

تحليل أداء خوارزميات الذكاء الاصطناعي في تقييم الأمن الديناميكي

محمد علي الراوي
mauom@uomosul.edu.iq

سراء اسماعيل خليل
saraa2020@uomosul.edu.iq

قتيبة سعيد الحمداني
qutaiba.enp19@student.uomosul.edu.iq

جامعة الموصل - كلية الهندسة - قسم الهندسة الكهربائية

تاريخ القبول: 5/9/2021

تاريخ الاستلام: 27/7/2021

الخلاصة

تعمل منظومات القدرة الكهربائية حول العالم في الوقت الحاضر بالقرب من حدود الأمن والاستقرار التصميمية بسبب الاعتبارات الاقتصادية وارتفاع معدلات الطلب على الطاقة الكهربائية، وتعرض هذه المنظومات أثناء عملها إلى أنواع مختلفة من الاضطرابات تؤدي في الحالات الشديدة منها إلى فقدانها بالكامل وحصول حالة الإطفاء التام، ويعتبر تقييم الأمن الديناميكي أحد أهم الأدوات المستخدمة في تقييم أداء المنظومات القدرة الكهربائية بعد حصول هذه الاضطرابات. تتطلب الطرائق الرياضية التقليدية اللازمة لتقييم الأمن الديناميكي عمليات حسابية معقدة فضلاً عن الزمن اللازم لإجراء الحسابات بحيث أصبحت غير مناسبة لتقييم الأمن الديناميكي في الزمن الفعلي (Online). لمعالجة هذه التحديات تم إجراء هذا البحث لتوفير أدوات جديدة تعتمد على تقنيات متقدمة للذكاء الاصطناعي قادره على تقييم السلوك الديناميكي لمنظومات القدرة الكهربائية في الوقت الحقيقي. اعتمدت منهجية البحث في هذه الدراسة على استخدام تقنيات الذكاء الصناعي وتشمل الشبكة العصبية الاصطناعية ذات الانتشار العكسي وخوارزميات شجرة القرار (J48) و (logistic model tree) (LMT) والتي طبقت على قاعدة بيانات الحالات الطارئة لنموذج منظومة القدرة الكهربائية (IEEE 14 Bus) الاختبارية بعد تطبيق أكثر أنواع الاضطرابات الكهربائية شيوعاً. لقد أظهرت نتائج تقنية الشبكة العصبية الاصطناعية دقة تصنيف عالية وصلت إلى (98.958%) ومعدل خطأ أقل مقارنة بخوارزميات شجرة القرار (J48) و (LMT). وتعتبر نتائج هذا البحث مهمة للغاية لتحسين دقة نتائج مصنف تقييم الأمن الديناميكي لمنظومة القدرة الكهربائية مما يسهل على مشغل الشبكة اتخاذ إجراءات الحماية المناسبة لحظة وقوع الاضطرابات في الشبكة.

الكلمات الدالة :

تقييم الأمن الديناميكي ; الذكاء الاصطناعي ; خوارزميات شجرة القرار ; الشبكة العصبية الاصطناعية ; مصنف الحالات الطارئة .

This is an open access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).
<https://rengj.mosuljournals.com>

1. المقدمة

تعد منظومات القدرة الكهربائية من اعد المنظومات التي تم إنشائها من قبل الإنسان فهي تضم شبكة واسعة تتألف من عدد كبير من المعدات والمحولات وخطوط النقل [1]، تتعرض منظومة القدرة الكهربائية نتيجة لسعتها الهائلة فضلاً عن زيادة الطلب على الطاقة الكهربائية إلى مختلف أنواع الاضطرابات الناتجة سواء عن الظروف الجوية السيئة مثل الصواعق أو الرياح الشديدة أو الزيادة المفاجئة بالأحمال [2][3]، لذا يجب استخدام وسيلة فعالة لتقييم حالات الأمن بعد حدوث أي اضطراب وهو ما يطلق عليه بتقييم الأمن الديناميكي [4]، الذي يعرف بتقييم قابلية منظومة معينة على تحمل مجموعة محددة من الحالات الطارئة وبقاء المنظومة ضمن قيود الأمن التشغيلية بعد حدوثها [5]. ويحدد التقييم الوضع الأمني (online) للمنظومة من حيث اتجاه بقائها ضمن حدود الأمن التشغيلية (امن) أو خروجها عنها أي (فقدان الأمن) وبالتالي فقدان السيطرة عن المنظومة وحدوث حالة الإطفاء التام.

تقليدياً يتم تقييم الأمن الديناميكي عبر حل المعادلات الجبرية المتعددة وغير الخطية لحالة المنظومة بعد حدوث الاضطراب. و هذه المعادلات تحتاج وقتاً طويلاً لحلها نظراً لتعقيدها ولاعتمادها على عامل الزمن. لذا لا يمكن إجراء هذه العمليات في بيئة التشغيل الحقيقية [4]، إلا باستخدام موارد كثيرة تتضمن حاسبات فائقة السرعة ذات معالجات متعددة [6]. هذا من جهة ومن جهة أخرى مع انتشار تقنيات أجهزة القياسات الحديثة والتي تستطيع توفير قراءات أنيعة كوححدات قياس الطور (phasor measurement unit) التي تستطيع توفير قراءات

بواقع (6 - 120) قراءة بالثانية، في حين أن النظام السابق (SCADA) يمكن أن يعطي قراءة واحدة كل (2 - 4) ثوان [7]. مما خلق تحدياً جديداً يتمثل بكمية البيانات الكبيرة التي ينبغي معالجتها ضمن فترة زمنية قصيرة جداً [8][6]. مما سبق اتجه الباحثون في مجال تقييم الأمن الديناميكي إلى طرائق الذكاء الصناعي نظراً لما توفره هذه الطرائق من سرعة في إظهار النتائج كونها تدرس العلاقة بين قيم الفولتية والتردد وزاوية النوار التي تمثل (المدخلات) والمخرجات (حالة النظام من حيث انه امن أو غير امن) [9].

