أتمتة عمل المنظومة الكهربائيّة السُّوريَّة، وفق التِّقنيَّات الحديثة، بناءً على خوارزميَّات توقُّع مؤشِّرات الشَّبكة

*د. وحيد قسطون

ملخّص

البحث هو استكمال لعمل سابق يهدف إلى استخدام خوارزميّة مطوّرة مكوّنة من ثلاث خوارزميات جزئية مرتبطة مع بعضها بهدف تطوير آليَّات تشغيل وحماية، وصيانة المنظومات الكهربائيَّة، عن طريق توقُّع مؤشِّرات الشَّبكة لفترة زمنيَّة مستقبليَّة قادمة محدودة، عن طريق حلّ مسألة سريان الاستطاعة الأمثل OPF، لقيم الحمل الكهربائي المتنبَّأ بها، وهذا التَّحديد يفرضه تغيُّر قيمة الحمل بين فترات النَّهار والليل في اليوم الواحد، واختلاف طبيعة العمل في اليوم بين يوم عطلة، ويوم دوام في الأسبوع الواحد، وحتَّى التَّغيُّرات المناخيَّة خلال الفترات الأكثر من ذلك، ووُجد عالميَّاً أنَّ الأنسب أن يكون هذا التَّوقُّع لعدَّة ساعات قادمة فقط خلال اليوم، وعلى الأكثر ليوم واحد أي 24 ساعة.

تمَّ الاستفادة من هذا البحث لدراسة تطوير المنظومة الكهربائيَّة السُّوريَّة الأساسيَّة، أي 230KV، و400KV، عن طريق توقُّع قيم الجهود والاستطاعات عند العقد والاستطاعات السارية في الخطوط، والمفاقيد، وكذلك التَّحميل الأمثل لمحطَّات توليد الطَّاقة العاملة في المنظومة على أساس الكلفة الأدنى لإجمالي كلفة، وكمِّيَّة الوقود المستهلك فيها.

تمَّ قبل دراسة المنظومة الكهربائيَّة السُّوريَّة، استخدام البرنامج الحاسوبي المعدّ في البحث، لدراسة الأنظمة المعياريَّة العالميَّة **IEEE 118-Bus & IEEE 57-Bus** ومقارنة النتائج مع نتائج دراسات مماثلة تمّ إجراؤها باستخدام برامج كهربائية عالمية معروفة مثل MATPOWER V5، وكانت النَّتائج على درجة عالية من الدِّقَّة، والباحث جاهز لإثبات دقَّته، وأهمِّيَّته، عند استخدامه.

كلمات مفتاحية: أتمتة عمل نظام القدرة الكهربائي– توقُّع مؤشِّرات الشَّبكة .

Automation of the Syrian Electrical System Operation, according to modern smart technics, based on Network Parameters Prediction Algorithms.

*Dr. Wahid Kastoun

Abstract

This research is a completion to a previous effort aimed to use a developed algorithm consisted of three partial algorithms joined for improving mechanisms of operating ,protecting ,and getting maintenance of electrical systems, by electrical network parameters prediction for a limited period ,by solving optimal power flow problem OPF ,for forecasted electrical load ,this limitation is imposed by load value between day ,and night in one day ,and differences between holyday ,and work day ,in one week ,even climate changes during longer periods ,and found that several hours a day ,as a maximum one day (24 hours) ,are proper for this prediction.

This research has been utilized to study of basic Syrian electrical power system ,means 230KV ,400KV ,by forecasting of values of voltages ,and powers ,at nodes ,powers flow in lines ,and losses ,by the same time the optimal loading for electrical power stations ,according to the minimum cost ,and quantity ,of fuel consumed in them. Before studying of Syrian electrical power system ,the program prepared in the research ,was used to study ,and resolve the global standard systems of IEEE 118-Bus & IEEE 57-Bus and comparing of the results to the results of similar studies had been carried out by using known global electrical programs like MATPOWER V5 ,and others.

The results showed high accuracy of the program ,and the researcher is ready to prove accuracy ,and importance ,of the program ,when it will be used.

Keywords: Automation of operation of electrical power system, electrical network parameters forecasting.

* Dept. Of Electrical Power Engineering, Faculty Of Mechanic And Electric, Homs Univ.

1- مقدمّة:

إنَّ توقُّع قيم مؤشِّرات المنظومة الكهربائيَّة لفترة زمنيَّة قصيرة قادمة، يتيح إعطاء فكرة فنيَّة واقتصـاديَّة عن المنظومة الكهربائية المدروسـة، ممَّا يفسـح المجال لاتخاذ التدابير والاحتياطات اللازمة للحصـــول على توفير اقتصـــادي هام عن طريق إيقاف وحدات التوليد التي لا نحتاج لتشـــغيلها، وبالتالي توفير كلفة الوقود المصـــروف، فيها وإطالة عمرها الفني، وتخفيض تكاليف الصـيانة لها، وأيضـاً تتيح لنا الفكرة الفنيَّة الحصـول على توفير اقتصـادي، عن طريق تخفيض فاقد الاسـتطاعة الفعلية في المنظومة عن طريق ضـبط قيم التوتّر ولاسـيما المنخفضـة منها عند العقد عن طريق مثلاً زيادة تهييج المولدات التواقتية، أو تغيير وضـعيات معدّلات التحكّم بالجهد للمحولات التي تكون مزوّدة بتلـك الميّزة، والتي تـدعى محولات التنظيم Regulation Transformers.

يعرض المرجع الأجنبي [1] تطويراً لطريقة تقليدية لحل مسألة الOPF في المنظومات الكهربائية، هي طريقة النقطة الداخلية Interior Point التي تقدّم حلولاً جيدة للمســـائل التي تحتوي على مجموعـة من المعـادلات اللا خطّيّـةNonlinear Programming ، حيث اقترح الباحث طريقةً، يجري فيها خلال العملية التكرارية، دمج لاتجاهين هما القياس القريب -Affine Scaling، والمركزية Centralization، وقد أدّى هذا الدمج لزيادة موثوقية وسرعة الخوارزميَّة، وتمّ تطبيق الخوارزمية المقترحة على النظام المعياري IEEE 118_bus، ولوحظ انخفاض عدد التكرارات اللازمة للوصـــول إلى الحل الأمثل من 19 إلى 14 عن الخوارزمية الأصـــلية التي لا تتّبع هذا الدمج.

يدرس المرجع الأجنبي [2] حل مسألة سريان الاستطاعة الأمثل Optimal Power Flow (OPF) في المنظومات الكهربائية، عبر مقارنة بين طريقة تقليدية، وطريقة خوارزمية مســـتعمرة النحل Bee Colony Algorithm (BA)، وهي إحدى التقنيات الذكية Smart Techniques الحديثة لحل مســـألة الOPF، ودُعيت BA-OPF وطريقة ثالثة تمزج بين الBA، والشبكات العصبونيَّة الصِّناعيَّة، وتمّ تسميتها في البحث BA-ANNs، ولاحظ الباحث

أن أدقّ وأفضـــل النتائج قدمتها الطريقة BA-OPF، من حيث قيم الجهود عند العقد، ومفاقيد الاستطاعة الفعلية، والكلفة الكليّة للتوليد.

يقدّم المرجع الأجنبي [3] تقنيَّة فعّالة للتَّوزيع الأمثل للاســـتطاعة في الشـــبكات الكهربائية، قائمة على أســـاس الخوارزميَّة الجينيَّة Genetic Algorithm، بالتَّزامن مع حلّ مسألة الإرسالية الاقتصادية Economic Dispatch، بالاعتماد على ثلاثة مؤشِّرات مؤثِّرة: هي قيمة الجهد، وثبات أو اســتقرار الجهد، ومفاقيد النقل، وتمّ تطبيق الدِّراســة على النِّظام المعياري IEEE 30_bus، حيث تراوحت قيم الجهود عند العقد بين 0.95-1.05 وكانت قيم مفاقيد الشَّبكة، والكلفة الكلِّيَّة للتَّوليد أقلّ ما يمكن.

في البحث تمّ حلّ مســألة ســريان الاســتطاعة بطريقة نيوتن–رافســون Newton-Raphson، مع تحقيق (إرضــاء) القيود الفنية لجميع عناصــر المنظومة المدروســة، وأضــاف البحث شــيئاً جديداً ومبتكراً يتمثّل بإضــافة خوارزميَّة جزئيَّة للتَّنبُّؤ بالأحمال الكهربائيَّة للمنظومة المدروســة بطريقة ذكية وهي الشَّـبكات العصـبونيَّة الصِّـناعية ذات الانتشـار العكسـي Back Propagation Artificial Neural Networks (BPANNs) وخوارزميـة جزئيَّـة ثـانيـة بطريقة تقليديَّة لإيجاد التَّوزيع الأمثل للحمل الكهربائي للمنظومة على وحدات التَّوليد العاملة في المنظومة وهي طريقة نيوتن، وبالنسـبة للتَّطبيق العملي للبحث، فسـبق الحديث في الملخَّص عن أهمية الحل التنبؤي لأخذ فكرة مســبقة دقيقة عن القيم الفنِّيَّة، والاقتصــاديَّة، للمنظومة الكهربائية المدروســة لفترة قصـيرة قادمة، ونرجو أن يتمُّ اسـتثمار البحث في المسـتقبل القريب لتطبيقه على المنظومة الكهربائيَّة السُوريَّة لدعمها، وتطويرها، في إطار إعادة الإعمار.

