

تحسين تقييم موثوقية نظام طاقة مركب اعتماداً على خوارزميات الذكاء الاصطناعي - حالة دراسية: نظام الطاقة المركب في محافظة اللاذقية

د. غسان حايك*

د. حسام شاهين**

د. مضر صارم***

معلا إبراهيم****

(تاريخ الإيداع 15 / 6 / 2021. قُبِلَ للنشر في 10 / 8 / 2021)

□ ملخص □

يعد تقييم الموثوقية جزءاً لا يتجزأ من دراسات التخطيط والتصميم والتشغيل لأي نظام طاقة كهربائي. وبشكل خاص، يعتبر تقييم موثوقية نظام الطاقة المركب (التوليد والنقل) من الدراسات الهامة لتقييم مدى كفاية وأمان هذا النظام في توفير طاقة موثوقة وعالية الجودة للمستهلكين. إن من أهم الصعوبات التي تعترض عملية تقييم موثوقية نظام الطاقة المركب هي تعقيد هذا النظام وكبر حجمه وبالتالي العبء الزمني والحسابي اللازم لهذا التقييم. يعرض هذا المقال منهجية مقترحة لتقييم موثوقية نظام الطاقة الكهربائية المركب في محافظة اللاذقية اعتماداً على خوارزميات الذكاء الاصطناعي. ووفقاً للمنهجية المقترحة، تم أولاً حساب أحمال الذروة اليومي والأسبوعي والفصلي كنسب مئوية اعتماداً على الحمل الساعي السنوي ورسم منحنيات هذه الأحمال. كما تم حساب معدل الخروج القسري لمجموعات التوليد عن الخدمة وكذلك حساب معدل تعطل خطوط النقل في هذا النظام اعتماداً على الزمن الواسطي بين الأعطال والزمن الواسطي لإصلاح العطل. ثم تم لاحقاً تطبيق خوارزميتين من خوارزميات الذكاء الاصطناعي هما خوارزمية التطور التفاضلي (Differential Evolution-DE) والخوارزمية الوراثية (Genetic Algorithm-GA) وذلك بهدف تحسين تقييم الموثوقية من ناحية العبء الزمني والحسابي. استُخدمت خوارزمية التطور التفاضلي (DE) في المرحلة الأولى لتوليد عيّنات من حالات النظام المحتملة المختلفة وذلك بهدف تسهيل تحديد حالات الفشل في عمل النظام. أما في المرحلة الثانية، فمن أجل كل حالة فشل في عمل النظام تم تحديدها وفقاً لخوارزمية الـ DE، تم استدعاء الخوارزمية الوراثية (GA) لتحديد الحد الأدنى الأمثل لتخفيض الحمل مع المحافظة على شروط عمل النظام (من ناحية التوترات وسعات التحمل القصوى للخطوط). تستند استراتيجية تخفيض الحمولة التي تم اقتراحها في هذا البحث على تخفيض الحمل الأقل أهمية من أحمال النظام بنسبة أكبر مقارنة مع الأحمال الأكثر أهمية. أخيراً، واعتماداً على حالات الفشل، تم حساب مؤشرات الموثوقية السنوية للنظام ككل ولعقد الحمولة أيضاً. وللتحقق من صلاحية وفعالية المنهجية المقترحة، تم تطبيقها على نظام الطاقة المركب في محافظة اللاذقية. وقد أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن الطريقة المقترحة أكثر فعالية ودقة في حساب مؤشرات موثوقية نظام الطاقة المركب مقارنة مع طريقة محاكاة مونت كارلو التسلسلية. كما بيّنت النتائج أن استراتيجية تخفيض الحمل المتبعة ذات فعالية كبيرة في الحفاظ على شروط عمل النظام.

الكلمات المفتاحية: الموثوقية، نظام الطاقة المركب، إيجاد الحل الأمثل، خوارزمية التطور التفاضلي، الخوارزمية الوراثية، خوارزمية عناصر السرب.

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

** أستاذ مساعد - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

*** باحث رئيسي - الهيئة العامة للاستشعار عن بعد - فرع المنطقة الساحلية - سورية.

****، طالب دكتوراه - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Reliability Evaluation Improvement of a Composite Power System Based on Artificial Intelligence Algorithms – Case study: Composite Power System in Latakia Governorate

Dr. Ghassan Hayek*
Dr. Husam Shahee**
Dr. Mudar Sarem***
Mulla Ibrahim****

(Received 15 / 6 / 2021. Accepted 10 / 8 / 2021)

□ ABSTRACT □

Reliability assessment is an integral part of the planning, designing, and operating studies of any electrical power system. Particularly, the reliability evaluation of the composite power system (generation and transmission) is very essential to assess the adequacy and security of the system to supply high-quality power to the consumers. The most difficult problems encountered in assessing the reliability of a composite power system are the large scale and complexity of this system and thus the time and computational burden required for such assessment. This article presents a proposed methodology for the reliability evaluation of the composite power system in Latakia governorate based on artificial intelligence algorithms. According to the proposed methodology, firstly, the daily, weekly, and seasonal peak loads are calculated based on the annual hourly load and their curves are plotted as well. Next, the forced outage rate of the generating units and the failure probability of the transmission line in this system are calculated based on the mean time between failure and mean time to repair. Later on, two artificial intelligence algorithms, namely, the differential evolution (DE) and the genetic algorithm (GA) are applied to improve the reliability evaluation of the composite power system from the time and computational point of view. DE algorithm was applied in the first stage, to generate the different possible state samples of the system in order to determine the failure states. In the second stage, and for each failure state determined by DE, GA algorithm is called to find the optimal minimum load curtailment without violating system operational conditions (voltage levels and maximum line capacity). The proposed load curtailment strategy in this work is based on curtailing more load form less importance loads compared to less load form high importance loads. Lastly, based on the failure states, the reliability indices for the whole system and for the load buses are calculated. To verify and validate the proposed methodology, it was applied to the composite power system in Latakia governorate. The obtained results showed that the proposed method is more accurate and much efficient in calculating the annualized reliability indices of the studied system compared to Monte Carlo simulation method. The results, also, showed that the proposed load curtailment strategy is highly efficient in maintaining the system operational conditions.

Keywords: reliability, composite power system, optimization, differential evolution (DE), Genetic Algorithm (GA), particle swarm optimization (PSO).

*Professor - Department of Electrical Power Engineering- Tishreen University- Latakia- Syria.

