر البرنامج واجهة تخاطبية لتوليد ملفات الدخل لهذه الكودات وتشغيلها، وقراءة ملفات الخرج واستخراج البيانات منها ومعالجتها، وإظهار الرسوم البيانية المعبرة عنها، كما يقوم بربط هذه الكودات وتأمين تبادل المعطيات فيما بينها بهدف إجراء محاكاة ديناميكية للحالة التشغيلية للمفاعل.

الكلمات المفتاحية: المفاعل VVER-1000، الكود MCNP، الكود GETERA، البرنامج NRFLC، التحليل الديناميكي، واجهة تخاطبية، التشغيل في بيئة النوافذ.

[1] طالب دكتوراه، [2] أستاذة مساعدة، قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة دمشق، سورية.
[3] قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة البلقاء التطبيقية، الأردن.

A simulator for VVER-1000 Nuclear Reactor Operation

H. Abou faoor[(1)]; B. Achkar[(2)] and S. Dababneh[(3)]

Received 10/03/2014
Accepted 25/09/2014

ABSTRACT

The graphical user interface (GUI) VVERHGMLC has been developed to run under windows environment. It offers the possibility to manage various levels of core neutronics calculations that implies criticality, fuel burn up and fuel load scheme and other related calculations. The developed GUI serves as pre -and post processor to prepare the input files of the codes GETERA, MCNP, and NRFLC. It coordinates their date processing, run and extract the results and perform the required post reprocessing. The most important future of GUI is its capability to manage the data processing and exchange among the various embayed codes enabling a full dynamic simulation of neutronics calculations of VVER-1000.

Key Word: VVER-1000 nuclear reactor, MCNP code, GETERA code, NRFLC program, Dynamic designing, GUI graphic user interface, Running under WINDOWS.

[(1)] PhD., Student, [(2)]Associate Professor, Department of Physics, Faculty of Sciences, Damascus University, Syria.
[(3)]Department of Physics, Faculty of Sciences, Al-Balqa Applied University, Salt 19117, Jordan.

المقدمة

تعدُّ الطاقة النووية أحد المصادر الرئيسة للطاقة وتمثل الخيار الواعد القابل للانتشار بمقياس واسع لتلبية الازدياد المستمر في الطلب العالمي على الطاقة، إذْ احتلت محطات الطاقة النووية منذ خمسينيات القرن الماضي (1950s) جزءاً مهماً من مصادر توليد الطاقة الكهربائية عالمياً، فوفقاً لتقرير WNA [1] لعام 2013 فإنَّ هناك ما يفوق 427 مفاعل طاقة تجارياً تعمل في 30 دولة تقوم بتوليد نحو 364 GWe، أي نحو 16% من إجمالي الطاقة الكهربائية العالمية، وخلال السنوات الواقعة بين 2013 و2019 ستدخل 66 محطة جديدة إلى الاستثمار باستطاعة تبلغ 64 GWe، وهي الآن قيد الإنشاء في 14 دولة، وبذلك سترتفع حصة الطاقة النووية في توليد الاحتياج العالمي للطاقة الكهربائية لتصل إلى ما يزيد على 20 % في الربع الأول من القرن الحالي.

إن مواكبة التوجه العالمي في استثمار إمكانيات التقانة النووية تقتضي ضرورة تطوير الخبرة الوطنية في إدارة مفاعلات الطاقة النووية وتشغيلها وذلك لتلبية الحاجات المستقبلية لمشروع تركيب محطات طاقة نووية واستثمارها في منظومة توليد الطاقة الكهربائية المحلية، وفي ضوء عدم توافر الإمكانيات المخبرية والتجارب التخصصية لتدريب الأطر البشرية للتكيف واكتساب الخبرة في التعامل مع هذه المنظومات التي تعدُّ من أكثر المنظومات الصناعية خطورة، وتحتاج إلى دقة كبيرة ومهارة عالية من قبل مشغليها، لذلك تعدُّ عملية المحاكاة الحاسوبية لتصميم المفاعلات النووية وتشغيلها هي الأداة الأساسية لدخول هذا المجال وفهم أساسياته وتنفيذ الحسابات والتجارب والاختبارات العلمية على مختلف تخصصات تصميم المفاعلات النووية وتشغيلها.

وعلى الساحة العالمية فإنَّ عدة مخابر علمية عالمية (مثل مختبر لوس ألاموس LANAL ومخبر WINFRITH ومخبر OAK RIDGE ومخبر CHARLESTON) وغيرها من المؤسسات العلمية بدأت منذ منتصف القرن الماضي تعمل على تطوير كودات تخصصية لمحاكاة المُفاعلات النوويّة عبر جهود علمية هائلة وُظّفتْ لهذا الغرض. وتصنف اليوم كودات التحليلَ النتروني المستخدمة في محاكاة المفاعلات النووية وفق أربعة أصناف مُختلفة [5A] هي:

1. كودات معالجة مكتبات المقاطع العرضية وإعدادها. (NJOY وMAKXSF).

2. كودات توليد المقاطع العرضية الساكنة مثل (GETERA وWIMS).

3. كودات التصميم النتروني في الحالة المستقرة للمفاعل مثل (MCNP وCITATION).

4. كودات التصميم النتروني الديناميكي التي تتضمن دورة الوقود في المفاعل (استحراق الوقود) مثل (MCNP Burn).

أمَّا محلياً ونتيجة صعوبة الحصول على تجارب وأجهزة علمية مخبرية لهذا النوع من التقانة أو ترخيص استخدام الكودات النووية النترونية سابقة الذكر فإن الإمكانات المحلية المتاحة تقتصر على بعض الإصدارات القديمة لبعض من هذه الكودات. ولتلبية متطلبات تطوير الخبرة الوطنية في تحليل دورة وقود مفاعلات الطاقة النووية وإدارتها، كان لابد من البدء بالإصدارات المتوافرة لدينا من هذه الكودات وتطوير إمكاناتها لتصبح قادرة على تنفيذ مختلف أنواع الحسابات والدراسات المتعلقة بإدارة وقود المفاعلات النووية واستثماره. وقُدّم عدد من الأعمال للباحثين المحليين في هذا المجال ومن أهمها بحوث فريق عمل هيئة الطاقة الذرية السورية عن تصميم واجهات برمجية لنمذجة الحسابات النترونية والهيدروليكية للمفاعل MNSR [6A] [19] فضلاً عن الأعمال المتعلقة بتطوير بيئة استثمار الكودات النترونية وكودات توليد المقاطع العرضية المتاحة وتصميم واجهات تخاطبية للتعامل معها[7A] [18][20][21]، ونقدم هذا العمل (برنامج محاكاة تشغيل المفاعل VVER-1000 (موضوع النشرة)) كاستمرار وإضافة إلى هذا الجهد إذْ يؤمن تنفيذ وإجراء حسابات التشغيل الديناميكي لمفاعل طاقة ودراسة استحراق ودورة الوقود وتصميم مخطط تحميل الوقود التي لا يمكن تنفيذها إلا عبر الإصدارات الحديثة من كودات التصميم النتروني الديناميكي غير المتوافرة محلياً بسبب ثمنها الباهظ وعدم منح ترخيص لاستخدامها.

برنامج إجراء الحسابات النترونية وتحليل دورة وقود قلب المفاعل VVER 1000:

طُوّرَ برنامج حاسوبي لمحاكاة تشغيل المفاعل VVER-1000 استجابة للمتطلبات البحثية المطروحة للفريق الأكاديمي في قسم الفيزياء في جامعة دمشق الذي يعمل على هذا المحور إذْ جرى من خلال هذا المحاكي تأمين تنفيذ مختلف الدراسات والاختبارات المتعلقة بالحسابات النترونية وإدارة وقود المفاعل VVER-1000. ويتكون البرنامج من البنى الحاسوبية الأساسية الآتية:

a. الكود GETERA.
b. البرنامج NRFLC (Nuclear Reactor Fuel Load Calculation).
c. كود MCNP 4C2 المعدل.
d. البرنامج VVERHGMLC.

وسندرج فيما يأتي شرحاً مبسطاً لدور كل من هذه البنى.

1. الكود GETERA:

يستخدم الكود الروسي المطور [2] GETERA 90 لإجراء الحسابات النترونية للخلايا الواحدية أو لمجموعة الخلايا المكونة لحزم وقود المفاعل بأشكالها الهندسية كلّها (كروية أو اسطوانية أو مستوية) وضمن مختلف مجالات الطيف الطاقي النتروني الحراري والسريع، إذْ يمكن من خلال هذا الكود تحضير الثوابت النترونية من أجل 93 مجموعة طاقية لاستخدامها في المسائل ثلاثية الأبعاد، وكذلك أيضاً يمكن إجراء حسابات استحراق الوقود واستنتاج تراكيز نواتج الانشطار وحساب معامل التضاعف اللانهائي وعواملـه الأربعة. ويحتوي الكود GETERA على مكتبة نترونية تدعى (BNAB90) تعتمد على ملفات المقاطع العرضية المأخوذة من (JNDL-2 وENDF-B4)، وتضم هذه المكتبة 93 مجموعة طاقية للنترونات.

تجري محاكاة الخلية الواحدية للمفاعل باستخدام الكود GETERA عبر توصيف هذه الخلية من حيث[2]:

1. تحديد أبعادها على فرض أنها دوائر ذوات أنصاف أقطار محددة (أي إيجاد الخلية المكافئة لخلية المفاعل الحقيقية).
2. توصيف المواد المكونة لها نوعاً وكماً.
3. تحديد درجات الحرارة لكل منها.
4. تحديد مصفوفة ترتيب مكونات الحزمة (مثال عدد قضبان الوقود مع السموم المستحرقة (القابلة للاحتراق) ومواقعها بالنسبة إلى قضبان الوقود العادية).
5. تحديد المعاملات المطلوب حسابها والخطوات الزمنية المطلوب عندها إجراء الحساب وتحديد مواصفات البيئة التي سيُشغّل الوقود فيها.

