

## Modeling and Simulation of Fast Reactor Power Plant with Study of Neural Network Control

WAJDI M. RATEMI, O.A. AWIN and W.S. OHAIB

Nuclear Engineering Dept.  
Al Fateh University, Tripoli, LIBYA



EG0000313

### Abstract

The subject of Modeling and Simulation is considered to be as one of the effective scientific tools for understanding system behaviors as well as testing and verifying of new control methods. In this paper. We modeled a nuclear power plant with sodium cooled fast reactor. The physical modeling considers; reactor core, heat exchangers, steam drums, preheaters, piping, pumps, and valves. We simulated the plant through the control rod movements, as well as, cases of flow changes through valves opening and closure, and pumps being on and off. Most of the Industrial complexes base their control methods on the well known PID - controllers. However, many of them are developing high interest in using modern control approaches. The nuclear industry, on the other hand, is still cautious even with the availability of large theoretical studies which are performed by researchers that try to convince atomic authorities to transfer such studies to practical applications. In this work, we made study on the control of a nuclear reactor using Neural Network control. Such method has the advantage of not requiring a Knowledge of concise model of plant under investigation, it is the same advantage that is making PID- controllers quite famous and very suited for many control applications. Our complete work is developed in a computer package written in C-language. The package is developed with user friendly interface both in Arabic and in English which helps the user to browse freely through three phases, namely, preprocessor, simulation and control, and postprocessor for cross graphing analysis. Such package can be used as a tool for either a computer aide training CAT, or for computer aide learning CAL.

### خلاصة

في هذه الورقة تمت نمذجة ومحاكاة محطة قدرة نووية ذات مفاعل نووي سريع، وهذه الدراسة قد أجريت للتمكين من استخدام طرق التحكم الحديثة على مثل هذه المحطات، وبالفعل تمت دراسة مصاحبة للتحكم في قدرة المفاعل باستخدام أسلوب الشبكات العصبية. لقد تمت محاكاة مبدئية لعدد من الحالات العابرة مثل إقفال المفاعل وكذلك فضل مضخة المفاعل، وفتح صمام البخار الجانبي. لقد تم وضع هذه الدراسة في منظومة حاسوب مع تصميم واجهة مستخدم فعالة تمكن الدارس من استخدامها بيسر من خلال ثلاث أنماط وهي نمط المحاكاة ونمط التحكم ونمط تحليل البيانات ومن ثم يمكن استخدام المنظومة كأداة مساعدة للتعليم CAL أو كأداة مساعدة للتدريب . CAT

عاجلاً أم أجلاً على الدول العربية من تبني استخدام محطات القدرة النووية كمصدر مساند لمصادر الطاقة الأخرى المستخدمة، ولعل فرنسا تعد المثل في استخدام الطاقة النووية كمصدر أساسي بدون منازع لتوفير احتياجاتها من الطاقة حيث تمثل الطاقة النووية نسبة 80% من مجمل إحتياج دولة فرنسا من الطاقة. ونظراً لأن الوقود النووي أيضاً قابل للنفاد، فإن فرنسا أيضاً تعد رائدة في تصميم مفاعلات المولدات السريعة Fast Breeder Reactors، ولعل مفاعلات فينيكس تعد أحد الأمثلة، حيث يمكن في هذه المفاعلات من إنتاج وقود نووي أكثر من المستخدم وبالتالي يمكن أن نزيد فعلياً من رصيد الوقود المتاح لتوليد الطاقة. كما أن تعثر برنامج هذا النوع من المفاعلات حالياً لا يعني عدم عودة الإهتمام بها في المستقبل .