** Associate Professor - Department of Electrical Power Engineering- Tishreen University - Latakia- Syria.

*** Main Researcher - General Organization of Remote Sensing (GORS)- Costal Branch- Syria.

**** Postgraduate Student(Ph.D.) -Department of Electrical Power Engineering- Tishreen University - Lattakia-Syria.

مقدمة:

يُعد تقييم موثوقية نظام الطاقة المركب (التوليد والنقل) عملية صعبة وتستغرق وقتاً طويلاً بسبب الحجم الكبير لهذا النظام، وزيادة تعقده، فضلاً عن عدم خطية سلوكه [1-2]. لكن هذا التقييم في الوقت نفسه يعتبر من الدراسات الهامة التي تزود المخطط وصانع القرار (المشغل) بمعلومات مهمة للغاية تتعلق بكفاية وأمن النظام [3]. تشير الدراسة المرجعية التي قمنا بها، لما هو متاح من أبحاث في هذا المجال، إلى أنّ الطرق التحليلية استُخدمت بشكل أساسي لتقييم موثوقية النظام المركب [4-6]. يتم في هذه الطرق تمثيل النظام المركب بنموذج تحليلي ويتم حساب مؤشرات موثوقيته بناءً على المعادلات الرياضية والمعرفة العامة المتعلقة بهذا النموذج. وفقاً لذلك، يتم تحديد احتمالية وتكرار حالات النظام واستخدامها في تقييم موثوقيته. بالإضافة إلى الطرق التحليلية، فقد استُخدمت طرق المحاكاة (محاكاة مونت كارلو التسلسلية وغير التسلسلية) التي تحاكي الحالات الفعلية لفشل النظام ومكوناته في ظل ظروف التشغيل العشوائية [7-13]. اعتماداً على حالات العينات المولدة في هذه الطرق، يتم تحديد حالات الفشل، وبالتالي يتم حساب مؤشرات الموثوقية للنظام المدروس.

في طرق محاكاة مونت كارلو التسلسلية، يتم التركيز على الخصائص الزمنية للنظام ومكوناته، ويتم إجراء المحاكاة بالتعاقب (التسلسل). تعد هذه الأساليب أكثر تعقيداً وتتطلب عبئاً حسابياً أكبر. أما في الطرق غير التسلسلية، فلا تؤخذ الخصائص الزمنية في الحسبان. وبدلاً من ذلك، يتم محاكاة حالات التشغيل المحتملة للنظام ومكوناته بشكل عشوائي. وعلى الرغم من أن العبء الحسابي لهذه الطرق أقل، إلا أنها غير مقبولة في الحالات التي تتطلب التركيز على الخصائص الزمنية للنظام. كما تم استخدام الطرق الهجينة بين الطريقتين السابقتين (التحليلية والمحاكاة) في محاولة للاستفادة من مزايا كل منهما معاً [14-15]. إضافة إلى ذلك، تم استخدام خوارزميات إيجاد الحل الأمثل لتوليد عينات الحالات المحتملة للنظام المدروس وتحديد حالات الفشل وعزلها عن باقي الحالات، والتي يتم اعتماداً عليها حساب مؤشرات موثوقية النظام. علاوةً على ذلك، تم أيضاً تقييم موثوقية أنظمة الطاقة الهجينة (التي تحوي مصادر طاقات متجددة، مصادر تخزين للطاقة، محطات شحن للسيارات الكهربائية، إلخ) اعتماداً على الطرق التحليلية وطرق محاكاة مونت كارلو السابقة الذكر [16-24]. وكخلاصة لما سبق ذكره، تم التركيز في الأبحاث المذكورة على ثلاث نقاط رئيسية في عملية تقييم الموثوقية وهي تحسين الكفاءة الحسابية وتحسين الدقة بالإضافة إلى إيجاد الحل الأمثل. لكن ما يلاحظ هو أنّ الطرق المذكورة تعاني بشكل أساسي من العبء الزمني والحسابي الكبير الذي تستغرقه عملية تقييم الموثوقية.

يعرض هذا المقال طريقة مقترحة تعتمد على خوارزميات الذكاء الاصطناعي لتقييم موثوقية نظام الطاقة المركب في محافظة اللاذقية. ووفقاً لهذه المنهجية تم أولاً، تهيئة البيانات اللازمة لحساب مؤشرات الموثوقية والتمثلة بالبيانات اللازمة لإجراء سريان الاستطاعة في النظام المدروس. بالإضافة إلى حساب معدلات الخروج القسري عن الخدمة لمجموعات التوليد وأعطال خطوط النقل وذلك اعتماداً على أحمال الذروة اليومية والأسبوعية والفصلية التي تم استخراجها من الحمل الساعي السنوي للنظام وعلى الزمني الواسطي بين الأعطال وكذلك الزمن الواسطي لإصلاح العطل. لاحقاً، تم تطبيق خوارزمية التطور التفاضلي (DE)، في المرحلة الأولى، لتوليد عينات من الحالات المحتملة المختلفة للنظام وبناءً على هذه الحالات تم تحديد حالات الفشل للنظام وعزلها. وفي المرحلة الثانية، ومن أجل كل حالة فشل تم تحديدها مسبقاً، تم تطبيق الخوارزمية الوراثية (GA) لتحديد الحد الأدنى الأمثل لمقدار تخفيض الحمل بهدف المحافظة على شروط عمل النظام. ومن أجل تسهيل حساب مؤشرات الموثوقية للنظام المدروس تم تخزين جميع

البيانات اللازمة من حالات الفشل المحددة مسبقاً في مصفوفة أُطلق عليها اسم مصفوفة الحالة. وتالياً، تم استخدام هذه البيانات في حساب مؤشرات الموثوقية السنوية للنظام المدروس.

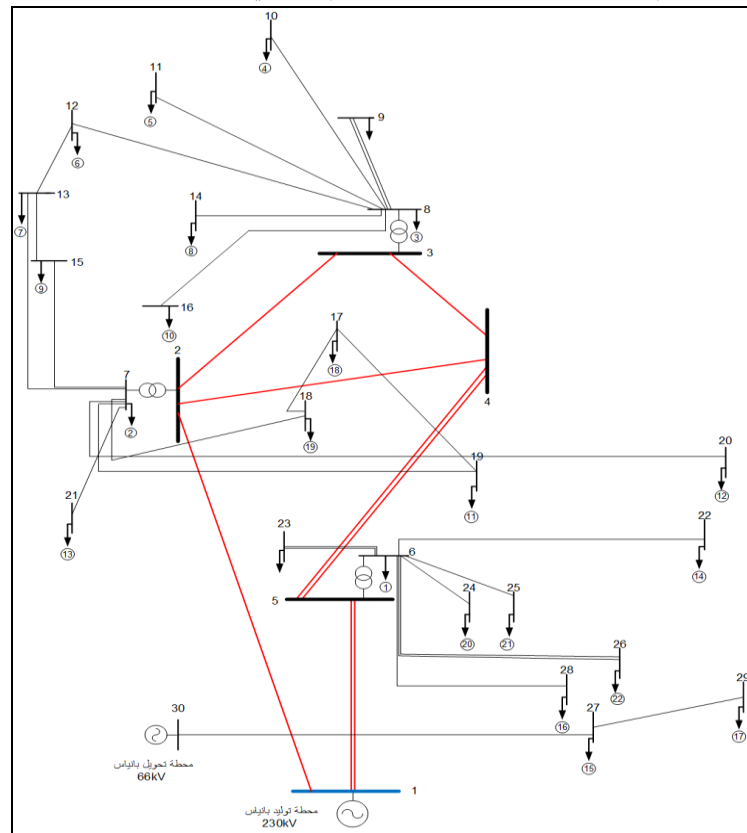
أهمية البحث وأهدافه:

يهدف هذا البحث إلى تحسين تقييم موثوقية نظام الطاقة المركب وذلك اعتماداً على خوارزميات الذكاء الاصطناعي. يتمثل التحسين المراد الوصول إليه في تقليل العبء الحسابي والزمني لحساب مؤشرات موثوقية النظام وزيادة دقة الحساب. تأتي أهمية هذا البحث من كون تقييم موثوقية نظام الطاقة المركب يسمح للمخطط والمصمم والمشغل لنظام الطاقة بتحديد كفاية وأمان هذا النظام وقدرته على تلبية متطلبات الحمل بموثوقية وجودة عالية، واعتماداً على هذا التقييم يمكن اتخاذ إجراءات مختلفة مناسبة لكل حالة لتحسين موثوقية النظام.

