

# دراسة إمكانية تشغيل مفاعل تاجوراء البحثي باستخدام الوقود الجديد منخفض التخصيب تحت ظروف التبريد الطبيعي

نجوى الفقيه و\* النفاثي الرويعي وفیصل أبو الطويرات

مؤسسة الطاقة الذرية - تاجوراء \* قسم الهندسة النووية، كلية الهندسة، جامعة الفاتح طرابلس

## ABSTRACT

As part of the safety requirements of research reactors it is essential to assess the possibility of operating the reactor core under natural convection conditions (without operation of the cooling circuit's pumps) and insure that all operating parameters do not exceed safe limits. This study considers the possibility of operating the Tajoura Nuclear Research Reactor (TNRR) using the new low enrichment fuel under natural cooling regime. The main aim of the present study is to evaluate the longest operation time for different reactor powers ranging from 50 kW up to 1 MW, taking into consideration that the approved criteria for the safe operation of TNRR is for the coolant temperature not to exceed 52°C and the fuel surface temperature not to exceed 102°C, whichever occurs first [1]. The results obtained in this study showed that it is possible to operate the TNRR reactor safely with the new low enrichment fuel under natural cooling conditions at a power of 5 kW for about 47 hours; at a power of 200 kW for about 10.6 hours; However, it can be operated safely only for less than 2 hours at a power of 1 MW. The results also indicated that, from the thermal hydraulics point of view, it is safer to operate the reactor with the new low enrichment fuel compared to operating it with the old high enrichment fuel.

## الملخص

تقييم متطلبات الأمان بمفاعلات الأبحاث النووية ضرورية لتشغيلها عند مستوى قدرات معينة بصورة آمنة تحت ظروف التبريد الطبيعي في حالة توقف دوائر التبريد والتأكد من عدم تجاوز ظروف التشغيل للقيم الآمنة. يتناول هذا البحث دراسة إمكانية تشغيل مفاعل بحوث تاجوراء النووي باستخدام الوقود الجديد منخفض التخصيب تحت ظروف التبريد الطبيعي وبهدف إلي تحديد أقصى زمن تشغيل للمفاعل في مدى قدرات يتراوح من 50 كيلو واط إلى 1 ميغاواط، مع الأخذ في الاعتبار أن معيار الأمان المعتمد لمفاعل تاجوراء هو عدم تجاوز درجة حرارة المبرد 52°م وعدم تجاوز درجة حرارة سطح الوقود 102°م أيهما يحدث أولاً (1). بينت نتائج هذا البحث أنه بالإمكان تشغيل مفاعل تاجوراء البحثي، باستخدام الوقود الجديد منخفض التخصيب، تحت ظروف التبريد الطبيعي بصورة آمنة بقدرة 50 كيلو واط لفترة زمنية قدرها حوالي 47 ساعة؛ وبقدرة 200 كيلو واط لفترة زمنية تبلغ حوالي 10.6 ساعة؛ بينما يمكن تشغيل المفاعل بقدرة 1 ميغاواط لفترة زمنية أقل من ساعتين. كما بينت النتائج أن تشغيل المفاعل باستخدام الوقود الجديد منخفض التخصيب أكثر أماناً، من الناحية الهيدروحرارية، من تشغيله باستخدام الوقود القديم مرتفع التخصيب.

