

## Monitoring of Buses Voltage in Syrian Power Transmission Network Using Supervised Kohonen Neural Network Classifier

Dr. Tammam Hayder<sup>\*</sup>  
Dr. Faisal Shaaban<sup>\*\*</sup>  
Alhussien Alkhayier<sup>\*\*\*</sup>

(Received 4 / 10 / 2017. Accepted 21 / 1 / 2017)

### □ ABSTRACT □

This paper presents the usage of a type of neural networks called Kohonen Supervised Self-Organizing Maps SSOM for security assessment of Syrian power transmission system by monitoring buses voltage. With the increase in load demand, the network is loaded to its limits making it vulnerable to black out when facing a disturbance (load changes, generator outages, transfer lines outages and load loss). All energy management systems work to obtain economic and secure operation of power system, so we have to determine whether this system is secure or insecure in the static state. This paper presents a graphical user interface GUI to the system operator with the state (secure or insecure) of stations in the Syrian power transmission network under normal and abnormal conditions. We used a new modification called Batch-Training Algorithm presented by Kohonen in his book "Self-Organizing Maps", this modification is used to train the Kohonen neural network in supervised manner that gives the network more stability and makes it able to deal with large electrical networks like the Syrian Transmission network, the case study used in this paper. Simulation studies showed that this method gives accurate and fast results compared with traditional methods such as fast-decoupled Newton Raphson.

**Keywords:** ANN, Power system security, Kohonen maps, Voltage security, classification of buses voltage.

---

<sup>\*</sup>Assistant Professor Department of Electrical Power Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

<sup>\*\*</sup>Professor , Department of Electrical Power Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

<sup>\*\*\*</sup>Postgraduate Student , Department of Electrical Power Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

## مراقبة توتر قضبان تجميع شبكة نقل الطاقة الكهربائية السورية باستخدام خرائط كوهونين العصبونية ذاتية التنظيم ذات التعليم المراقب

\*الدكتور تمام حيدر

\*\*الدكتور فيصل شعبان

\*\*\*الحسين الخير

(تاريخ الإيداع 4 / 10 / 2017. قُبل للنشر في 21 / 1 / 2018)

### □ ملخص □

نستخدم في هذا البحث شبكات كوهونين العصبونية ذاتية التنظيم ذات التعليم المراقب Kohonen Supervised Self-Organizing Maps SSOM لتقييم أمان شبكة نقل الطاقة السورية عن طريق مراقبة توترات قضبان التجميع لهذه الشبكة. حيث أنه مع زيادة الطلب على الطاقة تعمل أنظمة القدرة عند حدود تشغيل قريبة من الحدود العظمى المسموحة مما يجعلها معرضة في أية لحظة لحدوث حالة تعتيم جزئي أو عام عند تعرضها لاضطراب معين (تغيرات في الاحمال - خروج محطات توليد - خروج خطوط نقل - فقدان أحمال أو محطة تحويل). تعمل جميع أنظمة إدارة الطاقة لتحقيق تشغيل اقتصادي آمن لنظام القدرة، ومن أجل الوصول للتشغيل الاقتصادي يجب تحديد إذا كان هذا النظام آمن أو غير آمن في حالته الستاتيكية. يقدم هذا البحث واجهة بصرية لمشغل النظام تبين محطات الشبكة السورية مع تبيان حالة هذه المحطات (أمنة/غير آمنة) بحيث يظهر الخرج على شكل فئات Classes حسب حالة المحطة. وقد أظهرت هذه الطريقة سرعة كبيرة مقارنة مع الطرق التقليدية (سريان الاستطاعة) كما أننا استخدمنا تعديل جديد لشبكات كوهونين العصبونية ذاتية التنظيم وهو تدريبها بشكل مراقب Supervised Learning وهو التعديل الذي قدمه العالم كوهونين في كتابه Self-Organizing Maps وأسماه Batch-Training Algorithm. مما جعل التدريب أكثر استقراراً وجعل شبكات كوهونين العصبونية أكثر قدرة على التعامل مع الشبكات الكبيرة كنظم القدرة المعقدة كما هو حال الشبكة السورية موضوع هذه الدراسة، وجعل شبكات كوهونين العصبونية مناسبة جداً لتطبيقات أمان نظام القدرة Power System Security.

**الكلمات المفتاحية:** الشبكات العصبونية الاصطناعية، أمان نظام القدرة الكهربائي، خرائط كوهونين، أمان

الجهد، تصنيف قضبان الجهد.

\* مدرس - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهك - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

\*\* أستاذ - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهك - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

\*\*\* طالب ماجستير - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهك - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

## مقدمة:

يحتوي نظام القدرة الكهربائية في سوريا على العديد من محطات التوليد والأحمال الموزعة جغرافياً ويعد هذا النظام ديناميكي بطبيعته حيث تتغير بنيته بشكل متكرر لتتناسب مع متطلبات الأحمال. نظام القدرة الآمن هو النظام القادر على تجاوز مجموعة من حالات الاضطراب دون أن يصل إلى حالة طوارئ، بمعنى آخر يقال عن تشغيل نظام القدرة أنه آمن إذا لم يتعرض النظام لتحميل زائد نتيجة حدوث حالة طارئة [1]. الهدف الرئيسي في تشغيل نظام القدرة هو المحافظة على أمان هذا النظام، حيث يمكن الإشارة إلى أمان النظام بأنه الممارسات المصممة للحفاظ على تشغيل النظام عندما تفشل المكونات كخروج محطات توليد، خروج خطوط نقل، فقدان أحمال أو محطة تحويل [2].

يوجد أنواع مختلفة من الشبكات العصبونية تستخدم في دراسة مسائل الأمان الستاتيكي نظراً لما تتمتع به من سرعة ودقة. حيث درس المرجع [3] استقرار نظام القدرة في الزمن الحقيقي باستخدام الشبكات العصبونية متعددة الطبقات Multilayer Perceptron Neural Network مع مبدأ الانحراف المدمج مع خوارزمية التتابع الخفي Backward Sequential Algorithm للوصول إلى العدد المثالي لميزات التدريب للشبكة العصبونية وتم تطبيق هذه الطريقة على نظام قدرة اختبائي IEEE 57-bus ضمن حالات تشغيل مختلفة وأظهرت النتائج قابلية هذه الطريقة للعمل في مجالات تقييم الأمان وحتى أثناء تغيرات في بنية الشبكة. ودرس المرجع [4] استخدام الخرائط ذاتية التنظيم مدمجة مع تابع الأساس الشعاعي (RBF) Radial Basis Function وذلك من أجل دراسة حالات استقرار التوتر في الشبكة الهندية 203-bus بعد تعريضها لحالات طوارئ وتغيرات في الحمل. بينما قام الباحث في المرجع [5] بدراسة استخدام خرائط كوهونين لتشكيل مجموعات قضبان التجميع لدراسة استقرار التوتر في نظام القدرة واختبر التقنية على نظام IEEE 39-bus بعد تطبيق حالتين طارئتين هما حالة تغير حمولة وحالة خروج خط نقل. أما المرجع [6] فدرس استخدام خرائط كوهونين ذاتية التنظيم لحل المسائل المتعلقة بتقييم الأمان الستاتيكي وباستخدام 15 نموذج مختلف لحمولة الخطوط استخدمت في تدريب الشبكة.

## أهمية البحث وأهدافه:

إن تقييم الأمان في الطرق التقليدية يتم عبر استخدام النمذجة التحليلية للشبكة وحل مسائل سريان الاستطاعة بشكل متكرر لكل حالات العطل ومن أجل كل حالة طوارئ على حده. ولكن هذه العملية ليست مرضية بشكل كافي لأن العمليات الحسابية فيها تكون طويلة. ولتقليل هذه الأزمنة الحسابية فإن معظم أنظمة إدارة الطاقة تستخدم أدوات تنبؤ بالأمان مثل مصفوفة الحساسية Sensitivity Matrix، عوامل التوزيع Distribution Factors، سريان الاستطاعة للفصل السريع Fast Decoupled Load Flows. أو تستخدم مؤشرات أداء Performance Indicators لتقليل عدد الحالات الطارئة الحرجة المطلوب حسابها. إن هذه الطرق التقليدية مستهلكة للوقت بالعادة وتبرز فيها ظاهرة التصنيف الخاطئ Misclassification أو الإنذار الخاطئ False Alarm للقيم الحدودية ولذلك لا تعد هذه الطرق ملائمة للتطبيقات العملية حيث تصعب متابعة البيانات من قبل مشغل الشبكة [6].