2. الكود NRFLC (Nuclear Reactor Fuel Load Calculation):

تتطلب عملية إدارة مخطط تحميل الوقود وتصميمه في قلب المفاعل تلبية عدد من الأهداف والمتطلبات والقيود، فمثلاً من أجل مفاعلات الماء المضغوط ينبغي تجنب حدوث التسخين الموضعي الزائد عبر فرض حدود تصميمية على ذروة للاستطاعة الموضعية ولتفادي حدوث الغليان بفرض شرط آخر على توزع الاستطاعة يسمى معامل ذروة الاستطاعة القطري الذي يميز التجانس القطري في إطلاق الطاقة عبر مقطع القلب. فضلاً عن متطلبات الحد من التسرب القطري للنترونات من القلب، وإنقاص الأذى الإشعاعي على هيكل المفاعل، والوصول إلى أعلى قيمة ممكنة لوسطي استحراق الوقود، وتحقيق الوصول إلى أعلى قيمة للتفاعلية الكلية للقلب؛ وذلك ضمن قيود عديدة يجب عدم تجاوزها مثل القيود الترموهيدروليكية والقيود التشغيلية، وأن لا يتجاوز التدفق الحراري السطحي التدفق الحراري الحرج DNB، وكنتيجة سيظهر حد على كثافة إطلاق الطاقة المحلية

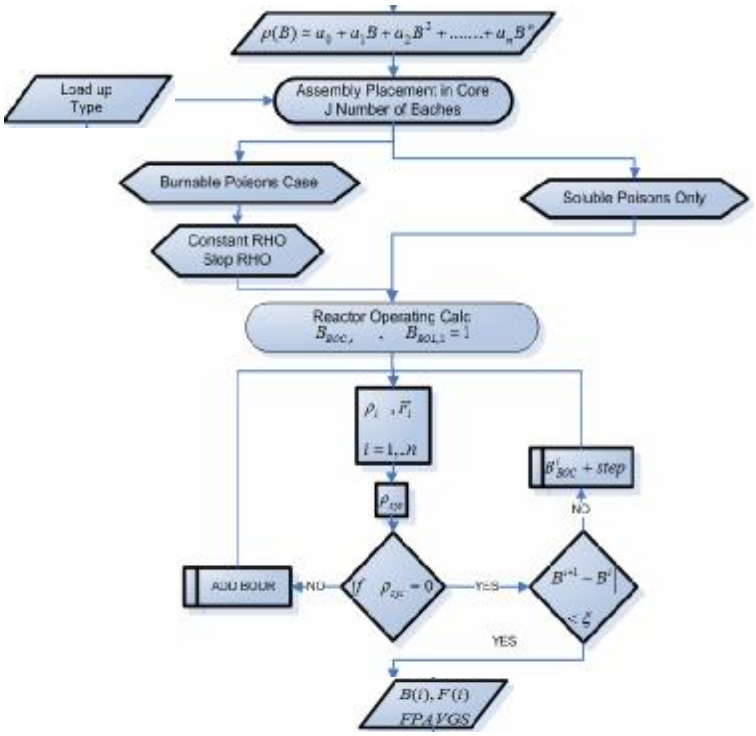
وحد على كثافة نقل الحرارة المتولدة (حد التدفق الحراري الحرج). أمَّا قيود التشغيل فتتمثل بضمان قدرة القلب على العمل عند الاستطاعة الاسمية طوال دورة المفاعل دون تجاوز الحدود الحرارية وأن يكون القلب قادراً على تنفيذ عمليات تخفيض الاستطاعة والإطفاء وإعادة التشغيل في أي نقطة زمنية من الدورة، وأن يمتلك الوقود المحمل التفاعلية الكافية لسدّ تغيرات التفاعلية المرافقة للإقلاع والنقص في التفاعلية المرافق لاستهلاك الوقود. وإمكانية أن يزود مخطط التحميل القدرة على الإقلاع بدءاً من شروط الإخماد عند توقف المفاعل وضمان قدرة المفاعل الدائمة على التجاوب مع متغيرات الحمل والحدود على استحراق الوقود مثل حد الأذية الإشعاعية التي يمكن أن يتعرض لها الوقود دون الوصول إلى الانهيار **[3-8] [4A]**.

وفي ضوء هذه المتطلبات والأهداف والقيود يمكن إجمال المتغيرات التي تكون تحت تصرف مصمم مخطط تحميل الوقود كما يأتي:

- نسب إغناء حزم الوقود الطازجة (وما يفترضه من استخدام للسموم القابلة للاحتراق).
- تواتر إعادة تحميل الوقود (عدد المجموعات وطول الدورة).
- نموذج إعادة التحميل (عدد مجموعات القلب وتوزع الوقود في القلب).

والتي سيكون لكل منها إسهام نسبي في تغيير خصائص تشغيل المفاعل، ممَّا يحتّم دراسة هذه المتغيرات والتأثيرات المتبادلة فيما بينها للوصول إلى القيم المثلى لكل منها التي ستعطي أفضل صيغة لتشغيل تفاعلية القلب واستثماره بشكل اقتصادي دون تجاوز أي من الحدود المطروحة سابقاً.

ولتنفيذ تحليل وتوصيف وربط أثر هذه المعاملات والمتطلبات كلّها في خصائص تشغيل القلب ضمن القيود المطروحة بُني البرنامج NRFLC باستخدام لغة FORTRAN (Fortran power station 4.0) وفق المخطط الصندوقي الموضح بالشكل (1) إذْ تُستخدم علاقة استنزاف التفاعلية مع استحراق الوقود المشتقة من خرج الكود GETERA لدراسة خصائص استحراق حزمة الوقود وحساب قيمة الاستحراق والطاقة المتحررة من حزمة الوقود في نهاية كل شوط من أجل كل نمط تحميل؛ وذلك بحسب موقعها داخل القلب. وأُعدَّ هذا الكود ليحاكي مختلف نماذج استنزاف التفاعلية مثل حالات مفاعلات MAGNOX وCANDU فضلاً عن نموذج الاستنزاف الخطي للتفاعلية لحالة مفاعلات الماء المضغوط. وتُنفَّذ الحسابات وفق المراحل الآتية:



الشكل (1) المخطط الصندوقي لبنية البرنامج NRFLC [4A]

a. تحديد موقع الحزمة في الأشواط المتعاقبة، ثم حساب عمق الاستحراق في بداية كل شوط.

b. حساب التفاعلية وحصة الاستطاعة المقدمة في كل شوط.

c. حساب تفاعلية القلب ككل، وتعويض فائض التفاعلية بإضافة حمض البور.

d. وتُكرّر عملية حساب التفاعلية وحصة الاستطاعة مع كل إضافة لحمض البور حتى الوصول إلى الحرجية $r_{sys} = 0$.

e. زيادة عمق الاستحراق إلى القيمة الموافقة للشوط التالي وتكرار الإجراءات b,c,d حتى الوصول إلى $r_{sys} = 0$.

f. مقارنة معاملات نهاية الشوط بمعاملات بداية الشوط الذي يليه حتى تحقق شرط التقارب الذي يعبّر عن شرط الاستقرار في المفاعل.

أي يمكن القول: إن هذا الكود يوصف خصائص استحراق حزمة الوقود الواحدة بحسب مكان توضعها داخل القلب في دورات التحميل المتعاقبة، ونتائج الحساب هي عمق الاستحراق وحصة الاستطاعة للحزمة في كل شوط من أشواط الدورة.

3. الكود MCNP 4C2:

يعدُّ الكود MCNP من أهم إصدارات كودات نقل الجسيمات النووية والذرية المبنية على طريقة مونتي كارلو التي بدأ تطويرها في مخابر لوس الاموس منذ الأربعينيات إذْ يعالج الكود مسائل النقل النتروني للترونات التي لا تتجاوز طاقتها 20 MeV، وكذلك الفوتونات أو الإلكترونات التي لا تتجاوز طاقتها 1000 MeV فضلاً عن معالجته لمسائل النقل النيتروني/ الفوتوني المترابط أو النقل النيتروني/ الفوتوني/ الإلكتروني المترابط وغيرها، إذْ يعالج مسائل النقل ثلاثية الأبعاد (إحداثيات ديكارتية) دون اللجوء لأيِّ تقريب في فضاء المكان أو الاتجاه أو الطاقة أو الزمان كما هو متبع في طرائق أخرى. **[12,11,10,9].**

ومن أشهر إمكانيات الكود تقدير معامل التضاعف K_{eff} وتوصيف الطيف النتروني للمنظومات الحرجة والمفاعلات الانشطارية، فضلاً عن التطبيقات المهمة في مجالات مختلفة كحسابات التدريع لمختلف المصادر المشعة بما في ذلك المفاعلات النووية، وكذلك حساب الجرعة في مجالات الطب النووي والتصوير الشعاعي والفيزياء الطبية، وتصميم الكواشف النووية ودفن النفايات المشعة وإنتاج النظائر والمسرعات وغيرها.

يضم الكود نحو MCNP-4C2 48000 سطراً مكتوباً بلغة فورتران، و1000 سطر مكتوباَ بلغة C ويشمل نحو 385 إجراءً فرعياً ويستخدمه أكثر من 3000 مستثمر في أكثر من 200 مؤسسة علمية في العالم، وهناك عمل مستمر على تطوير الكود في مخابر لوس الاموس، وتميزت الإصدارات الحديثة بتقانة ومرونة عالية إذْ تم التوجه في المدة الأخيرة إلى تطوير بيئة التعامل مع الكود وتصميم واجهات رسومية تؤمن مرونة عالية في التعامل مع الكود وتزيد من حجم الشريحة العلمية التي يمكنها استثماره [2A].

4. البرنامج VVERHGMLC

- **الحاجة للبرنامج VVERHGMLC**

تنبع الحاجة لتطوير البرنامج VVERHGMLC من الصعوبات المرافقة لاستثمار الإصدارات المتوافرة محلياً من الكودين MCNP وGETERA، وعدم قدرة الإصدارات المتوافرة من الكود MCNP على إجراء حسابات الاستحراق والحاجة لتنفيذها عبر كود آخر مثل كود GETERA الذي يحتاج بدوره إلى برنامج آخر مثل NRFLC لتوصيف أثر موقع الحزمة في مواصفات استحراق الوقود فيها وخصائصه وحساب حصة إطلاق

الطاقة من الحزمة في كل شوط وفقاً لمخطط تحميل الوقود، وتتجلى الصعوبات المرافقة لتشغيل كل من هذه الكودات في ثلاث نقاط أساسية:

1. صعوبات تتعلق ببناء ملف الدخل للتطبيق
2. صعوبات تتعلق بتشغيل بيئة التطبيق
3. صعوبات تتعلق بقراءة ملف خرج التطبيق واستنتاج البيانات منه ومعالجتها.