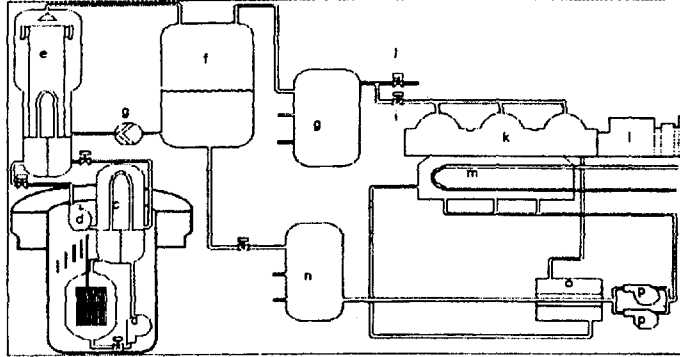
ونظراً لأن أسلوب النمذجة والمحاكاة يعد من أهم الأساليب لتصميم ودراسة النظم مع إمكانية تجريب أنظمة تحكم حديثة واختبارها وأيضاً لاكتساب الخبرة اللازمة حتى يمكن التعامل مع النظام الفيزيائي الفعلي. ونظراً لما تتميز به مفاعلات الفلز السائل المتقدمة Advanced Liquid Metal Reactor من خصائص الأمان المستترة Passive safety وكذلك الميزات التشغيلية [1]، فقد تم في هذه الدراسة اختيار نمذجة ومحاكاة محطة قدرة نووية ذات مفاعل نووي سريع، بحيث صمم العمل في منظومة ذات واجهة مستخدم User Interface ميسرة تؤهل الدارس من اكتساب خبرة التشغيل وكذلك تحليل بيانات المحاكاة المُجرأة، كما أنه تم دراسة أسلوب التحكم بالشبكات العصبية لأجل التحكم في القدرة وذلك لنموذج مفاعل شبيه. في هذه الدراسة تمت نمذجة محطة قدرة نووية ذات مفاعل نووي مبرد بسائل الصوديوم وذلك من خلال وجهة النظر الفيزيائية، حيث تناولت الدراسة نمذجة ثلاثة وحدات قلب المفاعل تغذي تربين بخاري واحد من خلال المبادلات الحرارية، ومولدات بخار، ومجمعات بخار، والزنابيب، والمضخات، والصمامات، وقد تمت محاكاة المحطة من خلال إجراء بعض الحلالات العابرة Transient studes مثل إقفال المفاعل Reactor trip وكذلك فشل مضخة المفاعل Primary pump trip، وفتح صمام البخار الجانبي Bypass valve opening. لقد تم حصر تصرف 33 متغير وعرضهم حسب اختيار المستخدم على الشاشة مع العرض الدائم للمفاعلية Reactivity وذلك لأنها تعد أهم معالم الأمان في المفاعلات النووية. وعلى الرغم من أن جميع المجمعات الصناعية تستخدم أسلوب التحكم التناسبي والتفاضلي والتكاملي Pid Controllers وذلك لفعالية مثل هذا الأسلوب الذي لا يعتمد على فهم البناء الفيزيائي للنظام المتعامل معه إلا أنه حديثاً تم الخوض في تطبيق أساليب تحكم جديدة مثل التحكم المثالي Optimal Control والأنظمة الخبيرة Expert Systems والشبكات العصبية Neutral Networks والمنطق المشوش Fuzzy Logic وغيرها. وبالنسبة للمجال النووي فهناك إهتمام بالنسبة لدراسة مثل هذه التطبيقات الحديثة في مجال التحكم لكونها أساليب ترفع من مستوى الأمان والإعتمادية لمحطات القدرة النووية [3]-[6]. وللتعرف على مثل هذه الأساليب، تم في هذه الدراسة، اختيار أسلوب التحكم بالشبكات العصبية وتطبيقه على نموذج رياضي لمفاعل مستقل، حيث سيتم تكامل أسلوب التحكم هذا مع أساليب أخرى للتحكم للمحاكي المعد في هذه الدراسة.

## النمذجة الرياضية للمحطة

لقد تم اختيار محطة نووية ذات ثلاثة قلوب مفاعلات a مرتبطة من خلال مبادل حراري وسطي c بمولد بخار e ثم بخزان البخار f وخودج البخار h، ويتوزع البخار من بعد ذلك من خلال الصمامات المناسبة i إلى التربينات k التي تتولد فيها الحركة المسيبة في توليد الطاقة الكهربائية من خلال المولد 1، كما يتصل التربينين بالمكثف m لإعادة تغذية الدائرة بالماء من خلال الخوذة n بعد مرور الماء عبر مسخن ماء التغذية o، هذا وتتوزع المضخات المناسبة في الدائرة ككل حسب الإحتياج لها b, d, g, p. الشكل رقم 1 يوضح رسم تخطيطي للمحطة بقلب مفاعل واحد لسهولة العرض .

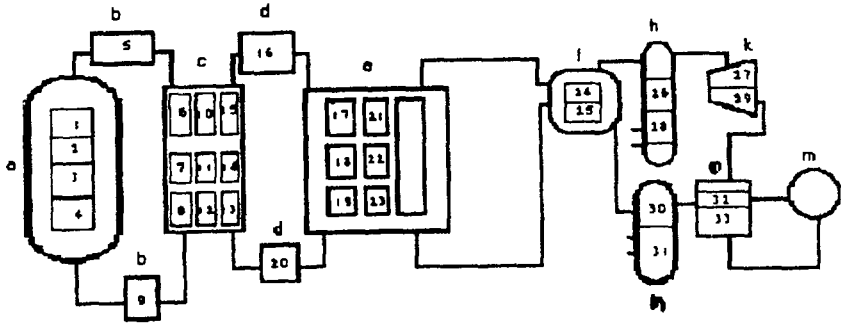
في هذه الدراسة تم تحديد عدد المتغيرات التي تمت محاكاتها Simulated variables إلى 33 متغير ممتثلة في عدد 25 متغير خاصة بمنظومة تزويد البخار Steam Supply System، وعدد 8 متغيرات ممثلة باقي أجزاء المحطة والتي يمكن تعريفها (إصطلاحاً) بمنظومة إتزان المحطة Balance of Plant (حيث أن بهذا الأجزاء يتم إتزان المحطة من الناحية الوظيفية التي صممت من أجلها). الشكل رقم 2 يوضح هذه المتغيرات ومواقعها داخل المحطة، فمثلاً المتغير 1 في قالب المفاعل a يمثل قدرة المفاعل والمتغير 2 يمثل تركيز والذات النيترونات البطيئة والمتغير 3 يمثل درجة حرارة الوقود والمتغير 4 يمثل درجة حرارة المبرد، الملحق (i) يسرد تعريف بجميع رموز المتغيرات المستخدمة .