طرائق البحث ومواده:

1. وصف نظام الطاقة الكهربائية المركب في محافظة اللاذقية:

يتكون نظام الطاقة المركب في محافظة اللاذقية، كما هو موضّح في الشكل (1)، من خمس مجموعات توليد (4 مجموعات متصلة بالعمدة رقم 1 والخامسة متصلة بالعمدة رقم 30). كما يتضمن 24 عمدة حاملة، 7 منها عبارة عن أحمال زراعية وصناعية صغيرة يتم تغذيتها بدارة مزدوجة. بالإضافة إلى ذلك، يتكون النظام من 33 خط نقل (6 خطوط بتوتر 230 كيلو فولت (تظهر على الشكل باللون الأحمر) والباقي 27 خط بتوتر 66 كيلو فولت).

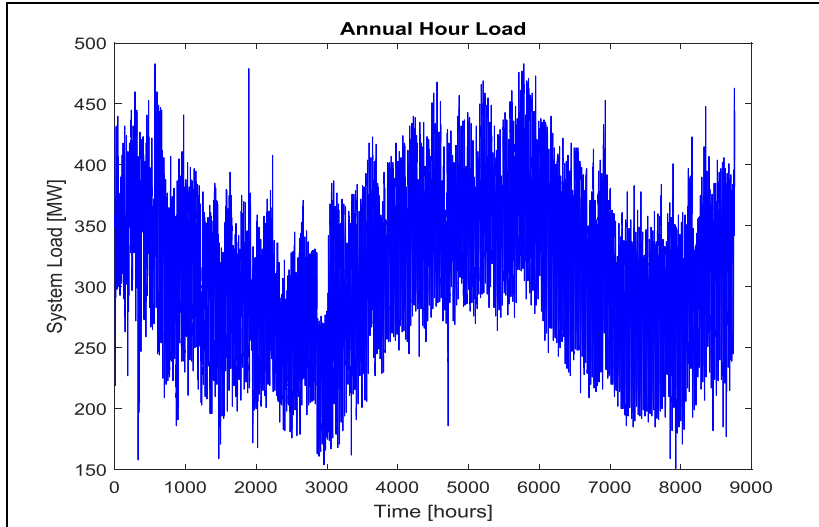


الشكل (1) مخطط نظام الطاقة المركب في محافظة اللاذقية

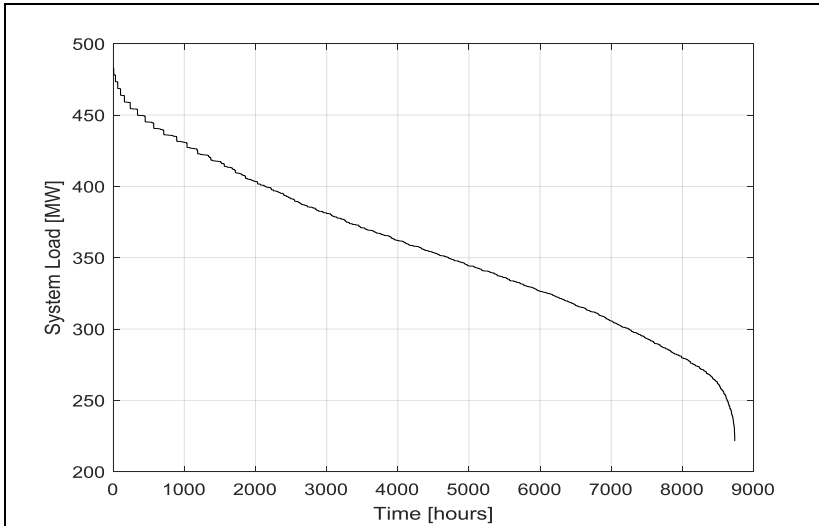
2. تهيئة البيانات اللازمة لحساب مؤشرات موثوقية نظام الطاقة المركب في محافظة اللاذقية:

1.2 حساب قيم أحمال الذروة اليومية والأسبوعية والفصلية اعتماداً على قيم الحمولة الساعية السنوية:

لحساب مؤشرات موثوقية نظام الطاقة المركب، تم أولاً حساب الأحمال الوسطية المختلفة للنظام المدروس انطلاقاً من الحمل الساعي السنوي. تم بدايةً، الحصول على الحمل الساعي السنوي للنظام المدروس لعام 2019 من دائرة نقل الطاقة في محافظة اللاذقية. حيث تم الحصول على الحمولة الساعية لكامل العام أي لـ 8760 ساعة في العام كما يظهر في الشكل رقم (2). وبعد ذلك تم رسم منحنى الحمل التراكمي لهذه الأحمال الساعية كما يظهر في الشكل رقم (3). يبلغ حمل الذروة السنوي لهذا النظام $483MW$.



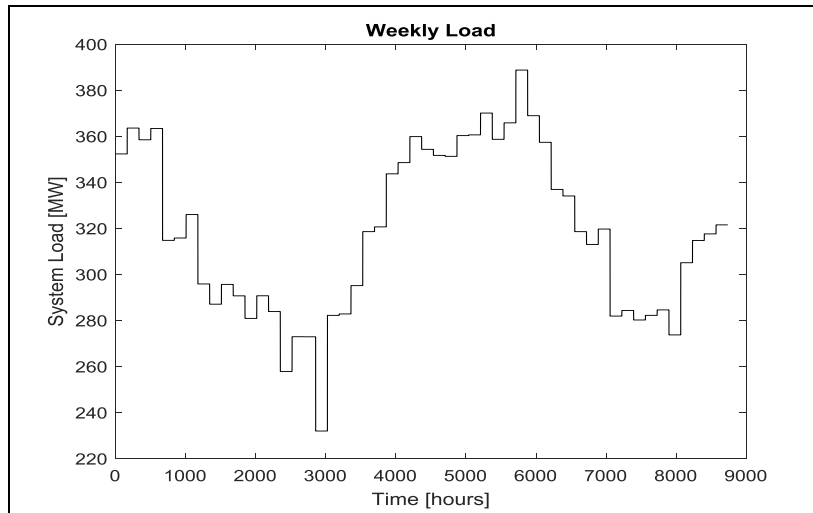
الشكل (2) منحنى الحمل الساعي السنوي لنظام الطاقة المركب في محافظة اللاذقية