أولا : الصعوبات المتعلقة ببناء ملف الدخل:

يعتمد ملف دخل الكود MCNP والكود GETERA على توصيف الشكل الهندسي للمنظومة المدروسة عبر تحديد معادلات السطوح التي تحد عناصر المنظومة وأجزاءها (سطوح مستوية أو منحنية أو ..) وتعريف أجزاء المنظومة كخلايا تنتج عن تقاطع السطوح سابقة الذكر، ثم تحديد خصائص الخلايا عبر تعريف نوع المواد التي تتكون منها وتركيز النظائر الداخلة في هذه المواد، ومن ثم تحديد نوع البيانات المطلوب حسابها عبر كلمات مفتاحية معرّفة للكودين وتحديد الخلايا التي ستُنفّذ هذه الحسابات ضمنها.

ولذلك يستلزم توصيف أي نموذج معرفة المستخدم بعلوم الرسم الهندسي لإمكانية بناء تصور للمنظومة ومحاولة توصيفها وهذا مستصعب على كثير من غير المختصين إذْ تتطلب بعض المنظومات المعقدة ضرورة تنفيذ رسوم ورقية وحسابات لمعرفة الخصائص الرقمية للسطوح (معادلات سطوح) للعمل على نقلها إلى الحاسب، وهنا يكمن العديد من الأخطاء العقبات التي يمكن أن يتعرض لها المستخدم:

1. الحسابات اللازمة لمعرفة المعادلات وخاصة للسطوح المنحنية أو المستويات المائلة وذلك يستهلك كثيراً من الوقت خاصة في حال تعقيد المنظومة المدروسة.
2. الاحتمالية العالية للخطأ في الحساب أو في نقل الأرقام إلى ملف الدخل دون وجود أي تنبيه أو إشارة مباشرة للإعلام بالخطأ أو ملاحظته إلا بعد التشغيل، كما أن بعض الأخطاء لا يمكن اكتشافها بسهولة حتى بعد التشغيل إذا كانت البنية معقدة.
3. ضرورة تنفيذ تغييرات كبيرة في بنى ملف الدخل كلّه عند تغير خصائص المنظومة المدروسة، أو محاولة تنفيذ دراسات تجريبية تكرارية على هذه البنية، فمثلاً من أجل المفاعل VVER-1000:

i) الصعوبات المتعلقة بتصميم ملف الدخل للكود GETERA من أجل المفاعل VVER-1000:

يمكن تصنيف الصعوبات المتعلقة ببناء ملف الدخل بتنفيذ الحسابات الضرورية لمعرفة كل مما يأتي عند كل تغيير في بنية المنظومة وإدخالها ضمن ملف الدخل:

§ تحديد أبعاد الخلية المكافئة عند أي تعديل في تصميم أبعاد البنية.

§ حساب التركيب النظيري لمكونات الوقود عند أي تعديل في تخصيب الوقود أو استخدام ماص صلب، وحالات كون هذا الماص مخصباً أم غير مخصب التي تعدُّ من الحسابات المستهلكة للجهد والوقت.

§ إعادة توصيف درجة الحرارة للمكونات ضمن ملف الدخل عند إجراء أي تعديل على خصائص التشغيل.

§ حساب مصفوفة توزع القضبان التي تعبر عن شكل توزع قضبان الوقود الحاوية على الماص ضمن الحزمة، وكذلك في حال كانت الحزمة تحتوي على قضبان بنسب إغناء وقود مختلفة. وتعدُّ هذه العملية من أصعب المراحل وأكثرها استهلاكاً للجهد والوقت عند إعداد ملف الدخل، ويجب إعادة حسابها واستبدالها عند أي تغيير في هندسة المنظومة.

§ توصيف خطوة استحراق الوقود وخصائص بيئة تشغيل الحزمة وتحديد الخلايا التي ستُنفّذ حسابات الاستحراق ضمنها، وتحديد أي معامل آخر يُراد حسابه

§ ضرورة ترتيب هذه البيانات كلّها وكتابتها ضمن بيئة ملف المفكرة وفق التنسيق الذي يفهمه الكود دون وجود أي أدوات مساعدة لإدخال هذه البيانات، وترتيب الأخطاء وكشفها في نقلها أو كتابتها، فضلاً عن ضرورة وجود خبرة في طريقة تنسيق ملف الدخل الذي يفهمه الكود.

ii) الصعوبات المتعلقة بتصميم ملف الدخل للكود MCNP من أجل المفاعل VVER-1000:

§ يتكون ملف الدخل للكود MCNP من ثلاث بطاقات (بطاقة الخلايا وبطاقة السطوح وبطاقة المواد والحسابات المراد تنفيذها) تُرمّز الخلايا عبر أرقام تدل على بيانات كل خلية ضمن هذه البطاقات وفق قواعد ورموزات معينة يُبنى ملف الدخل وفقها، وهذا ما يتيح إمكانية كبيرة لحدوث أخطاء في بناء ملف الدخل وخاصة في حال تغيير أي من بيانات المنظومة مثل (درجة حرارة الوقود والمهدئ، ونوع الحزم المستخدمة، وتخصيب الوقود والماص ووجود أكثر من تخصيب للوقود ضمن الحزمة، ونوع المواد المستخدمة في تصميم البنية الإنشائية للحزم، وتعديل الأبعاد الهندسية للحزم والوقود، وتوزع أنواع حزم الوقود ضمن القلب (مخطط التحميل)، ونوع وجود المقاييس وموقعها وعقد الحساب). ويستلزم تنفيذ أي من هذه التغيرات إعادة تعديل كامل ملف الدخل والترميزات الرقمية المعبرة عن هذه التعديلات ويمكن تخيل حجم صعوبة هذه المهمة إذا أشرنا إلى أن حجم ملف الدخل للحالة المدروسة يزيد على 3800 سطر يجب إعادة صياغة معظمها من أجل تنفيذ أي من التعديلات السابقة، ولاسيّما تعديل توزيع الحزم داخل القلب لتصميم مخطط التحميل إذْ يستلزم تنفيذ التعديلات في كل سطور ملف الدخل تقريباً.

§ وجود قواعد محددة لبناء ملف الدخل وتوصيف خصائص الخلايا وارتباطها ببعضها بعضاً، وأهمية كل منها ولاسيّما ضمن البنى التكرارية مثل المفاعلات التي تحتاج إلى مختصين بمهارة عالية لاستخدامها للوصول إلى توصيف سليم للمفاعل، وأي تغيير ممَّا أشير إليه سابقاً سيحتاج إلى إعادة صياغة الملف كله وخاصة عند تغير نوع الحزمة (TVS OR TVSA) إذْ يوجد اختلاف جذري في توصيف نوعي الحزمة بلغة الكود MCNP.

§ استيراد تركيز النظائر للوقود وفقاً لتاريخ استحراقها ضمن القلب من خرج الكود GETERA وإدخاله في ملف الدخل وفق التنسيق الذي يفهمه كود MCNP وتبعاً لموقع الحزمة ضمن مخطط التحميل وعدد أشواط استخدامها وربطه بخصائص مكتبات الكود وتغيرات درجة حرارة القلب التي تجري الدراسة عندها. وهذه أيضاً مهمات صعبة تحتاج إلى إمكانيات ووقت كبير جداً لا يمكن تنفيذها في الشكل التقليدي ولاسيّما عند محاولة تكرار الدراسة عدداً كبيراً من المرات مثل دراسات أمثلة ترتيب الحزم داخل القلب لتصميم مخطط التحميل التي تحتاج إلى تكرار الدراسة من رتبة تراتيب عدد حزم الوقود.

§ توصيف عقد الحساب المراد حسابها إذْ يجب توصيف التسلسل الهرمي لانتماء الخلية إلى القلب عبر استخدام ترميزاتها الرقمية وفق قواعد كتابة عقد الحسابات في MCNP، ويتغير تنسيق كتابة عقد الحسابات عند إجراء أي من التغيرات السابقة ولاسيّما تغيير مخطط التحميل أو نوع الحزم، وعندها يجب إعادة صياغة عقد الحسابات بشكل كامل.

ثانيا: الصعوبات المتعلقة ببيئة عمل التطبيق:

في الطريقة التقليدية يُبنى ملف الدخل للكود في بيئة تطبيق آخر مستقل من نوع محررات النصوص (مثل محرر المفكرة)، ثم ينقل الملف المكتوب إلى مجلد الكود(GETERA أو MCNP) وتُغيَّرُ لاحقة الملف (txt.؟؟؟)، ثم يُشغَّل الملف عبر واجهة MSDOS وهنا يمكن تمييز الصعوبات الآتية:

a. تعدُّ عملية تشغيل الكود ضمن واجهة MSDOS عملية صعبة على كثير من المستخدمين الحاليين الذين اعتادوا على استخدام الواجهات الرسومية المطورة التي تميزت بها التطبيقات الحديثة كلّها التي ابتعدت عن استخدام الأوامر المكتوبة.

b. نظراً إلى أن معالج المفكرة مستقل عن الملف التنفيذي للكود فهو لا يقدم للمستخدم أي مساعدة أو توجيه في شروط كتابة ملف الدخل، ولا تظهر الأخطاء إلا بعد نقل الملف إلى مجلد التطبيق ومحاولة تشغيله؛ ممَّا يجبر المستخدم على تكرار مراحل التشغيل عند كل تعديل على ملف الدخل حتى يتم تنقيح الملف من الأخطاء، ومن أكثر الأخطاء الشائعة (أخطاء في صياغة بنية الملف وشروط كتابته والرموز المستخدمة في بيئة كل كود،

وشروط مراقبة عدد المحارف في السطر، وبنية كتابة السطر التي تلقي على عاتق المستخدم حملاً إضافياً يتمثل في الانتباه إلى هذه الأخطاء التي يمكن أن يقع فيها).

c. عملية التشغيل وصعوباتها المتمثلة فيما يأتي:

• ضرورة وجود خبرة عند المستخدم بنظام التشغيل للتمكن من نقل الملف المكتوب بالمفكرة إلى مجلد التطبيق وتغيير لاحقته.