**الكلمات المفتاحية:** مفاعل تاجوراء البحثي؛ تبريد طبيعي؛ أمان المفاعل؛ وقود عالي التخصيب؛ وقود منخفض التخصيب.

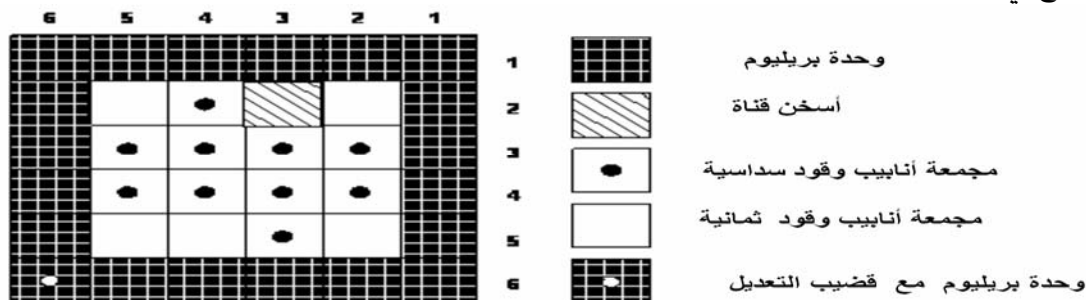
## المقدمة

مفاعل تاجوراء البحثي (TNRR) من نوع البركة مصمم بقدرة تشغيل قصوى 10 ميغاوات و يبلغ أقصى فيض نيوتروني حراري في العاكس  $2.2 \times 10^{14}$  نيوترون/سم<sup>2</sup>.ث. ويبرد المفاعل بالماء الخفيف ويستعمل البيريليوم كعاكس. تم تشغيل المفاعل باستخدام اليورانيوم عالي التخصيب كوقود منذ إنشائه في الثمانينيات من القرن الماضي وحتى نهاية سنة 2006 مسيحي. يصنع الوقود عالي التخصيب (80%) كما هو موضح بالشكل (2) من نوعين من الأنابيب المربعة المركزية المتداخلة؛ النوع الأول يصنع من ثلاثة أنابيب مربعة مركزية (3-TFA) بينما يصنع النوع الثاني من أربعة أنابيب مربعة مركزية (4-TFA). خلال سنة 2007 مسيحي تم استبدال الوقود عالي التخصيب بوقود منخفض التخصيب (20%) يصنع من نوعين من الأنابيب المربعة المركزية المتداخلة كما هو موضح بالشكل (3). يتكون النوع الأول من ستة أنابيب مربعة مركزية (6-TFA) بينما يتكون النوع الثاني من ثمانية أنابيب مربعة مركزية (8-TFA). تستعمل قضبان كربييد البورون للسيطرة على التفاعل المتسلسل ويحيط البيريليوم بالوقود كعاكس. جميع مكونات قلب المفاعل والتي تشمل الوقود والبيريليوم موضوعة في أسفل حوض المفاعل ويبلغ ارتفاع قلب المفاعل متر واحد بينما يبلغ ارتفاع مستوى الماء في حوض المفاعل حوالي ثمانية أمتار وهذا يعني أن مستوى الماء فوق قلب المفاعل يكون بارتفاع سبعة أمتار. يوجد تحت قلب المفاعل خزان مياه يعرف بخزان التأخير ويتدفق الماء، أثناء التشغيل الاعتيادي للمفاعل، تدفقا إجباريا من الأعلى إلى الأسفل خلال قلب المفاعل ومن ثم يمر عبر حوض التأخير إلى المضخات ويعود إلى حوض المفاعل. كما يوجد صماما التبريد الطبيعي يوصلان حوض المفاعل بحوض التأخير [2].

يبرد المفاعل عن طريق ثلاث دوائر تبريد، حيث تتكون دائرة التبريد الأولى من أربع مضخات وأربعة مبادلات حرارية. أثناء التشغيل الاعتيادي لقلب المفاعل، تعمل دائرة التبريد الأولى على توزيع المبرد خلال قلب المفاعل وإزالة الحرارة المتولدة فيه نتيجة للانشطار النووي ويتم انتقال الحرارة من دائرة التبريد الأولى بواسطة المبادلات الحرارية إلى دائرة التبريد الثانية. باستخدام برج للتبريد يتم التخلص من الحرارة التي تم سحبها من دائرة التبريد الثانية إلى الدائرة الثالثة عن طريق المبادلات الحرارية [2].

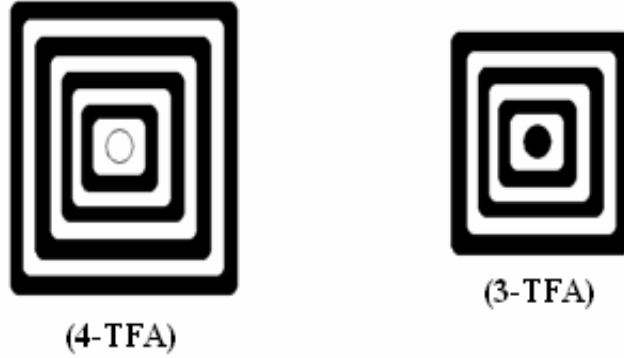
### مكونات قلب مفاعل تاجوراء

يحتوي قلب المفاعل على 36 خلية، ستّ خلايا من نوع مجمعة أنابيب وقود ثمانية وعشرة خلايا من نوع مجمعة أنابيب وقود سداسية والعشرون الباقية عبارة عن وحدات بيريليوم كما هو موضح في الشكل (1) [2].