واستخدم الباحثون تقنيات مختلفة للذكاء الاصطناعي لإجراء بحوثهم كالشبكة العصبية الاصطناعية [10][11][12][13]، وأخرى اعتمدت على خوارزميات المنطق المصطب [4]، وخوارزمية شجرة القرار كما في البحوث التالية [14][15][16]. وكأمثلة عن الدراسات السابقة قام الباحثون في [17] باستعراض المتطلبات الرئيسة ومشاكل تنفيذ نظام تقييم الأمن الشامل القادر على التعامل مع متغيرات المنظومة المختلفة، ولقد بينت الدراسة احتياج التقييم بالطرائق الرياضية التقليدية إلى عمليات حسابية معقدة تستغرق زمناً طويلاً للحصول على النتائج، واقترح الباحث استخدام الحاسبات المتقدمة والمعالجات المتوازية وتقنيات الذكاء الاصطناعي لتقليل زمن الحصول على النتائج. أما في [18] وجد الباحثون طريقة جديدة للحفاظ على استقرار الجهد تحت مختلف ظروف التحميل عبر فصل الأحمال الذاتي باستخدام خوارزمية شجرة القرار، وتم ذلك بقياس قيم الأنوية ل (القدرة الفعالة الكلية للحمل والقدرة الحقيقية الكلية المولدة في تلك

النتائج وتحديد حالة النظام الديناميكية هل هو آمن أم غير آمن وبعد ذلك تنتقل إلى مرحلة تغيير سيناريو الاضطراب إلى أن تنتهي من تطبيق كافة السيناريوهات الأربعة وبالتالي نحصل على قاعد البيانات الخاصة بتقييم الأمن الديناميكي لمنظومة الاختبار.

تم اعتماد نموذج منظومة القدرة الكهربائية (IEEE 14 Bus) الاختباري الذي يتضمن جميع بيانات الدائمتك الخاصة بمولدات هذه المنظومة واستخدم برنامج (Power World) لقابليته الكبيرة على تمثيل المنظومات الكهربائية والتي تصل إلى أكثر من (250 ألف) عمومي وتعد تطبيقاته في مجالات الاستخدام العملي لغرض محاكاة الحالات الطارئة وقد تم اعتماده في العديد من الدراسات والبحوث العلمية [22].

ومن ثم تمثيل الحالات الدراسية للاضطرابات الكهربائية التي حددت على أساس الأكثر ضرراً لدينا قاعدة معلومات أشمل وتحاكي واقع التشغيل اليومي وكما يأتي :

1- حالة حدوث عطب كهربائي (Fault) وقي على شكل دائرة قصر متوازنة على الأطوار الثلاثة لخط نقل واحد ومن ثم إزالته بعد (0.1) ثانية من زمن وقوع الخطأ.

2- خروج خط واحد لنقل القدرة الكهربائية عن العمل بشكل دائم.

3 - خروج خطي نقل القدرة الكهربائية في نفس الوقت عن العمل بشكل دائم.

4- حدوث عطبين وقتبين في الوقت نفسه بشكل دائرتي قصر متوازنة على الأطوار الثلاثة لخطي نقل القدرة الكهربائية ومن ثم إزالتها بعد (0.1) ثانية.

عند كل حالة دراسية يتم حساب قيم المعايير الأساسية لتحديد أمن المنظومة والتي تشمل قيم الفولتية والتردد لكافة العنومات وزاوية الدور لجميع المولدات وتحديد حالة أمن النظام بكونه آمن (1) عند عدم تجاوز قيم معايير الأمن حدود الأمن، وفقدان الأمن (0) عند تجاوزها حدود الأمن المبينة كما يأتي :

1- تتراوح قيمة الفولتية لكافة عنومات منظومة القدرة الكهربائية بين (0.9 – 1.1) pu [23].

2- تتراوح قيمة التردد لكافة عنومات منظومة القدرة الكهربائية بين (49.5 – 50.5) هرتز [24].

3- عدم تجاوز قيمة الفرق بين زوايا الدور لجميع عنومات التوليد لمنظومة القدرة الكهربائية الاختبارية (180) درجة [25].
تم تطبيق منهجية البحث على الحمل الأساس وعلى الأحمال (75% ، 125% ، 150%) من الحمل الأساس وأخذت القراءات بنفس الطريقة لغرض محاكاة تغييرات الحمل اليومي والموسمي.

بالنسبة للجزء الثاني من منهجية البحث والموضحة في الشكل (2) فيتضمن آلية بناء مصنف لتقييم الأمن الديناميكي لنموذج منظومة القدرة الكهربائية الاختبارية من خلال تهيئة قاعدة البيانات التي تم الحصول عليها من الجزء الأول من منهجية البحث عبر تنظيم البيانات في ملف اكسل واحد بعد ذلك تم تحديد نسبة بيانات التدريب ب (70%) ونسبة بيانات الاختبار (30%) من نسبة البيانات الكلية [26]، ومن ثم استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي المعتمدة في خطة البحث لبناء مصنف تقييم الأمن الديناميكي والمتضمن الشبكة العصبية الاصطناعية ذات الانتشار العكسي وخوارزميات شجرة القرار (J48) و (LMT) بواسطة برنامج الذكاء الصناعي (WEKA) (Waikato Environment for Knowledge Analysis) الذي تم اعتماده في هذا البحث ويعد من أحد برامج الذكاء الصناعي المتقدمة في هذا المجال وله تطبيقات علمية كثيرة. وبعد ذلك يتم مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها من كل تقنية مع بعض من ناحية الدقة ونسبة الخطأ ومن ثم اختيار الأكفاء منها، من الجدير بالذكر أنه تم اختيار هذه الخوارزميات نظراً لتطبيقاتها الناجحة الكثيرة في مجالات البحث العلمي. وان الأسس النظرية البحتة وراء هذه الخوارزميات متوفرة في مراجع عديدة منها [27] و [28] و [29]، وبشكل عام تهدف جميعها إلى