• معرفة المستخدم بطرائق تشغيل موجه الأوامر وآليات التعامل معه وكيفية الوصول إلى مجلد MCNP وتشغيل ملف الدخل (أوامر تغيير المسار والتشغيل) إذْ يعتمد معظم الأكاديمين الذين يتعاملون مع الكود على إرشادات الملف C701 المرفق مع الكود والذي اقتصر على طرائق بسيطة فقط في آلية تشغيل الكود في هذه البيئة دون عرض التعليمات الأخرى المستخدمة في بيئة MS DOS التي ربَّما تكون أكثر سرعة وديناميكية في العمل مع هذه البيئة (مثل أوامر تغيير المسار عبر عدة مراحل التي يمكن تنفذها أحياناً بسرعة أكبر بتعليمات أخرى)

• من أجل الكود MCNP بعد تشغيل الملف (هناك حالتان للتشغيل تعليمة الرسم وتعليمة تنفيذ الحساب)

PLOT= … Directory….MCNP4C2> mcnp ip i=FILE NAME .inp *

RUN =… Directory… MCNP4C2> mcnp i=FILE NAME .inp

فستتولد ملفات خرج مرتبطة باسم ملف الدخل في مجلد الكود MCNP ولا يتاح للمستخدم إعادة تنفيذ أي تعليمة إلا بعد البحث عن ملفات الخرج الناتجة وحذفها مما يستلزم معرفة المستخدم بأنماط ملفات الخرج كلّها التي يمكن أن تنتج والعمل على البحث عنها بعد كل تشغيل وحذفها ليتاح تنفيذ أوامر جديدة؛ وتسبب هذه العملية للمستخدم إشكاليات أخرى مثل احتمالية حذف أحد ملفات التطبيق MCNP4C2 الموجودة في المجلد نفسه فضلاً عن الوقت والجهد المصروف في البحث عن هذه الملفات وحذفها.

• يعمد بعض المستخدمين إلى تغيير اسم ملف الدخل في كل مرة يعدَّل ملف الدخل فيها لتجنب ضرورة حذف ملفات الخرج، ممَّا يراكم مئات ملفات الخرج في مجلد التطبيق، وهذا يلاحظ على معظم حواسيب المشغلين، وهذا يعكس عدداً من الآثار السلبية على المستخدم من حيث إمكانية تعارض الملف الذي يقوم المستخدم بإنشائه مع ملف شُغّل سابقاً على الكود، ولا تزال ملفات الخرج الخاصة به على مجلد التطبيق؛ ممَّا يعطي رسالة خطأ، كما أن بقاء ملفات الخرج على الحاسب يبقي نتائج العمل معرضة للتسرب ومتاحة لأي شخص يمكنه الدخول إلى الحاسب.

ثالثاً: صعوبات تتعلق بقراءة ملف خرج التطبيق واستنتاج البيانات منه ومعالجتها

ينتج عن تشغيل ملفات الدخل ضمن بيئة الكودين ملفات خرج من نوع الملف النصي الذي يحتاج إلى خبرة عالية من قبل المستخدم ليتمكن من قراءته وفهم محتواه واستخراج البيانات الرقمية منه ومعالجتها ضمن بيئة تطبيق آخر مثل M.S Excel لتُنفّذ العمليات على النتائج وترسم المخططات وتُنفّذ المقارنات وغيرها؛ مما يتطلبه الوصول إلى النتيجة المطلوبة. ويقوم بعض المستخدمين بنسخ هذه النتائج إلى بيئة اكسل رقماً تلو الآخر، وهذا ما يمكن وصفه بالمستحيل إذا كان حجم النتائج كبيراً مثل مسألة محاكاة تشغيل المفاعلات النووية. كما أن عملية استخراج البيانات من خرج الكود GETERA الذي يتجاوز حجمه 23400 سطر وتحويلها إلى تنسيق ملف دخل MCNP لتوصيف بطاقة المواد لحزم القلب بحسب تاريخ استحراقها تتطلب مستوىً عالياً من الجهد والوقت والدقة مع الاحتمال العالي للوقوع بأخطاء تؤثر في النتائج وتوصلنا إلى نتائج خطأ دون وجود أدوات تنبيه للوقوع بمثل هذه الأخطاء.

أمَّا بالنسبة إلى خرج ملف MCNP الذي يتجاوز حجمه للحالة المدروسة 113400 سطر، فمن المؤكد أن البحث ضمنه عما يقارب 21800 قيمة ونقلها بالطرائق التقليدية إلى ملف اكسل لمعالجتها واستنتاج البيانات منها ورسم المخططات المعبرة يمكن وصفه بالمستحيل ولاسيّما إذا كان سيقرأ عدداً كبيراً من ملفات الخرج بمقدار عدد حالات التشغيل الموافقة لقيمة تراتيب عدد حزم الوقود في حالات دراسة أمثلة مخطط تحميل الوقود.

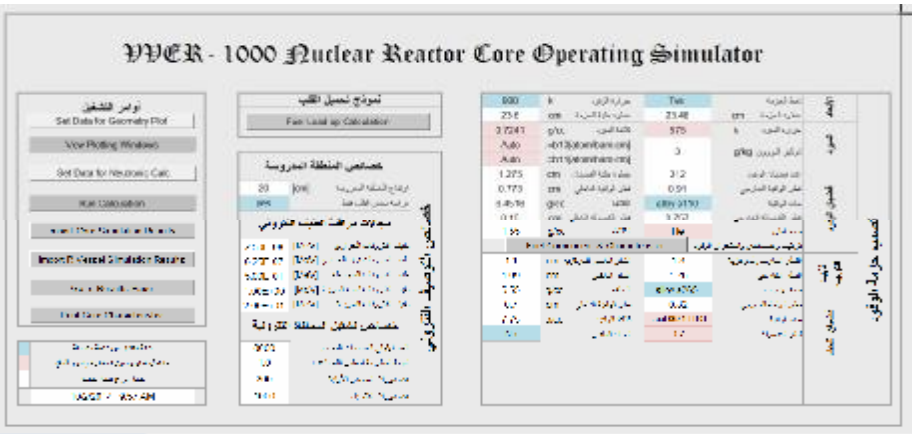
وفي ضوء الصعوبات التي لُخّصتْ فيما سبق جرى العمل على تطوير برنامج يساعد على تذليل الصعوبات والإشكاليات السابقة الذكر كلّها ويؤمن بيئة تخاطبية عالية القدرة على تنفيذ المتطلبات السابقة، وتربط بين الكودات سابقة الذكر، وتؤمن للمستخدم التعامل مع هذه الكودات وبناء ملفات الدخل وتعديلها وتشغيلها وقراءة النتائج ومعالجتها دون الحاجة للتعامل المباشر مع ملفات الكودات، وإنما عبر الواجهة الرسومية للكود VVERHGLC الذي بُني ليلبي هذه المتطلبات.

o إمكانيات البرنامج VVERHGMLC

سنعمل على شرح إمكانيات البرنامج VVERHGMLC باعتماد المعاملات التصميمية للمفاعل VVER 1000 [13-17] [1A] إذْ سيجري التعريف بالواجهات الأساسية لبيئة البرنامج. فبعد تنشيط اختصار HGFVKHL[من على سطح المكتب ستظهر الواجهة الرئيسة وفق الشكل(2) التي تحتوي على اسم البرنامج واسم المؤلف وشعار الجهات العلمية الراعية.

الشكل (2) الواجهة الرئيسة للبرنامج VVERHGMLC

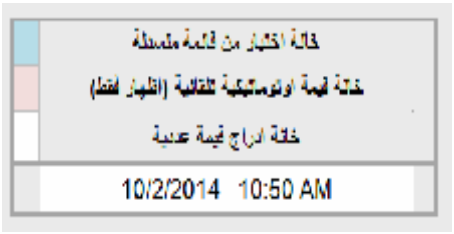
وتتيح الواجهة الرئيسية ثلاثة أوامر، وهي الخروج من البرنامج عبـــر الـــزر (Exit) ومعلومات المصمم (About Author) وتشغيل البرنامج عبر الزر (Run) الذي سيجري عند تفعيله تحميل التطبيق وستظهر الصفحة الرئيسة (Home Page) الشكل(3).



الشكل (3) الصفحة الرئيسة لبيانات المحاكي

وتتكون هذه الواجهة من خمسة مربعات أساسية، وهي:

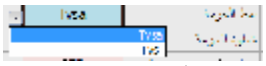
a) مربع بيانات تصميم حزمة الوقود.
b) مربع نموذج تحميل القلب.
c) مربع خصائص التوصيف النتروني.
d) مربع أوامر التشغيل.
e) مربع المساعدة: الذي يظهر مدلول كل لون يظهر في الصفحة الرئيسة :

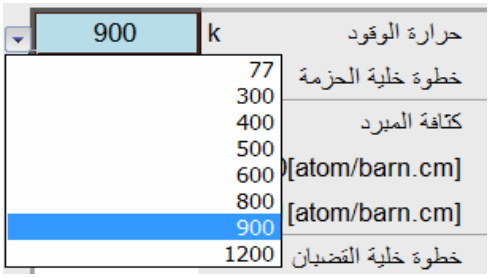


إذْ يدل اللون الأزرق على خانة اختيار من قائمة منسدلة، واللون الزهري على خانة قيمة يظهرها المحاكي بناءً على البيانات المدخلة ولا يمكن التعديل عليها، واللون الأبيض يظهر خانة إدخال القيم العددية وفقاً لرغبة المستخدم.

مربع بيانات تصميم حزمة الوقود:

تُدرجُ وتُختبرُ من خلال هذا المربع القيم الممثلة للمواصفات التصميمية والتشغيلية لحزمة الوقود بتفاصيلها كلّها، وكذلك توصَّف عبره خصائص توزع الوقود وتخصيب الوقود ضمن الحزمة، وإمكانية استخدم الماصات القابلة للاحتراق، وتُنفذ حسابات الاستحراق لكل حزمة بحسب موقعها ضمن القلب، ويُحدّد تركيز النكليدات الأساسية في وقود الحزمة بحسب تاريخ استحراقها ومواصفاته داخل القلب وتُخزّن هذه البيانات كلها في قاعدة بيانات البرنامج إذْ يمكن إظهارها كنتائج ومخططات مطبوعة، أو يمكن استخدامها لإعداد بطاقة المواد للكود MCNP بشكل تلقائي فيما بعد. ويظهر الشكل (4) صورة توضيحية لهذا المربع الذي يتألف من عدد من المربعات الفرعية مثل:

A. الأبعاد: ويُحدّد من خلاله نمط الحزمة عبر قائمة منسدلة تمكن الاختيار بين نوعين من التصميم الميكانيكي للحزمة  ومن ثم تحديد درجة الحرارة التي ستُنفّذ المحاكاة عندها، وذلك أيضاً عبر قائمة منسدلة تُختبر من خلالها درجات الحرارة التي تلائم مكتبات المقاطع العرضية التي زُوّدَ المحاكي بها.[1]



[1] اختيرت وأُمّنت مكتبات المقاطع العرضية للنكليدات بحيث تؤمن للمستثمر تنفيذ حسابات التشغيل عند عدة مستويات للطاقة، وكذلك محاكاة القلب على البارد ومحاكاة إقلاع إطفاء القلب

وتُدرج أيضاً قيمة خطوة الحزمة (بعد الحزمة على المفتاح) وخطوة خلية الحزمة ضمن القلب.