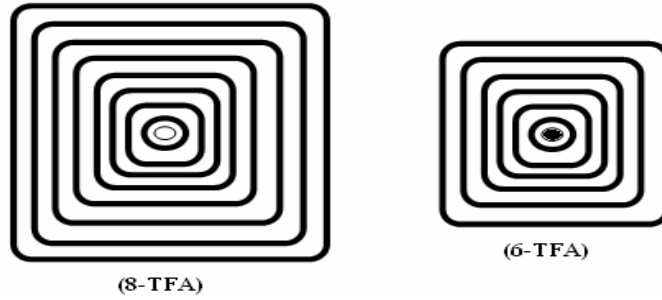


الشكل 1: قلب مفاعل تاجوراء للأبحاث محمّل بعدد 16 وحدة وقود

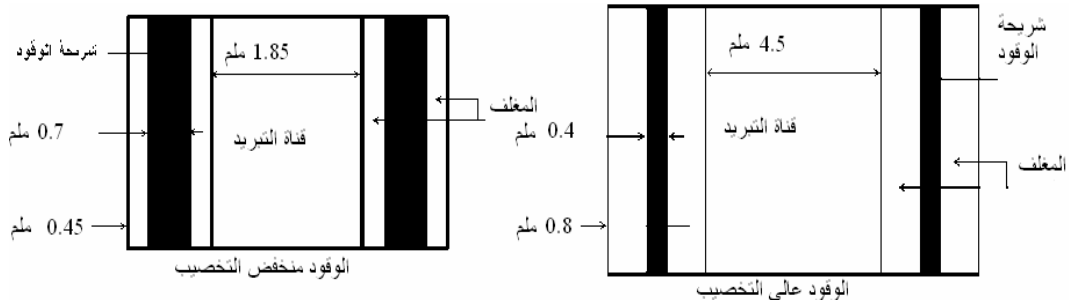
الشكل (2) يوضح خلايا الوقود عالي التخصيب بينما يوضح الشكل (3) خلايا الوقود منخفض التخصيب. شرائح الوقود عالي التخصيب عبارة عن سبيكة ألومنيوم ويورانيوم بينما شرائح الوقود منخفض التخصيب عبارة عن سبيكة ألومنيوم وأكاسيد اليورانيوم وكلاهما مغلقة بالألومنيوم حيث تمر مياه التبريد من خلال الفراغات بين الشرائح كما هو موضح في الشكل (4). [2].



الشكل 2: خلايا الوقود عالي التخصيب



الشكل 3: خلايا الوقود منخفض التخصيب



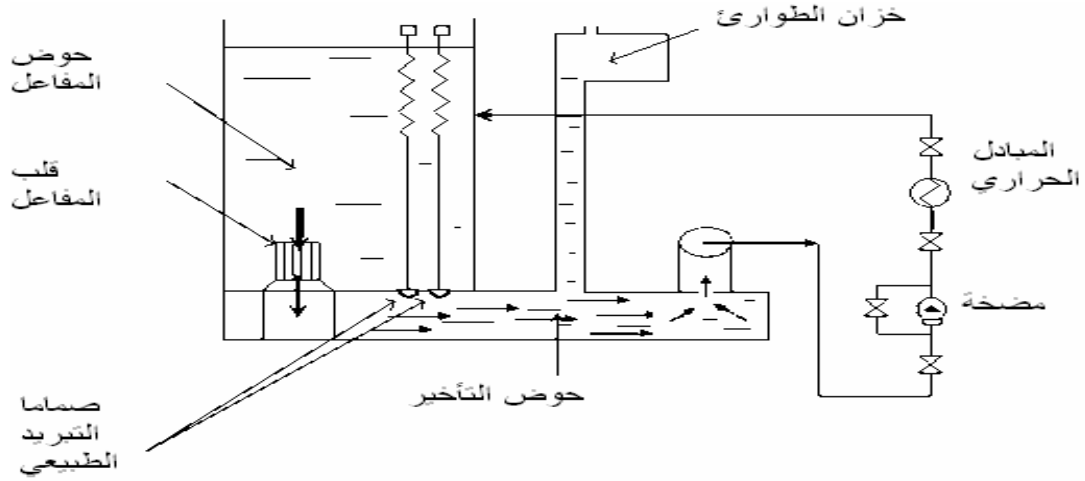
الشكل 4: شرائح الوقود وقناة التبريد

## آليات تبريد مفاعل تاجوراء للأبحاث

### آلية التبريد أثناء التشغيل الاعتيادي

أثناء التشغيل الاعتيادي للمفاعل، تعمل مضخات دائرة التبريد الأولى على توزيع المبرد خلال قلب المفاعل، حيث تتسبب عملية تشغيل المضخات في تكون منطقة ضغط سلبي تحت خزان الطوارئ ويؤدي ذلك إلى تفريغ الماء من خزان الطوارئ. تدخل كمية الماء التي خرجت من خزان

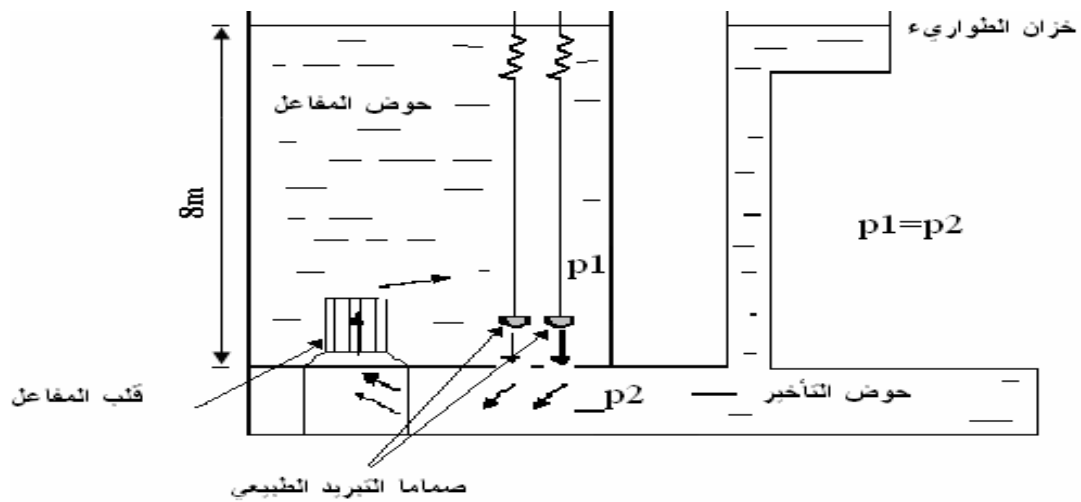
الطوارئ إلى حوض المفاعل كما هو موضح في الشكل (5). وحيث إن اتجاه الماء خلال قلب المفاعل يكون إلى الأسفل، يتدفق الماء خلال قلب المفاعل إلى حوض التأخير وبعد ذلك إلى المضخات. تدفع كل مضخة الماء إلى مبادل حراري يعمل على نقل الحرارة من الدائرة الأولى إلى الدائرة الثانية ومن ثم يعود الماء للدخول إلى قلب المفاعل مرة أخرى وهكذا تكتمل دورة التبريد [2].