أما الطرق المعتمدة على المنطق الضبابي Fuzzy Logic أو النظم الخبيرة Expert Systems فهي طرق سريعة، لكنها تعاني من قلة التنوع حيث أن معظم هذه الطرق مخصصة لنظام معين. ومع التقدم الكبير في مجال معالجة المعلومات وتقنيات التعليم تم استخدام الطرق المعتمدة على الشبكات العصبونية الاصطناعية Artificial Neural Networks كبديل حقيقي للطرق التقليدية [6]. ومؤخراً تم تقديم العديد من الطرق التي تعتمد على هذه

الشبكات كطرق بديلة في عمليات تقييم الأمان الساتاتيكي للنظم الكهربائية. حيث تطبق هذه الطرق للحصول على نتائج دقيقة وبشكل أسرع. وأهم هذه المجالات هو تصنيف حالة أمان النظام. عند حدوث تغير في التوتر، تتدخل عادة المبدلات الآلية الموجودة في محطات التحويل. أما بالنسبة لقضبان التجميع القريبة من محطات التوليد فيتم عادة رفع التوتر المولد في هذه المحطات لتعويض انخفاض التوتر. يهدف هذا البحث لتقديم واجهة بصرية لمشغل النظام عن طريق استخدام خرائط كوهونين ذاتية التنظيم المراقبة التي تعد تطويراً لشبكات كوهونين التي تعتمد التعليم غير المراقب، حيث تمثل فيها محطات الشبكة السورية ويتم من خلالها تحديد المحطات الحساسة في النظام أثناء الحالة الطارئة من خلال تشكيل مجموعات قضبان التجميع. ومن خلال تقسيم نظام القدرة إلى مجموعات من قضبان التجميع نقوم بتقليل حجم هذا النظام وبالتالي تحسين دقة العمليات الحسابية المتعلقة بهذا النظام. ويظهر على الواجهة جميع محطات الشبكة السورية مقسمة إلى ثلاث مناطق: آمنة Safe، تحذير Warning، إنذار Alarm، وبالتالي تعطي مشغل النظام سرعة في اتخاذ القرار والقيام بالفعل التصحيحي المناسب للعودة بالنظام إلى الحالة المستقرة.

## طرائق البحث ومواده:

### 1- شبكة نقل الطاقة السورية

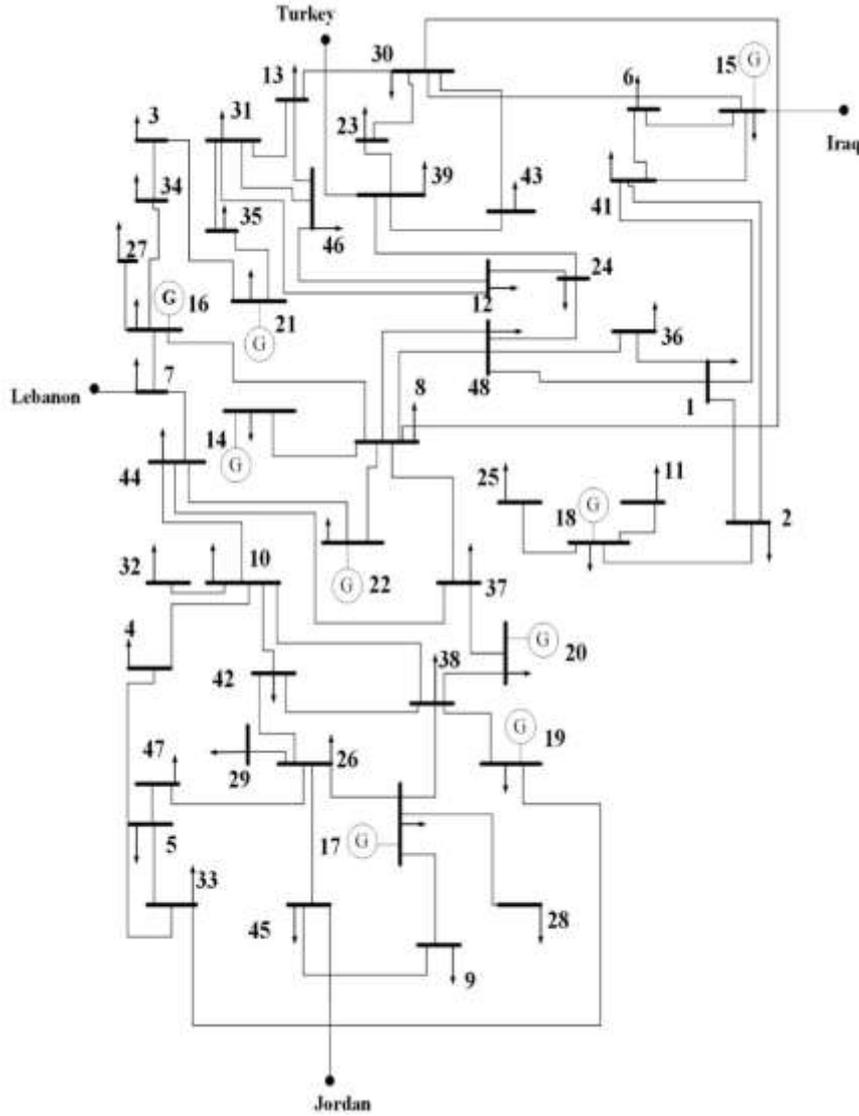
تعد شبكة النقل السورية الرئيسية ذات التوترات 400 kV و 230 kV من الشبكات ذات المؤشرات السليمة بالنسبة لعدة شبكات أخرى ذات توترات عالية أو عالية جداً، ويعود ذلك إلى أن هذه الشبكة تتميز بخطوط ذات أطوال أقصر من تلك الحدود المفروض عدم تجاوزها للحفاظ على استقرار الخطوط، هذا بالإضافة إلى أن معظم خطوطها تعمل عند قيم قريبة جداً من استطاعات التحميل الطبيعي لها، وهذا هو السبب الحقيقي وراء بقاء جزء كبير من توترات عقد الشبكة ضمن الحدود المسموحة لها، ورغم ذلك فإنه لا يمكننا ان ننكر أن هذه الشبكة تعاني عجزاً واضحاً في الاستطاعة وهذا ناتج بالواقع عن الزيادة المتسارعة في الحمولة الفعلية والرديئة والبطء في بناء محطات توليد جديدة وهذا الأمر واضح من خلال التقارير التي تصدرها وزارة الكهرباء كل عام وخصوصاً في الفترة التي سبقت الأزمة الحالية في سوريا [7]. وفي مرحلة إعادة الإعمار يجب إعادة بناء المنظومة الكهربائية وفق أسس علمية متطورة لذلك خصص هذا البحث لدراسة الشبكة السورية على مستوى 230 kV فقط باعتبارها العمود الفقري لشبكات نقل الطاقة في سوريا حيث يوجد لدينا 44 عقدة و 70 خط نقل. تقسم هذه العقد بالشكل التالي:

- محطة واحدة تعتبر قضيب عائم Slack Bus وهي محطة حلب الحرارية.
- 9 محطات توليد وهي: محردة، السويدية، بانياس، تشرين غازية، التيم، الناصرية، جندر، زيزون، الزارة.
- 34 محطة تحويل وهي: قابون2، قطينة، حماة، حلب د، مسكنة، ميدان2، طرطوس، الرقة، الحسكة، حلب ف، الشيخ مسكين، دير الزور، اللاذقية، عدرا، فيروزة، ادلب، حلب و، حلب ب، القامشلي، الكسوة، السويداء، دمر، الفرسان، الديماس، قابون1، سقوبين، سد تشرين، جبلة، الزاهرة، الدوير، ابن النفيس، ضاحية حلب، الصاخور، سد الفرات.