تصميم حزمة الوقود	الأبعاد	خطوة الحزمة	cm	23.40	خطوة خلية الحزمة	cm	23.6
	المبرد	درجة حرارة المبرد	k	575	كثافة المبرد	g/cc	0.7211
		تركيز البورون	g/kg	3	-b10[atom/barn cm]		Auto
					-b11[atom/barn cm]		Auto
	قضبان الوقود	عدد قضبان الوقود		312	سماكة علبة القضبان	cm	1.275
		قطر الواقية الخارجي		0.91	قطر الواقية الداخلي	cm	0.773
		مادة الواقية		alloy o110	كثافة	g/cc	6.4518
		قطر الكبسولة الخارجي		0.757	قطر الكبسولة الداخلي	cm	0.15
		مادة الملء		He	كثافة	g/cc	1.55
		تركيب وخصائص المواد الوقود		Fuel Component & Characteristec			
	أنابيب التوجيه	القطر الخارجي		1.26	القطر الداخلي	cm	1.09
		مادة الأنبوب		alloy o265	كثافة	g/cc	6.55
		القطر الداخلي للمركزية		1.3	القطر الخارجي للمركزية	cm	1.1
	قضبان التحكم	قطر الواقية الخارجي		0.62	قطر الواقية الداخلي	cm	0.7
		مادة الواقية		steel 08X10I10T	كثافة الواقية	g/cc	7.75
		مادة الممتص		B4C	سماكة الواقية		yes
		تركيب الماص		منيوم	كثافة الممتص	g/cc	1.0
	الصفائح الداعمة	مادة الزوايا		alloy o265	سماكة الزوايا	cm	0.065
					الكثافة	g/cc	6.55

الشكل (4) مربع بيانات تصميم حزمة الوقود

B. المبرد: وتظهر الخانة الأولى درجة حرارة المبرد التي تتغير بشكل تلقائي وفقاً لدرجة حرارة الوقود التي يجري اختيارها، أي وفقاً للحالة التشغيلية للمفاعل، وكذلك كثافة المبرد وتركيز الماص المنحل الذي يتم أمثلة تركيزه تبعاً لحسابات استنزاف التفاعلية داخل القلب.

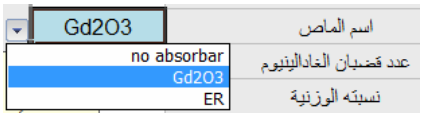
C. قضبان الوقود: يُدرج توصيف دقيق لمكونات القضيب كلّها مثل خطوة خلية القضيب والقطرين الداخلي والخارجي للواقية ونوع مادة الواقية حيث يتيح الكود اختيار مادة الواقية عبر قائمة منسدلة من بين نوعين خليطة زركونيوم وخليطة ستيل، كما يظهر مربع مساعدة يشير إلى التركيب النظيري لكل خليطه فضلاً عن توصيف القطر الخارجي والداخلي لكبسولة الوقود ومادة الملء المستخدمة حول كبسولة الوقود ضمن الواقية.

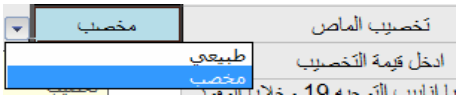
وفي أسفل هذا المربع تظهـــر خانـــة تركيب وخصائص استحراق الوقود وعند تفعيـــل زر الأمـــر المجـــاور للخانـــة

ستظهر النافذة الموضحة في الشكل (5) التي تميز الخصائص التصميمية والتشغيلية لوقود الحزمة:

الشكل (5) نافذة الخصائص التصميمية والتشغيلية لوقود الحزمة

وتُوصَّف من خلال هذه الصفحة خصائص الوقود من حيث تخصيب الوقـــود وكثافتـــه وتخصيب الوقود في القضبان المحتوية على ماص صلب في حال وجـــــوده ومواصـــفات الماص الصلب من حيث نوع الماص الصلب المستخدمة عبر خـــــانة الاختيار الموضحة

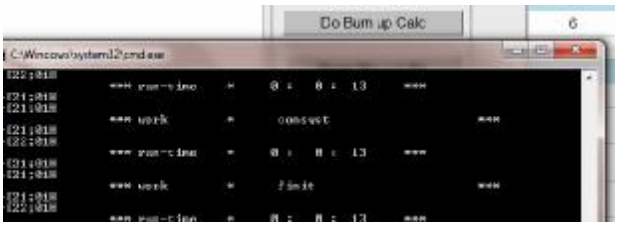




جانباً التي في حال اختيار وجـــود المـــاص الـــصلب (الغـــادولينيوم أو الأربيوم) ستتفعل خانات اختيار عـــدد قـــضبان الوقـــود المحتويـــة علـــى المـــــاص ونسبته الوزنية وتخصيبه،

وعند اختيار كون الماص مخصباً ستتفعل خانة جديدة لإدخال نسبة تخصيب المـــاص كما في الشكل جانباً. ومن أهم الحسابات التي تنجزها هذه الصفحة هو حساب مـــصفوفة

توزع الوقود في الحزمة عبر إدخال ثلاث قيم لعدد السطوح المشتركة بين خلايا قضبان (الوقود بماص، وقود مجاور لقضبان الوقود بماص، وقود غير مجاور لقضبان الوقود بماص). وتُدخلُ أيضاً خصائص تنفيذ استحراق حزمة الوقود وخطواته ضمن بيئة المفاعل. وعبر الأمر Set Burn up file من مجموعة أوامر التشغيل يُبنى ملف الدخل للكود GETERA وعبر الأمر Do Burn up Calc يُشغّلُ الكود لتنفيذ الاستحراق على ملف الدخل



كما في الشكل المجاور. أمّا الأمر Read Rho F (IB) فيقوم بقراءة ملف الخرج الناتج وتخزين تغيير قيم معامل التضاعف اللانهائي وقيم التفاعلية مع الاستحراق في قاعدة بيانات الكود. كما يظهر المخطط الموجود على هذه الصفحة نوع العلاقة بين التفاعلية الاستحراق

(انظر الشكل 5) وتظهر تحته المعادلة الواصفة لتغير التفاعلية مع الاستحراق. أمَّا زر الأمر Print Rho - F Value فيساعد المستخدم على تخزين بيانات تغير قيم التفاعلية ومعامل التضاعف اللانهائي مع الاستحراق كملف PDF يمكن حفظه للاستخدام اللاحق، وكذلك بالنسبة إلى زر الأمر Read Isotopes (IB) إذْ يمكّن من نقل تخزين بيانات تغير التركيز النظيري للأنواع الثلاثة المختلفة من قضبان الوقود في الحزمة مع تغير الاستحراق ضمن قاعدة بيانات الكود.

VVER 1000 N.R Core Calculation

8:49:29 PM 10-Feb-2014

Burn up Calculation

Rho with Burn up relation

burn up	k(inf)	rho
0.0000	0.0000	0.2037
0.0100	1.2558	0.1858
0.0199	1.2282	0.1818
0.0299	1.2222	0.1806
0.0399	1.2205	0.1802
0.0499	1.2198	0.1800
0.0997	1.2195	0.1792
0.1495	1.2183	0.1784
0.1994	1.2172	0.1777
0.2493	1.2161	0.1770
0.2991	1.2151	0.1764
0.3989	1.2141	0.1753
0.4986	1.2125	0.1744

والزر Print Isotopes Labels يمكن من طباعة هذه النتائج كملف PDF، كما يظهر في الجدول (1) إذْ يمكن تخزين هذه النتائج للعودة إليها لاحقاً.

الجدول (1) صورة لجزء من ملف البيانات الذي يتيح الكود حفظه من قبل المستخدم

VVER 1000 N.R Core Calculation

9:02:21 PM 10-Feb-2014

Core Burn up Calculation

Changeable Of Nuclide Concentration With Fuel Burn Up

A Peripheral Assembly Fuel Rod Pin
B Central Assembly Fuel Rod Pin
C Burnable Absorber Assembly Fuel Rod Pin

burn up		235U	238 U	O16	239PU	241PU	155GD	157GD	135Xe	149Sm
0.01	A	1.029E-03	2.240E-02	4.686E-02	9.772E-09	1.818E-15	1.102E-14	3.795E-11	1.219E-08	2.246E-10
	B	1.030E-03	2.240E-02	4.686E-02	3.633E-09	1.062E-16	4.453E-15	1.548E-11	7.482E-09	9.146E-11
	C	8.238E-04	2.140E-02	4.686E-02	7.569E-09	5.782E-16	2.577E-04	2.722E-04	7.306E-09	7.279E-11
0.02	A	1.029E-03	2.240E-02	4.686E-02	3.829E-08	2.932E-14	4.365E-14	7.383E-11	1.333E-08	8.581E-10
	B	1.030E-03	2.240E-02	4.686E-02	1.424E-08	1.716E-15	1.775E-14	3.068E-11	9.592E-09	3.539E-10
	C	8.237E-04	2.140E-02	4.686E-02	2.971E-08	9.423E-15	2.573E-04	2.713E-04	1.147E-08	2.848E-10
0.03	A	1.028E-03	2.240E-02	4.686E-02	8.439E-08	1.474E-13	9.723E-14	1.078E-10	1.345E-08	1.844E-09
	B	1.029E-03	2.240E-02	4.686E-02	3.140E-08	8.635E-15	3.980E-14	4.552E-11	1.019E-08	7.704E-10
	C	8.235E-04	2.140E-02	4.686E-02	6.556E-08	4.761E-14	2.570E-04	2.705E-04	1.383E-08	6.267E-10
0.04	A	1.028E-03	2.240E-02	4.686E-02	1.468E-07	4.610E-13	1.711E-13	1.401E-10	1.346E-08	3.134E-09
	B	1.029E-03	2.240E-02	4.686E-02	5.464E-08	2.702E-14	7.049E-14	8.003E-11	1.036E-08	1.325E-09
	C	8.233E-04	2.140E-02	4.686E-02	1.142E-07	1.493E-13	2.568E-04	2.697E-04	1.516E-08	1.089E-09
0.05	A	1.027E-03	2.240E-02	4.686E-02	2.243E-07	1.112E-12	2.648E-13	1.707E-10	1.346E-08	4.681E-09
	B	1.029E-03	2.240E-02	4.686E-02	8.354E-08	6.521E-14	1.097E-13	7.420E-11	1.041E-08	2.004E-09
	C	8.231E-04	2.140E-02	4.686E-02	1.746E-07	3.610E-13	2.563E-04	2.689E-04	1.592E-08	1.661E-09

كما يظهر في الجزء السفلي الأيسر من الشكل (5) إمكانية الاستعلام عن التكوين النظيري للوقود عند أي نقطة استحراق، وذلك بمجرد إدخال قيمة الاستحراق المطلوب الاستعلام عن التكوين النظيري للوقود عندها، بعد أن يكون تم تنفيذ الاستحراق على ملف الدخل للحزمة. وبذلك نكون قد استكملنا توصيف وقود الحزمة، وبالضغط على زر الأمر Home نعود إلى الصفحة الرئيسة الشكل (3) لاستكمال توصيف باقي مكونات الحزمة.