الشكل 5: اتجاه التدفق أثناء التشغيل الاعتيادي للمضخات

#### آلية التبريد أثناء التشغيل تحت ظروف التبريد الطبيعي

صمامات التبريد الطبيعي التي تربط حوض المفاعل بحوض التأخير تكون مفتوحة عندما تكون مضخات دائرة التبريد الأولى متوقفة عن العمل وفي تلك اللحظة يكون مستوى الماء في حوض المفاعل مساويا لمستوى الماء في خزان الطوارئ ولا يوجد اختلاف في الضغط ( $p_1=p_2$ ) كما هو موضح في الشكل (6). التبريد الطبيعي يكون نتيجة لحركة السائل بسبب فرق قوة الجاذبية الناتج عن الفرق في الكثافة بين السائل الساخن الذي يصعد إلى أعلى والسائل البارد الذي يهبط إلى أسفل [3].



الشكل 6: صماما التبريد الطبيعي مفتوحة.

## المعالجة الرياضية والعديدية لتبريد المفاعل بالحمل الطبيعي

ينشأ التبريد الطبيعي في المنظومات الهندسية المولدة للحرارة والمبردة بالسوائل، مثل المفاعلات النووية، من حركة السائل نتيجة لتغير كثافته بسبب ارتفاع درجة حرارته لتعرضه للتسخين مما يؤدي إلى تحركه بالاتجاه العلوي وتحرك السائل البارد البعيد عن مصدر الحرارة بالاتجاه السفلي لأنه أعلى كثافة وبذلك تنشأ دورة التبريد الطبيعي [4].

أثناء تشغيل مفاعل تاجوراء للأبحاث النووية تحت ظروف التبريد الطبيعي ينساب المبرد (الماء) من حوض التأخير عبر قلب المفاعل، حيث ترتفع درجة حرارته نتيجة لانتقال الحرارة إليه من الوقود نتيجة للحرارة المتولدة من عملية الانشطار النووي داخل الوقود وبذلك ترتفع درجة حرارة الماء القريبة من سطح الوقود ويحدث اختلاف في الكثافة ينتج عنه انسياب الماء الساخن نحو الأعلى على طول سطح وحدة الوقود بينما تكون درجة حرارة الماء الموجود بعيداً عن الوقود أقل وتكون كثافته أكبر وبذلك يهبط إلى أسفل نتيجة لفرق الجاذبية.

يرتبط معامل الانتقال الحراري أثناء التبريد الطبيعي بعدد نسلت،  $Nu$ ، حيث يوجد العديد من المعادلات التجريبية التي يمكن استخدامها للحصول على عدد نسلت في حالة التبريد الطبيعي [5]. وعدد نسلت للتبريد الطبيعي دالة في عدد برنل،  $Pr$ ، وعدد جراشوف،  $Gr$ ، الذي يعطى بالعلاقة التالية:

$$Gr = \frac{g \beta (T_s - T) L^3}{\nu^2} \quad (1)$$

حيث:  $L$ : الطول الفعال لقناة التبريد ( $m$ )، و  $\nu$  اللزوجة الكيناميكية للمبرد ( $m^2/sec$ )، و  $g$  عجلة الجاذبية ( $m/sec^2$ )، و  $T_s$  درجة حرارة سطح الوقود ( $^{\circ}C$ ) التي تحسب من قانون نيوتن للتبريد و  $T$  درجة حرارة المبرد ( $^{\circ}C$ ) و  $\beta$  معامل التمدد الحراري الحجمي للمبرد ( $K^{-1}$ ) [5]. باعتبار أن انسياب المبرد مقسم إلى منطقتين؛ منطقة كاملة الطور (fully developed) وأخرى غير كاملة الطور (developing) فإنه عدد نسلت بالنسبة للانسياب غير كامل الطور يعطى بالعلاقة التالية [6]:

$$Nu_z = 0.508 Pr^{0.5} (0.952 + Pr)^{-0.25} Gr^{0.25} \quad (2)$$

أما في حالة الانسياب كامل الطور فإنه توجد عدة علاقات لإيجاد عدد نسلت من بينها علاقات تستخدم على نطاق واسع بالنسبة لقنوات التبريد، كما في الدراسة الحالية، وتعتمد على نوع الانسياب وظروفه ومن بين هذه العلاقات [6]:

$$Nu_z = 0.6 (Gr^* \times Pr)^{1/5} \quad (3)$$

وتستخدم في حالة الانسياب الرقائقي (Laminar flow) في المدى  $10^5 < Gr^* Pr < 10^{11}$ .

$$Nu_z = 0.568 (Gr^* \times Pr)^{0.22} \quad (4)$$

وتستخدم في حالة الانسياب المضطرب في المدى  $2 \times 10^{13} < Gr^* Pr < 10^{16}$  حيث  $Gr^* = Gr \times Nu_z$ .