وتتضمن الجداول (1 و 2) معلومات تفصيلية عن محطات الشبكة المستخدمة كما يبين الشكل (1) مخططاً مبسطاً لهذه الشبكة يبين توزيع محطات التوليد والتحويل وخطوط النقل الواصلة بينها.

الجدول (1): بيانات المحطات لشبكة نقل الطاقة السورية (الاستطاعة الفعلية مقدره بالـ MW والاستطاعة الردية مقدره بالـ MVAR)

| Station        | PG  | QG     | PL     | QL     | Station          | PG | QG | PL     | QL     |
|----------------|-----|--------|--------|--------|------------------|----|----|--------|--------|
| Raqqa          | 0   | 0      | 113.68 | 68.21  | al-Keswa         | 0  | 0  | 157.41 | 94.44  |
| Deir ez-Zor    | 0   | 0      | 167.12 | 100.27 | Jableh           | 0  | 0  | 84.05  | 50.43  |
| Squbeen        | 0   | 0      | 88.42  | 54.05  | Al-Zahirah       | 0  | 0  | 170.52 | 102.31 |
| Ibn al-Nafis   | 0   | 0      | 120    | 72.29  | Virtual 2        | 0  | 0  | 0      | 0      |
| Al-Dimas       | 0   | 0      | 156.43 | 93.86  | Aleppo Thermal   | 0  | 0  | 0      | 0      |
| Qamishli       | 0   | 0      | 89.39  | 53.63  | Aleppo O         | 0  | 0  | 202.10 | 121.26 |
| Tartus         | 0   | 0      | 151.58 | 90.95  | Qaboun 1         | 0  | 0  | 194.33 | 116.60 |
| Hama           | 0   | 0      | 113.19 | 67.92  | Dummar           | 0  | 0  | 137.0  | 82.20  |
| As-Suwayda     | 0   | 0      | 106.88 | 64.13  | Lattakia         | 0  | 0  | 120.48 | 72.29  |
| Qaboun 2       | 0   | 0      | 169.07 | 101.44 | Idlib            | 0  | 0  | 171.98 | 103.19 |
| Al Dwyer       | 0   | 0      | 120.48 | 72.29  | Virtual 3        | 0  | 0  | 0      | 0      |
| Sad Tishreen   | 0   | 0      | 44.7   | 26.82  | Fairouzeh        | 0  | 0  | 170.52 | 102.31 |
| Dahiyat Aleppo | 0   | 0      | 141.86 | 85.12  | Adra             | 0  | 0  | 170.04 | 102.02 |
| Mahardah       | 660 | 408.54 | 34.59  | 20.76  | Aleppo F         | 0  | 0  | 62.19  | 37.31  |
| Suwaidiyah     | 150 | 92.85  | 38.38  | 23.03  | Virtual 4        | 0  | 0  | 0      | 0      |
| Baniyas        | 710 | 439.49 | 89.39  | 53.63  | Al-Hasakah       | 0  | 0  | 116.11 | 69.67  |
| Tishreen       | 600 | 371.4  | 83.56  | 50.14  | Al-Midan 2       | 0  | 0  | 160.32 | 96.95  |
| Al Taim        | 90  | 55.71  | 40.81  | 24.49  | Aleppo D         | 0  | 0  | 85.50  | 51.30  |
| Al Nasryeh     | 300 | 185.7  | 58.30  | 34.98  | Qattinah         | 0  | 0  | 200    | 67.63  |
| Jandar         | 600 | 37104  | 77.73  | 46.64  | Al-Shaykh Maskin | 0  | 0  | 141.86 | 85.12  |
| Zayzoun        | 450 | 278.55 | 58.50  | 51.30  | Aleppo B         | 0  | 0  | 184.61 | 110.76 |
| Al Zarah       | 660 | 408.54 | 39.84  | 23.90  | al-Fursan        | 0  | 0  | 162.75 | 97.65  |
| Sakhour        | 0   | 0      | 142.83 | 85.12  | Sad Al-Forat     | 0  | 0  | 0      | 0      |
| Maskanah       | 0   | 0      | 48.58  | 29.15  | Virtual 5        | 0  | 0  | 0      | 0      |
| Virtual 1      | 0   | 0      | 0      | 0      | -                | -  | -  | -      | -      |



الشكل (1): شبكة نقل الطاقة السورية

الجدول (2): بيانات الخطوط لشبكة نقل الطاقة السورية (قيم المقاومة والممانعة بالأوم وقيم الممانعة السعوية بـ  $10^{-6} \cdot S$ ).

| From | To | R     | X     | B       | From | To | R     | X     | B       |
|------|----|-------|-------|---------|------|----|-------|-------|---------|
| 1    | 41 | 13.1  | 53.36 | 482.688 | 31   | 12 | 4.61  | 18.79 | 169.92  |
| 1    | 2  | 11.17 | 45.53 | 411.84  | 32   | 10 | 0.1   | 0.43  | 7.7     |
| 1    | 36 | 2.54  | 10.34 | 39.6    | 33   | 4  | 0.94  | 3.82  | 34.56   |
| 2    | 18 | 2.42  | 9.87  | 89.28   | 33   | 5  | 1.33  | 5.41  | 48.96   |
| 7    | 16 | 1.42  | 5.81  | 71.136  | 34   | 3  | 0.312 | 1.273 | 11.52   |
| 8    | 48 | 14.52 | 59.19 | 535.39  | 35   | 31 | 3.9   | 15.92 | 144     |
| 8    | 14 | 1.4   | 5.76  | 51.84   | 35   | 21 | 3.21  | 13.08 | 118.368 |
| 8    | 37 | 1.67  | 6.84  | 61.945  | 38   | 17 | 1.145 | 4.665 | 42.192  |
| 8    | 48 | 15.2  | 61.92 | 560.16  | 38   | 19 | 2.34  | 9.55  | 86.4    |
| 8    | 16 | 2     | 13.86 | 125.4   | 38   | 20 | 8.28  | 33.75 | 305.28  |
| 8    | 22 | 0.39  | 1.61  | 14.62   | 39   | 30 | 0.566 | 2.316 | 20.968  |
| 8    | 30 | 10.54 | 42.98 | 388.8   | 41   | 15 | 10.6  | 43.3  | 391.68  |
| 10   | 44 | 10.95 | 43.84 | 396.5   | 41   | 2  | 10.15 | 41.39 | 374.4   |