- 1 - تكويم المتغيرات Lumped variables، فمثلاً جميع الوقود بالمفاعل يعبر عنه بدرجة حرارة واحدة وكذلك المبرد وغيره .
- 2 - إتزان ديناميكي حراري بين الأطوار Thermodynamic Equilibrium .
- 3 - درجة حرارة متجانسة في الجانب المائي لمولد البخار وذلك لغرض حسابات النقل الحراري .
- 4 - خليط كامل في خزان البخار .
- 5 - وفصل كامل في الأطوار في مجففات خزان البخار .



a: reactor core, b: primary cycle pump, c: intermediate heat exchanger, d: secondary cycle pump, e: steam generator, f: steam drum, g: recirculation pump, h: steam header, i: turbine valve, j: bypass valve, k: turbine, l: generator, m: condenser, n: feed water header, o: feed water preheater, p: feed water pump

شكل رقم (1) الشكل البنائي لمحطة قدرة نووية ذات مفاعل نووي سريع



شكل رقم (2) توزيع عدد المتغيرات المحاكاة على القطع المختلفة في المحطة

وبإجراء توازن كتلة وتوازن طاقة، مع بعض التحويلات الرياضية توازن كتلة وتوازن طاقة، مع بعض التحويلات الرياضية اللازمة وكذلك استعمال بعض المعادلات المصاحبة تم استخلاص النموذج الرياضي التالي [2] :  
المتغير 1 (قدرة المفاعل) :

$$\frac{dn}{dt} = (\rho - 1)\beta \frac{n}{\Lambda} + \beta \frac{c}{\Lambda}$$

المتغير 2 (تركيز والذات النيوترونات المتأخرة) :

$$\frac{dc}{dt} = \lambda(n - c)$$

$$\rho = \alpha_f T_f + \alpha_c T_c + \rho(Urod) + \rho_0$$

المتغير 3 (درجة حرارة الوقود) :

$$\frac{dT_f}{dt} = \frac{\phi_p}{(MC)_f} n - \frac{H_{fc}}{(MC)_f} (T_f - T_c)$$

المتغير 4 (درجة حرارة المبرد) :

$$\frac{dT_c}{dt} = \frac{H_{fc}}{(MC)_c} (T_f - T_c) - \frac{W_p}{Mc} (T_c - T_c^n)$$

المتغير 5 (درجة حرارة الدخول للمبادل الحراري) :

$$\frac{dT_n}{dt} = \frac{W_c}{M_c} (T_c - T_n)$$

المتغيرات 6، 7، 8 (درجة حرارة عقد Nodes الجانب الأولي للمبادل الحراري)

$$\frac{dT_{pi}}{dt} = \frac{-H_{pmx}(W_p)}{(MC)_{pxi}}(T_{pi} - T_{mxi}) - \frac{W_p}{M_{pxi}}(T_{pi} - T_i^n); \quad i=1,2,3$$

المتغير 9 (درجة حرارة دخل قلب المفاعل) :

$$\frac{dT_c^{in}}{dt} = \frac{W_c}{(M_c)_p}(T_{p3} - T_c^{in})$$

المتغيرات 10، 11، 12 (درجة حرارة عقد معدن المبادل الحراري بين الجانبين الأولي والثانوي)

$$\frac{dT_{mxi}}{dt} = \frac{-H_{pmx}(W_p)}{(MC)_{mxi}}(T_{pi} - T_{mxi}) - \frac{H_{mxe}}{(MC)_{mxi}}(T_{mxi} - T_{sk}); \quad i=1,2,3$$

المتغيرات 13، 14، 15 (درجة حرارة عقد nodes الجانب الثانوي للمبادل الحراري) :

$$\frac{dT_{sk}}{dt} = \frac{-H_{mxe}(W_s)}{(MC)_{sk}}(T_{sk} - T_{mxi}) - \frac{W_s}{M_{sk}}(T_{sk} - T_k^n); \quad i=1,2,3$$

المتغير 16 (درجة حرارة دخل أنبوب ربط المبادل الحراري بالجانب الأولي لمولد البخار) :

$$\frac{dT_{out}}{dt} = \frac{W_c}{M_c}(T_{in} - T_{out})$$

المتغيرات 17، 18، 19 (درجة حرارة عقد nodes الجانب الأولي لمولد البخار) :

$$\frac{dT_{pgi}}{dt} = \frac{-H_{pmg}(W_s)}{(MC)_{pgi}}(T_{pgi} - T_{mgi}) - \frac{W_s}{M_{pgi}}(T_{pgi} - T_i^n); \quad i=1,2,3$$

المتغير 20 : (درجة حرارة خرج أنبوب ربط الجانب الأولي لمولد البخار بالمبادل الحراري)

$$\frac{dT_{out}}{dt} = \frac{W_c}{M_c}(T_{in} - T_{out})$$

المتغيرات 21، 22، 23 (درجة حرارة عقد معدن مولد البخار بين الجانبين الأولي والثانوي) :

$$\frac{dT_{mgi}}{dt} = \frac{-H_{pmg}(W_s)}{(MC)_{mgi}}(T_{pgi} - T_{mgi}) - \frac{H_{mgi}}{(MC)_{mgi}}(T_{mgi} - T_{sk}); \quad i=1,2,3$$