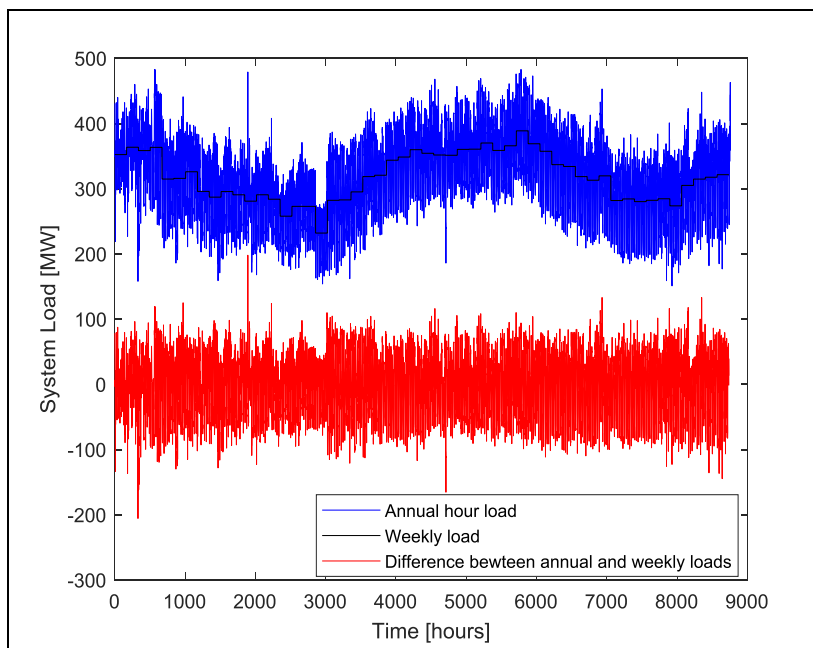
الشكل (3) منحنى الحمل التراكمي لنظام الطاقة المركب في محافظة اللاذقية

ولحساب الأحمال الوسطية اليومية والأسبوعية والفصلية انطلاقاً من الحمل الساعي السنوي، تم تطبيق طريقة تعتمد على تخزين الحمل الساعي السنوي في مصفوفة أبعادها (52×168) ، حيث تمثل عدد أسطر المصفوفة وهي تشير إلى عدد الأسابيع في العام الواحد. في حين أنّ 168 تمثل عدد أعمدة المصفوفة وهي تشير إلى عدد الساعات

في الأسبوع الواحد. وبناءً على هذه المصفوفة تم حساب الحمل الأسبوعي الوسطي لكل أسبوع من أسابيع العام ورسم منحنى هذا الحمل كما يظهر في الشكلين (4) و(5).



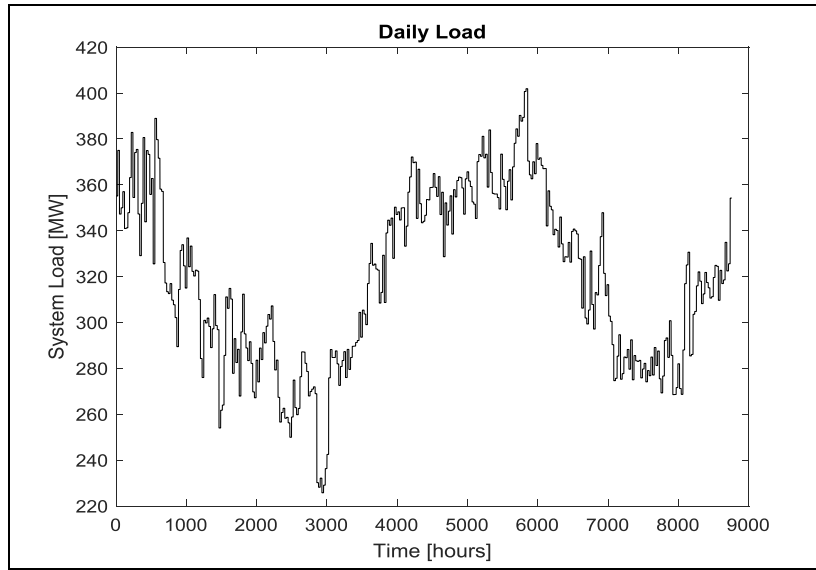
الشكل (4) منحنى الحمل الأسبوعي لنظام الطاقة المركب في محافظة اللاذقية (52 أسبوع)



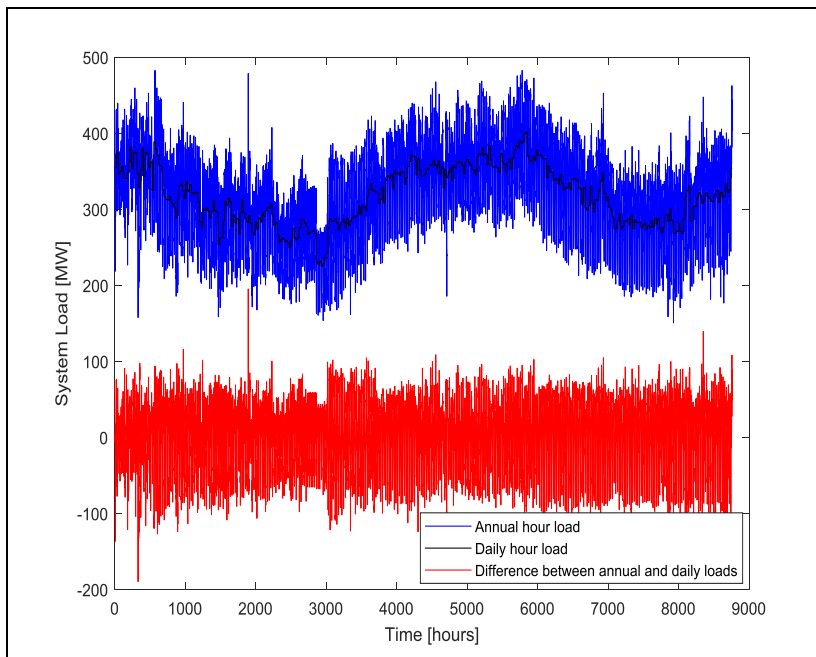
الشكل (5) الفرق بين منحنى الحمل الساعي السنوي ومنحنى الحمل الأسبوعي لنظام الطاقة المركب في محافظة اللاذقية

لاحقاً تم حساب الحمل اليومي الوسطي من المصفوفة المذكورة أعلاه بتقسيم عدد ساعات الأسبوع على 24 للحصول على الحمل اليومي وتشكيل مصفوفة جديدة أبعادها (365×24) ، حيث 365 تمثل عدد أسطر المصفوفة وهي تشير إلى عدد الأيام في العام الواحد. في حين أنّ 24 تمثل عدد أعمدة المصفوفة وهي تشير إلى عدد الساعات في اليوم

الواحد. وبناءً على هذه المصفوفة تم حساب الحمل اليومي الوسطي لكل يوم من أيام العام ورسم منحنى هذا الحمل كما يظهر في الشكلين (6) و (7).