|    |    |      |       |         |    |         |       |       |         |
|----|----|------|-------|---------|----|---------|-------|-------|---------|
| 10 | 42 | 1.07 | 4.39  | 39.7    | 41 | 6       | 6.1   | 24.83 | 224.64  |
| 10 | 38 | 2.18 | 8.89  | 80.5    | 42 | 38      | 2.7   | 10.98 | 99.36   |
| 10 | 4  | 0.76 | 3.18  | 28.8    | 42 | 26      | 0.615 | 2.515 | 22.752  |
| 15 | 6  | 3.46 | 27.7  | 250.56  | 43 | 39      | 1.3   | 5.31  | 48.096  |
| 16 | 27 | 1.01 | 4.10  | 37.152  | 43 | 30      | 4.3   | 17.51 | 158.4   |
| 16 | 34 | 3.86 | 15.72 | 142.272 | 43 | 13      | 0.76  | 3.18  | 28.224  |
| 17 | 26 | 7.8  | 7.32  | 66.24   | 44 | 7       | 6.125 | 24.96 | 225.79  |
| 17 | 28 | 1.95 | 7.95  | 72      | 44 | 37      | 1.64  | 6.68  | 60.48   |
| 17 | 9  | 8.75 | 35.66 | 322.56  | 44 | 22      | 1.49  | 6.08  | 55.008  |
| 18 | 11 | 6.72 | 27.38 | 247.68  | 45 | 9       | 3.75  | 15.28 | 138.24  |
| 19 | 33 | 4.37 | 17.83 | 161.28  | 45 | 26      | 4.37  | 17.83 | 161.28  |
| 21 | 3  | 5.9  | 24.03 | 217.44  | 46 | 12      | 7.8   | 31.84 | 288     |
| 24 | 39 | 7.55 | 30.78 | 278.496 | 47 | 5       | 0.478 | 1.942 | 17.537  |
| 24 | 12 | 1.62 | 6.63  | 59.974  | 48 | 43      | 12    | 49    | 443.52  |
| 25 | 18 | 7.8  | 31.84 | 57.6    | 48 | 24      | 6.7   | 27.32 | 247.104 |
| 26 | 42 | 1.33 | 5.41  | 48.96   | 48 | 1       | 1.348 | 5.481 | 49.598  |
| 26 | 47 | 1.5  | 6.11  | 55.296  | 48 | 36      | 1.72  | 7     | 63.36   |
| 26 | 29 | 0.38 | 1.59  | 14.112  | 7  | Lebanon | 5     | 20.37 | 184.32  |
| 30 | 23 | 1.36 | 5.57  | 50.4    | 15 | Iraq    | 3.12  | 12.73 | 15.2    |
| 30 | 13 | 1.6  | 6.52  | 59.04   | 39 | Turkey  | 4.1   | 16.55 | 149.76  |
| 31 | 46 | 1.23 | 5.06  | 45.504  | 45 | Jordan  | 4.2   | 17.19 | 155.52  |
| 31 | 13 | 0.76 | 3.18  | 28.224  | -  | -       | -     | -     | -       |

## 2- خرائط كوهونين العصبونية ذاتية التنظيم Kohonen Self-Organizing Maps

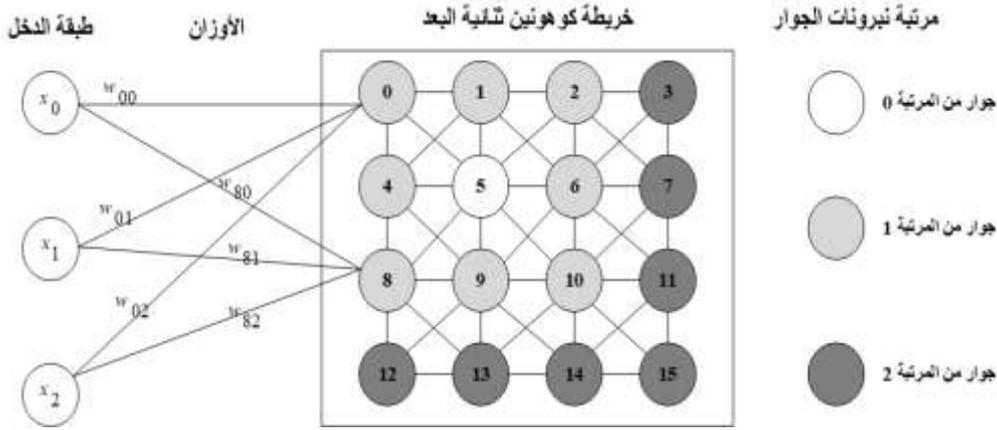
:SOM

### 1-2 نشأة هذه الطريقة:

تقوم الخلايا الموجودة في القشرة المخية لدماع الانسان باستقبال المعلومات القادمة من الحواس مما يسبب رد فعل تحفيزي أو تثبيطي للخلية المعنية وتترتب هذه الخلايا بشكل حقول وظيفية ومناطقية ويتم رسم هذه المعلومات على شكل خرائط طوبوغرافية على القشرة المخية. تقوم خرائط كوهونين العصبونية التي قدمها العالم كوهونين عام (1982) على هذا المبدأ حيث تستقبل معلومات الدخل وتقوم بتصنيفها على شكل فئات Classes في الخرج دون الحاجة لإشارة خطأ (وهو أمر مطلوب في تقنيات التعليم المراقب) ولذلك أطلق عليها "الخرائط المميزة ذاتية التنظيم" [8] حيث أن هذه الخرائط لا تحتاج لتحديد الخرج بشكل مسبق ويطلق على التعليم عندها بالتعليم غير المراقب أو الذاتي التنظيم.

### 2-2 البنية وخوارزميه التدريب:

كما ذكرنا سابقاً، هذه الخرائط هي نموذج مبسط لخاصية رسم خرائط المعلومات الحسية في الدماغ، وهي شبكات تنافسية ذاتية التنظيم تتعلم من البيئة بدون توجيه (مساعدة) من معلم. وبنيتها سهلة جداً حيث تتألف من مجموعة من النيورونات المرتبة هندسياً في أبعاد أحادية أو ثنائية أو أكثر كما هو موضح في الشكل (2). الخرائط أحادية البعد هي طبقة وحيدة من النيورونات مرتبة على شكل صف. بينما الخرائط ثنائية البعد هي مصفوفة شبكية من النيورونات وكذلك هو الأمر بالنسبة للشبكات ذات الأبعاد الأكبر.



الشكل (2): بنية خرائط كوهونين العصبونية ذاتية التنظيم [8].

تكون النيورونات في شبكة كوهونين العصبونية مرتبطة مع بعضها بألياف عصبية نقل قوتها كلما زادت المسافة بين النيورونات حيث أن النيورونات القريبة من بعضها تمتلك ارتباط موجب (تحفيزي) والنيورونات الأكثر بعدا ترتبط بموصلات سالبة (مثبطة). كما ترتبط نيورونات الدخل مع نيورونات الخرج بأوزان. نلاحظ من الشكل (2) أن لكل نيرون عدد من النيورونات المجاورة التي تؤثر وظيفيا فيما بينها لذلك أدخل كوهونين علاقة تابع جوار آسي مبسطة تمكن من حذف الروابط المثبطة بحيث لا تؤثر على عملية التصنيف حيث يعطى تابع الجوار بالعلاقة:

$$R(t) = \exp\left(\frac{-\|r(i) - r(i^*)\|^k}{2\sigma(t)^{-\beta}}\right). \quad k = 1 \text{ or } 2 \quad (1)$$

حيث:  $\sigma(t) = t^{-\beta}$ .  $0 < \beta \leq 1$  و  $r(i)$  هي احداثيات النيرون  $i$  في الشبكة ثنائية البعد.

تعطى خوارزمية التدريب لشبكة كوهونين ذاتية التنظيم غير المراقبة Unsupervised [6] بالشكل التالي:

1- تشكيل مصفوفة الاوزان بين وحدات الدخل ( $m$ ) ووحدات الخرج ( $n$ ) وذلك باختيار قيم عشوائية

صغيرة، وتحديد حجم منطقة الجوار  $R(0)$ .

2- تقديم شعاع دخل جديد ( $a$ ) للشبكة.

3- حساب المسافة ( $d_i$ ) بين الدخل والاوزن من أجل كل وحدة خرج (i):

$$d_i = \sum_{j=1}^M (a_j(t) - w_{ij}(t))^2. \text{ for } i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

حيث  $a_j(t)$  دخل وحدة الدخل ( $j$ ) في الزمن ( $t$ ) و  $w_{ij}(t)$  هو الوزن بين وحدة الدخل ( $j$ ) ووحدة الخرج (i).

4- تحديد وحدة الخرج ( $k$ ) ذات المسافة الأقل المعرفة بـ  $k = \min(d_i)$

5- تحديث قيمة الوزن للعقدة ( $k$ ) وجيرانها

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \eta \{a_j(t) - w_{ij}(t)\} \text{ for } i \in R_k(t) \text{ and } j = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

حيث  $\eta(t)$  هو ثابت التدريب ( $0 < \eta(t) < 1$ ) والذي يقل مع الزمن. و  $R_k(t)$  يعطي منطقة الجوار

حول العقدة ( $k$ ) في الزمن ( $t$ ).