المتغير 24 : (الضغط في خزان البخار)

$$\frac{dp}{dt} = \frac{W_{nw} [h_{nw} - (h_m - pv_m)] - W_{sd} [h_g - (h_m - pv_m) + Q]}{M \left[ \frac{dh_m}{dp} - p \frac{dv_m}{dp} - v_m \right]}$$

حيث أن :

$$Q = \sum_{i=1}^3 H_{ngi} (T_{ngi} - T_{sat})$$

$$W_{nw} = C_{nw} u_{v_{nw}} \sqrt{(P_{v_{nw}} - P) / v_{nw}}$$

$$W_{sd} = C_{sd} \sqrt{(P - P_{sh}) / v_g}$$

$$v_m = (1-x)v_f + xv_g$$

$$h_m = (1-x)h_f + xh_g$$

$$x = \left( \frac{vol_{sd}}{m} - v_f \right) \frac{1}{v_g}$$

المتغير 25 (الكتلة الكلية للماء في مولد وخزان البخار) :

$$\frac{dm}{dt} = W_{sd} - W_{nw}$$

المتغير 26 (الضغط في خوزة البخار) :

$$\frac{dP_{sh}}{dt} = \frac{\left[ \frac{1}{vol_{sh}} \left[ \sum_{i=1}^n W_{sd} - W_v - W_{by} \right] - \frac{\partial}{\partial h} \left( \frac{1}{v_{sd}} \right) \left[ \sum_{i=1}^n W_{sd} (h_{sd} - h_{sh}) \right] \frac{v_{sh}}{vol_{sh}} \right]}{\left( \frac{\partial}{\partial P} \left( \frac{1}{v_{sh}} \right)_h \left( 1 + \frac{\partial}{\partial h} \left( \frac{1}{v_{sh}} \right)_p \frac{v_{sh}}{\frac{\partial}{\partial P} \left( \frac{1}{v_{sh}} \right)_h} \right) \right)}$$

حيث أن :

$$W_{by} = C_{by} u_{by} \sqrt{P_{sh} / v_{sh}}$$

$$W_{nw} = C_{nw} u_{v_{nw}} \sqrt{(P_{v_{nw}} - P) / v_{nw}}$$

$$W_{sd} = C_{sd} \sqrt{(P - P_{sh}) / v_g}$$

المتغير 27 (الضغط في خوذة التربين) :

$$\frac{dP_{th}}{dt} = \frac{\left[ \frac{1}{vol_{th}} [W_{iv} - W_t] - \frac{\partial}{\partial h} \left( \frac{1}{v_{th}} \right) [W_{iv} (h_{sh} - h_{th})] \frac{v_{th}}{vol_{th}} \right]}{\frac{\partial}{\partial P} \left( \frac{1}{v_{th}} \right)_h \left( 1 + \frac{\partial}{\partial h} \left( \frac{1}{v_{th}} \right)_p \frac{v_{th}}{\frac{\partial}{\partial P} \left( \frac{1}{v_{th}} \right)_h} \right)}$$

مع :

$$W_t = C_t \sqrt{P_{th} / v_{th}}$$

المتغير 28 : (انتلبيا خوذة البخار)

$$\frac{dh_{sh}}{dt} = \left[ \frac{1}{vol_{sh}} \frac{dP_{sh}}{dt} + \left[ \sum_{i=1}^n W_{adi} (h_{adi} - h_{sh}) \right] \right] \frac{v_{sh}}{vol_{sh}}$$

المتغير 29 : (انتلبيا خوذة التربين) :

$$\frac{dh_{th}}{dt} = \left[ \frac{1}{vol_{th}} \frac{dP_{th}}{dt} + W_{iv} (h_{sh} - h_{th}) \right] \frac{v_{th}}{vol_{th}}$$

المتغير 30 (الضغط في خوذة مغذي الماء) :

$$\frac{dP_{fwh}}{dt} = \frac{\left[ \frac{1}{vol_{fwh}} \left[ W_{fw} - \sum_{i=1}^n W_{fw} \right] - \frac{\partial}{\partial T} \left( \frac{1}{v_{fwh}} \right) [W_{fw} (T_w - T_{fwh})] \frac{v_{fwh}}{vol_{fwh}} \right]}{\frac{\partial}{\partial P} \left( \frac{1}{v_{fwh}} \right)_T \left( 1 + \frac{\partial}{\partial h} \left( \frac{1}{v_{fwh}} \right)_p \frac{v_{sh}}{\frac{\partial}{\partial P} \left( \frac{1}{v_{fwh}} \right)_T} \right)}$$

المتغير 31 (درجة الحرارة في خوذة مغذي الماء) :

$$\frac{dT_w}{dt} = \frac{W_{fw} T_w - \sum_{i=1}^n W_{fw} T_{fwh}}{\frac{vol_{fwh}}{v_{fwh}}}$$