2- هدف البحث:

يهدف البحث إلى إعداد برنامج حاســوبي مبني على خوارزميَّة حاســوبيَّة مطوَّرة لإيجاد الحل التَّنبُّؤي للمنظومات الكهربائية، بمعنى حساب المؤشرات الفنّيّة والاقتصاديَّة الأمثل للمنظومة المدروســة، تُؤسَّس هذه الخوارزميَّة على الشَّـبكات العصـبونيَّة عكسـيَّة الانتشـار من أجل التنبؤ الآني بالأحمال الكهربائيَّة، ثمَّ حلّ المنظومة الكهربائيَّة أي إيجاد المؤشِّــرات الفنّيّة والاقتصــاديَّة الأمثل على أســـاس هذه القيم المتنبّأ بها للحمل، واســـتخدام هذا البرنامج لدراســـة المنظومة الكهربائيَّة السُــوريَّة الأســاســية في إطار المســاهمة في إعادة الإعمار وتطوير هذه المنظومة،

ومقارنة النتائج الحاصلة مع نتائج دراسات أخرى للمنظومة السُّوريَّة باستخدام برامج عالميّة معروفة، تمَّ إطلاعنا عليها من قبل مهندسين في وزارة الكهرباء السُّوريَّة، والمؤسَّسة العامَّة لتوليد وتوزيع الكهرباء.

3- مواد وطريقة البحث:

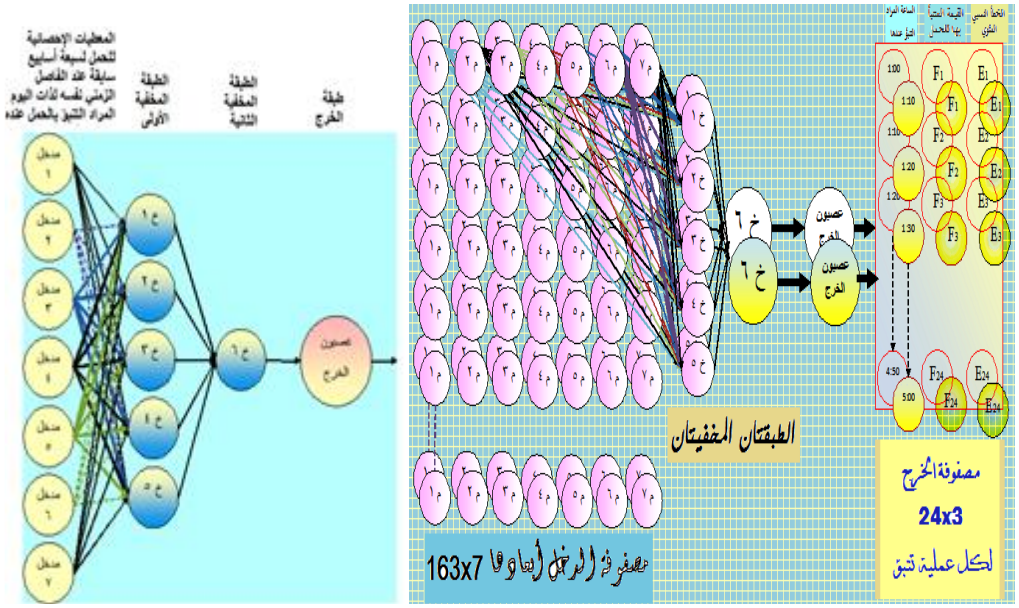
تمّ تقسيم الخوارزمية المطوّرة في البحث إلى ثلاثة خوارزميات جزئية هي أوّلاً الخوارزمية المتعلّقة بالشبكة العصبونيّة المعدّة للتنبؤ الآني بالأحمال الكهربائية مع إمكانية التحكّم بدقة الشبكة من خلال التحكّم بمعاملات خطّيّة تابع الانتقال بين الطبقتين المخفيتين ومعامل تدريب الشبكة، وثانياً خوارزمية إيجاد سريان الاستطاعة في المنظومة المدروسة بطريقة نيوتن–رافسون، وثالثاً خوارزمية الخرج الاقتصادي الأمثل لوحدات التوليد الحرارية لتغذية الحمل الكهربائي للمنظومة بما يوافق الكلفة الأدنى لإجمالي الوقود المصروف في هذه الوحدات الحرارية باستخدام طريقة نيوتن.

1. خوارزمية الشبكة العصبونيّة المعدّة للتنبؤ الآني بالأحمال الكهربائية:

تمّ إعداد بنية مناسبة لشبكة عصبونيَّة مكوّنَّة من أربع طبقات، طبقة دخل تتألف من سبعة عصبونات، حيث تمّ ترتيب القيم لكل يوم على شكل مصفوفة رياضية أبعادها (163X7)، الأعمدة تمثّل سبعة معطيات إحصائية سابقة متتالية زمنياً لليوم المراد التنبؤ الآني له (معطيات الحمل لذات اليوم لسبعة أسابيع سابقة مباشرة)، أما الصفوف ويكون عددها 163 هي الساعات من 00:00 حتى 23:00 لليوم المراد إجراء عملية التنبؤ الآني فيه بالإضافة إلى ثلاث ساعات من اليوم اللاحق وسبب ذلك هو حاجتنا لعدة ساعات من اليوم التالي في حال اراد المستثمر التنبؤ اعتباراً من الساعة 23:00 مثلاً، بالطبع الساعات السابقة مقسمة بفواصل زمنية مقدارها عشرة دقائق 163=1+6x27، حيث العدد 1 هنا هو ساعة البداية، وتم ترتيب المصفوفات على شكل ملفات mat لتحميلها في برنامج الماتلاب، وطبقتين مخفيَّتين تتألَّف الأولى من خمسة عصبونات والثَّانية من عصبون وحيد، وطبقة خرج مؤلفة من عصبون وحيد يعطي خرجاً هو عبارة عن مصفوفة أبعادها (24x3) حيث تمثل الأسطر الساعات الأربعة المراد بالتنبؤ بالحمل الكهربائي السوري عندها مقسمة بفواصل زمنية مقدارها عشرة دقائق والأعمدة، يمثّل العمود

الأول قيم السـاعات أو الفواصـل الزمنية المراد التنبؤ بالحمل عندها، ويمثل العمود الثاني القيم المتنبَّأ بها للحمل عند كل سـاعة (فاصـل زمني) من السـاعات المراد التنبؤ بالحمل الكهربائي عندها، والثالث الخطأ النسبي المئوي الموافق لعملية التنبؤ.

تمّ تدريب الشبكة بناءً على معطيات إحصائية تقريبية لحمل المنظومة الكهربائيَّة السُوريَّة، وتمّ اسـتخدام هذه القيم كمداخل للشـبكة العصـبونيَّة المعدّة، يبيّن الشـكل (1) بنية الشـبكة العصـبونيّة المعدّة للتنبؤ الآني بالأحمال الكهربائية لقد تم التوصـل إلى هذه البنية بعد العديد من المحاولات والتجارب حيث لا توجد معايير أو قوانين أو علاقات رياضـية تسـاعد على اختيار البنية المناسـبة للشـبكة العصـبونية باسـتثناء المبدأ الرياضـي القديم المعروف المحاولة والخطأ Trial and Error، وتختلف بنية الشـبكة العصـبونيّة باختلاف المسـألة المراد حلّها، ومن أجل تدريب الشـبكة العصـبونية تمّ أيضـاً بالتجريب اختيار خوارزمية الانتشـار العكسـي Back Propagation التي أظهرت فعالية عالية لحل هذا النوع من المسـائل ،كما تمّ اختيار التابع الأسي Sigmoid، لأنّ خرجه يقع في المجال [0,1] بما يلائم معطيات المسألة المدروسة



2. خوارزمية حل مسألة سريان الاستطاعة في المنظومة:

وهي خوارزمية نيوتن–رافسون وتتضمّن الخطوات التالية:

1) تحديد عقدة مرجعية للمنظومة الكهربائية المدروسة وإعطاؤها الرقم 1 وإنشاء عداد لعقد المنظومة وفرض قيم أوليّة لطويلة الجهد وزاويته على كل قضبان الحمل ولزاوية الجهد على جميع قضبان التوليد والتحكّم بالجهد.