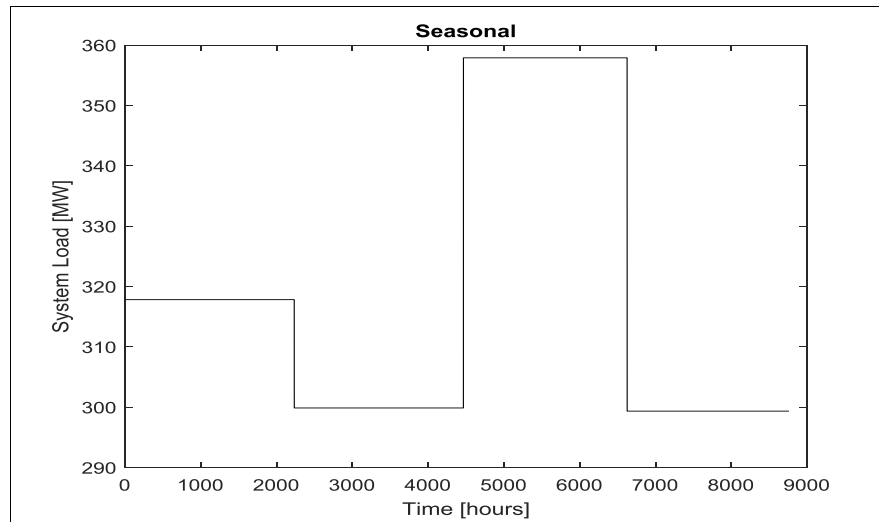
الشكل (6) منحنى الحمل اليومي الوسطي لنظام الطاقة المركب في محافظة اللاذقية



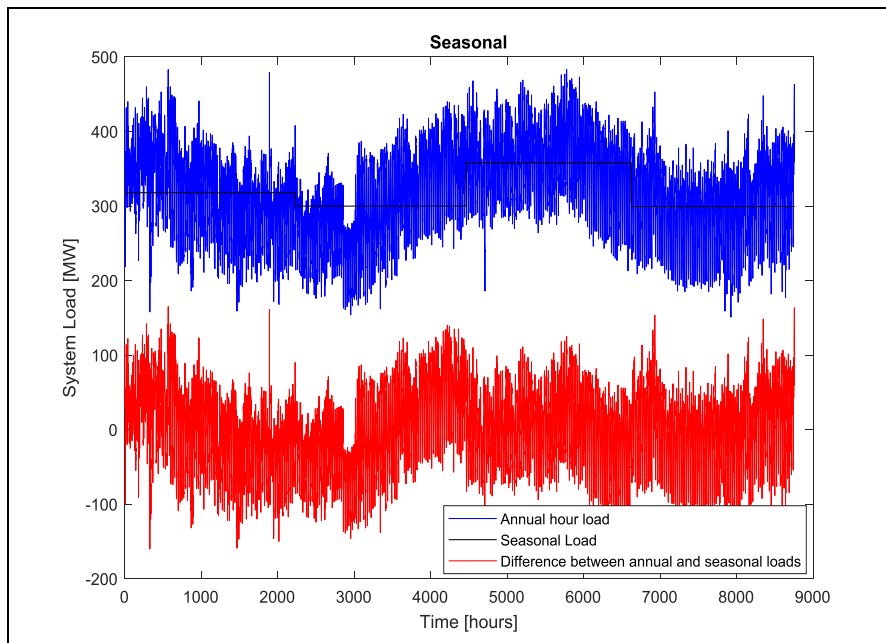
الشكل (7) الفرق بين الحمل الساعي السنوي والحمل اليومي الوسطي لنظام الطاقة المركب في محافظة اللاذقية

أخيراً تم حساب الحمل الفصلي الوسطي من مصفوفة الحمل الساعي السنوي بتحديد أسابيع فصول السنة كما يلي: أسابيع فصل الشتاء هي الأسابيع من 1 إلى 8 والأسابيع من 44 إلى 52. أسابيع فصل الصيف هي الأسابيع من 18 إلى 30. أسابيع فصلي الربيع والخريف هي الأسابيع من 9 إلى 17 ومن 31 إلى 43. وتشكيل مصفوفات بأبعاد (17×168) و (13×168) و (22×168) لكل من فصل الشتاء وفصل الصيف وفصلي الربيع والخريف على

التوالي. حيث تمثل 17 و 13 و 22 عدد أسطر هذه المصفوفات وهي تشير إلى عدد الأسابيع في هذه الفصول على التوالي. في حين أنّ 168 تمثل عدد أعمدة هذه المصفوفات وهي تشير إلى عدد ساعات الأسبوع على 24 للحصول على الحمل اليومي وتشكيل مصفوفة جديدة أبعادها (365×24) ، حيث 365 تمثل عدد أسطر المصفوفة وهي تشير إلى عدد الأيام في العام الواحد. في حين أنّ 24 تمثل عدد أعمدة المصفوفة وهي تشير إلى عدد الساعات في الأسبوع الواحد. وبناءً على هذه المصفوفات تم حساب الحمل الفصلي الوسطي لكل فصل من فصول العام ورسم منحنى هذا الحمل كما يظهر في الشكلين (8) و(9).



الشكل (8) منحنى الحمل الفصلي الوسطي لنظام الطاقة المركّب في محافظة اللاذقية



الشكل (9) الفرق بين الحمل الساعي السنوي والحمل الفصلي الوسطي لنظام الطاقة المركّب في محافظة اللاذقية

2.2. حساب قيم معدل الخروج القسري عن الخدمة لمجموعات التوليد المدروسة:

يلعب معدل الخروج القسري عن الخدمة لمجموعات التوليد دوراً هاماً في حساب احتمالية الحالة للنظام ككل والتي تستخدم في حساب مؤشرات الموثوقية السنوية. ومن هنا كان لا بد من حساب هذا المعدل لجميع مجموعات التوليد المدروسة في النظام وهي 4 مجموعات بخارية باستطاعة اسمية تعادل $170MW$ لكل مجموعة ومجموعة غازية باستطاعة اسمية تعادل $150MW$. علماً أنّ الاستطاعة المتاحة من هذه المجموعات تعادل $110MW$ لمجموعتين من المجموعات البخارية و $125MW$ للمجموعتين الباقيتين. في حين أنّ الاستطاعة المتاحة من المجموعة الخامسة الغازية تعادل $50MW$ فقط.