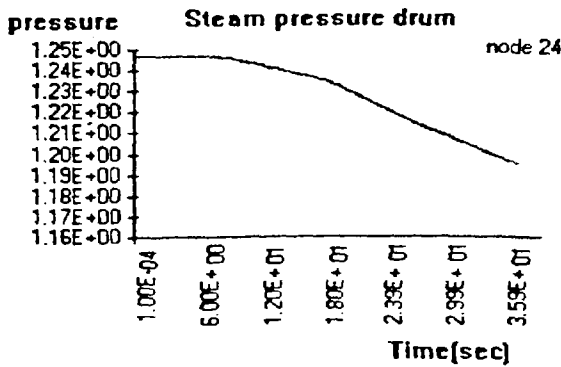
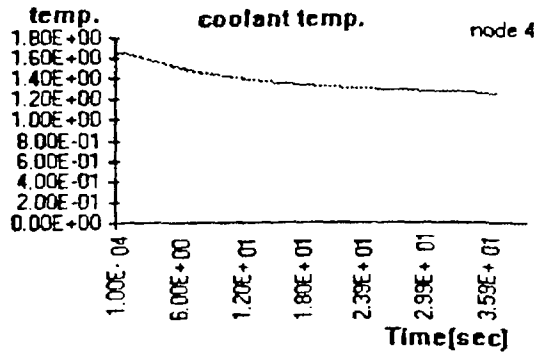
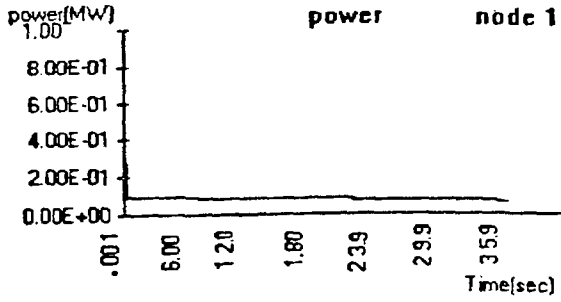
المتغير 32 (درجة حرارة معدن أنابيب المسخن المبديء Preheater) :

$$\frac{dT_{mh}}{dt} = \frac{-H_{pmh}}{(MC)_{mh}} (T_{sat}(P_o) - T_{mh}) - \frac{H_{mhm}}{(MC)_{mh}} (T_{mh} - T_w)$$

المتغير 33 (درجة حرارة الماء داخل أنابيب المسخن المبدئ والقادمة من المكثف) :

$$\frac{dT_w}{dt} = \frac{H_{mh}}{(MC)_w} (T_{mh} - T_w) - \frac{W_w}{M_w} (T_w - T_{cond})$$

الشكل التالي يوضح نتائج محاكاة إقفال المفاعل Reactor trip بمفاعلية قدرها 10\$ .



شكل رقم (3) يوضح نتائج المحاكاة عند قفل المفاعل بمفاعلية قدرها 10\$

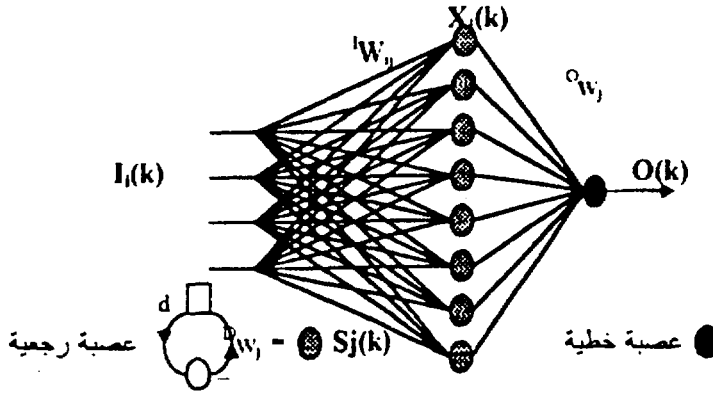


من الشكل رقم (3) نلاحظ أن قدرة المفاعل والمعبر عنها بالمتغير (1) تنخفض بحدّة كما هو موضح بالشكل، مما يؤدي بدوره إلى انخفاض في درجة حرارة المبرد المعبر عنه بالمتغير (4)، حيث أن الشكل (3 ب) يوضح انخفاض تدريجي في درجة الحرارة. الشكل (3 ج) يبين أن ضغط خزان البخار المعبر عنه بالمتغير (24) لا يتأثر خلال حوالي الستة الثواني الأولى ومن بعد ذلك يبدأ الضغط في الإنخفاض تدريجياً بسبب نقصان قدرة المفاعل وبالتالي إلى انخفاض معدل تولد البخار في مولد البخار الذي بالطبع يؤدي إلى انخفاض الضغط .

### التحكم بالشبكات العصبية Neural Network Control

لعل أحد أساليب التحكم الحديثة والتي لا تتطلب نموذج رياضي دقيق للنظم الفيزيائية المراد دراستها هو أسلوب الشبكات العصبية [7, 8]. وهي تعتمد أساساً على تعديل وزيات weights معينة مقللة بذلك قيمة الخطأ إلى أدنى ما يمكن بين القيمة المرغوبة والقيمة الفعلية .

في هذه الدراسة، تم تصميم نظام تحكم بثلاث طبقات من الشبكات العصبية لغرض التحكم في نموذج مفاعل نووي، هذا النظام التحكمي يعد أكثر بساطة عن ما ورد في دراسة Edward et al [9]. مواصفات الشبكة العصبية المصممة هي شبكة رجعية ذات Self Recurrent بالنسبة للطبقة الخفية وعددها ثمانية، أنظر الشكل رقم 4 لتوضيح هذه الشبكة لغرض التحكم .