2) حساب الاستطاعات الفعلية والردّيّة عند عقد (قضبان) الحمل من المعادلات التالية:

$$P_i^{(k)} = \left|V_i^{(k)}\right| \sum_{j=1}^{n} \left|Y_{ij}\right| \left|V_j^{(k)}\right| \cos\left(\left(\theta_i{}^{(k)} - \theta_j{}^{(k)} - \delta_{ij}\right)\right) \quad (1)$$

$$Q_i^{(k)} = \left|V_i^{(k)}\right| \sum_{j=1}^{n} \left|Y_{ij}\right| \left|V_j^{(k)}\right| \sin\left(\theta_i{}^{(k)} - \theta_j{}^{(k)} - \delta_{ij}\right) \quad (2)$$

حيث $V_i = |V_i| \angle \theta_i \ , Y_{ij} = \left|Y_{ij}\right| \angle \delta_{ij}$

وحساب الفروق

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_i^{sch} - Q_i^{(k)} \quad (3)$$

$$\Delta P_i^{(k)} = P_i^{sch} - P_i^{(k)} \quad (4)$$

أما لقضبان التوليد أو التحكّم بالجهد تلزمنا فقط العلاقات (1) و (4)

3) حساب عناصر المصفوفة الجاكوبية Jacobian Matrix لسريان الاستطاعة التقليدية J وهي معروفة لا داعي لذكرها، وحل المعادلة المصفوفية التالية:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J1 & J2 \\ J3 & J4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\delta \\ \Delta|V| \end{bmatrix}$$

4) حساب القيم الجديدة لطويلات الجهود وزواياها وفق العلاقات التالية:

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta|V_i^{(k)}|$$

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta\delta_i^{(k)}$$

5) مراقبة الشرط التالي:

$$\left.\begin{aligned} \Delta P_{max} = P_i^{(k+1)} - P_i^{(k)} \le \varepsilon 1 \\ \Delta Q_{max} = Q_i^{(k+1)} - Q_i^{(k)} \le \varepsilon 2 \end{aligned}\right\}$$

في حال تحقّق الشرط ننتقل إلى الخطوة اللاحقة في خوارزمية سريان الاستطاعة الأمثل وإن لم يتحقّق نعود للبند رقم 2 ويتم حساب القيم الجديدة للاستطاعات الفعلية والردّيّة باستخدام القيم الجديدة لطويلة وزاوية الجهود.

6) حساب الاستطاعة عند العقدة المرجعية $S_1 = P_1 + jQ_1$ والجهود كطويلة وزاوية والاستطاعات الفعلية والردّيّة عند العقد والمفاقيد الكلية الفعلية والردّيّة للمنظومة.

3. خوارزمية الخرج الاقتصادي الأمثل لوحدات التوليد الحرارية:

1) تحديد الحمل الكلّي في المنظومة الذي يساوي حاصل جمع الحمل المتنبّأ به بواسطة البرنامج الجزئي الممثل للشبكة العصبية المعدّة للتنبؤ الآني مع إمكانية التحكم بمعاملاتها من أجل زيادة دقّتها ،والمجموع الكلي لمفاقيد الاستطاعة الفعلية في المنظومة مطروحاً من المجموع الحمل الذي يتم تغذيته من الوحدات الهيدروليكية:

$$P_{\text{Load}} = (P_{\text{Forecasted}} + P_{\text{Losses}}) - P_{\text{Hydraulic}}$$

وإنشاء عداد لوحدات التوليد الحرارية.

2) فرض قيمة ابتدائية لـ λ عامل الإرسالية الاقتصادية $\lambda^{(1)}$

3) حساب الاستطاعات المرسلة من وحدات التوليد الحرلرية من العلاقة

$$P_i^{(1)} = \frac{\lambda^{(1)} - \beta_i}{2\gamma_i}$$

واعتبار هذا الحل تقريباً أولاً

4) حساب الفرق التالي:

$$\Delta P^{(k)} = P_{\text{Load}} - \sum_{i=1}^{i=n} P_i^{(k)}$$

حيث n عدد وحدات التوليد الحرارية، فإذا كان هذا الفرق أصغر أو يساوي قيمة صغيرة معيّنة (تسامحاً) يكون الحل انتهى وإلّا نذهب للخطوة الخامسة.

5) نحسب الخطأ في قيمة عامل الإرسالية الاقتصادية من العلاقة

$$\Delta\lambda^{(k)} = \frac{\Delta P^{(k)}}{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{2\gamma_i}}$$

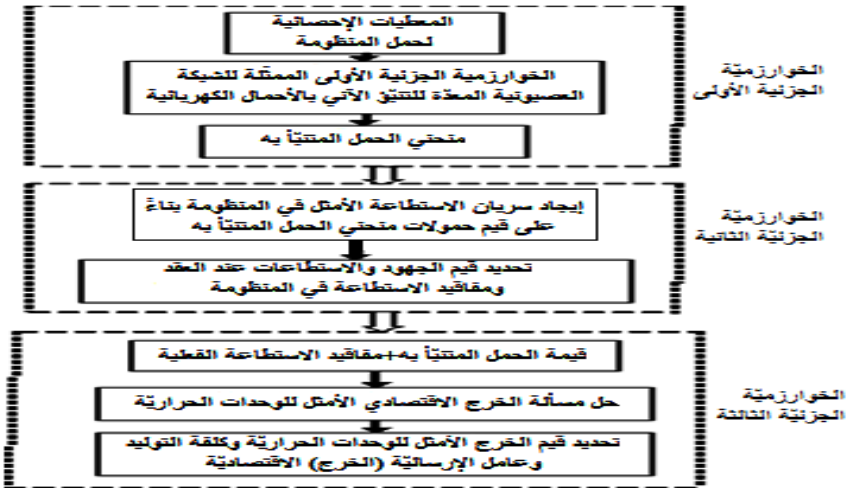
6) ثمّ نحسب القيمة المصححة للامبدا من المعادلة التالية:

$$\lambda^{(k+1)} = \lambda^{(k)} + \Delta\lambda^{(k)}$$

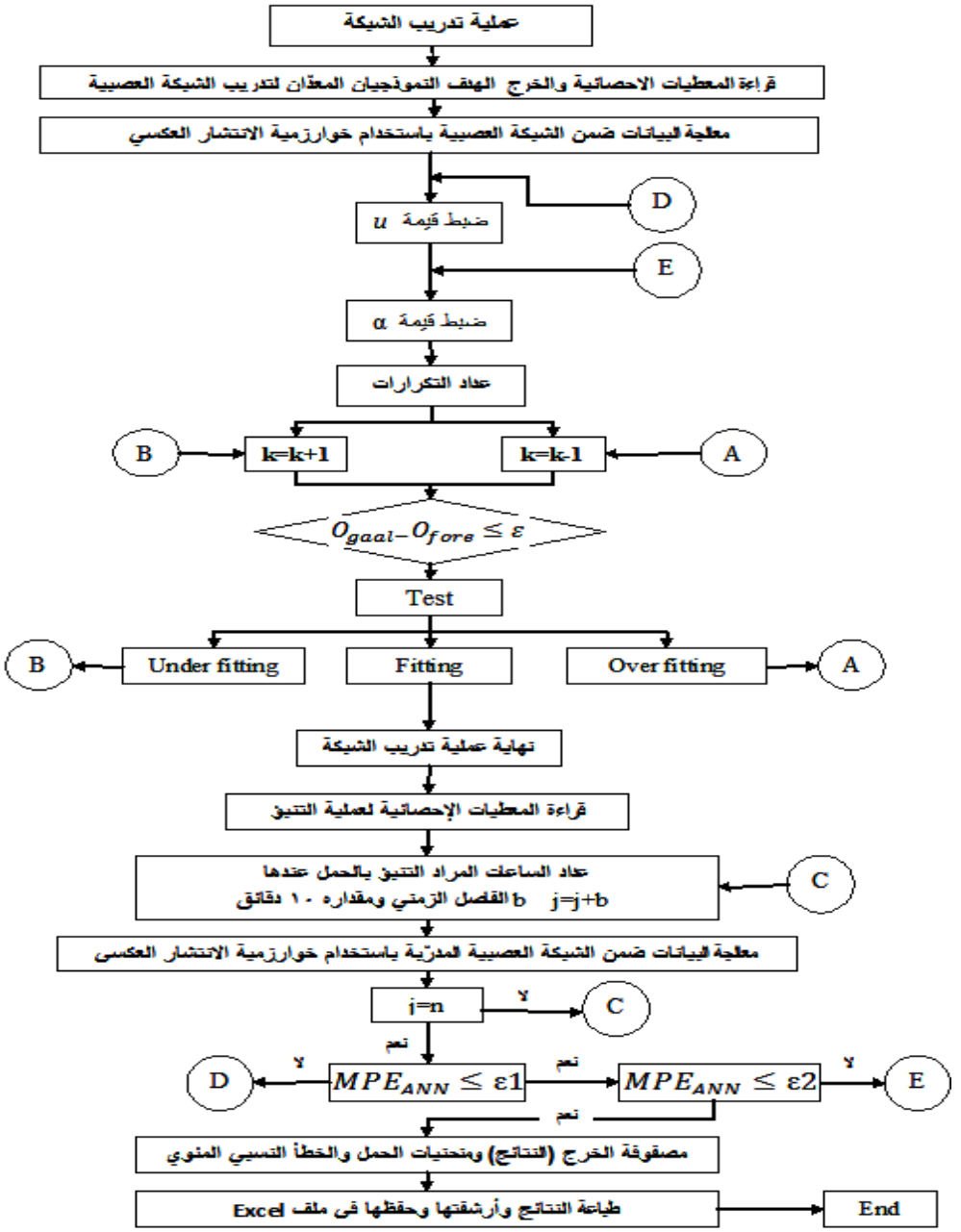
7) ثم نعيد الخطوات من الخطوة الثانية وصولاً إلى تحقّق الشرط في الخطوة الثالثة.

يتم عن طريق حل هذه المعادلات تحديد الخرج الاقتصـــادي لوحدات التوليد الحرارية، ثم تتم المقارنة بين كل خرج والحدود الدنيا والعظمى المســـموحة لهذه الوحدة ففي حال كان الخرج الناتج أصـغر من الحدّ الأدنى يتم تثبيته عند الحد الأدنى، أما إذا كان هذا الخرج أكبر من الحد الأعظمي المســـموح يتم تثبيته عند الحدّ الأعظمي، ثمّ إعادة إجراء الحل الاقتصـــادي للوحدات الواقعة ضـمن الحدود المسـموحة وهكذا، كذلك يجب أن يكون خرج كل محطّة توليد مسـاوياً إلى قيمة الاستطاعة الخارجة من العقدة المربوطة إليها المحطّة.