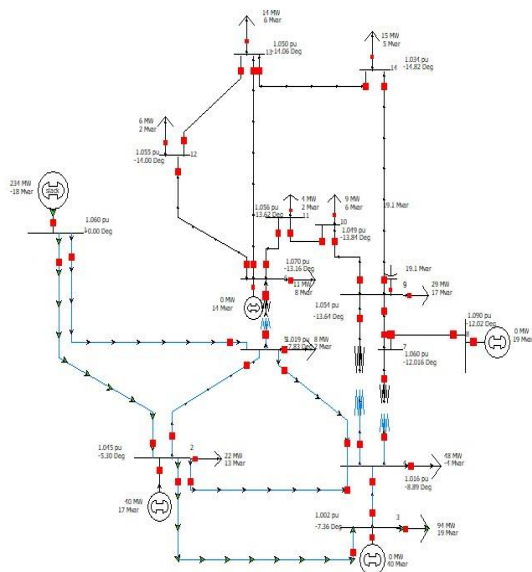
المناطق والحمل الحقيقي للنظام). واستخدام مصنف تقييم الحالات الطارئة بعد كل إجراء تصحيحي بالاستفادة من قابلية شجرة القرار على التدريب وتحديد الحمل الأنسب للفصل. عمل الباحثون في [19] على إيجاد الحلول لمشاكل تقييم الأمن الديناميكي في الزمن الحقيقي والمتمثلة بالحصول على نتائج التقييم بزمان قليل جداً على الرغم من السعة العالية والعدد الكبير للحالات الطارئة المنفذة، من خلال بناء مصنف تقييم الأمن الديناميكي باستخدام مجموعة مختلفة من شجرة القرار فضلاً عن استخدام الطرائق التكرارية للتأكد من دقة النتائج. قدم الباحثون [6] منصة حسابية ذات قابلية كبيرة على إجراء عمليات الحوسبة المتوازنة لتقييم الأمن الديناميكي في الزمن الحقيقي للشبكات الكهربائية الواسعة النطاق، وتم تحليل ومقارنة نتائج تقييم الأمن باستخدام حاسوب ذا مواصفات متقدمة يحتوي على (10000) نواة متوازنة وكانت نتائج الدراسة جيدة لكن على حساب الكلفة المادية اللازمة لتوفير أدوات التقييم. وفي [20] تم دراسة تأثير طريقة اختيار السمات (Features selection) على مصنف تقييم الأمن ديناميكي في منظومات القدرة الكهربائية المبني على أساس الشبكة العصبية الاصطناعية المتعددة الطبقات، ووجد أن استخدام العديد من السمات يعقد استخدام هذا المصنف ويؤثر ذلك بالتالي على دقة التنبؤ ووقت التدريب ويتوظيف تقنية اختيار السمات تم تقليل اثر التعقيد وحسن نتائج البحث. درس الباحثون في [21] تأثير التوسع المستمر لحجم منظومات القدرة الكهربائية والتطبيق المكثف لوحدة قياس الطور (PMUs) والتي تحتاج إلى معالجات متقدمة للبيانات ذات ساعات الكبيرة وذلك من خلال اقتراح مخطط متكامل لتقييم الأمن الديناميكي يستطيع التغلب على هذه الصعوبات بشكل كفوء.

وبشكل عام أظهرت هذه البحوث نتائج جيدة مقارنة بالطرائق التقليدية، لكن لايزال هناك مجال واسع لتطبيق المزيد من الخوارزميات في هذا المجال وعلى منظومات اختبار مختلفة فضلاً عن الاحتياج إلى إجراء مقارنة بين نتائج هذه الخوارزميات عند تطبيقها على المنظومة نفسها وفي نفس ظروف العمل. استخدم في هذا البحث تقنية الشبكة العصبية الاصطناعية ذات الانتشار العكسي وخوارزميتين من خوارزميات شجرة القرار على البيانات الخاصة بمنظومة القدرة الكهربائية الاختبارية واحدة وتم عمل مقارنة على أساس دقة النتائج ومعدل الخطأ لمعرفة أفضل الطرائق لحل لمسألة البحث.

وقسم البحث إلى الأقسام الآتية: في القسم الثاني تم تحديد المنهجية المعتمدة في البحث وآلية جمع ومعالجة البيانات بينما في القسم الثالث تم تناول نتائج هذه الدراسة من حيث قاعدة البيانات المنشأة ونتائج كل الخوارزميات التي تم استخدامها مع المقارنة بينها من حيث الدقة ونسبة الخطأ وتم أيضاً مناقشة هذه النتائج، وأخيراً تم في القسم الرابع من هذا البحث استعراض خلاصة البحث والأعمال المستقبلية المقترحة.