تم حساب معدل الخروج القسري عن الخدمة لمجموعات التوليد اعتماداً على الزمن الوسطي لإصلاح مجموعة التوليد في حال خروجها عن الخدمة (Mean Time To Repair–MTTR) والزمن الوسطي حتى حدوث العطل التالي (Mean Time To Failure–MTTF) وذلك وفقاً للمعادلة التالية [25]:

$$FOR = \frac{MTTR}{MTTR + MTTF} \dots\dots\dots(1)$$

حيث أنّ:

FOR : تمثل معدل الخروج القسري عن الخدمة لمجموعة التوليد ولا واحدة لهذا المعدل.

$MTTR$: تمثل الزمن الوسطي لإصلاح مجموعة التوليد في حال تعطلها وواحدته الساعة.

$MTTF$: تمثل الزمن الوسطي حتى حدوث العطل التالي وواحدته الساعة.

يظهر الجدول (1) الاستطاعة الاسمية لمجموعات التوليد المدروسة في النظام مع معدل خروجها القسري عن الخدمة وكذلك الزمن الوسطي للإصلاح وحدث العطل.

الجدول (1) معدل الخروج القسري عن الخدمة والزمن الوسطي لحدوث العطل وإصلاحه لمجموعات التوليد المدروسة في نظام الطاقة المركب في محافظة اللاذقية

مجموعات التوليد في نظام الطاقة المركب في محافظة اللاذقية	الاستطاعة الاسمية [MW]	الاستطاعة المتاحة [MW]	معدل الخروج القسري عن الخدمة	الزمن الوسطي حتى حدوث العطل التالي بالساعة (MTTF)	الزمن الوسطي لإصلاح العطل بالساعة (MTTR)
المجموعة الأولى	170	110	0.043	2497	113.08
المجموعة الثانية	170	110	0.043	2497	113.08
المجموعة الثالثة	170	125	0.021	4165	90.98
المجموعة الرابعة	170	125	0.021	4165	90.98
المجموعة الخامسة	150	50	0.01	4987	50.92

3.2. حساب قيم معدل تعطل وإصلاح خطوط النقل:

كما هو الحال بالنسبة لمعدل الخروج القسري عن الخدمة لمجموعات التوليد ، فإن احتمال تعطل خط النقل يلعب كذلك دوراً هاماً في حساب احتمالية الحالة المدروسة للنظام ككل وبالتالي يدخل في حساب مؤشرات موثوقية النظام. بالنسبة لخط النقل، ولحساب هذا الاحتمال، لا بد أولاً من حساب معدل تعطل خط النقل ومعدل إصلاح خط النقل. يحسب معدل تعطل خط النقل اعتماداً على الزمن الوسطي بين عطلين ((Mean Time Between Failures)) وفقاً للمعادلة التالية [25]:

$$\lambda_i = \frac{1}{MTBF} \dots\dots\dots(2)$$

أما معدل إصلاح خط النقل فيحسب اعتماداً على الزمن الوسطي للإصلاح وذلك حسب المعادلة التالية [25]:

$$\mu_i = \frac{1}{MTTR} \dots\dots\dots(3)$$

حيث أن:

λ_i : تمثل معدل تعطل خط النقل.

μ_i : تمثل معدل إصلاح خط النقل.

وبعد حساب كل من λ و μ لجميع خطوط النقل في النظام المدروس يتم حساب احتمال تعطل خط النقل وفقاً للمعادلة التالية [17]:

$$PTF_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_i + \mu_i} \dots\dots\dots(4)$$

يُظهر الجدول (2) معدلات تعطل وإصلاح خطوط النقل في نظام الطاقة المركب وذلك اعتماداً على الزمن الوسطي بين الأعطال والزمن الوسطي لإصلاح العطل. كما يظهر الجدول أيضاً احتمالية تعطل خطوط النقل.

الجدول (2) معدلات تعطل وإصلاح خطوط النقل بالإضافة إلى احتمالية تعطلها في نظام الطاقة المركب في محافظة اللاذقية

رقم خط النقل	من العقدة	إلى العقدة	الزمن الوسطي بين الأعطال MTBF [ساعة]	الزمني الوسطي لإصلاح العطل MTTR [ساعة]	معدل العطل λ	معدل الإصلاح μ	احتمالية تعطل الخط PTF
1	1	2	1094.065	0.935417	0.00091	1.069042	0.00854
2	2	3	8759.583	0.416667	0.00011	2.4	0.0000476
3	2	4	2188.563	1.4375	0.00046	0.695652	0.000656
4	4	3	8759.25	0.75	0.00011	1.33333	0.0000856
5	5	4	580.7089	3.291111	0.00172	0.303849	0.005635
6	1	5	671.3526	2.49359	0.00149	0.401028	0.003701
7	7	18	485.7361	0.930556	0.00206	1.074627	0.001912
8	7	15	102.369	0.689804	0.00977	1.449687	0.006693
9	8	9	222.7816	1.833761	0.00449	0.545327	0.008164
10	8	12	240.7139	2.619444	0.00415	0.38176	0.010765
11	15	13	8759.25	0.75	0.00011	1.33333	0.0000856
12	12	13	174.5833	0.616667	0.00573	1.621622	0.00352

0.000245	1.860465	0.00046	0.5375	2189.463	19	17	13
0.000242	1.889764	0.00046	0.529167	2189.471	24	6	14
0.00047	1.214575	0.00057	0.823333	1751.177	25	6	15
0.002521	0.407547	0.00103	2.453704	970.8796	26	6	16
0.00085	0.805369	0.00069	1.241667	1458.758	28	6	17
0.000242	1.889764	0.00046	0.529167	2189.471	23	6	18
0.007599	0.721082	0.00552	1.386806	181.1132	27	30	19
0.00359	1.16648	0.00440	0.861270	344.4292	7	2	20
0.001688	1.008996	0.00054	2.344775	2118.1316	8	3	21
0.000314	1.21783	0.00038	0.821759	2675.8446	6	5	22
0.00254	1.078652	0.00227	0.927083	364.0729	20	7	23
0.004494	0.711262	0.00321	1.405952	311.4512	19	7	24
0.002243	1.221374	0.00275	0.81875	364.1813	21	7	25
0.002401	0.998415	0.00240	1.001587	416.1413	13	7	26
0.008824	0.465718	0.00415	2.147222	241.1861	14	8	27
0.005443	0.587207	0.00321	1.702976	311.1542	10	8	28
0.007555	1.284311	0.00978	0.778627	102.2802	11	8	29
0.002331	0.832653	0.00195	1.20098	514.0931	16	8	30
0.001912	1.074627	0.00206	0.930556	485.7361	17	18	31
0.0039	1.492683	0.00585	0.669935	171.0948	22	6	32
0.002228	1.280956	0.00286	0.780667	349.6193	29	27	33

3. مؤشرات موثوقية النظام المركب المراد حسابها:

عند حساب موثوقية نظام الطاقة المركب، يتم عادةً حساب مجموعة من المؤشرات [26] وهذه المؤشرات هي:

1. مؤشر احتمالية فقدان الحمل (Loss of Load Probability–LOLP) وهو مؤشر لا واحدة له ويحسب هذا المؤشر من العلاقة:

$$LOLP = \sum_{j=1}^{NF} SP_j \dots\dots\dots(5)$$

حيث أن:

NF : يمثل عدد حالات الفشل.