D. أنابيب التوجيه: يتيح توصيف القطر الداخلي والخارجي لأنبوبة التوجيه المركزية وباقي الأنابيب، وكذلك مادة تصنيع أنابيب التوجيه عبر خانة اختيار تقترح خلائط الزركونيوم أو الستيل.

E. قضبان التحكم: وتُوصَّف فيه بنية قضيب التحكم من حيث القطر الخارجي والداخلي لواقية القضيب ومادة الواقية، وكذلك نوع الماص المستخدم وكثافة الماص وتخصيبه وقطر كبسولة الماص وخانة اختيار لإدخال قضبان الماص في القلب أو عدم إدخالها.

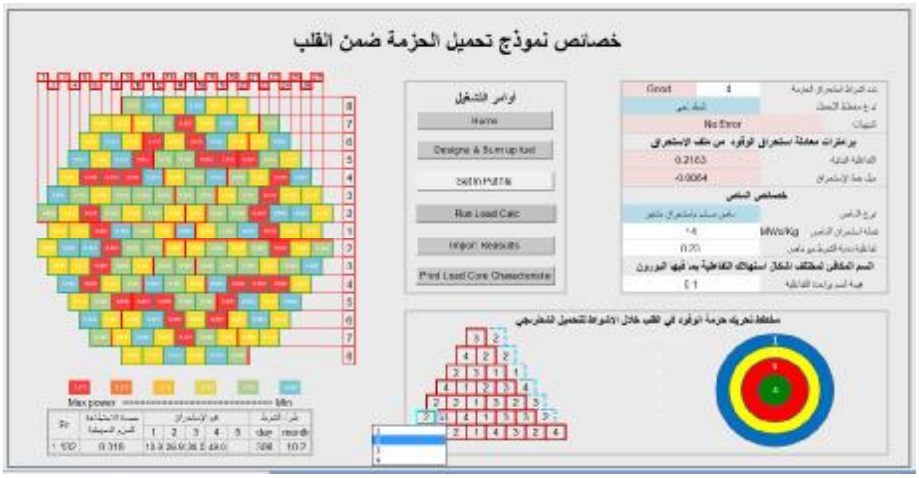
F. الصفائح الداعمة: لا تظهر مكونات هذا المربع إلا في حال اختيار نوع الحزمة من النمط TVSA في البداية، ويمكن من خلال هذا المربع توصيف عرض زوايا الصفائح الداعمة للحزمة وسماكتها، كما يمكن اختيار نوع مادة الصفائح وكثافتها.

وبذلك يكون قد وُصّفتْ مكونات حزمة الوقود الداخلة في تصميم مخطط تحميل قلب المفاعل كلّها.

i. مربع حوار نموذج تحميل القلب:

عبر تفعيل زر الأمر

في الصفحة الرئيسة ستظهر نافذة خصائص نموذج تحميل الحزمة ضمن القلب المبينة بالشكل (6).



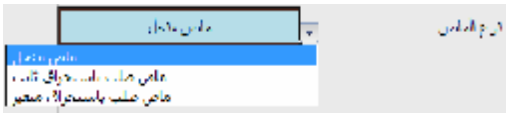
الشكل (6) نافذة خصائص نموذج تحميل الحزمة ضمن القلب

وتُوصّف عبر هذه الصفحة خصائص تجميع الحزم لتشكيل القلب، وكما يتضح من الشكل (6) يمكن للمستخدم تحديد عدد أشواط استحراق الحزمة داخل القلب عبر خانة "عدد أشواط استحراق الحزمة"، ثم يحدد نوع مخطط التحميل عبر خانة الاختيار"نوع مخطط التحميل" الموضحة جانياً حيث إذا اختير نوع التحميل "شطرنجياً" فسيظهر في أسفل الشكل(6) مربع يسمى "مخطط تحريك حزمة الوقود في القلب خلال الأشواط للتحميل الشطرنجي"

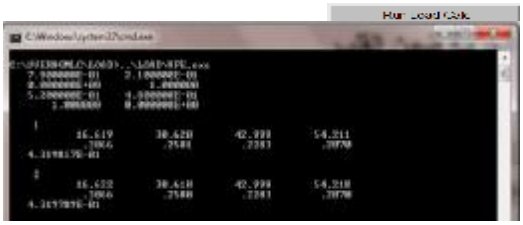
ويمكن من خلاله تحديد كيفية توزع الحزم عبر سدس القلب

بحسب تاريخ استحراق الحزمة، وبالضغط على أي حزمة ستظهر قائمة منسدلة يمكن من خلالها اختيار رقم شوط الاستحراق للحزمة وفقاً لقيمة عدد الأشواط الكلي المدخلة في أعلى خانات هذه الصفحة كما يظهر في الشكل (6). أمَّا إذا اختير نوع مخطط التحميل (مناطقياً) فسيكون المربع في أسفل الشكل (6) بعنوان "مخطط تحريك حزمة الوقود في القلب خلال الأشواط للتحميل المناطقي "كما في الشكل المجاور وتُحدّد أيضاً من خلاله حركة الحزمة في القلب وفقاً لأرقام مناطق القلب وذلك عبر اختيار أرقام مناطق القلب

التي ستوجد فيها الحزمة خلال الأشواط المتعاقبة من خلال الضغط على الخانة إذْ ستظهــر قائمة منسدلة يمكن اختيار القيمة المطلوبة منها، وتُحدّد عبر خانة إظهار قيم معاملات معادلة اســتنزاف التفاعلية مع الاستحراق التي جرى استيرادها من ملف استحراق الوقــود، كمــا فــي الشكل(6).



وتُحدّد أيضاً خصائص الماص عبــر خانة اختيــار بــين ثــلاث حــالات لإستراتيجية استخدام الماص الصلب، وعند اختيار أي منها ستظهر بجوارها خانات توافق القيم المطلوبة لتنفيذ الدراســة وفــق هذه الحالة، وبعد إدخال البيانات المطلوبة يجري إعداد ملف الدخل للكود NRFLC عبر زر الأمر Set In Put file ويُشغّلُ الكود عبر زر الأمر Run Load Calc



ومن ثم يجري استيراد البيانــات إلى قاعدة بيانات الكــود عبــر الأمر Import Reasults، كما يمكن حفظ هذه النتائج وطباعتها عبــر الأمــــــــــــــــــــــــــــــــر. Print Load Core Characteriste

ويظهر في الجزء الأيسر من هذه النافذة الشكل (6) مخطط توزع الاستطاعة المحررة من حزم القلب بتدرج لوني من 6 درجات. وأسفل المخطط تظهر القيم الرقمية لخصائص إطلاق الطاقة عبر الحزم، مثل: معامل ذروة الاستطاعة القطــري، وقيمــة الاســتطاعة المحررة في الحزم المحيطية بجوار الهيكل، وقيمة الاستحراق الوسطية في نهايــة كــل شوط، وطول مدة شوط التشغيل. ويمكن العودة إلى النافــذة الرئيــسة عبــر زر الأمــر Home.

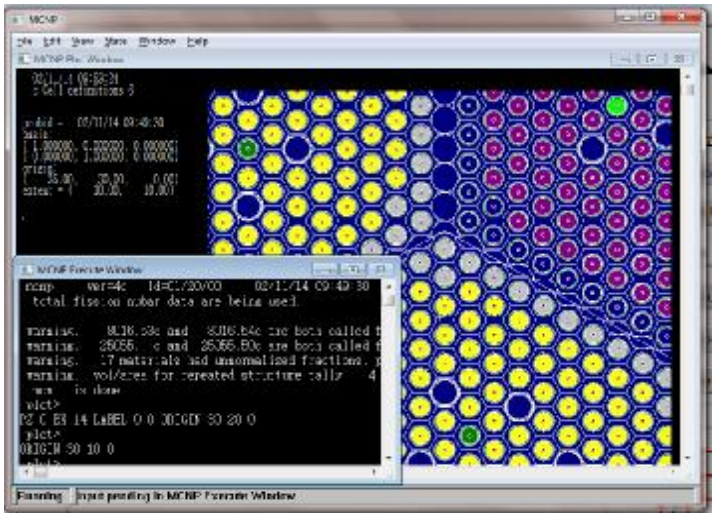
ii. مربع خصائص التوصيف النتروني

وتُحدّد عبر هذه المربع خصائص المنطقة المدروسة مثلاً سدس المفاعل كون المفاعل متناظراً، وارتفاع المنطقة المدروسة، كما يمكّن من تحديد مجالات الطيف النتروني التــي ستُخزّن نتائج عقد الحسابات وفقها، ويمكّن أيضاً من تحديد خصائص تــشغيل المحاكــاة النترونية للكود MCNP، كما في الشكل (3).

iii. مربع أوامر التشغيل:

ويحتوي على مجموعة أوامر التشغيل الآتية:

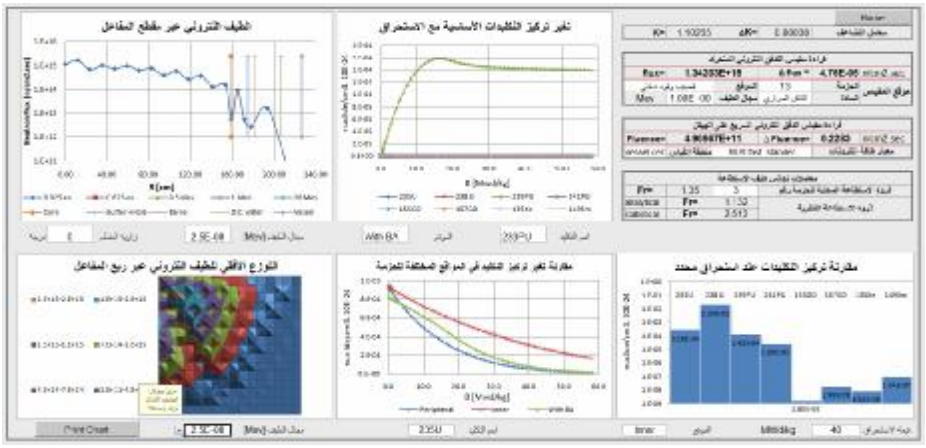
1. الأمر Set Data for Geometry Plot ويجري عبره إعداد ملف الدخل للكود MCNP لطباعة الشكل الهندسي للمنظومة ومعاينته.
2. الأمر View Plotting Windows تُفعَّلُ من خلاله تعليمة الرسم للكود MCNP التي تتيح للمستخدم معاينة البنية الهندسية التي وُصّفتْ في ملف الدخل، كما في الشكل(7).