6- تكرار الخطوات من 2 إلى 5 عدة مرات (حتى ينتهي عدد التكرارات)

التابعين  $\eta$  و  $R$  يجب اختيارهما بطريقة تسمح لأشعة الوزن أن تتقارب من حالة التوازن بعد تقديم عدد كافي من أشعة الدخل التابعة لمجموعة الدخل. هذا يتطلب أن معدل التعليم  $\eta(t)$  يقل مع الزمن. وكذلك ينخفض بشكل أسي مع المسافة بين النيرونات حسب المعادلة (1).

### 2-3 تدريب شبكات كوهونين العصبونية بشكل مراقب:

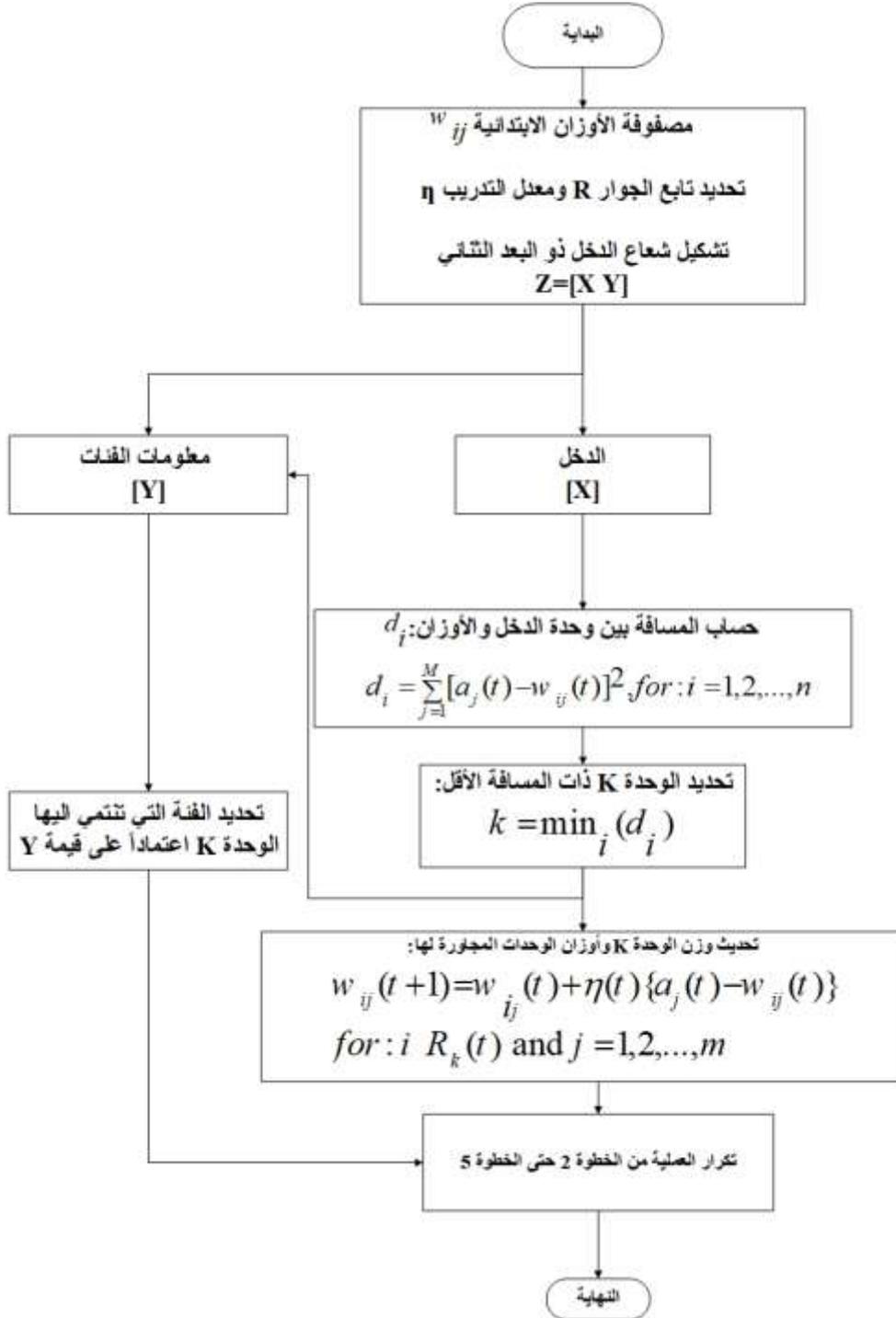
توظف شبكات كوهونين ذاتية التنظيم المدربة بشكل مراقب معرفة مسبقة في عملية تدريب الشبكة العصبونية. فقد قام العالم كوهونين بإجراء تعديل على خوارزمية خرائط كوهونين ذاتية التنظيم اسماء خوارزمية Batch-Training Algorithm [9] حيث يكون لدينا في هذه الحالة وحدات دخل ثنائية البعد.

تعرف المجموعة  $Z$  على أنها مجموعة التدريب التي تحتوي على المصفوفتين أحاديتي البعد  $X$  و  $Y$ . خلال عملية التدريب معلومات الفئات ( $Y = [C_1 \dots C_k]$ ) لكل وحدة دخل ترتبط بشعاع الوحدة التي توصفها ( $X = [x_1 \dots x_D]$ ) لتشكل مجموعة الدخل ( $Z = [X^T Y^T]$ ). حيث أن  $Y$  مصفوفة عمودية من أرقام (-1 or 1) وذلك حسب انتماء وحدة الدخل إلى الفئة أو لا، شكل مجموعة الدخل هذه تسمح لمعلومات الفئات بالتأثير مباشرة في الترتيب الطبولوجي للشبكة وبذلك يتم تصنيف البيانات بطريقة مراقبة [10]. خلال تدريب الشبكة يتم معالجة معلومات الدخل لتحديد الفئة التي تنتمي إليها واتباع النيرون لهذه الفئة [9]، ويبين الشكل (3) المخطط الصندوقي لخوارزمية التدريب لهذه الشبكات.

لقد تم استخدام شبكات SSOM حتى الآن في التطبيقات الكيميائية وتصنيف مواد خطوط الإنتاج [13]، وفي التطبيقات الطبية والصحية وتصنيف الأدوية [10] و [14]. أما في بحثنا هذا فنحن نقوم بإدخال شبكات SSOM في مجالات نظم القدرة الكهربائية.

### 2-4 مميزات خرائط كوهونين ذاتية التنظيم مقارنة مع شبكات التغذية الأمامية ذات التدريب العكسي:

يوجد العديد من الشبكات العصبونية التي تقوم بحل مسائل التصنيف وأكثرها شيوعاً في الوقت الراهن شبكات التغذية الأمامية متعددة الطبقات Multilayer Feed-Forward التي تدرب بطريقة الانتشار العكسي Back Propagation اعتماداً على المراجع [11] و [12] و [13] المتضمنة دراسة ثلاثة من الشبكات العصبونية وهي Multilayer Feed-Forward وشبكات SOM وشبكات SSOM تبين لنا تفوق شبكات كوهونين ذاتية التنظيم ذات التدريب المراقب على الشبكتين الباقيتين بسبب استخدامها لكامل معلومات الفئات Class information التي تمكنها من إعطاء خرائط دخل-خرج دقيقة جداً بدون الوقوع في مشكلة التصنيف الخاطئ Misclassification أو الإنذار الخاطئ False alarm كما أنها تحقق تقارب Convergence سريع للحل دون الوقوع في مشكلة القيمة المحلية Local minima بالإضافة إلى السرعة الكبيرة في الحساب التي لا تتعلق بحجم الشبكة (عدد النيرونات) ولا تتأثر بالضجيج Noise، إضافة إلى أن بنية شبكات كوهونين أبسط وعملية تدريبها أسهل فهي ذات بنية محددة في حين أن شبكات ANN-FFBP تحتاج إلى تجارب عديدة لاختيار البنية وخوارزمية تدريبها (الانتشار العكسي) تحتاج زمن أكبر مع إمكانية عدم حدوث تقارب. يضاف إلى كل ذلك أن خوارزميات كوهونين تقدم مباشرة واجهة رسومية (خرائط دخل-خرج) مناسبة تماماً لموضوع بحثنا.