SP_j : تمثل احتمالية الحالة وهي تحسب وفقاً للمعادلة التالية:

$$SP_j = \prod_{j \in G_{down}} (FOR_j) \prod_{j \in G_{up}} (1 - FOR_j) \prod_{j \in \mathcal{E}_{down}} (PTF_j) \prod_{j \in \mathcal{E}_{up}} (1 - PTF_j) \dots\dots\dots(6)$$

حيث أن:

FOR_i : يمثل معدل الخروج القسري لمجموعة التوليد i عن الخدمة.

PTF_i : تمثل احتمالية تعطل خط النقل i .

G_{down}, G_{up} : مجموعتا الحالات التي تكون فيهما مجموعات التوليد في حالة خروج قسري عن الخدمة وفي حالة العمل الطبيعي على التوالي.

T_{down}, T_{up} : مجموعتا الحالات التي تكون فيهما خطوط النقل في حالة تعطل وفي حالة عمل طبيعي على التوالي.

2. مؤشر تكرار فقدان الحمل (Loss of Load Frequency–LOLF) وواحدة هذا المؤشر هي تكرار في السنة ويحسب هذا المؤشر من العلاقة:

$$LOLF = \sum_{j=1}^{NF} SF_j \dots\dots\dots(7)$$

حيث أن:

SF_j : تمثل تكرار الحالة وتحسب وفقاً للمعادلة التالية [17]:

$$SF_j = \sum_{i=1}^{ng+nt} [(1-b_i). \mu_i - b_i. \lambda_i] \dots\dots\dots(8)$$

حيث أن:

ng : هو عدد وحدات التوليد.

nt : هو عدد خطوط النقل.

b_i : هي القيمة الثنائية لمتغير كل سلسلة يمثل إما خط نقل أو وحدة توليد.

3. مؤشر توقع فقدان الحمل (Loss of Load Expectation–LOLE) وواحدة هذا المؤشر هي ساعة في العام ويحسب هذا المؤشر من العلاقة:

$$LOLE = LOLP \times 8760 \dots\dots\dots(9)$$

حيث أن:

8760: هي عدد ساعات العام الواحد.

4. مؤشر مدة فقدان الحمل (Loss of Load Duration–LOLD) وواحدة هذا المؤشر هي الساعة، ويحسب من العلاقة:

$$LOLD = LOLE / LOLF \dots\dots\dots(10)$$

5. مؤشر الاستطاعة المتوقعة غير المزودة (Expected Power Not Supplied–EPNS) وواحدة هذه المؤشر هي الميغاواط في العام ($MW / year$) ويحسب هذا المؤشر من العلاقة:

$$EPNS = \sum_{j=1}^{NF} EPNS_j = \sum_{j=1}^{NF} LC_j . SP_j \dots\dots\dots(11)$$

LC_j : تمثل مقدار تخفيض الحمل المقابل للحالة المدروسة j .

SP_j : تمثل احتمالية الحالة.

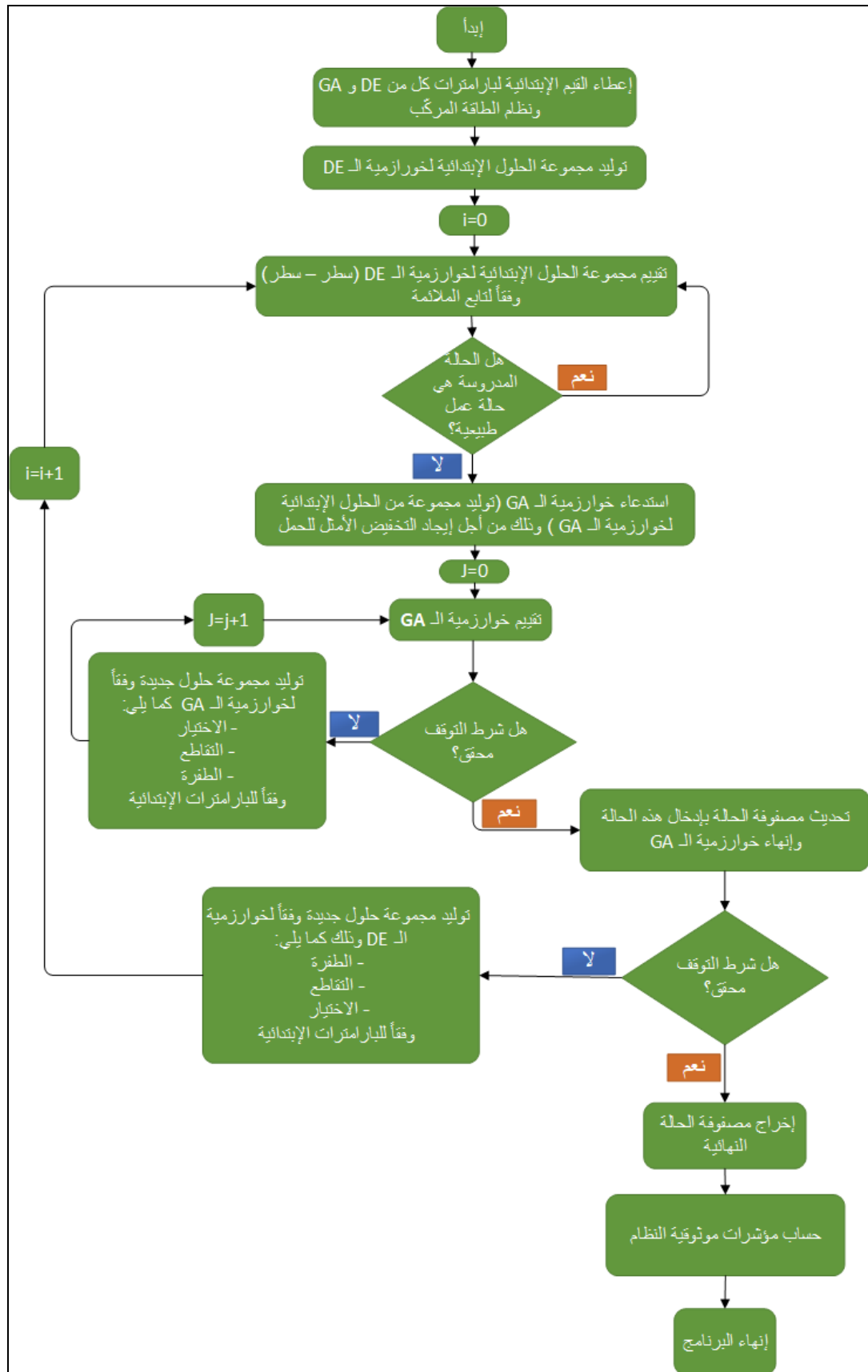
6. مؤشر الطاقة المتوقعة غير المزودة (Expected Energy Not supplied–EENS) وواحدة هذا المؤشر هي الميغا واط ساعي/العام ($MWh / year$) ويحسب هذا المؤشر من العلاقة:

$$EENS = EPNS . 8760 \dots\dots\dots(12)$$

4. تحسين تقييم موثوقية نظام الطاقة المركب في محافظة اللاذقية اعتماداً على خوارزمية التطور التفاضلي (DE) والخوارزمية الوراثة (GA).