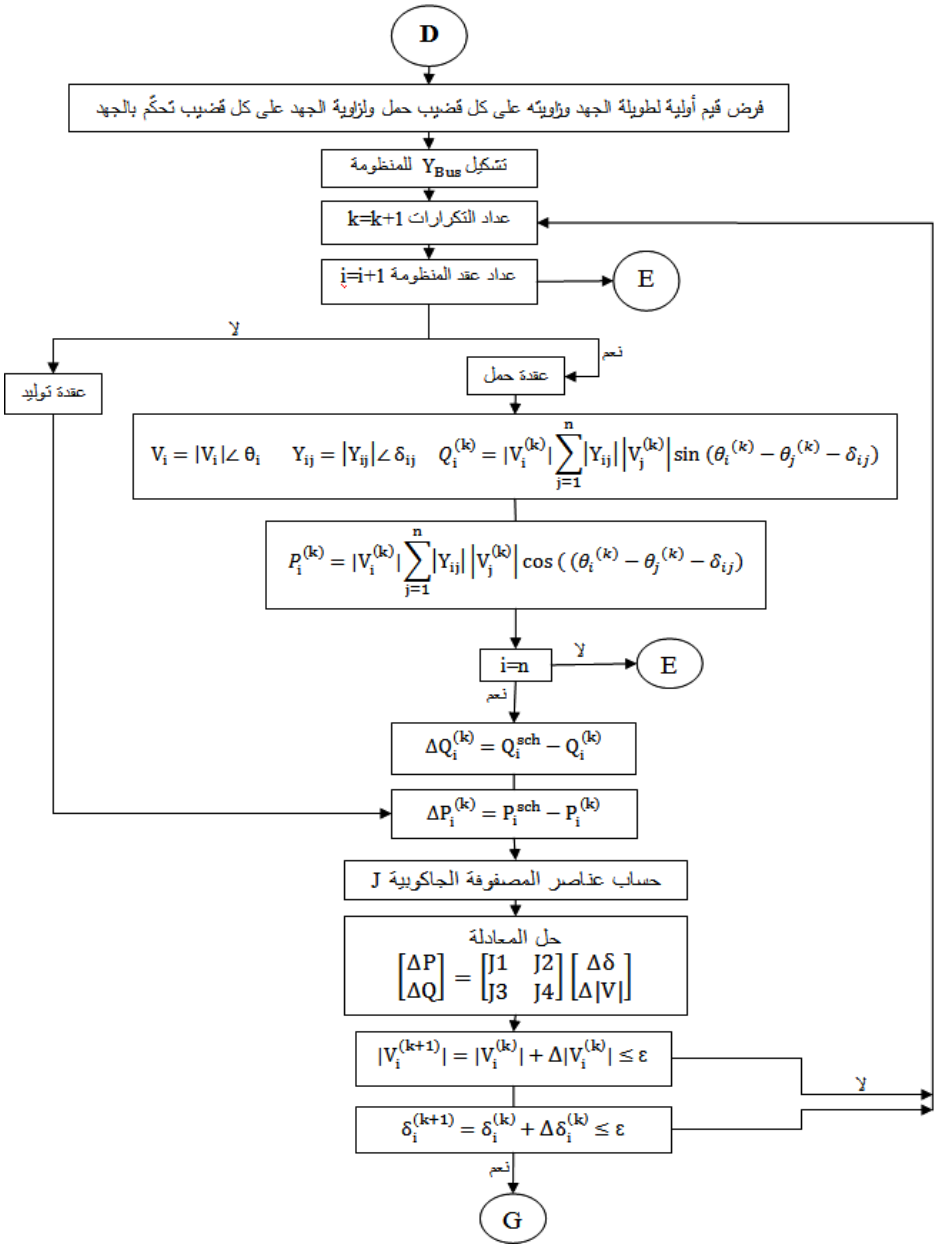
تبيّن الأشـكال (2) و (3) و(4) و (5) المخطّط النهجي للخوارزمية المركّبة المعدّة لإيجاد الحل التنبؤي لمنظومات القدرة الكهربائية.



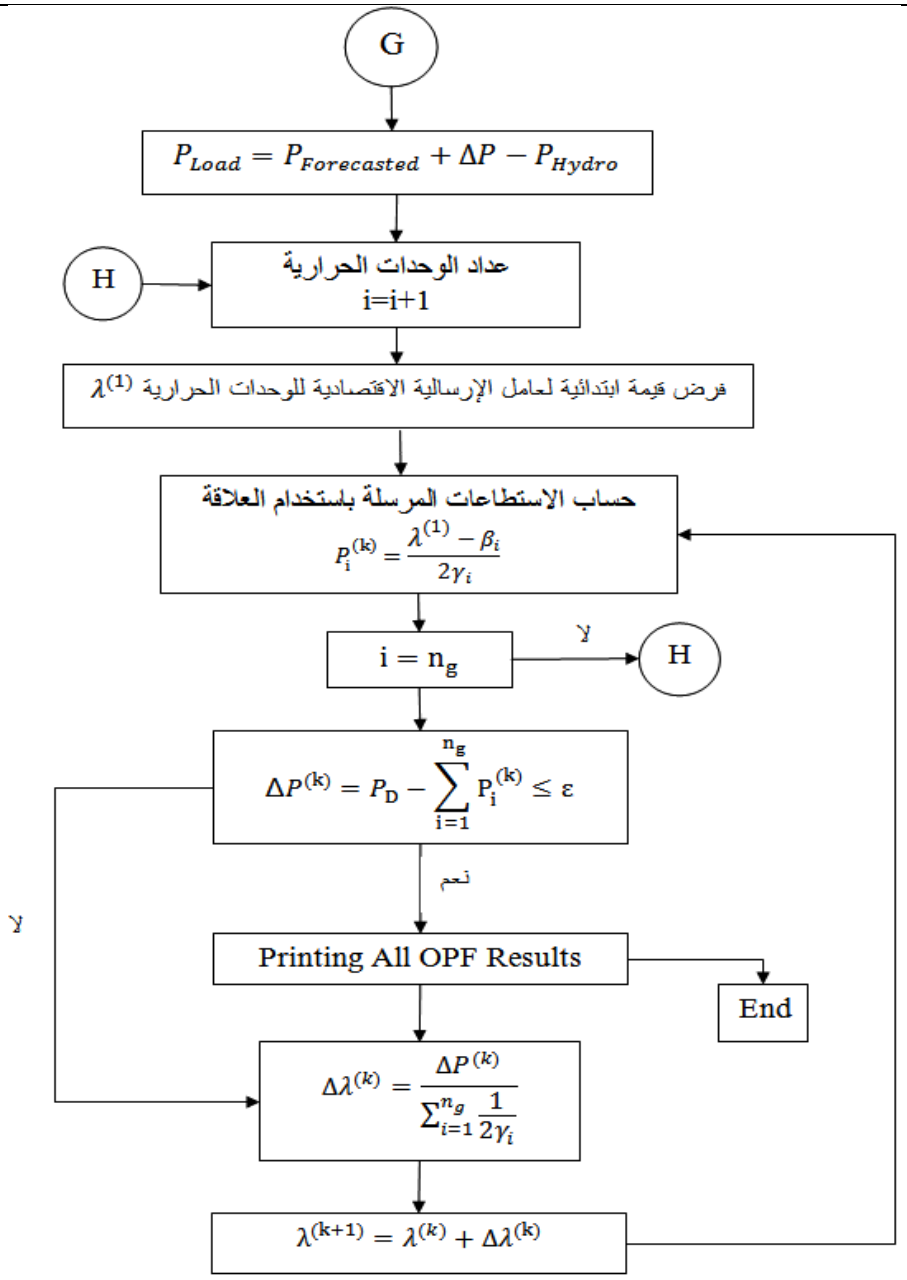
الشكل (2) المخطط الصندوقي العام للخوارزمية الكلّيّة المعدّة في البحث



الشكل (3) المخطط الصندوقي لخوارزمية تدريب وعمل الشبكة العصبونيّة المعدّة (الخوارزميّة الجزئيّة الأولى)



الشكل (4) المخطّط الصندوقي للخوارزمية الجزئية الثانية لحل مسألة سريان الاستطاعة التقليدية في المنظومة



الشكل (5) المخطّط الصندوقي للخوارزمية الجزئية الثالثة لحل مسألة الإرسالية الاقتصادية الأمثل لوحدات التوليد الحرارية

4- تطبيقات البحث:

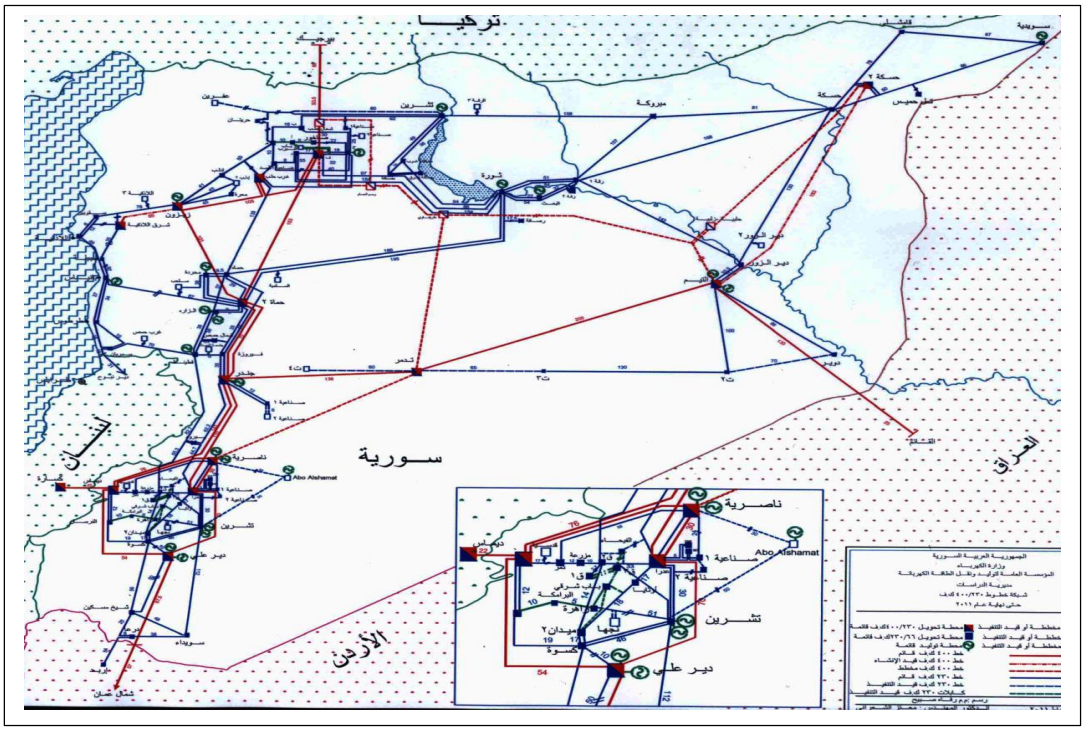
تمّ تمثيل الخوارزمية المركّبة السابقة ببرنامج حاسوبي في بيئة الماتلاب:

1. يســـتقبل ملفات من النوع mat وهو ملف يســـتخدم في بيئة الماتلاب تحتوي على المعطيات الإحصائية لحمل المنظومة المدروسة، ومعطيات العقد والخطوط
2. يعرض هذا البرنامج منحنيات الحمولات الحقيقية والمتنبأ بها وأيضـــاً منحني الخطأ النسـبي المئوي للقيم المتنبأ بها، ومخطّط يمثّل التوزيع الأمثل لحمل المنظومة مضـاف له المفاقيد باعتبارها جزء هام لا يمكن إغفاله من الحمل على وحدات التوليد الحرارية العاملـة في المنظومـة، كمـا تقوم بنســـخ جميع النتـائج إلى ملف Excel في ثلاث صفحات في حال رغب المستخدم بنسخ النتائج وحفظها
3. تتميّز هذه البرامج بدرجة عالية من الدقة وسـهولة الاستخدام من قبل المستثمر وسـهولة إدخال وتغيير معطيات الدخل

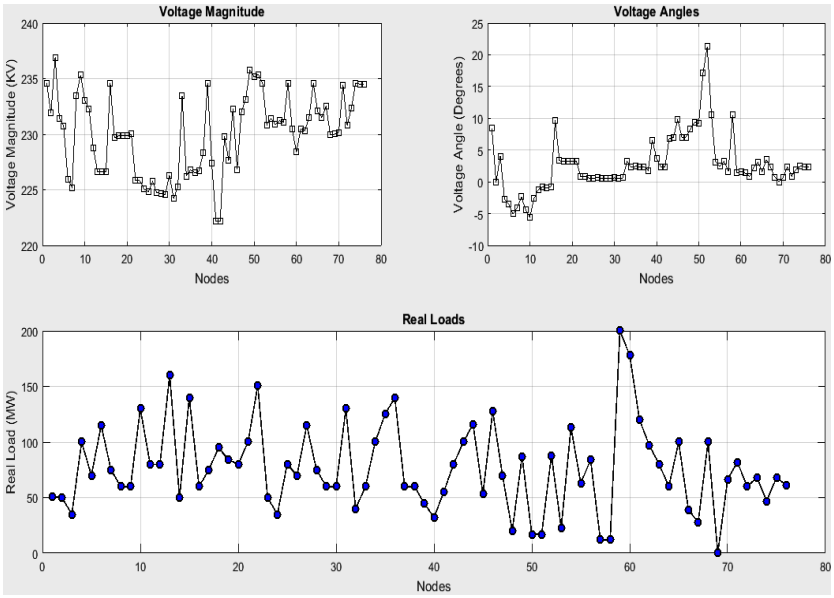
5- نتائج الدراسة

تم استخدام البرنامج المعدّ لدراسة المنظومة الكهربائيَّة السُوريَّة الأساسيَّة، أي ذات التَّوتُّر العالي 230ك.ف و العالي جداً 400ك.ف، وهذه الدِّراسة هي الأهم بالنِّسبة لنا من بين الحالات التي تمّ دراستها في البحث، بسبب رغبتنا في تطوير أداء المنظومة الكهربائيَّة الوطنيَّة، والارتقاء بجودة الطَّاقة الكهربائيَّة المعدّة للاستهلاك الصِّناعي، أو السَّكني، اقتصادياً وفنّياً، في إطار إعادة الإعمار التي تشهدها بلادنا في الآونة الأخيرة.

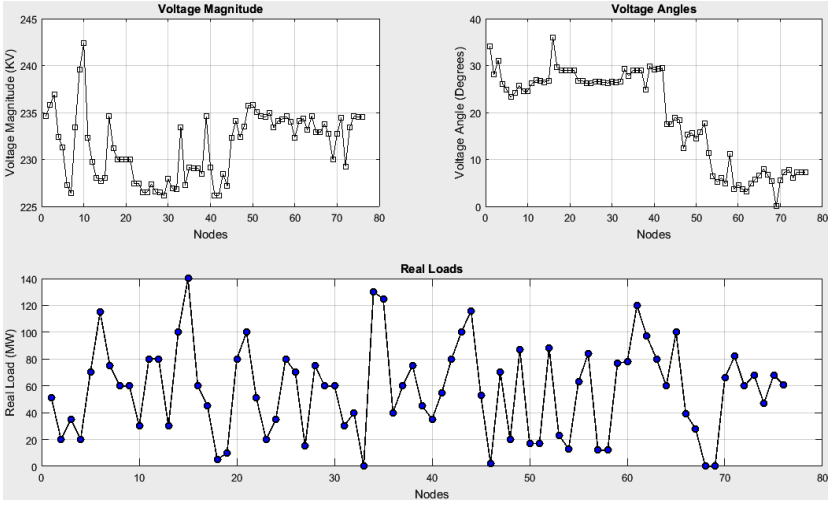
ومن أجل إجراء هذه الدراسة بالدقّة المنشودة، تمَّ إعداد المخطَّط الحسابي للشَّبكة الكهربائيَّة الأساسيَّة، ذات التَّوتُّر العالي 230ك.ف، و العالي جداً 400ك.ف، في الجمهورية العربية السورية حسب المعطيات الواقعية المتوفرة لدى وزارة الكهرباء لعام 2010، حيث كانت هذه المنظومة في ذروة عطائها، قبل تعرِّضها لاحقاً للأعطال. وبسبب ضخامة نتائج البحث، والجداول الكثيرة، الَّتي تحتاج لعشرات الصَّفحات، ولاسبيل لإيرادها كاملةً هنا، سيتمُّ الاكتفاء ببعض الأشكال، والمنحنيات البيانيَّة، والجداول، المعبِّرة عن حالات معيَّنة تتعلَّق بقيمة حمل المنظومة، والتَّوقيت الموافق لهذا الحمل.



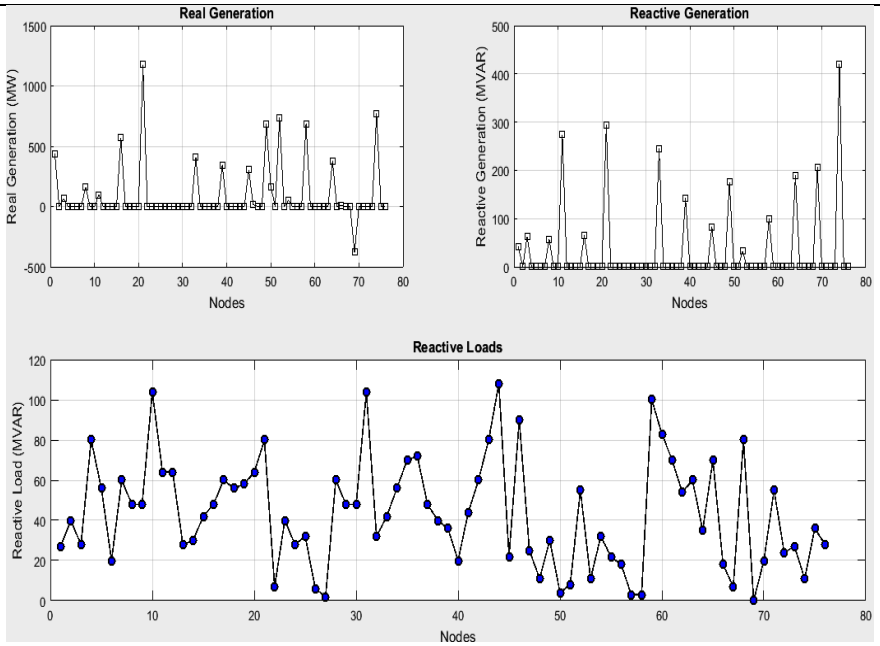
الشكل (6) خارطة الشبكة الكهربائية السورية الأساسية لعام 2010