الشكل (7) نافذة المعاينة الرسومية للبنية الهندسية للمنظومة الموصوفة في ملف دخل الكود MCNP

3. الأمر Set Data for Neutronic Calc ويجري من خلاله إعداد ملف الدخل لتشغيل الكود MCNP وتنفيذ الحسابات المطلوبة
4. الأمر Run Calculation ويجري عبره تشغيل الكود
5. الأمر Import Core Simulation Results والأمر Import R.Vessel Simulation Results ويجري من خلاله استيراد نتائج تشغيل الكود MCNP إلى قاعدة بيانات الكود VVERHGMLC، أي سيقوم من أجل سدس قلب المفاعل بالبحث عن ما يتجاوز 21800 قيمة في ملف خرج الكود MCNP ونقلها إلى قاعدة بيانات الكود VVERHGMLC حيث ستعالج.
6. الأمر Print Core Characteristec سيُطبعُ من خلاله تقرير من 10 صفحات يحتوي على البيانات والمخططات الأساسية لتشغيل القلب وفق نموذج التحميل المقترح.

7. الأمر Go to Results Page سيقوم بفتح نافذة يجري من خلالها معاينة واختيار مراقبة مختلف النتائج التي يمكن أن يحتاج إليها المستثمر، ويبيّن الشكل (8) صورة إجمالية للنافذة.



الشكل (8) صفحة معالجة نتائج المحاكاة الحاسوبية وإظهارها

كما يتضح من الشكل فإنَّ هذه النافذة تحتوي على عدد من النوافذ الفرعية التي تمكّن المستخدم من اختيار المعامل الذي يبحث عن تغيراته وإظهار قيمتها، ويمكن استعراض هذه النوافذ كما يأتي:

النافذة الفرعية الأولى: النتائج الرقمية

معامل التضاعف			
K=	1.04565	ΔK=	0.00038

قراءة مقياس التدفق النتروني المتحرك				
flux=	1.34203E+15	Δ flux =	4.76E-05	n/cm2.sec
موقع المقياس	الحزمة	13	الموقع	قضيب وقود داخلي
	المادة	الناقل الحراري	مجال الطيف	1.00E+00 Mev

قراءة مقياس التدفق النتروني السريع على النهيكل				
Fluence=	4.96967E+11	Δ Fluence=	0.2283	n/cm2.sec
معيار طاقة النترونات	RUS fast standar	منطقة القياس	Vessel cell	

معاملات تجانس طيف الاستطاعة			
ذروة الاستطاعة المحلية للحزمة رقم	3	Fr=	1.35
ذروة الاستطاعة القطرية	1.132	Fr=	analytical
	1.110	Fr=	statistical

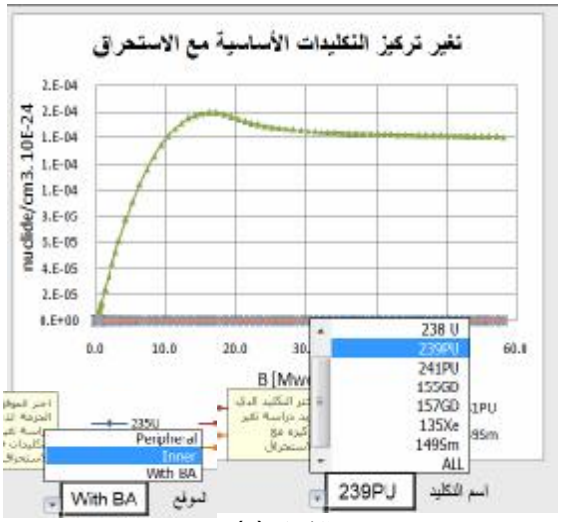
يمكن عبر الشكل الموضح جانباً معرفة قيمة معامل التضاعف للقلب، وكذلك يوجد مقياس متحرك لقراءة قيمة التدفق النتروني إذ يقوم المستخدم عبر خانات اختيار بتحديد موقع الحزمة التي يريد القياس ضمنها، وقضيب الوقود الذي يريد القياس ضمنه

(قضيب وقود بماص، محيطي، داخلي) ثم يحدد المادة داخل القضيب مثل (الوقود أو الهيليوم أو الواقية أو المبرد)، ويختار المستخدم أيضاً مجال الطيف الذي يريد القياس ضمنه فتظهر على الشاشة قيمة التدفق النتروني المطلوب.

وبالطريقة نفسها يمكن استخدام مقياس دفق النترونات السريعة على سطح الهيكل، وتتيح النافذة إمكانية اختيار المعيار الروسي أو الأمريكي للنترونات السريعة ذات الأثر الضار في الهيكل.

وتظهر في هذه النافذة أيضاً قيم معاملات ذروة الاستطاعة القطرية للقلب/ وكذلك تمكن المستخدم من معرفة قيمة ذروة الاستطاعة لأي من حزم القلب عبر اختيار رقم الحزمة التي يريد القياس ضمنها.

النافذة الفرعية الثانية: تغير تركيز النكليدات الأساسية مع الاستحراق



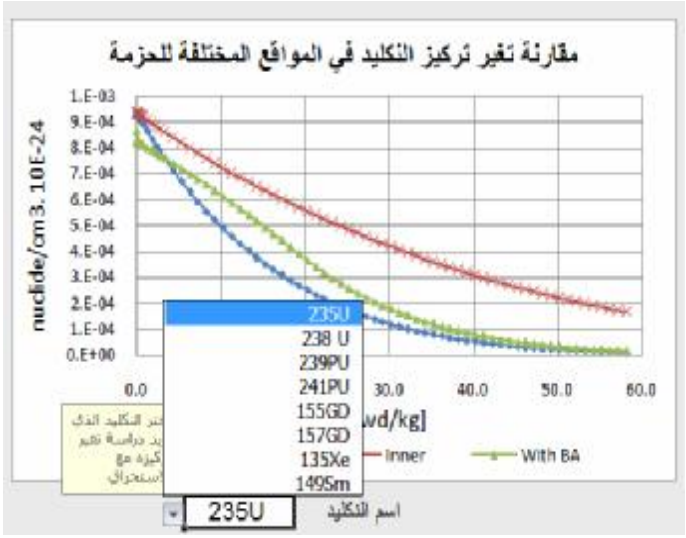
الشكل (9)
منحنى تغير تركيز النكليدات الأساسية مع الاستحراق

ويمكن من خلالها رسم مخطط يعبّر عن تغيّر تركيز النكليدات الأساسية الداخلة في تركيب الوقود مع تقدم استحراق الوقود، وذلك عبر اختيار اسم النكليد الذي نريد مراقبته عبر خانة الاختيار "اسم النكليد"، واختيار نوع قضيب الوقود داخل الحزمة الذي نريد دراسة تغير تركيز النكليد فيه عبر خانة الاختيار "الموقع" التي تتيح اختيار نوع القضيب، أهو قضيب وقود مع ماص أم قضيب وقود داخلي أم قضيب وقود محيطي؟. وكما يظهر في الشكل (9) المجاور يمكن رسم مخطط لكل نكليد على حدة أو مخطط شامل للنكليدات جميعها.

النافذة الفرعية الثالثة: مقارنة تغير تركيز النكليد في المواقع المختلفة للحزمة

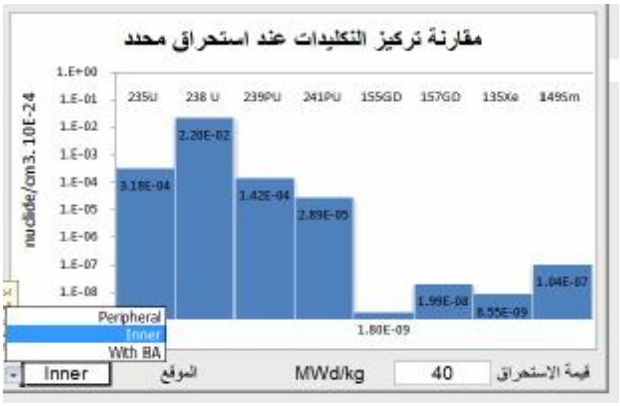
ويمكن من خلالها رسم مخطط لتغير تركيز النكليد في ثلاثة مواقع مختلفة من الحزمة، وهي الأنواع الثلاثة لقضبان الوقود في الحزمة "قضيب الوقود بماص وقضبان

الوقود الداخلية وقضبان الوقود المحيطية" ويُختار اسم النكليد الذي نريد دراسة تغيراتــه عبر خانة الاختيار "اسم النكليد" كما هو موضح في الشكل(10).



الشكل (10) منحنى تغير تركيز النكليدات في المواقع المختلفة للحزم

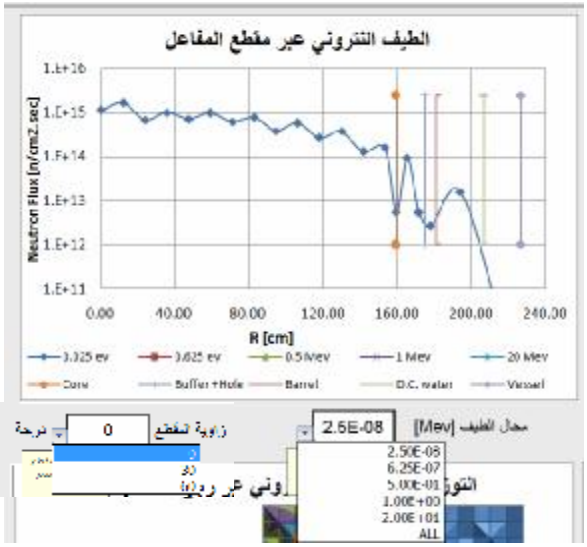
النافذة الفرعية الرابعة: مقارنة تغير تركيز النكليد في المواقع المختلفة للحزمة



الشكل (11)
تغير تركيز النكليدات ضمن المواقع المختلفة عند استحراق محدد

ويمكن من خــلال هذا المخطــط الــشكل (11) الموضح جانبــاً إظهار تركيز النكليدات الأساسية الداخلة فــي تركيب الوقــود عنــد نقطة استحراق محددة إذْ تُدرجُ عبر الخانــة "قيمة الاستحراق" قيمة الاستحراق المطلوبــة وعبر الخانة "الموقع" يمكننا تحديد نوع قضيب الوقود الذي نريد معرفة تركيز النظائر فيه عند نقطة الاستحراق المحددة.