شكل رقم (4) بناء الشبكة العصبية الرجعية

حيث تمثل  $I_i(k)$  الدخل  $i$  عند الزمن  $k$  للشبكة العصبية وتمثل  $S_j(k)$  جمع كل الدخلات للعصبية الرجعية  $z$  الموجودة في الطبقة الخفية (عدد عصبية هذه الطبقة يساوي 8)، وتمثل  $X_j(k)$  خرج العصبية الرجعية  $z$ ، كما أن  $O(k)$  تمثل الخرج النهائي للشبكة العصبية وهي الطبقة الثالثة معبر عنها بعصبية خفية

واحدة. ويتناسب الخرج مع الدخل من خلال الوزنات ذات العلاقة وهي ؛  ${}^0w_j$  الممثلة لوزنة الطبقة الثالثة (طبقة الخرج) بين الخرج الجزئي  $O_j(k)$  لعصبية الطبقة الثالثة، ودخلها  $X_j(k)$  الذي هو خرج العصبية الرجعية  $z$ ، والوزنة  ${}^1w_{ij}$  للطبقة الأولى (طبقة الدخل) تمثل التناسب بين الدخل  $i$  للطبقة الأولى وبين دخل العصبية  $z$  في الطبقة الوسطى (الطبقة الخفية)، كما أن  ${}^Dw_j$  تمثل الوزنة لذات العصبية الرجعية أي أنها التناسب بين خرج العصبية الرجعية عند الزمن  $k$  وبين الخرج السابق له أي الخرج عند الزمن  $k-1$ . إن تدريب الشبكة ذات ثلاث طبقات يخضع لما يسمى بقانون دلتا العمومي، الذي يتطلب استخدام الدالة الأسية Sigmoid function، وذلك بإخضاع دخل العصبية الرجعية  $S_j$  لهذه الدالة حتى نتحصل على خرج هذه العصبية الوسطى وهو  $X_j(k)$ ، أي أن:  $X_j(k)=f(S_j)$ . والآن نلخص كل ما أسردناه في الفقرة في شكلها الرياضي (An algorithm من خلال المعادلات التالية :

$$O(k) = \sum_j {}^0w_j X_j(k) , \quad X_j(k) = f( S_j(k) ) = 1 / ( 1 + e^{-S_j} )$$

$$S_j(k) = {}^Dw_j X_j(k-1) + \sum_i {}^1w_{ij} I_i(k)$$

هذا ويتم تعديل كل الوزنات المتعلقة بالطبقات الثلاث بناءً على التَدنية Minimization لمتوسط مربع الخطأ بين الخرج المرغوب والخرج الفعلي  $e(k)=.5[y_r(k) - y(k)]^2$ . معادلات تعديل الوزنات المتنوعة (32) وزنة للطبقة الأولى، و8 ووزنات للطبقة الوسطى الرجعية، و8 ووزنات أخرى للطبقة الثالثة) يمكن التعبير عنها من خلال أسلوب التعديل التالي [8] (Algorithm) :

$${}^0w_j(k+1) = {}^0w_j(k) + \eta (y_r(k) - y(k) ) S_j(k) ( 1 - S_j(k) )$$

$${}^Dw_j(k+1) = {}^Dw_j(k) + \eta (y_r(k) - y(k) ) S_j(k) ( 1 - S_j(k) )$$

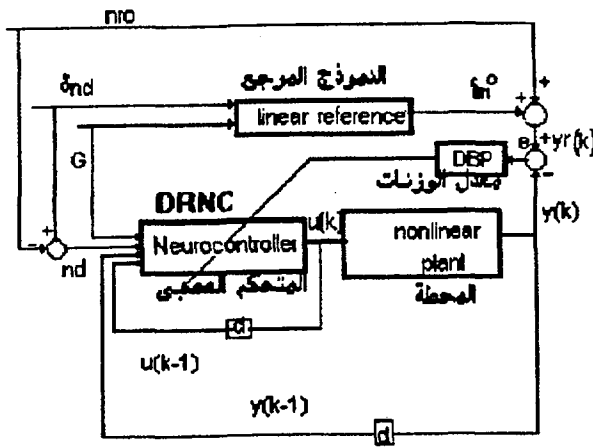
$${}^1w_{ij}(k+1) = {}^1w_{ij}(k) + \eta (y_r(k) - y(k) ) S_j(k) ( 1 - S_j(k) ) I_i(k)$$

حيث أن  $\eta$  تمثل ثابت معدل تعديل الوزنات، وتمثل  $y_r(k)$  القدرة المرغوبة، في حين أن  $y(k)$  تمثل القدرة الفعلية .