2. منهجية البحث

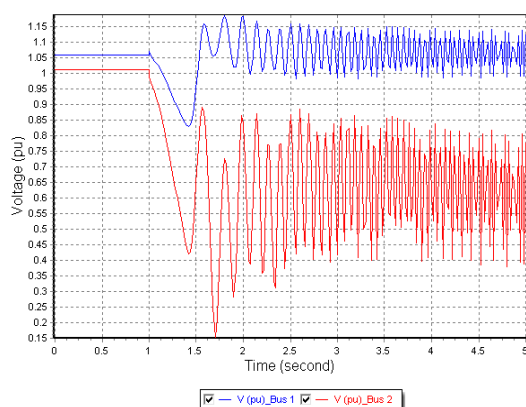
تم اعتماد منهجية البحث المكونة من قسمين وكما مبين في الشكلين (1) و (2)، فالشكل (1) يوضح آلية عمل القسم الأول من المنهجية حيث تم في هذا القسم أولاً عملية تمثيل نظام القدرة الاختباري بواسطة برنامج محاكاة حاسوبي ثم تنتقل إلى المرحلة التالية وهي تطبيق سيناريوهات الاضطراب الأربعة المختلفة الخاصة بهذه الدراسات وعند أحمال أربعة مختلفة (والتي سوف يتم توضيحها لاحقاً). وبعد تطبيق كل سيناريو اضطراب يتم اخذ معايير الأمن الخاصة بتقييم الأمن الديناميكي وكما موضح بالشكل (1) وهي قيم زاوية الدور لكل مولد تزامني فضلاً على فولتية وتردد كل عمومي وذلك من أجل الوصول إلى مرحلة بناء قاعدة البيانات الخاصة بالحالات الطارئة. وبعد كل حالة يتم ملاحظة



شكل 3. مخطط منظومة القدرة الكهربائية الاختبارية (IEEE 14 Bus)

اختلفت نتائج تطبيق حالات الاضطرابات على خصائص الفولتية والتردد وزاوية الدوار حسب طبيعة الخطأ المطبق ومقدار الحمل المعتمد وتأثيره على حالة امن المنظومة .

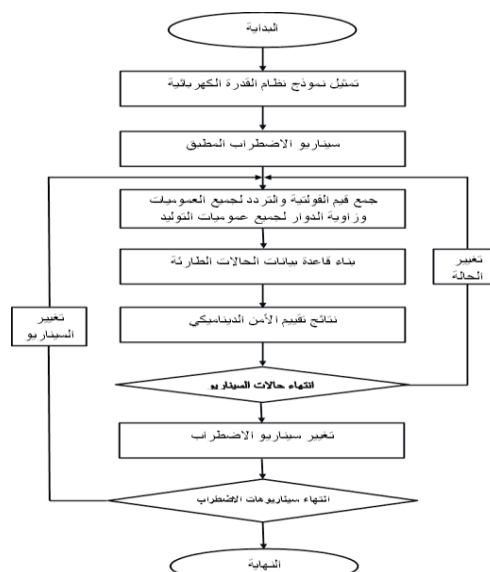
يوضح الشكل (4) تأثير تطبيق حالة خروج خط النقل رقم (1) الواصل بين العمومي رقم (1) والعمومي رقم (2) عن الخدمة بشكل دائم عند الثانية الاولى من التحليل وعند (150%) من الحمل الأساس .



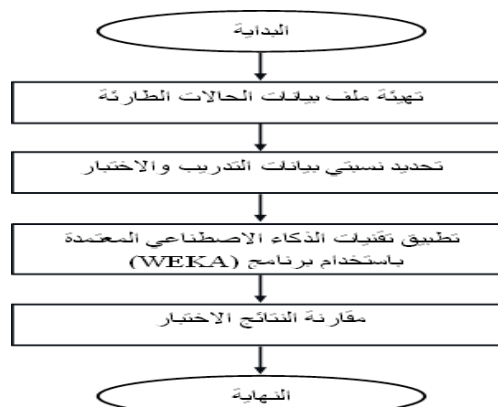
شكل 4. استجابة غير أمنة لفولتية العموميين (1) و(2) عند خروج الخط رقم (1) عن العمل بشكل دائم عند (150%) من الحمل الأساس

نلاحظ من الشكل أعلاه أن فولتية العمومي (1) والعمومي (2) خرجت عن حدود الأمن للفولتية (0.9-1.1) عند تطبيق هذا العطب في الثانية الأولى وبدأت الفولتية بالتذبذب الشديد واستمر هذا التذبذب لفترة طويلة وهذا يعني أن حالة تقييم الأمن الديناميكي عند هذا الاضطراب هي غير امن. بينما كانت استجابة تردد الفولتية لنفس العموميين أعلاه كما في الشكل (5) فلاحظ خروج تردد العمومي (1) والعمومي (2) عن قيمة الحد الأمن لتغير التردد وهو (49.5-50.5) هيرتز وإزداد ذلك مع مرور الوقت.

اكتشاف العلاقة بين المدخلات والمخرجات أو داله الهدف لأي مجموعة من البيانات وفق آلية عملها الخاصة والتي تختلف من خوارزمية إلى أخرى فضلا عن العوامل الأخرى المؤثرة في عملها كحجم البيانات وطبيعتها.



الشكل 1. منهجية البحث المعتمدة لبناء قاعدة بيانات الحالات الطارئة



الشكل 2. بناء مصنف تقييم الأمن الديناميكي باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي

3. النتائج والمناقشة

بالاستناد إلى المنهجية التي اعتمدها في هذا البحث تمت محاكاة تأثير الاضطرابات على نموذج المنظومة الاختباري (IEEE 14 Bus) والموضح في الشكل (3) والذي يمثل تقريباً مبسطاً لنظام الطاقة الكهربائية الأمريكية تحديداً في الغرب الأوسط للولايات المتحدة وأخذت البيانات في شهر فبراير من 1962 الذي يتكون من (5) مولدات متزامنة و(14) عمومي و(20) خط نقل ويبلغ إجمالي الأحمال (259 MW) و(73.5) MVAR.