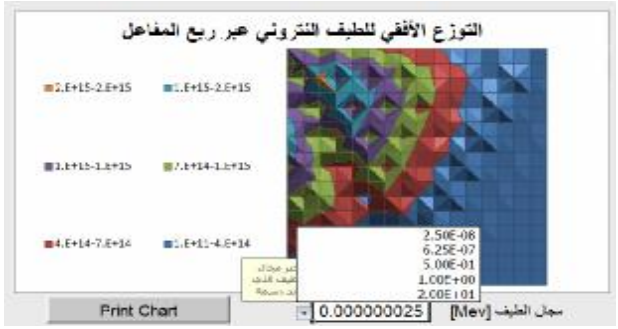
النافذة الفرعية الخامسة: الطيف النتروني عبر مقطع المفاعل



الشكل (12) توزع الطيف النيتروني عبر مقطع المفاعل

ويُرسم عبر هذه النافذة مخطط لتغير كثافة الطيف النتروني عبر مقطع المفاعل ضمن ثلاثة قطاعات زاوية من اجل سدس القلب إذ تُختار زاوية مقطع الرسم عبر الخانة "زاوية المقطع"، وكذلك يمكن اختيار مجال الطيف الذي يريد المستخدم رسم الكثافة النترونية ضمنه عبر الخانة" مجال الطيف" التي تتيح كما يظهر في الشكل (12) المجاور إمكانية رسم كل طيف على حدة أو رسم المجالات الخمسة مع بعضها بعضاً.

النافذة الفرعية السادسة: التوزع الأفقي للطيف النتروني عبر ربع المفاعل



الشكل (13) التوزع الأفقي للطيف النيتروني عبر ربع المفاعل

ويجري عبر هذه النافذة إظهار التوزع الأفقي للطيف النتروني عبر ربع المفاعل الشكل (13) إذ يُحدّد مجال الطيف النتروني الذي يريد المستخدم رسم الطيف عنده عبر خانة الاختيار "مجال الطيف"، وكذلك يمكن طباعة هذا المخطط عبر زر الأمر Print Chart ويُحفظُ للاستخدام اللاحق.ويمكن العودة إلى الصفحة الرئيسة عبر زر الأمر Home

الخلاصة والتوصيات

صُمِّمَ في هذه الدراسة برنامج حاسوبي لتنفيذ الحسابات النترونية وحسابات الاستحراق وحسابات تصميم مخطط تحميل الوقود للمفاعل الروسي VVER-1000 بحيث يساعد هذا البرنامج المستخدم على تشغيل عدد من الكودات مثل MCNP وGETERA و NRFLC عبر واجهات رسومية سهلة الاستخدام، كما يؤمن البرنامج عملية توليد ملفات الدخل لهذه الكودات وقراءة ملفات الخرج واستخراج البيانات المطلوبة منها ومعالجتها فضلاً عن إمكانية نقلها بين الكودات وفقاً لحاجة كل كود، إذْ كان يتطلب تنفيذ هذه المهام بالطريقة التقليدية كثيراً من الجهد والوقت، وربما تكون عملية تنفيذ هذه المهام بالطريقة التقليدية صعبة ومجهدة من أجل بعض البنى عالية التعقيد، أو من أجل بعض أنواع الدراسات التي تتطلب تكرار الدراسة عدداً كبيراً من المرات.

كما يمكن استثمار هذا البرنامج لأغراض تدريب الأطر في مجال الحسابات النترونية وحسابات الاستحراق والحسابات التصميمية والتشغيلية للمفاعل، ويوصى باستكمال تطوير هذا البرنامج من خلال تزويده بنافذة جديدة تتيح إمكانية محاكاة أنواع أخرى من المفاعلات النووية، مثل: مفاعلات الماء المضغوط الأوروبية (PWR).

المراجع References

[1A] أبو فاعور، حسن.، بيطار، همام.،(2007). " التصميم النتروفيزيائي التشغيلي لمفاعل طاقة حراري VVER-1000 "، جامعة حلب.، مشروع تخرج.

[2A] أبو فاعور، حسن، الأشقر. بيداء، الظواهرة. سعدو،(2012). "تطوير إمكانيات تشغيل الكود MCNP 4C2 لمستثمري الكود في الجمهورية العربية السورية"، مجلة جامعة دمشق للعلوم الأساسية، العدد الثاني

[3A] أبو فاعور، حسن، (2012). "دراسة تأثير بعض السموم المستحرقة على تركيبة الوقود للمفاعل PWR-1150 باستخدام الكود GETERA"، مجلة جامعة دمشق للعلوم الأساسية، العدد الثالث

[4A] أبو فاعور، حسن. (2012). " تأثير طرق تحميل الوقود واستخدام المواد المستحرقة على تغيرات الطيف النيتروني والزمن التشغيلي للمفاعل VVER-1000 "، جامعة دمشق. أطروحة ماجستير.

[5A] عمر، حسان. خميس، ابراهيم. (2002). " تشغيل الكودين CITATION & WIMS-D/4 باستخدام نظام التشغيل Windows"، هيئة الطاقة الذرية السورية. دراسة عملية حاسوبية.

[6A] البرهوم، محمد. (2004). "أتمتة إجراء الحسابات النترونية للمفاعل MNSR"، منشورات المؤتمر العربي السابع للاستخدام النافع للطاقة النووية.

[7A] البرهوم، محمد. زيدان، نزار. (2008). "برنامج الواجهة CITINT لاستخدام كود المفاعل ثلاثي الأبعاد CITATION"، منشورات المؤتمر العربي التاسع للاستخدام النافع للطاقة النووية.

[1]. Schneider. M., Hosokawa.K., Thomas.S., Yamagushi.Y., Hazemann. J., (2013). "The World Nuclear Industry Status Report 2013", Paris, London.

[2]. Belousov N., Bichkov S., Marchuk Y. (1992). "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, v.2, p.516–523.

[3]. John Wiley and Sons, (2004). "Nuclear Fuel Management", H. W. Graves, Jr.

[4]. Jiang, sh., (2009). "Nuclear Fuel Management Optimization Using Estimation of Distribution Algorithms", PhD Thesis, Imperial College London ,University of London, UK.

[5]. Klerk, E. De., Roos, c., Terlaky, T., Illés,T., de Jong, A. J., Valkó, J.,Hoogenboom, J.E., (1997). "Optimization of nuclear reactor reloading patterns", J.C. Baltzer AG, Science Publishers, Annals of Operations Research 69-65 – 84

[6]. Guthrie G. L., McElroy W. N., Anderson .S. L. (1982). "A Preliminary Study Of The Use Of Fuel Management Techniques For Slowing Pressure Vessel Embrittlement".4th International ASTM-EURATOM Symposium, HEDL-SA 2655 FP.14 P.

[7]. Bagnal C.W., Cavanaugh G.P. Tarko L.B. (1984). "Survey Of Vessel Flounce Reduction Techniques ".Palo Alto, California, EPRI NP-3664 .76P.

[8]. Murphy. B. B., Kravchenko, J., Lazarenko, A., Pavlovitchev, A., Sidorenko, V., Chetverikov, A., (2000). "Simulation of Low-Enriched Uranium (LEU) Burnup in Russian VVER Reactors with the HELIOS Code Package" Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee 37831-6370, DE-AC05-96OR22464.

[9]. Oak ridge national laboratory. (2008). "Rsicc Computer Code Collection MCNP4C2",ccc-701, p.o. box 2008, oak ridge, tn 37831-6362.

[10]. Selcow, E. (June 6, 2001). " README4C2.txt " LANL.

[11]. Hendricks, J. S. (30 January, 2001). "Oak Ridge National Laboratory, (2008). "Rsicc Computer Code Collection Mcnp4c2",CCC-701, P.O. Box 2008, Oak Ridge, TN 37831-6362.

[12]. Lotsch, T., Khalimonchuk, V. Kuchin. A. (2009). "Proposal Of A Benchmark For Core Burnup Calculations For A Vver-1000 Reactor Core", 19th AER symposium, BMU SR 2511 and BMU R0801504 (SR2611).

[13]. Lotsch, T., Khalimonchuk, V. Kuchin., A. (2010). "Corrections And Additions To The Proposal Of A Benchmark For Core Burnup Calculations For A Vver-1000 Reactor", 20th AER symposium, BMU SR 2511 and BMU R0801504 (SR2611).

[14]. Lotsch, T., Khalimonchuk, V. Kuchin. A. (2011). "Solutions For The Task 1 And Task 2 Of The Benchmark For Core Burnup Calculations For A Vver-1000 Reactor", 21th AER symposium, BMU SR 2511, R0801504 (SR2611) and 3611R01504-866100/09.

[15]. Enin, A., Bezborodov, Y. Pluzhnikov. D. (2009). "Improvement of VVER-1000 FA design and manufacturing techniques. The basic results of operation VVER-1000 FA made by jsc «NCCP»" 8-th international conference, Bulgaria, 27.09 – 04.10

[16]. Lunin, G., Novikov, A. Pavlov, V. Pavlovichev. A. (2000). "Development Of Four-Year Fuel Cycle Based On The Advanced Fuel Assembly With Uranium-Gadolinium Fuel And Its Implementation To The Operating Wer-1000 Units", Russian Research Centre "Kurchatov Institute", Moscow, Russia, SK01ST079.

[17]. Albarhoum, M., (2008). "Automation of the modeling and some neutronic calculation of the Syrian miniature source reactor",. Annals of Nuclear Energy, Vol 35,pp 1760-1763.

[18]. Albarhoum, M. Eid, A., Mohamad, S. (2001). "HYDMN the thermal hydraulic code for MNSR", NEA Data Bank, IAEA 1377

[19]. Albarhoum , M. Mohamad, S., (2001). "HYDMN the thermal hydraulic code for MNSR 2GWIHLIB Program Generation of 2-group Macroscopic cross section for HYDMN by WIMS code", NEA Data Bank, IAEA 1386

[20]. Albarhoum, M., (2001). "Citopp, Citmod, Ciywi (Citation Output Processing Programs) ", Nea Data Bank, Iaea 1385-1