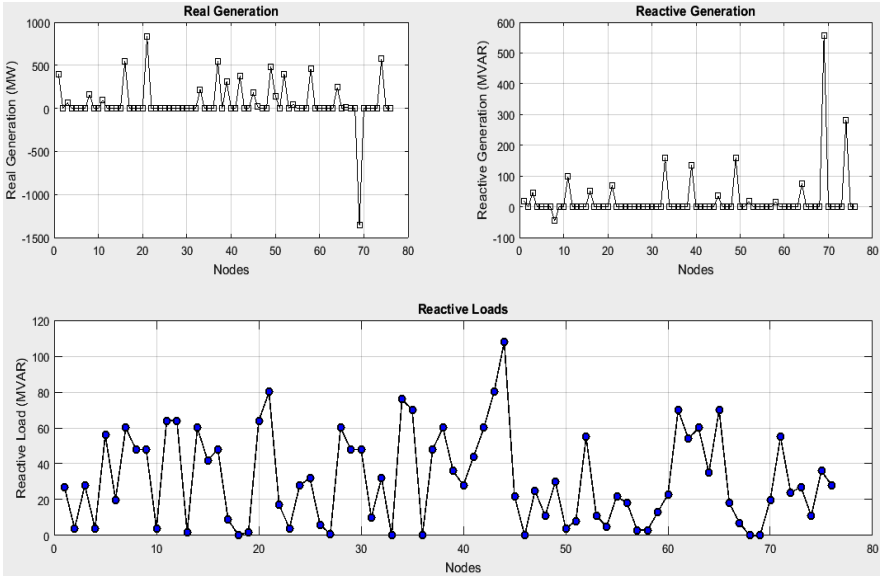
الشكل (7) منحنيات طويلة وزاوية الجهد والحمل الفعلي من أجل الحمل 6975 MW عند عقد المنظومة السورية ذات التوتّر 230 KV



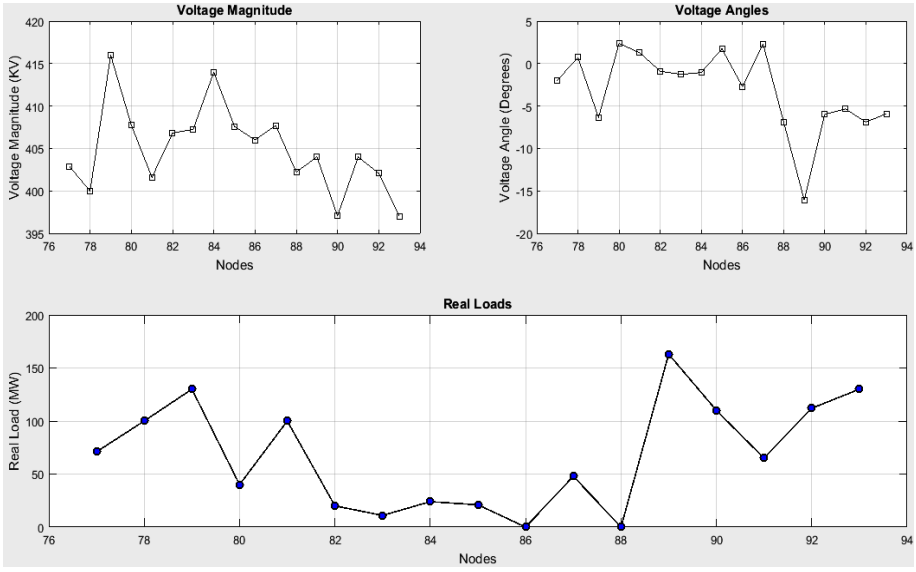
الشكل (8) منحنيات طويلة وزاوية الجهد والحمل الفعلي من أجل الحمل 5000 MW عند عقد المنظومة السورية ذات التوتّر 230 KV



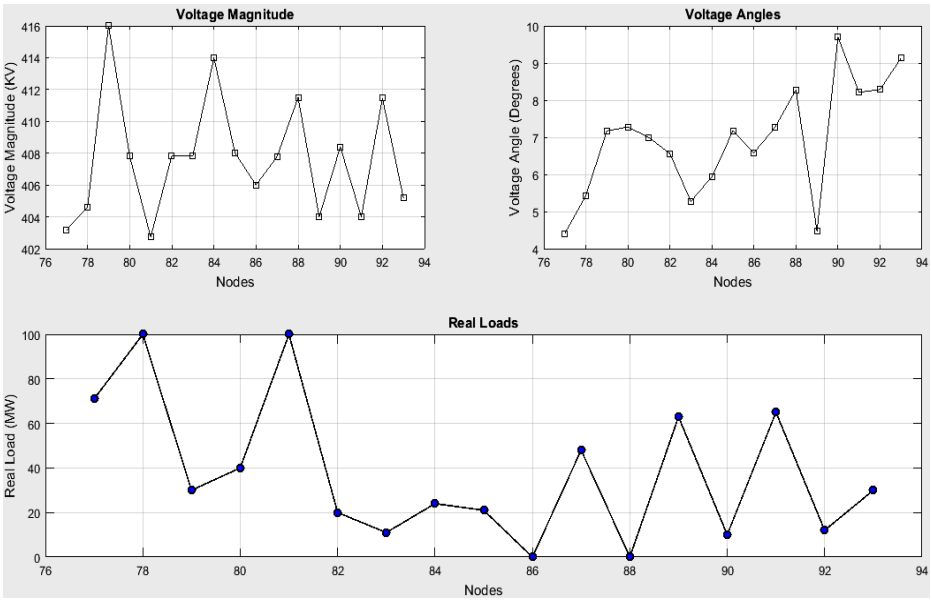
الشكل (9) منحنيات التوليد الفعلي والردّي والحمل الردّي من أجل الحمل 6975 MW عند عقد المنظومة السورية ذات التوتّر 230 KV



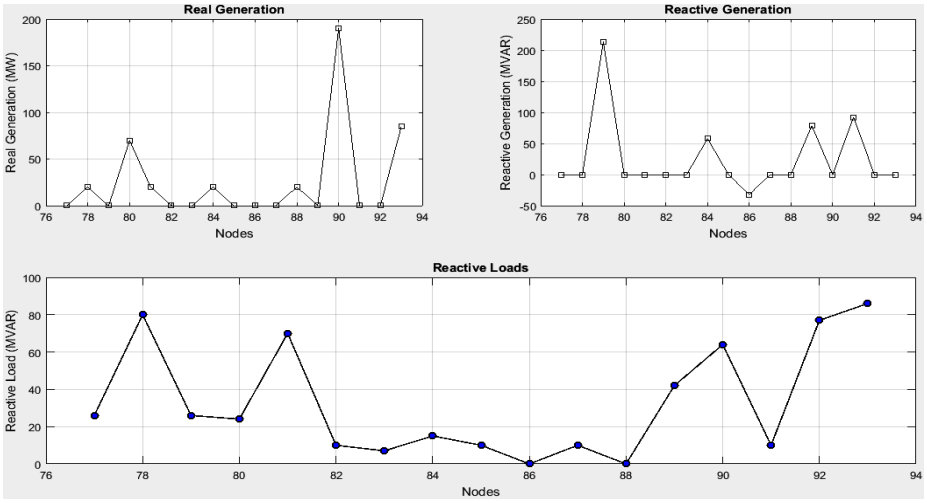
الشكل (10) منحنيات التوليد الفعلي والردّي والحمل الردّي من أجل الحمل 5000 MW عند عقد المنظومة السورية ذات التوتّر 230 KV



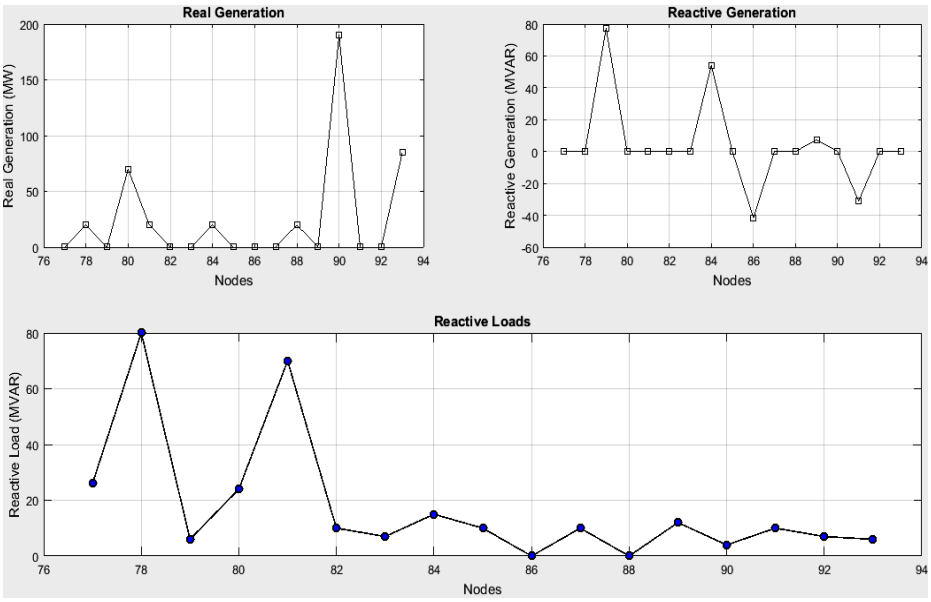
الشكل (11) منحنيات طويلة وزاوية الجهد والحمل الفعلي من أجل الحمل 6975 MW عند عقد المنظومة السورية ذات التوتّر 400 KV