بمعلومة معامل انتقال الحرارة على سطح الوقود  $h_s$  من الممكن إيجاد درجة حرارة سطح الوقود  $T_s$  باستخدام قانون نيوتن للتبريد [5] بدلالة الفيض الحراري السطحي  $q''$  ودرجة حرارة المبرد  $T$  على النحو التالي:

$$q'' = h_s (T_s - T) \quad (5)$$

كما يمكن إيجاد درجة حرارة الحد الفاصل بين المغلف والوقود ( $T_c$ ) بمعرفة درجة حرارة سطح الوقود،  $T_s$ ، باستخدام المعادلة التالية [7]:

$$T_c = T_s + \frac{x_c q''}{k_c} \quad (6)$$

أما أقصى درجة حرارة للوقود،  $T_m$ ، فيمكن إيجادها باستخدام العلاقة التالية:

$$T_m = T_c + \frac{x_m q''}{k_f} \quad (7)$$

حيث:  $k_c$  و  $k_f$  هما الموصلية الحرارية للمغلف والوقود على التوالي، ( $W/m - K$ )، و  $x_c$  سمك المغلف، ( $m$ )، و  $x_m$  موقع أقصى درجة حرارة للوقود، ( $m$ ).

ودرجة حرارة المبرد الخارج من قناة التبريد،  $T_{out}$ ، تعطى بالعلاقة التالية [7]:

$$T_{out} = T_{in} + \frac{Q}{\dot{m} \times c_p} \quad (8)$$

حيث:  $T_{in}$ : درجة حرارة المبرد الداخل إلى قناة التبريد،  $Q$  الحرارة المستخلصة من القناة و  $c_p$  الحرارة النوعية للمبرد و  $\dot{m}$  معدل انسياب المبرد خلال قناة التبريد (مع ملاحظة ضرورة استخدام وحدات متجانسة لجميع العوامل بالمعادلات السابقة).

يحسب مقدار تغير درجة حرارة الماء  $\Delta T(t)$  الداخل إلى قلب المفاعل على أساس متوسط درجة حرارة المبرد الموجود بحوضي التأخير والمفاعل خلال الفترة الزمنية  $\Delta t$  باستخدام العلاقات التالية [7]:

$$\Delta T(t) = - \left( \frac{Q(t)}{\rho c_p V_{WC}} \right) \times \Delta t \quad (9)$$

$$V_{WC} = V_{RP} + V_{DT} \quad (10)$$

حيث  $\Delta T = (T(t + \Delta t) - T(t))$  و  $\Delta t$  فرق الزمن ( $sec$ ) و  $Q(t)$  قدرة المفاعل و  $V_{WC}$  حجم الماء الكلي و  $V_{RP}$  حجم الماء في حوض المفاعل ( $m^3$ ) و  $V_{DT}$  حجم الماء في حوض التأخير [2]:

$$V_{WC} = V_{RP} + \frac{V_{DT}}{CF} \quad (11)$$

حيث  $CF$  هي نسبة المبرد الموجود في حوض التأخير والتي تشارك في عملية التبريد الطبيعي. بالتعويض بالمعادلات (10) و (11) في المعادلة (9) نحصل على العلاقة:

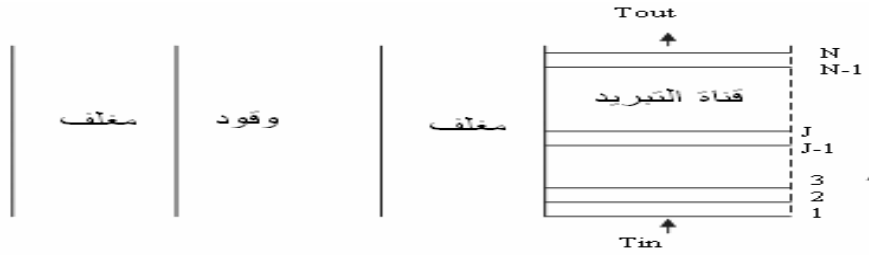
$$\Delta T = - \frac{Q(t)}{\rho c_p V_{RP} + \frac{V_{DT}}{CF}} \times \Delta t \quad (12)$$