ترتبط المولدات التزامنية على كل من العموميات (1)، (2)، (3)، (6)، (8) بينما ترتبط الأحمال على العموميات (2)، (3)، (4)، (5)، (6)، (9)، (10)، (11)، (12)، (13)، (14).

جدول 1: محصلة نتائج مستوى امن المنظومة الاختبارية
بالاعتماد على نسبة الحمل

ت	نسبة الحمل %	العدد الكلي للحالات	حالات فقدان الأمن	الحالات الأمانة
1	75	80	4	76
2	100	80	4	76
3	125	80	9	71
4	150	80	29	51
المجموع الكلي للحالات				
		320	46	274

من الجدول (1) نجد إن نسبة الحالات الأمانة الكلية إلى مجموع الكلي للحالات تساوي (85.62%) ونسبة الحالات غير الأمانة الكلية إلى مجموع الكلي تساوي (14.38%)، نستنتج زيادة عدد الحالات غير الأمانة لتقييم الأمن الديناميكي لمنظومة القدرة الكهربائية الاختبارية (IEEE 14 Bus) عند زيادة التحميل ويوضح ذلك خطورة التحميل العالي للشبكة عند حدوث الاضطرابات فيها.

بعد إنجاز الجزء الأول من المنهجية الموضحة في الشكل (1) تم ترتيب النتائج بملف الاكسل بحيث يكون لكل حالة دراسية (33) قراءة (سمة) بواقع (14) سمة لفولتية جميع العنومات، (14) سمة لقيم التردد جميع العنومات و (5) سمات تمثل قيم زاوية الدوار لكل مولدات المنظومة الاختبارية، مع إضافة دالة الهدف الثنائية القيمة لتحديد مستوى امن المنظومة وتساوي (1) لحالة الأمن و(0) لحالة فقدان الأمن، أما المجموع الكلي للحالات وكما بينا في الجدول (1) فهو (320) حالة دراسية فتكون أبعاد المصفوفة الناتجة (320 x 34).

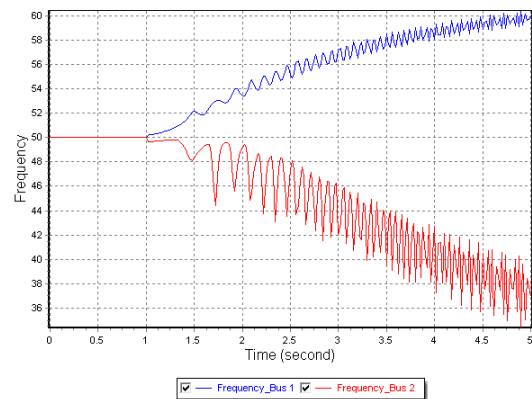
يتم تحويل المصفوفة المشكلة إلى صيغة مناسبة لعمل برنامج الذكاء الصناعي (WEKA) عبر تحديد نسبة بيانات التدريب ب (70 %) من البيانات الكلية لذا يكون عدد الحالات لأغراض تدريب الخوارزميات (224) حالة أما نسبة بيانات الاختبار ب (30 %) من نسبة البيانات الكلية فيصبح عدد حالات الاختبار (96) حالة وكما تم بيانه في الشكل (2) من المنهجية.

يتم استخدام تقنيات الذكاء الصناعي المتمثلة بالشبكة العصبية الاصطناعية وخوارزميات شجرة القرار (J48) و (LMT) لبناء مصنف تقييم الأمن الديناميكي على البيانات نفسها وكانت النتائج كما في الجدول (2) .

الجدول 2: بيبين المقارنة بين نتائج التقنيات المعتمدة التي تم الحصول عليها من حيث عدد الحالات المصنفة بشكل صحيح وعدد الحالات المصنفة بشكل خاطئ ودقة المصنف

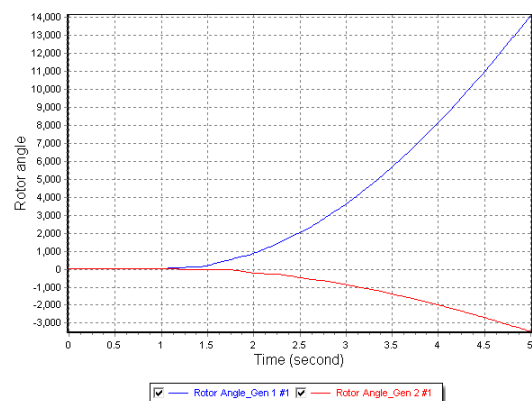
ت	المصنف	عدد الحالات الكلية	عدد الحالات المصنفة بشكل صحيح	عدد الحالات المصنفة بشكل خاطئ	الدقة %	جذر معدل الخطأ التربيعي
1	J48	96	93	3	96.8750	0.1745
2	LMT	96	94	2	97.9167	0.1254
3	ANN	96	95	1	98.9583	0.0972

أخذ قراءات الدقة ونسبة جذر معدل الخطأ التربيعي الذي يمثل مقياس الاختلاف بين كل من القيمة الملحوظة ونموذج التنبؤ وأي اختلاف هو خطأ وتتراوح قيمته بين (0 - 1) فيكون احسن كلما اقتربت قيمته من (0) وتعتبر حالة مثالية .