لقد تم الإعتماد على نموذج غير خطي للمفاعل بستة مجموعات من النيوترونات المتأخرة وذات تغذية مرجعة للحرارة المتمثلة في الوقود المبرد، كنظام نريد التحكم في قدرته  $y(k)$ . هذا وقد إستند على نموذج خطي ذو مجموعة واحدة من النيوترونات المتأخرة مع تغذية مرجعة لدرجتي حرارة الوقود والمبرد، كنموذج مرجعي Reference model لغرض تدريب الشبكة العصبية في أكثر من منطقة تشغيل (i) Operating regiems وذلك بتوليد التصرف المرغوب فيه للقدرة  $y_r(k)$ ، حيث تم استخدام الإختلاف بين هذا التصرف

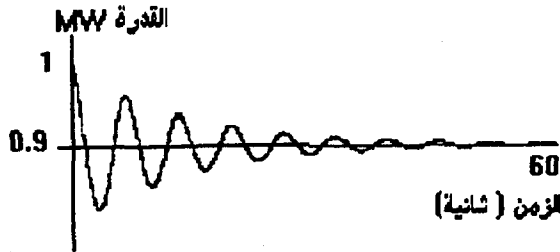
والتصرف الفعلي للمحطة لتعديل الوزنات في المتحكم العصبي Neurocontroller، أنظر الشكل رقم 5 لتوضيح هذا المتحكم، لاحظ أن مدخلات المتحكم العصبي هي القدرة المرغوبة  $n_d$ ، والخرج متأخر  $u(k-1)$ ، وقدرة المحطة الفعلية مؤخرة  $y(k-1)$ ، وقيمة المفاعلية الكلية لعمود التحكم  $G_T$  (قيمة إنحياز bias) يتطلبها المتحكم العصبي، في حين أن الخرج واحد فقط وهو سرعة عمود التحكم  $u(k)$ . الخرج من المتحكم يغذي المحطة (النموذج الغير خطي) والقدرة الناتجة  $y(k)$  تقارن بتلك الناتجة من النموذج المرجعي الخطي  $y_r(k)$ ، حيث أن الخطأ  $e(k)$  وبالإستناد على قانون دلتا العمومي Back propagation يتم تحويل الوزنات المختلفة في التحكم العصبي كما أوردنا ذكره أعلاه .

كما أن شكل رقم 6 يبين كيفية قيام التحكم العصبي بالإستجابة، بعد تدريب الشبكة العصبية وتحديد الوزنات المناسبة، وذلك لطلب القدرة المرغوب فيها وهي 0.9 MW .



شكل رقم 5 : بنية المتحكم العصبي

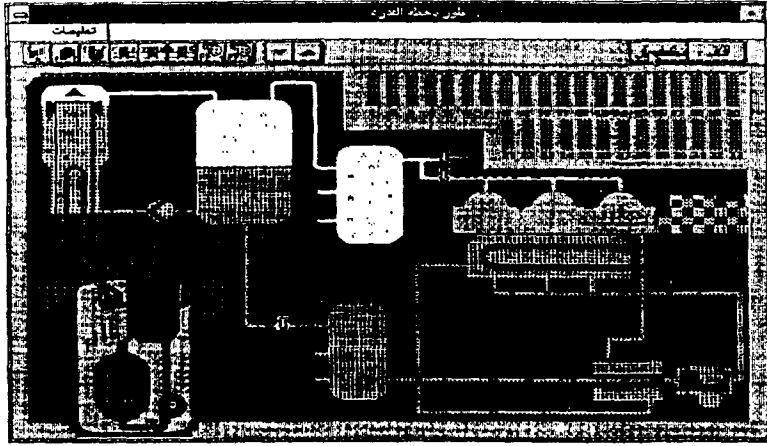
القدرة المطلوبة 0.9  
القدرة التي إستقر عليها المتحكم العصبي 0.90023



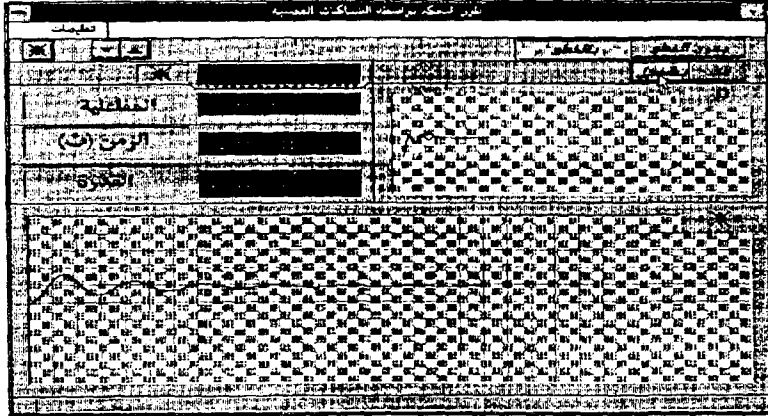
شكل رقم 6 : إستجابة Response المتحكم العصبي لقدرة مطلوبة

## وصف منظومة الحاسوب Computer Package Description

كما ذكرنا سابقاً فقد تم تصميم منظومة حاسوب بواجهة مستخدم فعالة باستخدام لغة C كما تم الإستفادة من ما يسمى ببرنامج المكتبة الذكية Genius Library الذي يمكن من السرعة في تصميم واجهة المستخدم المناسبة. هذا وقد صممت المنظومة لعرض البيانات إما باللغة العربية أو باللغة الأجنبية على حسب رغبة المستخدم. هذا وتهدف هذه المنظومة Package إلى تمكين المستخدم من محاكاة محطة نووية ذات مفاعل سريع خلال طور المحاكاة، مع إمكانية تحليل البيانات من بعد ذلك من خلال طور المعالج البعدي Post processor، حيث يمكن استخدام الرسم المناظر بين جميع المتغيرات المحاكاة وهي 33 متغير. كما أن طور التحكم في المنظومة يتناول الآن التحكم العصبي، وسيتم إضافة أساليب أخرى مستقبلاً في هذا الطور حتى يمكن المقارنة بينها في طور المعالج البعدي. الأشكال 7، 8 تعرض عرض شاشي لبعض أطوار المنظومة .