باستخدام الحل بالطريقة التفاضلية لحالة التبريد الطبيعي لوحدة وقود مفاعل تاجوراء وباستخدام معادلات بقاء الكتلة والعزم والطاقة في الحالة غير المستقرة والانسياب الأحادي الاتجاه (z-direction) نحصل على حل عام لهذه المعادلات باستخدام طريقة الفروق المحدودة (Finite Differences) يتمثل في توزيع درجة حرارة وسرعة المبرد في قناة التبريد على النحو التالي:

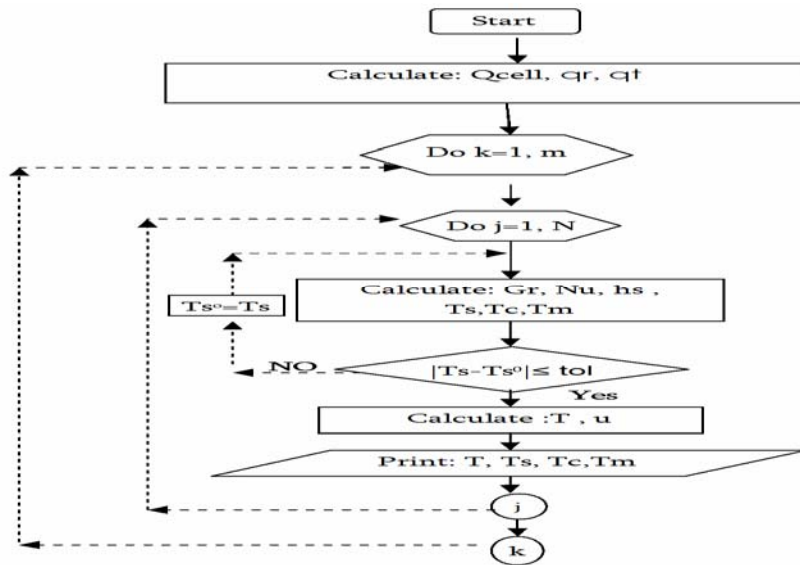
$$T_{j+1}^{k+1} = \left(1 - \frac{u_{j+1}^k \Delta t}{\Delta z}\right) T_{j+1}^k + \frac{u_{j+1}^k \Delta t}{\Delta z} T_j^k + \frac{\Delta t}{c_{p,j+1}^k \rho_{j+1}^k} q_j'' \quad (13)$$

$$u_{j+1}^{k+1} = u_{j+1}^k + g\beta \Delta t (T_s^{k+1} - T_\infty^{k+1}) - u_{j+1}^k \frac{\Delta t}{\Delta z} (u_{j+1}^k - u_j^k) \quad (14)$$

وحيث إن هذه الطريقة صريحة (Explicit) فإن استقرارها مشروط بتحقيق العلاقة:  $\Delta t \leq \Delta z / u$ . يتم حساب المتغيرات الهيدروليكية باستخدام المعادلات من (5) إلى (8) وبعد ذلك يتم تقدير قيم درجات حرارة المبرد والمغلف والوقود باستخدام برنامج حاسوب كتب لهذا الغرض بلغة الفورتران والذي يحاكي تغير العوامل الهيدرودحرارية على طول قناة التبريد للمفاعل كما هو موضح بالشكل (7) بينما يوضح الشكل (8) المخطط الانسيابي لعمل البرنامج.