شكل 5: استجابة غير أمانة لتردد فولتية العموميين (1) و (2) عند خروج الخط رقم (1) عن الخدمة بشكل دائم عند (150%) من الحمل الأساس

من الشكل (6) نلاحظ زيادة فرق الطور بين زاويتي الدوار للمولدتين المربوطتين على العمومي (1) والعمومي (2) متجاوزا (180 درجة) والذي يزداد مع مرور الزمن بعد حدوث نفس الاضطراب وذلك يعني أن استجابة المنظومة لهذا الاضطراب غير امن أيضا .



الشكل 6: استجابة غير الأمانة لزاوية دوار المولدتين (1) و (2) عند خروج الخط رقم (1) عن الخدمة بشكل دائم عند (150%) من الحمل الأساس

من خلال الأشكال أعلاه يتضح لدينا أن هذا النوع من الاضطراب يؤدي في نهاية المطاف إلى فقدان امن المنظومة وتسببه بنتائج كارثية على عملها في حالة عدم قدرة مشغل الشبكة على اتخاذ الخطوات الصحيحة الخاصة بالحماية عبر إجراء المعالجة الفورية لهذا نوع من الاضطرابات كما يتضح لنا جليا أهمية التقييم الديناميكي بعد حدوث الاضطرابات.

بعد تطبيق كافة الاضطرابات المعتمدة في هذه الدراسة والموضحة في منهجية البحث وتقييم كل حالة على حدى نصل إلى الجدول (1) الذي يبين عدد الحالات المطبقة ونتائجها بناء على كل حالة حمل للمنظومة.

الديناميكي على منظومات اختبارية أكبر تحتوي على مصادر مختلفة للطاقات المتجددة .

Reference

- [1] A. A. Razaq, Protection of electeical power systems. Dar Ibn Al-Atheer for printing and publishing, university of mosul, 2013.
- [2] C. Liu *et al.*, "A systematic approach for dynamic security assessment and the corresponding preventive control scheme based on decision trees," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 29, no. 2, pp. 717–730, 2014.
- [3] Z. Bie, Y. Lin, G. Li, and F. Li, "Battling the Extreme: A Study on the Power System Resilience," *Proc. IEEE*, vol. 105, no. 7, pp. 1253–1266, 2017.
- [4] F. Luo *et al.*, "Advanced pattern discovery-based fuzzy classification method for power system dynamic security assessment," *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 11, no. 2, pp. 416–426, 2015.
- [5] D. Srinivasan, C. S. Chang, A. C. Liew, and K. C. Leong, "Power system security assessment and enhancement using artificial neural network," *Proc. Int. Conf. Energy Manag. Power Deliv. EMPD*, vol. 2, pp. 582–587, 1998.
- [6] I. Konstantelos *et al.*, "Implementation of a Massively Parallel Dynamic Security Assessment Platform for Large-Scale Grids," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 8, no. 3, pp. 1417–1426, 2017.
- [7] M. Göll, S. Member, and A. Abur, "With Limited Number of PMUs," vol. 30, no. 3, pp. 1511–1517, 2015.
- [8] Y. Zhang, T. Huang, and E. F. Bompard, "Big data analytics in smart grids : a review," pp. 1–24, 2018.
- [9] Y. Xu, S. Member, Z. Y. Dong, S. Member, and J. H. Zhao, "A Reliable Intelligent System for Real-Time Dynamic Security Assessment of Power Systems," vol. 27, no. 3, pp. 1253–1263, 2012.
- [10] J. Manuel and G. Alvarez, "Critical contingencies ranking for dynamic security assessment using neural networks," *2009 15th Int. Conf. Intell. Syst. Appl. to Power Syst. ISAP '09*, 2009.
- [11] A. N. Al-Masri, M. Z. A. Ab Kadir, H. Hizam, and N. Mariun, "A novel implementation for generator rotor angle stability prediction using an adaptive artificial neural network application for dynamic security assessment," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 28, no. 3, pp. 2516–2525, 2013.
- [12] C. F. Kucuktezcan and V. M. I. Genc, "A new dynamic security enhancement method via genetic algorithms integrated with neural network based tools," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 83, no. 1, pp. 1–8, 2012.

من خلال مقارنة النتائج أعلاه نلاحظ أن خوارزمية شجرة القرار (J48) صنفت (93 حالة) بشكل صحيح من اصل (96 حالة) أي بنسبة دقة (96.875%) وجذر معدل الخطأ التربيبي مساوي (0.1745)، بينما أظهرت خوارزمية (LMT) دقة أعلى من الخوارزمية السابقة فصنفت (94 حالة) بشكل صحيح من اصل (96 حالة) أي بنسبة (97.9167%) ونجد أن الخوارزمية أظهرت تحسنا أكبر بجذر معدل الخطأ التربيبي فكانت قيمته (0.1254) .

أما الشبكة العصبية الاصطناعية فقد بينت دقة تصنيف أعلى من الخوارزميتين السابقتين فصنفت (95 حالة) صحيحة من اصل (96 حالة) أي بنسبة (98.9583%) أي بتحسّن حوالي (2%) عن خوارزمية (J48) وبنسبة (1%) عن خوارزمية (LMT) وأظهرت تحسنا أكبر في قيمة جذر معدل الخطأ التربيبي فكانت قيمته (0.0972).