شكل رقم 7 : عرض شاشي لطور محاكاة المحطة



شكل رقم 8 : عرض شاشي لطور التحكم العصبي

## الاستنتاج والتوصية Conclusion & Recommendation

إن الغرض من هذه الدراسة يتمثل في إثارة الإنتباه أنه في عدم وجود نظام فيزيائي لدراسته عملياً، فإن البديل لذلك هو استحداث محاكي تفي بالغرض المطلوب أو تقرب إليه، وهذا ما توصلت إليه هذه الدراسة فلقد تم نمذجة ومحاكاة محطة مبردة بفلز سائل، والنتائج التي تم التحصل عليها كانت في مجملها تتوافق مع ما كان متوقع كتصرف للمحطة. إلا أن المنظومة التي أعدت لازالت تتطلب التحقق من صلاحيتها من خلال محاكاة عدد كبير من الحالات ومقارنتها بنتائج دراسات أخرى مماثلة لها. أيضاً في هذه الدراسة كانت الرغبة لاستطلاع الأساليب الجديدة في مجال التحكم والتي لازالت في طور التحري العلمي مثل تطبيقات الشبكات العصبية في مجال التحكم، وقد كانت النتائج الأولية مشجعة للتحسين من تصرف النتائج في دراسة قادمة .

قد تكون أحد توصيات هذه الدراسة هو تبني إعداد عدد من المحاكى Simulators لغرض التدريب والتعلم من خلال الهيئة العربية للطاقة الذرية .

### ملحق (أ) تسميات Nomenclature

- H's : معاملات نقل حراري [W/C<sup>0</sup>] Heat transfer Coefficients
- M<sub>C</sub>, M : كتل Masses
- T's : درجات حرارة Normalized Temperatures
- n : القدرة Normalized Power
- c : تركيز والذات النيوترونات البطيئة Normalized Precursors
- ρ's : مفاعليات Reactivities
- α's : معاملات درجات حرارة Temperature Coefficients
- λ : ثابت انحلال Decay Constant
- β : جزء النيوترونات البطيئة Delayed Neutron Fraction
- W's : معدل إنسيابات [Kg/sec] Flow rates
- C's : موصلية إنسياب Flow Conductances
- H(W) : معامل نقل حرارة كدالة في معدل الإنسياب [W/C<sup>0</sup>]
- u's : نسب موقع قضيب أو نسبة فتح صمامات أو إنسياب من مضخة x, v, h : Fractions of valve opening or rod position or pump flow
- النوعية، الحجم النوعي، إنثلبي النوعية و النوعية، specific volume and enthalpy
- (MC) : سعة حرارية [J/C<sup>0</sup>] Heat capacity

- 1 - D.M.Zizzo and Y.Dayal, "Roles of the Advanced Liquid Metal Reactor operator",-Proceedings of Topical Meeting on Nuclear Plant Instrumentation, Control and Man-Machine Interface Technologies, ppl 12119, April 18-21,1993, oak Ridge, Tennessee, USA.
- 2- Report on Liquid Metal Fast Breeder Reactor Modelling, Special (Communication.
- 3- Zvi Boger, " Large Scale Neural Networks-Possible Applications In Nuclear Power Plants", Proceedings of Topical Meeting on Nuclear Plant Instrumentation, Control and Man-Machine Interface Technologies, pp624631, April 18-21,1993, oak Ridge, Tennessee, USA.
- 4- Bernard et.al -,"Digital Control of Power Transient in Nuclear Reactor",IEEE Transaction on Nuclear Science, vol. NS-31, No.1, Feb.1984, p. 702.
- 5-N.Naito, A.Sakuma, K.Shigeno, N.Mori, " A Real-Time EXPERT System for Nuclear Power Plant Failure Diagnosis and operational Guide", Nuclear Technology, Vol.79, Dec.1987, pp.284-296.
- 6- J.A.Bernard, " Application of Artificial Intelligence to Reactor and Plant Control", Nuclear Engineering and Design, 113, No.2, (1989), 219-227.
- 7- Phil Picton, Introduction to Neural Networks, Macmillan, 1994
- 8- Robert Hecht-Njelsen, Neurocomputin~, Addison Wesley, 1991
- 9- Edwards et al., "A Comparative Study for Nuclear Reactor Controller Design using optimal Control, Robust Control, Neural Network, and Fuzzy Logic Control," Proceedings of Topical Meeting on Nuclear Plant Instrumentation, Control and Man-Machine Interface Technologies, pplS3160, April 18-21,1993, oak Ridge, Tennessee, USA.