الشكل (3): المخطط الصندوقي لخوارزمية تدريب شبكات كوهونين العصبونية ذاتية التنظيم ذات التعليم المراقب.

### 3- تشكيل مجموعة بيانات التدريب وخرائط كوهونين:

نستخدم في هذه الشبكة الاستطاعة الفعلية P ومعلومات الفئات Y أو الاستطاعة الظاهرية S ومعلومات الفئات Y لتشكيل مجموعة البيانات معاً. في هذه الشبكة نتعامل مع كامل قضبان الشبكة السورية لذلك يكون حجم الشبكة (7×7) بعدد نيرونات إجمالي هو 49 نيرون وكل نيرون يمثل محطة من محطات الشبكة السورية. ويتم تصنيف المحطات اعتماداً على قيم توتراتها.

**3-1 آلية تشكيل بيانات التدريب:**

من خلال إدخال بيانات الشبكة السورية (استطاعات العقد الفعلية والردية وبيانات الخطوط) إلى برنامج سريان الاستطاعة وتطبيق طريقة نيوتن رافسون للفصل السريع وذلك من أجل الحالات الطارئة المبينة في الجدول (3) حيث كل حالة تشكل شعاع دخل، فنحصل على 34 شعاع دخل بالإضافة لحالة العمل الطبيعية ليصبح لدينا 35 شعاع دخل. كل شعاع يحوي على 86 قيمة فيكون عدد القيم الكلية 3010 قيمة نستخدم منها 31 شعاع بإجمالي 2666 قيمة للتدريب و 4 أشعة بإجمالي 344 قيمة لاختبار الشبكة وتكون نسبة عينات الاختبار %11.43 من إجمالي العينات.

**3-2 اختيار الفئات وحدود الأمان المعتمدة:**

في هذه الدراسة اعتمدنا ثلاث فئات، الفئة الآمنة Safe Class وتظهر باللون الأخضر على مخطط الخرج، فئة التحذير Warning Class وتظهر باللون الأصفر على مخطط الخرج، وأخيراً فئة الإنذار Alarm Class وتظهر باللون الأحمر على مخطط الخرج. وللحصول على تشغيل اقتصادي وموثوق لنظام القدرة، نعتمد على الحدود القياسية Standards التالية IEEE Standard C50 وعلى VAR-001 and VAR-002 لأمريكا الشمالية [15] التي تنص على ان نظام القدرة يجب أن يعمل ضمن مجال  $\pm 5\%$  حول الجهد الاسمي لذلك يجب أن تكون قيمة جهد العمل بين (0.95-1.05 p.u).

**الجدول (3): الحالات الطارئة المدروسة**

| حالات تغير الحمل | حالات خروج محطة توليد | حالات خروج خطوط نقل   | حالات فقدان الحمل |
|------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|
| الرقعة -20%      | خروج محردة            | حلب الحرارية-الصاخور  | خروج حلب و        |
| دير الزور +20%   | خروج السويدية         | الثورة-مسكنة          | خروج قابون 1      |
| سقوبين -25%      | خروج بانياس           | الثورة-الرقعة         | -                 |
| ابن النفيس +25%  | خروج تشرين الغازية    | بانياس-اللاذقية       | -                 |
| الديماس -35%     | خروج التيم            | بانياس-جبله           | -                 |
| القامشلي +35%    | خروج الناصرية         | تشرين الغازية-الزاهرة | -                 |
| طرطوس -30%       | خروج جندر             | التيم-الدوير          | -                 |
| حماة -50%        | خروج زيزون            | الناصرية-دمر          | -                 |
| السويداء +50%    | خروج الزارة           | -                     | -                 |
| قابون 2 -45%     | -                     | -                     | -                 |
| الدوير +45%      | -                     | -                     | -                 |
| سد تشرين -25%    | -                     | -                     | -                 |
| ضاحية حلب +25%   | -                     | -                     | -                 |
| اللاذقية +50%    | -                     | -                     | -                 |
| اللاذقية -50%    | -                     | -                     | -                 |

## النتائج والمناقشة:

جميع العمليات البرمجية والنتائج تم الحصول عليها باستخدام برنامج MATLAB (R2013a) ومن خلال واجهة GUI تم تصميمها خصيصاً للشبكة السورية المبينة في الشكل (4)، مع الإشارة إلى أننا لم نستخدم NN-Tool الموجودة في MATLAB بل قمنا بكتابة برنامج M.file خاص في بيئة MATLAB انطلاقاً من كود برمجي قدمته كلية الكيمياء التطبيقية في جامعة Radboud الهولندية وقمنا بتعديل هذا الكود البرمجي بشكل جذري ليتناسب مع دراسة أمان نظام القدرة وبيانات الشبكة الكهربائية السورية.

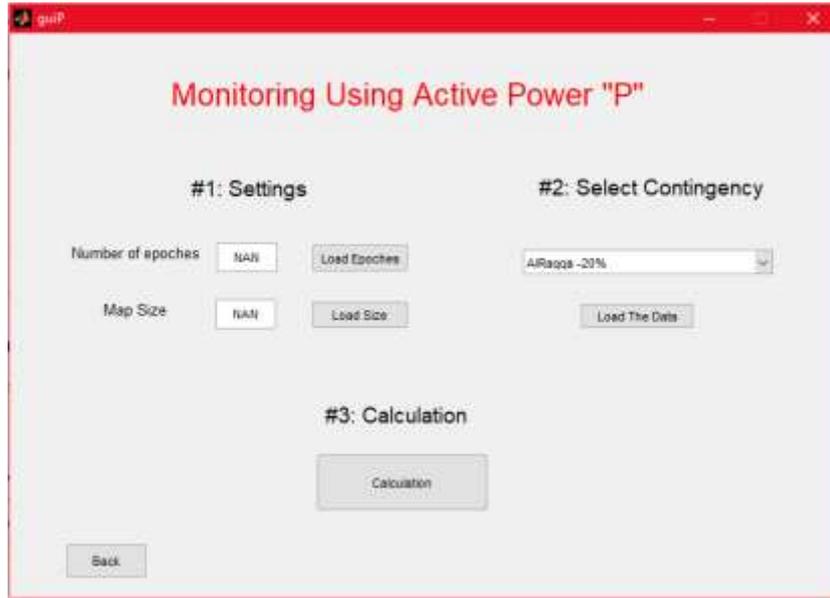
وتم اعتماد الإعدادات التالية أثناء تدريب شبكة كوهونين:

- قيمة ثابت التدريب  $\eta(t)$  تبدأ من 0.1 وتتناقص مع مرور الزمن لتصل إلى 0.001.
- قيمة ثابت الجوار  $R_k(t)$  تبدأ من 2 وتتناقص مع الزمن لتصل إلى 0.
- عدد التكرارات المستخدمة هو 150 تكرار.
- حجم الشبكة المستخدمة هو  $7 \times 7$  بعدد نيرونات إجمالي هو 49 نيرون.



الشكل (4): واجهة المستخدم المخصصة لمراقبة التوتر.

ويظهر الشكل (5) كيف يتم ادخال الاعدادات إلى الواجهة.