لقد أثبتت النتائج أن تقنية الشبكة العصبية الاصطناعية أنها التقنية الأفضل مقارنة بخوارزميات شجرة القرار من حيث الدقة وذلك يعود إلى قدرتها على اكتشاف العلاقة الصحيحة بين المدخلات (القياسات) والإخراج (حالة الأمن) والذي يعتبر من اهم عوامل نجاح أي مصنف. كما نلاحظ أن أداء مصنف (LMT) افضل من (J48) وذلك نتيجة استبدال العقد الطرفية في هذه الخوارزمية بلوغارتم الانحدار اللوجستي مما إلى تحسن النتائج. وعموما أثبتت الخوارزميات المستخدمة قابلية جيدة على تصنيف حالة الأمن اعتمادا على حالات المنظومة الدراسية البالغة (320) حالة وهذا العدد الكبير نسبيا للحالات الدراسية ساعد على زيادة نسبة بيانات التدريب وبالتالي زيادة قدرة المصنف على اكتشاف العلاقة بين المدخلات والإخراج، فإن التدريب الجيد على حالات متعددة من الاضطرابات ولمختلف نسب الحمل يزيد من فرصة بناء مصنف ذو كفاءة أعلى ومما يساعد في ارتفاع دقة نتائج تقييم الأمن الديناميكي الألية. ومن الجدير بالذكر أن أي تحسن في النتائج مهم جدا نظرا للكلفة العالية على أي إجراء تصحيحي يقوم به مشغل الشبكة عند حدوث حالات الاضطراب حيث يبني قرار مشغل الشبكة أساسا على نتائج دقة مصنف الأمن الديناميكي.

4. الاستنتاجات والأعمال المستقبلية

في هذا البحث تم اقتراح منهجية معتمدة لمواجهة تحديات تقييم الأمن الديناميكي في بيئة التشغيل الحديثة المبينة أساسا على تقنيات الذكاء الصناعي وضمن حالات دراسية مختلفة من الاضطرابات والأحمال. تم أولا تمثيل نموذج لمنظومة القدرة الكهربائية الاختباري (IEEE 14 Bus) باستخدام برنامج المحاكاة (Power World) بعد ذلك تم تطبيق عدد من الحالات الاضطرابات الدراسية الأكثر ضارا في بيئة التشغيل الحقيقية من أجل الحصول على البيانات الخاصة بمعايير الأمن الديناميكي، ومن ثم استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي المتمثلة بالشبكة العصبية الاصطناعية وخوارزميات شجرة القرار (J48) و (LMT).

أظهرت نتائج الدراسة تفوق الشبكة العصبية الاصطناعية في الحصول على أعلى دقة ممكنة من بين الخوارزميات الأخرى وصلت تقريبا إلى حوالي (99%) وقيمة جذر معدل الخطأ التربيبي أقل من (0.1%)، يعود ذلك إلى امرين أساسيين هما التدريب الجيد على الحالات المختلفة والكثيرة المستحصلة من البيانات الخاصة بمعايير الأمن الديناميكي وكذلك قابلية الشبكة العصبية الاصطناعية العالية على اكتشاف العلاقة بين المدخلات (القراءات) والمخرجات (حالة النظام) مما يؤدي إلى رفع كفاءة قرارات مركز السيطرة لمعالجة حالة الاضطرابات المختلفة ومنع حدوث حالات الإطفاء التام الذي قد يسبب خسائر كبيرة لمشغلي الشبكة والمستخدمين. من المقترحات للأعمال المستقبلية لهذا البحث تطبيق المنهج المقترح لتقييم الأمن

- [22] D. Zhang, S. Li, S. Member, P. Zeng, and C. Zang, "Optimal Microgrid Control and Power-Flow Study With Different Bidding Policies by Using PowerWorld Simulator," vol. 5, no. 1, pp. 282–292, 2014.
- [23] I. S. Saeh and A. Khairuddin, "Static security assessment using artificial neural network," *PECon 2008 - 2008 IEEE 2nd Int. Power Energy Conf.*, no. PECon 08, pp. 1172–1178, 2008.
- [24] F. L. Y. Zhang and M. X. X. Lin, "Investigation and evaluation of active frequency drifting methods in multiple grid-connected inverters," no. April 2011, pp. 485–492, 2012.
- [25] Y. Xu, Z. Y. Dong, Z. Xu, K. Meng, and K. P. Wong, "An intelligent dynamic security assessment framework for power systems with wind power," *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 8, no. 4, pp. 995–1003, 2012.
- [26] W. M. Villa-Acevedo, J. M. López-Lezama, and D. G. Colomé, "Voltage stability margin index estimation using a hybrid kernel extreme learning machine approach," *Energies*, vol. 13, no. 4, 2020.
- [27] A. Ahmid, "Using data mining techniques to discover the causes of electrical power cuts," Al Nilain university, 2018.
- [28] M. F. Maulana and M. Defriani, "Logistic Model Tree and Decision Tree J48 Algorithms for Predicting the Length of Study Period Logistic Model Tree and Decision Tree J48 Algorithms for Predicting the Length of Study Period," no. March, 2020.
- [29] Al Sharqaoy.M, Artificial intelligence and neural networks. artificial intelligence center for computer, 1996.
- [13] S. Jafarzadeh, V. M. I. Genc, and Z. Cataltepe, "An Online Dynamic Security Assessment in Power Systems Using RBF-R Neural Networks An Online Dynamic Security Assessment in Power Systems Using RBF-R Neural," vol. 2063, 2018.
- [14] R. Mukherjee and A. De, "Real-time dynamic security analysis of power systems using strategic PMU measurements and decision tree classification," *Electr. Eng.*, 2020.
- [15] W. D. Oliveira, J. P. A. Vieira, U. H. Bezerra, D. A. Martins, and G. Rodrigues, "Power system security assessment for multiple contingencies using multiway decision tree," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 148, pp. 264–272, 2017.
- [16] R. Mukherjee and A. De, "Development of an Ensemble Decision Tree-Based Power System Dynamic Security State Predictor," pp. 1–8, 2020.
- [17] J. L. Jardim, "Online dynamic security assessment: Implementation problems and potential use of artificial intelligence," *Proc. IEEE Power Eng. Soc. Transm. Distrib. Conf.*, vol. 1, pp. 340–345, 2000.
- [18] E. M. Voumvoulakis, A. E. Gavoyiannis, and N. D. Hatziaargyriou, "Decision trees for dynamic security assessment and load shedding scheme," *2006 IEEE Power Eng. Soc. Gen. Meet. PES*, no. 2, pp. 1–7, 2006.
- [19] M. He, J. Zhang, and V. Vittal, "A data mining framework for online dynamic security assessment: Decision trees, boosting, and complexity analysis," *2012 IEEE PES Innov. Smart Grid Technol. ISGT 2012*, 2012.
- [20] C. F. Kucuktezcan, Z. Cataltepe, and P. Beyranvand, "A Novel Feature Selection Method for the Dynamic Security Assessment of Power Systems Based on Multi-Layer Perceptrons," *Int. J. Intell. Syst. Appl. Eng.*, vol. 1, no. 6, pp. 53–58, 2018.
- [21] S. Liu *et al.*, "An Integrated Scheme for Online Dynamic Security Assessment Based on Partial Mutual Information and Iterated Random Forest," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 11, no. 4, pp. 3606–3619, 2020.