الشكل (12) منحنيات طويلة وزاوية الجهد والحمل الفعلي من أجل الحمل 5000 MW عند عقد المنظومة السورية ذات التوتّر 400 KV



الشكل (13) منحنيات التوليد الفعلي والردّي والحمل الردّي من أجل الحمل 6975 MW عند عقد المنظومة السورية ذات التوتّر 400 KV



الشكل (14) منحنيات التوليد الفعلي والردّي والحمل الردّي من أجل الحمل 5000 MW عند عقد المنظومة السورية ذات التوتّر 400 KV

الجدول (1) نتائج قيم الاستطاعات المثلى المرسلة من الوحدات الحرارية عند الحمل 5000 MW

مسلسل	رقم العقدة	اسم المحطة	الخرج الأمثل	P_min	P_max
1	8	'السويدية'	32	5	32
2	8	'السويدية'	32	5	32
3	8	'السويدية'	32	5	32
4	8	'السويدية'	32	5	32
5	8	'السويدية'	32	5	32
6	11	'التيم'	32	5	32
7	11	'التيم'	32	5	32
8	11	'التيم'	32	5	32
9	21	'م ح ح'	159.1725	31	231
10	21	'م ح ح'	159.1725	31	231
11	21	'م ح ح'	159.1725	31	231

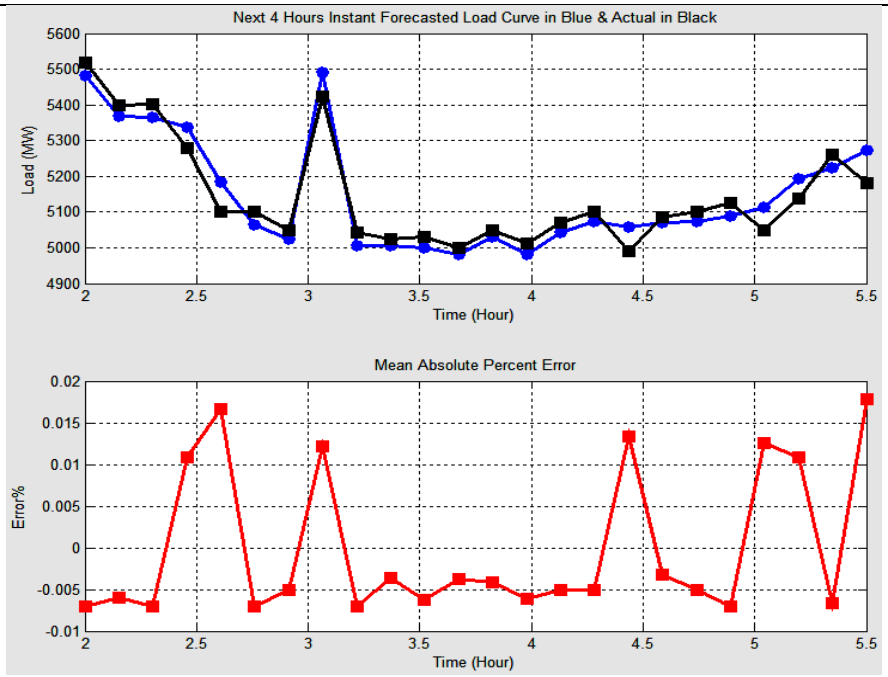
12	21	'م ح ح'	159.1725	31	231
13	21	'م ح ح'	159.1725	31	231
14	21	'م ح ح'	38	6	38
15	33	'زيزون'	71.9285	20	142
16	33	'زيزون'	71.9285	20	142
17	33	'زيزون'	71.9285	20	142
18	39	'بانياس'	108.467	26	180
19	39	'بانياس'	108.467	26	180
20	45	'محردة'	89.23619	23	160
21	45	'محردة'	89.23619	23	160
22	49	'الزارة'	159.1725	33	231
23	49	'الزارة'	159.1725	33	231
24	49	'الزارة'	159.1725	33	231
25	50	'قطينة'	32	5	32
26	50	'قطينة'	32	5	32
27	50	'قطينة'	32	5	32
28	50	'قطينة'	48.08235	10	70
29	52	'جندر'	81.54389	17	125
30	52	'جندر'	81.54389	17	125
31	52	'جندر'	58.46696	18	128
32	52	'جندر'	58.46696	18	128
33	52	'جندر'	58.46696	18	128
34	52	'جندر'	58.46696	18	128
35	58	'م ت ح'	148.1309	30	217
36	58	'م ت ح'	148.1309	30	217
37	58	'م ت ح'	80.4285	16	125
38	58	'م ت ح'	80.4285	16	125
39	64	'الناصرية'	80.39004	16	125
40	64	'الناصرية'	80.39004	16	125
41	64	'الناصرية'	80.39004	16	125
42	74	'دير علي'	190.4225	38	265
43	74	'دير علي'	188.3392	38	263
44	74	'دير علي'	188.3392	38	263

الجدول (2) نتائج قيم عامل الخرج الاقتصادي وكلفة التوليد في المنظومة السورية عند الحمل 5000 MW

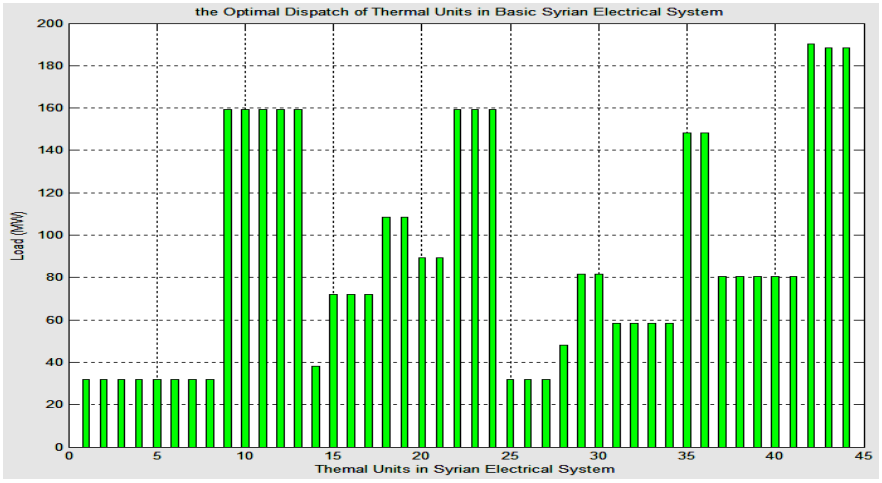
مسلسل	قيم λ ($/MWh)	الكلفة الكلية للتوليد ($/h)
1	6.597596	3097242
2	6.602014	3097294
3	6.76612	4376416

الجدول (3) نتائج الحمل والتوليد الفعليين والردّيين في المنظومة السورية عند الحمل 5000 MW

5186.495	التوليد الكلّي الفعلي (ميغا وات)
1739.598	التوليد الكلّي الردّي (ميغا فار)
5000	الحمل الكلّي الفعلي (ميغا وات)
2695.2	الحمل الكلّي الردّي (ميغا فار)
186.4953	المفاقيد الكلية الفعلية (ميغا وات)
955.602	المفاقيد الكلية الردّية (ميغا فار)



الشكل (15) منحنيات الحمل الفعلي والمتنبّأ به والخطأ النسبي المئوي من الساعة 7 للمنظومة السورية



الشكل (16) التوزيع الاقتصادي الأمثل للحمل 5000 MW على الوحدات الحرارية في المنظومة السورية

6- مناقشة النتائج

1) بالنسبة لنتائج المؤشِّرات الفنِّيَّة للمنظومة الكهربائيَّة السَّوريَّة الحاصلة الَّتي يعطيها البرنامج المعدّ في البحث، وبمقارنة هذه النَّتائج مع برنامج PSS/E المستخدم في وزارة الكهرباء السَّوريَّة، والمبيَّنة في الجدول التالي:

الجدول (4) مقارنة بين البرنامج المعدّ وبرنامج PSS/E في حل المنظومة الكهربائية السورية

	عند الحمل الأعظمي		
	البرنامج / المؤشر	PSS/E	البرنامج المعدّ في البحث
230 KV	V(min)	203	222.14
	V(max)	236.89	236. 9
400 KV	V(min)	352.73	397
	V(max)	408.9	416
	Peq(Loss)	94.76	129.9156
	Qeq(Loss)	2079.24	1060.23
	عند الحمل الأصغري		
230 KV	V(min)	225.2	226.17
	V(max)	236.12	242. 38
400 KV	V(min)	379.07	402.73
	V(max)	411.96	416
	Peq(Loss)	39.35	186. 4953
	Qeq(Loss)	866.52	955.602

نلاحظ من الجدول السابق الدقّة في النتائج الحاصلة من البرنامج المعدّ في الأطروحة بالمقارنة مع برنامج احترافي معتمد من قبل وزارة الكهرباء السورية هو برنامج PSS/E لاسيما عند الحمل

الأعظمي وبشكل خاص إذا قارنّا حدود الجهد عند سويتي الـ 230 KV و 400 KV، ومفاقيد الاستطاعة الردّيّة للمنظومة.