الشكل 7: تقسيم قناة التبريد في الاتجاه الرأسي

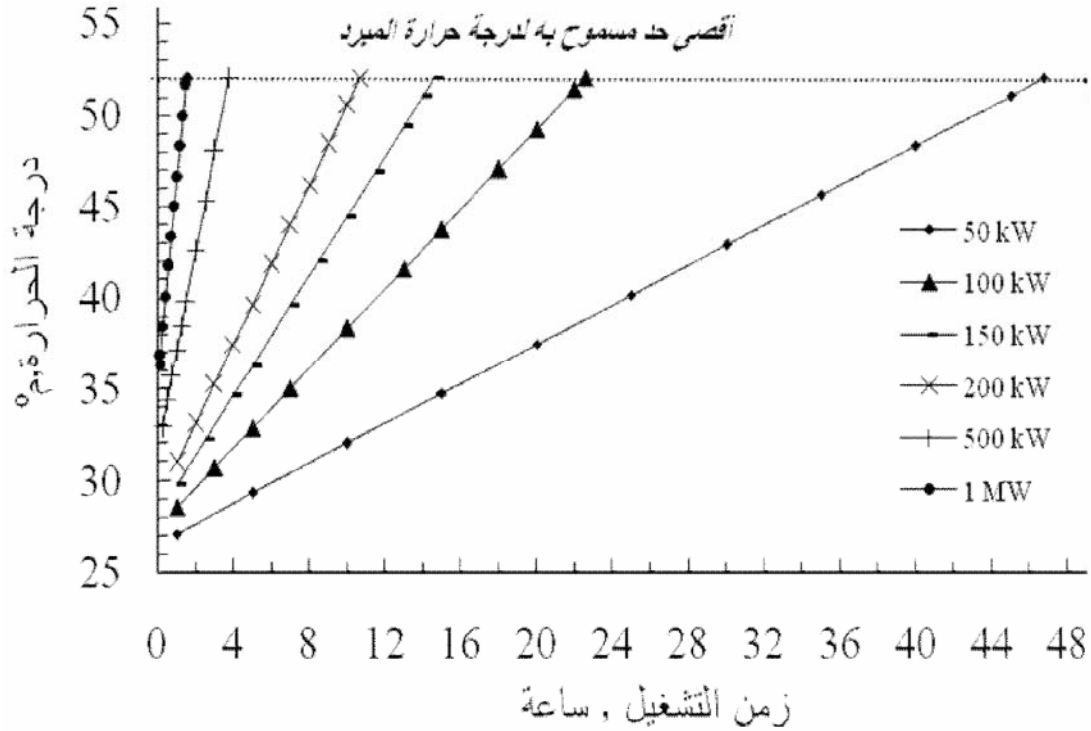


الشكل 8: المخطط الانسيابي لبرنامج الحاسوب المستخدم في التحليل

## النتائج والمناقشة

يحاكي برنامج الحاسوب الذي كتب لهذا الغرض تشغيل مفاعل تاجوراء البحثي تحت ظروف التبريد الطبيعي باستخدام الوقود القديم مرتفع التخصيب والوقود الجديد منخفض التخصيب عند قدرات مختلفة تتراوح من 50 كيلو وات إلى 1 ميجاوات. وكان المعيار الأقصى لإيقاف المحاكاة مستندا على متطلبات أمان مفاعل تاجوراء البحثي التي تنص على عدم تجاوز درجة حرارة المبرد  $52^{\circ}\text{C}$  وعدم تجاوز درجة حرارة سطح الوقود  $102^{\circ}\text{C}$  أيهما يحدث أولا [1]. وسيتم فيما يلي عرض أهم النتائج التي تم الحصول عليها أثناء تشغيل المفاعل باستخدام الوقود منخفض التخصيب ومقارنتها مع نتائج تشغيل المفاعل باستخدام الوقود القديم مرتفع التخصيب.

يعرض الشكل (9) تغير درجة حرارة المبرد الخارج من قناة التبريد مع الزمن عند تشغيل المفاعل باستخدام الوقود الجديد منخفض التخصيب بقدرات مختلفة تتراوح بين 50 و 1000 كيلو وات. من الشكل (9) يمكن الملاحظة بأنه عند قدرة 50 كيلو وات وصلت درجة حرارة المبرد الخارج من قناة تبريد المفاعل إلى  $52^{\circ}\text{C}$  بعد مرور حوالي 48 ساعة بينما كان الزمن حوالي 23 ساعة عند 100 كيلو وات وحوالي 10 ساعات عند 200 كيلو وات. بينما كان زمن التشغيل قبل أن تصل درجة حرارة المبرد الحد المسموح به أقل من الساعتين عندما كانت القدرة 1 ميجا وات.



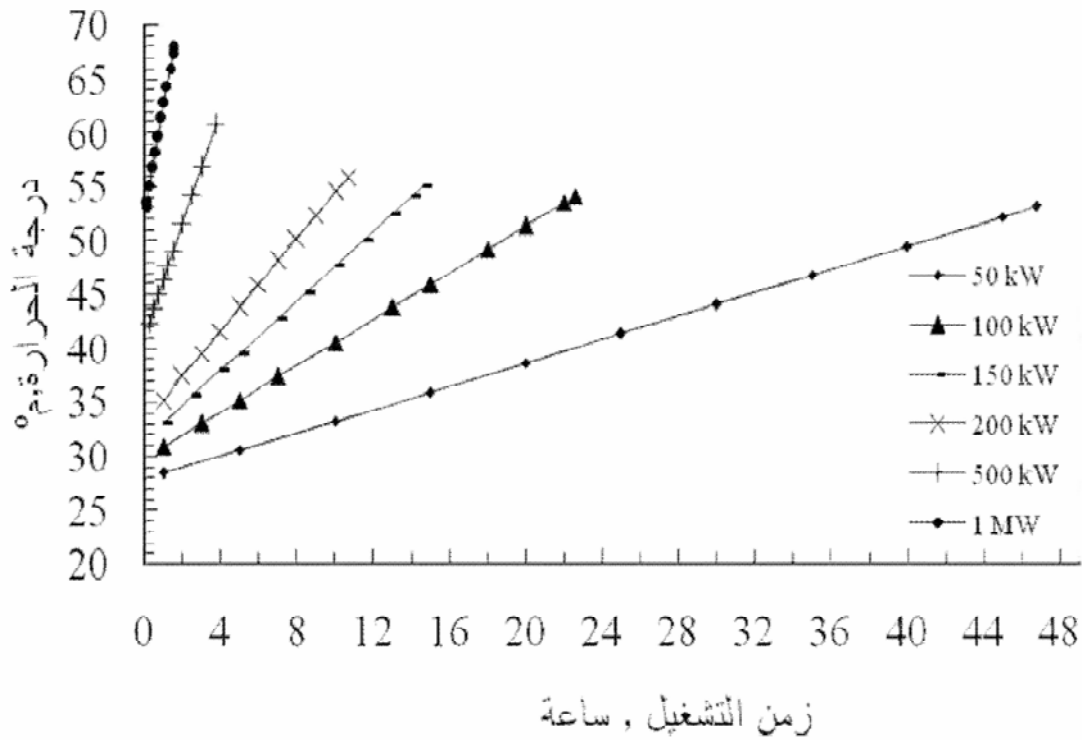
الشكل 9: تغير درجة حرارة المبرد مع الزمن في مدى قدرات مختلفة