Analysis of the Performance of Artificial Intelligence Algorithms in Dynamic Security Assessment

Qutaiba S. Al-hamdany
qutaiba.enp19@uomosul.edu.iq

Saraa E. Khalil
saraa2020@uomosul.edu.iq

Mohammed A. Al-Rawe
mauom@uomosul.edu.iq

Electrical Engineering Departement, Collage of Engineering, University of Mosul

Abstract

Electrical power systems around the world are currently operating near the limits of security and stability design, due to economic considerations and high rates of demand for electrical energy. During their operation, these systems are exposed to various types of disturbances, which in severe cases lead to their complete loss and complete shutdown. Dynamic security assessment is one of the most important tools used in evaluating the performance of electrical power systems after these disturbances occur. The traditional mathematical methods for evaluating dynamic security require complex computations and computational time so that they are not suitable for evaluating dynamic security in real time. To address these challenges, this research was conducted to provide new tools based on advanced techniques of artificial intelligence techniques capable of building a classifier to evaluate its dynamic behavior in real time. The research methodology in this study relied on the use of artificial intelligence techniques, including back propagation artificial neural network, decision tree algorithms (J48) and logistic model tree (LMT). Which was applied to the emergency database of the electrical power system (IEEE 14 Bus) test model after applying the most common types of electrical disturbances. The results of the artificial neural network technology showed high classification accuracy (98.958%) and a lower error rate compared to the decision tree (J48) and (LMT) algorithms.

The results of this research are very important to improve the accuracy of the results of the dynamic security assessment classifier for the electrical power system, which makes it easier for the network operator to take appropriate protective measures in the moment of disturbances in the network.

Keyword :

Dynamic Security Assessment; Artificial Intelligence; Decision Tree Algorithms; Artificial Neural Network; Contingency Classifier .

Appedix A

Appedix A.1 Line data – IEEE 14 bus system

Line number	From bus	To bus	Line impedance (p.u.)		B
			Resistance	Reactance	
1	1	2	0.01938	0.05917	0.05280
2	1	5	0.05403	0.22304	0.04920
3	2	3	0.04699	0.19797	0.04380
4	2	4	0.05811	0.17632	0.03400
5	2	5	0.05695	0.17388	0.03460
6	3	4	0.06701	0.17103	0.01280
7	4	5	0.01335	0.04211	0
8	4	7	0	0.20912	0
9	4	9	0	0.55618	0
10	5	6	0	0.25202	0
11	6	11	0.09498	0.19890	0
12	6	12	0.12291	0.25581	0
13	6	13	0.06615	0.13027	0
14	7	8	0	0.17615	0
15	7	9	0	0.11001	0
16	9	10	0.03181	0.08450	0
17	9	14	0.12711	0.27038	0
18	10	11	0.08205	0.19207	0
19	12	13	0.22092	0.19988	0
20	13	14	0.17093	0.34802	0

Appedix A.2 Transformer taps setting data – IEEE 14 bus system

From bus	To bus	Tap setting value (p.u.)
4	7	0.978
4	9	0.969
5	6	0.932

Appedix A.3 Bus data – IEEE 14 bus system

Bus number	Bus voltage		Generation		Load	
	Magnitude (p.u.)	Phase angle (degree)	Real power (MW)	Reactive power (MVAR)	Real power (MW)	Reactive power (MVAR)
1	1.06000	-0.00	234.15	-17.77	0	0
2	1.04500	-5.30	40.00	16.58	21.70	12.7
3	1.00208	-7.36	0.00	40.00	94.20	19.00
4	1.01585	-8.89	0.00	0.00	47.80	-3.90
5	1.01899	-7.83	0.00	0.00	7.60	1.60
6	1.07000	-13.16	0.00	14.19	11.20	7.50
7	1.05994	-12.02	0.00	0.00	0.00	0.00
8	1.09000	-12.02	0.00	18.60	0.00	0.00
9	1.05357	-13.64	0.00	0.00	29.50	16.60
10	1.04907	-13.84	0.00	0.00	9.00	5.80
11	1.05597	-13.62	0.00	0.00	3.50	1.80
12	1.05498	-14.00	0.00	0.00	6.10	1.60
13	1.05007	-14.06	0.00	0.00	13.50	5.80
14	1.03405	-14.82	0.00	0.00	14.90	5.00