الشكل (5): طريقة إدخال الإعدادات إلى الواجهة

وسنقوم فيما يلي بعرض نتائج المحاكاة بفرض حدوث الحالات الطارئة التالية والتي تمثل أغلب حالات العطل التي يمكن أن تحدث في الشبكة (تغير حمولة- خروج محطة توليد- خروج خط نقل):

- انخفاض الحمل على محطة الرقة بنسبة 20%.
- خروج محطة توليد بانياس.
- خروج خط نقل ناصرية-دمر.
- ويتم اختيار الفئات التالية:
- الفئة الآمنة (Safe) وتظهر باللون الأخضر على مخطط الخرج وفيها تكون قيم التوترات ضمن حدود التشغيل المسموحة أي تقع ضمن المجال (0.95-1.05 p.u).
- فئة التحذير (Warning) وتظهر باللون الأصفر على مخطط الخرج وفيها تقترب قيم التوترات من القيم الحدية المسموحة، أي تقع ضمن المجالين (0.9-0.95 p.u) أو (1.05-1.10 p.u).
- فئة الإنذار (Alarm) وتظهر باللون الأحمر على مخطط الخرج وفيها تكون قيم التوترات أعلى من القيم الحدية المسموحة، أي تقع ضمن المجالين ( $V > 1.1 \text{ p.u}$ ) أو ( $V < 0.9 \text{ p.u}$ ) ويجب على مشغل النظام القيام بالفعل التصحيحي المناسب لعودة التوتر إلى حالته الطبيعية.
- حيث تظهر النتائج نجاح عملية التصنيف كنسبة مئوية لعينات التدريب الصحيحة وذلك بالنسب التالية:
- الشبكة ناجحة بنسبة 93.182% (أي قيمة توتر صحيحة من أصل 44 محطة) من أجل انخفاض الحمل على محطة الرقة بنسبة 20%.
- الشبكة ناجحة بنسبة 95.46% (أي قيمة توتر صحيحة من أصل 44 محطة) من أجل خروج محطة توليد بانياس.
- الشبكة ناجحة بنسبة 97.47% (أي قيمة توتر صحيحة من أصل 44 محطة) من أجل خروج خط نقل ناصرية-دمر.

يبين الشكل (6) خرج شبكة كوهونين عند تعرض محطة الرقة لانخفاض في الحمولة بمقدار 20% حيث يظهر لنا من خلال الشكل أن خمس محطات: قابون 2 - حلب ب - الفرسان - قابون 1 - الرقة، يتم تصنيفها في فئة التحذير وستة محطات: الشيخ مسكين - السويداء - دمر - الديماس - الدوير - ابن النفيس، يتم تصنيفها في فئة الإنذار.

|   |                |             |           |              |                  |               |              |
|---|----------------|-------------|-----------|--------------|------------------|---------------|--------------|
| 1 | Qattinah       | Al-Hasakah  | Lattakia  | Tishreen-Gas | Zayzoun          | Virtual 2     | Al-Sakhour   |
| 2 | Hama           | Mahardah    | Adra      | Al-Tayem     | Al-Zarah         | Al-Zahira     | Virtual 5    |
| 3 | Aleppo D       | Virtual 4   | Fairouzeh | Al-Keswa     | Sad Tishreen     | Dahiat Aleppo | Sad Al-Forat |
| 4 | Maskanah       | Aleppo F    | Virtual 3 | Squbeen      | Jablah           | Aleppo B      | Qaboun 1     |
| 5 | Al-Midan 2     | Suwaidiyah  | Idlib     | Virtual 1    | Qaboun 2         | al-Fursan     | AlRaqqa      |
| 6 | Tartus         | Deir ez-Zor | Aleppo O  | Al-Nasryeh   | Al-Shaykh Maskin | Dummar        | Al-Dwyer     |
| 7 | Aleppo-Thermal | Baniyas     | Qamishli  | Jandar       | As-Suwayda       | Al-Dimas      | Ibn al-Nafis |
|   | 1              | 2           | 3         | 4            | 5                | 6             | 7            |

الشكل (6): تصنيف محطات شبكة نقل الطاقة السورية عند انخفاض الحمولة في محطة الرقة بمقدار 20%.

ويبين الشكل (7) خرج شبكة كوهونين عند خروج محطة توليد بانياس، حيث يظهر لنا أن أربعة محطات: قابون 2 - حلب ب - الفرسان - قابون 1 يتم تصنيفها في فئة التحذير وسبعة محطات: الشيخ مسكين - السويداء - دمر - الديماس - الدوير - ابن النفيس - بانياس، يتم تصنيفها في فئة الإنذار.

|   |            |                |           |              |                  |               |              |
|---|------------|----------------|-----------|--------------|------------------|---------------|--------------|
| 1 | Gattinah   | Al-Hasakah     | Lattakia  | Tishreen-Gas | Zayzoun          | Virtual 2     | Al-Sakhour   |
| 2 | Hama       | Mahardah       | Adra      | Al-Tayem     | Al-Zarah         | Al-Zahira     | Virtual 5    |
| 3 | Aleppo D   | Virtual 4      | Fairouzeh | Al-Keswa     | Sad Tishreen     | Dahlat Aleppo | Sad Al-Forat |
| 4 | Maskanah   | Aleppo F       | Virtual 3 | Squbeen      | Jablah           | al-Fursan     | Al-Dimas     |
| 5 | Al-Midan 2 | Suwaidiyah     | Idlib     | Virtual 1    | Qaboun 2         | Qaboun 1      | Al-Dwyer     |
| 6 | Tartus     | Deir ez-Zor    | Aleppo O  | Al-Nasryeh   | Aleppo B         | As-Suwayda    | Ibn al-Nafis |
| 7 | AlRaqqqa   | Aleppo-Thermal | Qamishli  | Jandar       | Al-Shaykh Maskin | Dummar        | Baniyas      |

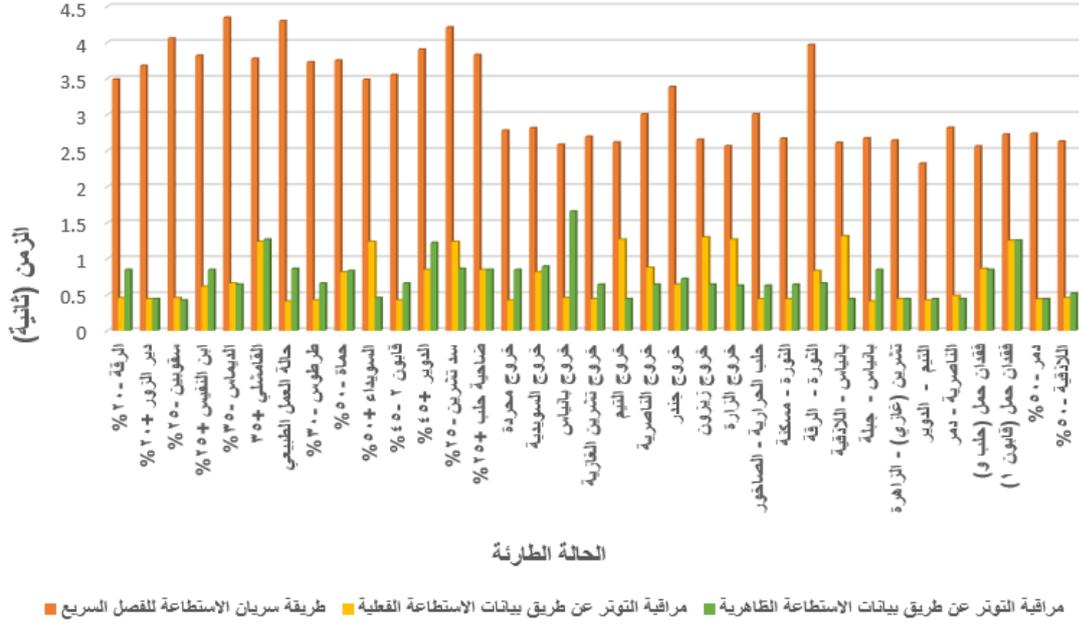
الشكل (7): تصنيف محطات شبكة نقل الطاقة السورية عند خروج محطة توليد بانياس.