يوضح الشكل (10) تغير أقصى درجة حرارة لسطح الوقود أثناء تشغيل المفاعل باستخدام الوقود منخفض التخصيب عند قدرات مختلفة تتراوح بين 50 كيلو وات و 1 ميجا وات. من الشكل (10) يمكن الملاحظة بأنه عند قدرة 50 كيلو وات وصلت أقصى درجة حرارة لسطح الوقود إلى حوالي  $53^{\circ}\text{C}$  بعد مرور حوالي 48 ساعة بينما كانت درجة حرارة الوقود حوالي  $68^{\circ}\text{C}$  عند قدرة تشغيل 1 ميجاوات بعد مرور أقل من ساعتين. كما نلاحظ من الشكل (10) أن إيقاف التشغيل في



حالة استخدام الوقود الجديد منخفض التخصيب نتج عن وصول درجة حرارة المبرد إلي حد الأمان المسموح به وأن درجة حرارة سطح الوقود لم تقترب من الأمان المحدد للتشغيل الآمن للمفاعل.

يبين الجدول (1) مقارنة لأهم النتائج المتحصل عليها في حالة تشغيل المفاعل بالوقود عالي التخصيب والوقود منخفض التخصيب. من الجدول (1) يتضح أن أقصى درجة حرارة للوقود منخفض التخصيب أقل من أقصى درجة حرارة للوقود عالي التخصيب عند تشغيل المفاعل بنفس القدرة وهذا بسبب أن المساحات المعرضة للتبريد في حالة الوقود منخفض التخصيب أكبر منها في الوقود عالي التخصيب مما يؤدي إلى وصول درجة حرارة المبرد إلى أقصى حد مسموح به وهو 52م° بسرعة أكبر ولهذا نجد أن زمن التشغيل في الوقود منخفض التخصيب أقل من زمن التشغيل في الوقود عالي التخصيب.



الشكل 10: تغير درجة حرارة الوقود مع الزمن في مدى قدرات مختلفة

#### الاستنتاجات

من خلال النتائج التي تم الحصول عليها في هذا البحث يمكن الوصول إلى الاستنتاجات التالية:

- توجد إمكانية لتشغيل مفاعل تاجوراء البحثي تحت ظروف التبريد الطبيعي، بصورة آمنة، دون أن تتعدى عوامل التشغيل حدود الأمان المسموح بها بقدرة تصل إلى 1 ميغا وات لفترة زمنية تصل إلى حوالي ساعة ونصف بالنسبة للوقود منخفض التخصيب و مدة تصل إلى ما يقارب الساعتين بالنسبة للوقود عالي التخصيب.

- بالرغم من أن فترة تشغيل المفاعل عند قدرة 1 ميغا وات أقل في حالة استخدام الوقود الجديد منخفض التخصيب منها في حالة الوقود القديم مرتفع التخصيب إلا أن الوقود منخفض التخصيب أكثر أماناً من ناحية التبريد حيث إن أقصى درجة حرارة للوقود عالي التخصيب أكبر من أقصى درجة حرارة للوقود المنخفض التخصيب.

الجدول 1: مقارنة لأهم النتائج عند قدرة تشغيل 1 ميغاوات

الوقود منخفض التخصيب	الوقود عالي التخصيب	عامل (ووحدة) المقارنة
20	80	نسبة التخصيب (%)
(6-TFA) و (8-TFA)	(3-TFA) و (4-TFA)	نوع أنابيب الوقود
68.10	108.55	أقصى درجة حرارة للوقود (°م)
1.53	1.92	أقصى زمن تشغيل (ساعة)

## المراجع

- [1] Tajoura Reactor Calculation Documents, Tajoura (Tripoli) Libya, 1980
- [2] Technical TNRC reactor journal and manual (private communication).
- [3] Ghanjir F.M., "Thermal- hydraulic analysis of Tajoura nuclear research centre reactor during primary loop pumps failure," M. Sc. Nuclear engineering department, Al-Fateh University, 2003.
- [4] Holman J.P., "Heat Transfer" McGraw-Hill, 1976.
- [5] El-Wakil, M. M.: "Nuclear Heat Transport", 3rd printing, International Textbook Company, Madison Wisconsin, USA, 1981.
- [6] Ecati Ozisik M., "Basic Heat Transfer" McGraw-Hill, 1977.
- [7] El-Fagaih, N. S.: Cooling of Tajoura Nuclear Research Reactor (TNRR) by Natural Convection, B.Sc. Project, Alfateh University, Faculty of Engineering, Tripoli Libya, 2005.