2) بمقارنة نتائج الخرج الاقتصادي الأمثل لوحدات التّوليد الحرارية فقد تمّت مقارنة نتائج البرنامج مع برنامج آخر موجود في كلية الهندسة الكهربائية بجامعة حلب يعتمد خوارزمية تحويل معطيات توابع كلفة الوقود وباقي معطيات المسألة إلى معادلات مصفوفية خطّيّة، كانت النّتائج متطابقة تماماً بالنسبة للمنظومة الكهربائيَّة السَّوريَّة عند الحمل الأصغري 5000MW، وعند الحمل الأعظمي 6975MW، ومابينهما، حيث تمَّ أخذ نتائج قيم عشوائيَّة بين قيم الحمل الأصغري، والحمل الأعظمي، ومن المهم التذكير هنا أنّ مسألة الخرج الاقتصادي عندما تكون قيم المفاقيد الفعلية موجودة في المسألة عن طريق إيجاد سريان الاستطاعة التقليدي للمنظومة المدروسة تتحوّل إلى معادلات خطّيّة وهنا يجب ان تكون القيم في أي برامج متشابهة متماثلة إلى حدٍّ بعيد، دون أي اختلاف ولو بسيط، كما يجدر التنويه أنّه في حال تجاوز الخرج المرسل من الوحدة الحرارية القيمة العظمى لها أي أعلى قيمة يمكن أن تقدِّمها الوحدة وفقاً لمواصفاتها الفنِّيَّة، ومنحنياتها الحراريَّة، يتم تثبيت الخرج عند القيمة العظمى، وفي حال انخفض الخرج المرسل عن القيمة الدنيا يتم تثبيته عندها، ثمّ إعادة حساب الخرج الأمثل لباقي الوحدات المحققة للشَّرط $P_{max} \geq P \geq P_{min}$، وقد تتكرَّر العمليَّة أكثر من مرة، وهذا ما ينفِّذه البرنامج تلقائيَّاً.

3) فيما يتعلّق بخوارزميَّة التنبؤ الآني بالأحمال الكهربائية، لم نجد دراسة مرجعيَّة حول المنظومة السُّوريَّة، شبيهة بما قدَّمناه في البحث، وهو التَّنبُّؤ الآني لحمل هذه المنظومة، لعدَّة ساعات قادمة باستخدام الشبكات العصبونيَّة، بفاصل زمني قدره عشر دقائق بين كلّ عمليَّتي تنبُّؤ بما يضاهي الدِّراسات العالميَّة المتقدِّمة، فتمَّت عمليَّة المقارنة مع الدِّراسات الخاصَّة بالأنظمة المعياريَّة العالميَّة IEEE-118_bus، وIEEE57_bus، نظراً لأنَّ عدد الخطوط للشَّبكة الكهربائيَّة السُّوريَّة، يقع بين هاتين القيمتين. وبيَّنت المقارنة أنَّ الشبكة المعّدة على دقّة عالية كما توضّح النتائج بالمقارنة مع مراجع ودراسات حديثة عالمية، تتضمن شبكات عصبونية مماثلة معّدة للتنبؤ قصير الأمد، تعتمد التقنيّة المقدّمة في البحث على إضافة طبقة مخفيّة جديدة إلى الشبكة العصبونية مكوّنة من عصبون وحيد تمّ ربطه بالطبقة المخفية الأولى بتابع تنشيط خطّي على أن يكون تابع التنشيط النهائي بين الطبقة المخفية الثانية وطبقة الخرج من النوع

الأســـي Sigmoid لأنّ خرجه يقع في المجال [0,1] بما يلائم معطيات المســـألة المدروســـة، ولوحظ أهمية تطبيق هذه التقنية في زيادة دقّة وفعالية الشـبكة العصـبونية المعدّة، حيث ازدادت دقّة الشبكة العصـبونية المعدّة للتنبؤ الآني (والتي تمّ تقديمها من قبل الباحث كدراسـة سـابقة في المرجع العربي [1])، بنســبة تتجاوز الـ 50%، حيث انخفض الخطأ النســبي المئوي المتوســط MPE للشـبكة في البحث من 2.02% إلى 0.1389% بالنســبة للنظام المعياري IEEE 57-bus، كما انخفض MPE من 0.723% إلى 0.403% بالنسبة للنظام المعياري IEEE 118-bus بالقيمة المطلقة وهذه القيم تعبّر عن دقّة الشبكة حيث تصل قيمة الخطأ MPE المقبولة في المراجع العالمية إلى أكثر من 3%، في المرجع الأجنبي [4] يقترح البحث نموذجاً جديداً للتنبؤ بالأحمال الكهربائية باسـتخدام الشـبكات العصـبونية العميقة وبمقارنة الانحراف المعياري للنموذج مع نموذج تقليدي أول انخفض هنا المؤشـر بمقدار22% وانخفض الخطأ النسـبي المئوي بمقدار 29%، ومع نموذج تقليدي ثانٍ انخفض المؤشـــر بمقدار17% وانخفض الخطأ النســـبي المئوي بمقدار 9%، أما في المرجع الأجنبي [5] فيقترح الباحث تدعيم طريقة الانتشار العكسي للشبكات العصـبية باسـتخدام تقنية ذكية أخرى Smart technique وهي الأمثلية بطريقة الحشـد الجزيئي الكمّي Quantum Particle Swarm Optimization (QPSO)، ويقدّم الباحث نســـختين متطورتين لهذه الطريقة ويقارن بين النســـخ الثلاثة التي طوّرها في البحث من حيث الدقّة وكانت النسـخ الثلاثة بالإجمال أفضـل من طريقة الشـبكات العصـبية ذات الانتشـار العكسـي التقليدية والجدول التالي يوضح المقارنة بين النسخ الثلاثة المطورة للطريقة التي اقترحها الباحث:

الجدول (5) مقارنة بين النسخ الثلاثة المطوّرة للتنبؤ بالأحمال الكهربائية في المرجع 8

الطريقة	QPSO-BPNN	IQPSO-BPNN	VPQPSO-BPNN
الخطأ النسبي المئوي	6.14%	3.87%	3.39%

7- الاستنتاجات والتوصيات:

1- فعّالية ودقّة الخوارزمية المقدّمة في البحث في إيجاد حلّ حقيقي وحل تنبؤي للمنظومات الكهربائية المدروسة كما بيّنت النتائج.

2- إمكانية استخدام البرنامج الحاسوبي المعدّ على أساس الخوارزمية المقترحة في البحث لدراسة الشبكة الكهربائية السورية الأساسية.

3- اقتراح استخدام الخوارزمية المقترحة والبرنامج المنجز في البحث على أساسها في مراكز التنسيق والمديريات التابعة لوزارة الكهرباء في القطر العربي السوري.

4- سهولة استخدام البرنامج المعدّ وسهولة إدخال المعطيات إليه وميزاته التي تسمح بنسخ وحفظ نتائج حل المنظومة المدروسة بشكل واضح في ملف أوفيس-إكسيل وإظهار منحنيات الحمل المتنبّأ به والأخطاء النسبية المئوية لعمليات التنبؤ، وشكل بياني يظهر توزّع الحمل على وحدات التوليد الحرارية العاملة في المنظومة.

8- المراجع

1. د.عمر حمندوش، د. طه جبّان، وم. وحيد قسطون "زيادة دقّة الشبكة العصبونية المعدّة للتنبؤ الآني من خلال التحكّم بمعاملاتها" – مجلة جامعة البعث سلسلة العلوم الهندسية – المجلّد 39 لعام 2017.

[1] Edgardo D. Castronuovo, Jorge M. Campagnolo and Roberto Salgado, 2012-**"New Versions of Interior Point Methods Applied to the Optimal Power Flow Problem"**-CEPEL and RECOPE Rio de Janeiro Brazil, 105p.

[2] Prakornchai Polratanasuk, Pisit Mesacharoenwong, Sumeth Anantasate and Nopporn Leeprechanon, 9/2015-**"Solving Optimal Power Flow Problem Using Parallel Bee Algorithm"**-SELECTED TOPICS in POWER SYSTEMS and REMOTE SENSING, 12p.

[3] Shahrouz Qghazian, Masoud Rashidi Najad and Amir Abdollahi, 8/2014-"**Reduction of Transmission Losses on Optimal Power Flow using Genetic Algorithm"**-International Journal of Multidisciplinary, Current Research, 117p.

[4] **Appendix for IEEE** 5,14,30,57,118-BUS SYSTEM DATA, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems.

[5] Seunghyoung Ryu, Jaekoo Noh and Hongseok Kim, 2017, Deep Neural Network Based Demand Side Short Term Load Forecasting-**Energies Vol.11, No.3, 93-102**

[6] Tan Zhongfu1, Xin He and Ju Liwei1, 2016-"**Simulation Study on Optimizing Neural Network in Short-Term Electric Load Prediction**"- International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering. Vol.11, No.3, pages 93-102.

Arabic references

[1] O. Hamandoush, T. Jabban, W. Kastoun, 2017-**"Improving Artificial neural network Accuracy for instant electrical**

Load forecasting by controlling its factors"- Albaath-univ Magazine ,Engineering Science Series, Folder (19), 32p.