يبين الشكل (8) خرج شبكة كوهونين خروج خط النقل (الناصرية - دمر) حيث يظهر في القسم على اليمين تصنيف محطات الحمولة فقط بينما يظهر القسم على اليسار التصنيف لكامل محطات الشبكة السورية، ويظهر لنا من خلال الشكل أن سبعة محطات: قابون 2 - ادلب - حلب ب - الفرسان - الديماس - قابون 1 - ابن النفيس، يتم تصنيفها في فئة التحذير وأربعة محطات: الشيخ مسكين - السويداء - دمر - الدوير، يتم تصنيفها في فئة الإنذار.

|   |            |             |                |              |              |                  |              |
|---|------------|-------------|----------------|--------------|--------------|------------------|--------------|
| 1 | Gattinah   | Al-Hasakah  | Al-Tayem       | Qamishli     | Zayzoun      | Al-Zahira        | Virtual 5    |
| 2 | Hama       | Mahardah    | Lattakia       | Tishreen-Gas | Al-Zarah     | Dahlat Aleppo    | Sad Al-Forat |
| 3 | Aleppo D   | Virtual 4   | Adra           | Al-Keswa     | Sad Tishreen | Sakhour          | Al-Dimas     |
| 4 | Maskanah   | Aleppo F    | Fairouzeh      | Squbeen      | Jablah       | Aleppo B         | Qaboun 1     |
| 5 | Al-Midan 2 | Suwaidiyah  | Virtual 3      | Virtual 1    | Virtual 2    | al-Fursan        | Ibn al-Nafis |
| 6 | Tartus     | Deir ez-Zor | Aleppo-Thermal | Al-Nasryeh   | Qaboun 2     | Al-Shaykh Maskin | Dummar       |
| 7 | Al-Raqqqa  | Baniyas     | Aleppo O       | Jandar       | Idlib        | As-Suwayda       | Al-Dwyer     |

الشكل (8): تصنيف محطات شبكة نقل الطاقة السورية عند خروج خط النقل الناصرية - دمر.

يبين الشكل (9) مقارنة لأزمنة الحساب بين طريقة كوهونين وطريقة سريان الاستطاعة للفصل السريع عند حالات تشغيل غير طبيعية مختلفة. حيث نلاحظ أن أكبر الأزمنة التي تحتاجها طريقة كوهونين تتراوح بين 0.4 و 1.8 ثانية بينما تحتاج طريقة سريان الاستطاعة لأزمنة تتراوح بين 2.3 و 4.4 ثانية.



الشكل (9): متوسط أزمنة الحساب لشبكات كوهونين بالمقارنة مع طريقة سريان الاستطاعة التقليدية.

## الاستنتاجات والتوصيات:

يعتبر استثمار نظام الطاقة الكهربائية ومطابقته للمواصفات العالمية شرط أساسي للاستخدام الأمثل للطاقة الكهربائية وخاصة في مرحلة إعادة الإعمار التي سيشهدها بلدنا الحبيب. من خلال تصميم أداة برمجية لمراقبة توتر قضبان تجميع شبكة نقل الطاقة الكهربائية السورية وتحليل النتائج التي تم عرضها فقد توصلنا إلى الاستنتاجات التالية:

- تبدي خرائط كوهونين العصبونية ذاتية التنظيم ذات التعليم المراقب كفاءة عالية، حيث استطاعت التعامل مع عدد كبير من عينات التدريب (3010 عينة) مع تحقيق تقارب ممتاز للحل ودون الوقوع في مشكلة التصنيف الخاطئ.
- بالنسبة لمسائل تصنيف أمان نظام القدرة بوجود تغيرات بنيوية وتشغيلية في النظام، تمكنت هذه خرائط كوهونين من حل هذه المسائل بسرعة أكبر من 2 إلى 3 مرات من الطرق التقليدية (سريان الاستطاعة) عند مراقبة التوتر، كما أنها أعطت دقة كبيرة في التصنيف تراوحت من 93% إلى 98% ووصلت في بعض الحالات إلى 100% بدون أي قيمة تدريب خاطئة.
- تمكننا هذه الخرائط من تقديم المعلومات بشكل بصري واضح لمشغل النظام بما يحسن ويزيد من سرعة اتخاذ القرار.

أما التوصيات المقترحة لهذا البحث فهي كما يلي:

- 1- يمكن تعميم الحسابات بتغيير مجالات التوتر والتردد. فبدلاً من أخذ مجالات  $\pm 5\%$  يمكن أخذ  $\pm 2\%$  مثلاً.
- 2- ينصح في استخدام هذه الأداة في مراكز المراقبة في الشبكة السورية أو غيرها، وعند ذلك يفضل تعديل البرنامج بحيث يتم تلقين البيانات إلى الأداة بشكل أوتوماتيكي.

## المراجع

- [1] MANDLOI, T., AND JAIN, A.K. *A Study Of Power System Security And Contingency Analysis*. International Journal of Scientific Research Engineering & Technology (IJSRET). Vol. 3, No. 4, 2014. PP. 760-763.
- [2] WOOD, A.J., AND WOLLENBERG, B.F. *Power generation, operation, and control*. 3rd. ed., John Willey & Sons, Inc, New Jersey & Canada, 2013, 656.
- [3] NIAZI, K.R., ARORA, C.M., SURANA, S.L. *Power system security evaluation using ANN: feature selection using divergence*. Electric Power Systems Research. Vol. 62, No. 2, 2004. PP. 161-167.
- [4] CHAKRABORTY, K., DE, A., CHAKRABARTI, A. *Voltage stability assessment in power network using self organizing feature map and radial basis function*. Computers & Electrical Engineering. Vol. 38, No. 4, 2012. PP. 819-826.
- [5] NIZAM, M. *Kohonen neural network clustering for voltage control in power systems*. TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control), Indonesia, Vol. 8, No. 2, 2010. PP.115-122.
- [6] SWARUP, K. S., AND P. BRITTO CORTIUS. *Power system static security assessment using self-organizing neural network*. Journal of the Indian Institute of Science, India, Vol. 86, No. 4, 2006. PP.327.
- [7] PETE., *Statistical Report 2015*. Public Establishment for Transmission of Electricity PETE, Syria, 2015.  
[http://pete.gov.sy/archive/docs/File/StatisticalReport%202015/Statistical\\_%20Report\\_015.pdf](http://pete.gov.sy/archive/docs/File/StatisticalReport%202015/Statistical_%20Report_015.pdf).
- [8] NIEBUR, D. *Kohonen self-organizing neural network for power system security assessment*. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne. France, 1994.
- [9] KOHONEN, T. *Self-Organizing Maps*. 3rd. ed., Springer-Verlag, Berlin Heidelberg & New York, 2001, 513.
- [10] BAYRAM, E., SANTAGO, P., HARRIS, R., XIAO, Y.D., CLAUSET, A.J. and SCHMITT, J.D. *Genetic algorithms and self-organizing maps: a powerful combination for modeling complex QSAR and QSPR problems*. Journal of computer-aided molecular design. Vol 18, No. 7 ,2004. PP. 483-493.
- [11] MALINOWSKI, A., CHOLEWO, T.J. AND ZURADA, J.M. *Capabilities and limitations of feedforward neural networks with multilevel neurons*. InCircuits and Systems, 1995. ISCAS'95., 1995 IEEE International Symposium. Vol. 1, No. 5, 1995. PP.131-134.
- [12] GOPPERT, J. AND ROSENSTIEL, W. *Self-organizing maps vs. backpropagation: An experimental study*. Proc. of work. design methodol. microelectron. signal process, Poland, No. 10,1993. PP.153-162.
- [13] MELSSEN, W., WEHRENS, R. AND BUYDENS, L. *Supervised Kohonen networks for classification problems*. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, Vol. 83, No. 2 ,2006. PP. 99-113.
- [14] XIAO, Y.D., CLAUSET, A., HARRIS, R., BAYRAM, E., SANTAGO, P. AND SCHMITT, J.D. *Supervised self-organizing maps in drug discovery. I. Robust behavior with overdetermined data sets*. Journal of chemical information and modeling. Vol 45, No. 6 ,2005. PP.1749-1758.
- [15] SONG, Y.H., WAN, H.B. AND JOHNS, A.T. *Kohonen neural network based approach to voltage weak buses/areas identification*. IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution. Vol. 144, No. 3 ,1997. PP. 340-344.