1.4 المخطط الانسيابي للمنهجية المقترحة في تحسين تقييم موثوقية نظام الطاقة المركب في محافظة اللاذقية اعتماداً على خوارزميات الذكاء الاصطناعي.

لحساب مؤشرات الموثوقية السنوية المذكورة أعلاه للنظام المدروس، يجب أولاً تحديد حالات فشل النظام قيد الدراسة. تم في هذا البحث اقتراح منهجية تقييم ذات مرحلتين، كما هو موضح في الشكل (10). في المرحلة الأولى، تم تطبيق خوارزمية التطور التفاضلي (DE) لتوليد عينات من الحالات المحتملة المختلفة للنظام وبناءً على هذه الحالات تم تحديد حالات فشل النظام وعزلها. إذا كانت الحالة قيد الدراسة هي حالة نجاح، يتم حساب احتمالية الحالة لها وفقاً للمعادلة (6) وتكون قيمة تابع الملائمة لخوارزمية التطور التفاضلي هي مقلوب هذه الاحتمالية (وذلك لكون خوارزمية التطور التفاضلي هي بالأصل خوارزمية إيجاد حل أمثل أصغري).



الشكل (10) المخطط الانسيابي لخوارزميات الذكاء الاصطناعي المقترحة لتقييم موثوقية نظام الطاقة المركب في محافظة اللاذقية

حيث أنه وفقاً للمنهجية المقترحة يتم استبعاد سيطرة حالات العمل الناجحة وهيمنتها على الأجيال الجديدة في الخوارزمية إذ أنّ الهدف هو تحديد حالات الفشل التي يتم اعتماداً على معلوماتها حساب مؤشرات الموثوقية. أما في المرحلة الثانية، وبعد أن يتم تحديد حالة الفشل، يتم استدعاء الخوارزمية الوراثية لإيجاد الحمل الأصغري الأمثل الذي يجب تخفيضه للمحافظة على شروط عمل النظام عند حالة الفشل المدروسة. ثم يتم لاحقاً تخزين جميع المعلومات اللازمة عن حالات الفشل المحددة في مصفوفة حالة لاستخدامها في حساب مؤشرات موثوقية النظام.

2.4. خطوات تنفيذ المنهجية المقترحة لحساب مؤشرات موثوقية نظام الطاقة المركب في محافظة اللاذقية:

تعد خوارزمية التطور التفاضلي طريقة بحث مباشر على التوازي اقترحتها كل من Price و Storm في العام 1995 [27]. وهي طريقة إيجاد حل أمثل أصغري إرشادية قائمة على مجموعة حلول (جيل من الحلول) حيث تستخدم مجموعة من النقاط بدلاً من نقطة واحدة للبحث في فضاء الحالة المستمر.

في هذا البحث، تم استخدام خوارزمية التطور التفاضلي لتوليد عينات من الحالات المحتملة المختلفة للنظام المدروس. لذلك فإنّ المتغيرات المستخدمة في توليد العينات هي:

1- حالة مجموعات التوليد وهي المتغير الأول. يمكن أن يأخذ هذا المتغير إما 1 (مجموعة التوليد في حالة عمل) أو 0 (مجموعة التوليد معطلة).

2- حالة خطوط النقل وهي المتغير الثاني. يمكن أن يأخذ هذا المتغير إما 1 (خط النقل في حالة عمل) أو 0 (خط النقل معطل).

يمكن وصف خطوات تنفيذ المنهجية المقترحة على النحو التالي:

الخطوة 1: إدخال البارامترات الأساسية المتعلقة بخوارزميات الذكاء الاصطناعي (DE و GA) ونظام الطاقة المركب.
الخطوة 2: توليد مجموعة (جيل) من الحلول الإبتدائية المناسبة عشوائياً وفقاً لخوارزمية التطور التفاضلي باستخدام العلاقة:

$$\underline{X}_{i,G_0} = \underline{X}_i^{(L)} + rand_i [0,1].(\underline{X}_i^{(H)} - \underline{X}_i^{(L)}) \dots \dots \dots (13)$$

تأخذ متغيرات هذه الحلول قيمها في المجال [0,1] ، 0 للدلالة على حالة العطل و 1 للدلالة على حالة العمل.

الخطوة 3: تقييم تابع الملائمة لكل حل (سلسلة) من الحلول في مجموعة الحلول الإبتدائية وفقاً لتابع الملائمة التالي:

$$Fitness_DE = \begin{cases} 1/(SP_j + LC_j) & \text{لكل حل (سلسلة) z يمثل حالة عطل} \\ 1/SP_j & \text{لكل حل (سلسلة) z يمثل حالة عمل ناجحة} \\ 1/SP_j & \text{لكل حل (سلسلة) z مع احتمالية حالة أقل من قيمة العتبة} \end{cases}$$

تم تصميم تابع الملائمة لتقليل سيطرة أو مشاركة حالات النجاح والحالات ذات الاحتمالية المنخفضة جداً (أقل من 10^{-8}) في الأجيال القادمة وبالتالي في معطيات مصفوفة الحالة ولاحقاً في حساب مؤشرات موثوقية النظام.

الخطوة 4: التحقق مما إذا كان الحل (السلسلة) يمثل حالة عمل ناجحة أم لا. إذا كان يمثل حالة عمل ناجحة، يتم حساب تابع الملائمة وفقاً لما سبق ، وإلا يتم الانتقال إلى الخطوة 5.

الخطوة 5: استدعاء الخوارزمية الوراثية GA لتوليد الجيل الإبتدائي من الحلول في هذه المرحلة، حيث أنّ المتغيرات في هذه الحالة هي أحمال النظام من 1 إلى 17 فقط ولكل حمل قيمة أصغرية وقيم أعظمية أما بقية الأحمال من 18 حتى 24 فهي أحمال ري وأحمال صناعية صغيرة تم استثناؤها من استراتيجيات تخفيض الحمل اعتماداً على ما هو متبع في تشغيل النظام الحقيقي في الواقع. وذلك من أجل تحديد الحد الأدنى الأمثل من تخفيض الحمل بدون انتهاك شروط

تشغيل النظام. يمكن وصف الإستراتيجية المقترحة لتخفيض الأحمال في هذا البحث على النحو التالي: يتم بدايةً تصنيف الأحمال حسب أهميتها (تم تحديد أهمية الأحمال في الشبكة المدروسة من قبل مديرية نقل الطاقة في محافظة اللاذقية). بالنسبة للأحمال الأقل أهمية، يمكن تخفيض الحمل بين 0% و 80%. أما بالنسبة للأحمال ذات الأهمية الأعلى، يمكن تخفيض الحمل بين 0% و 50% فقط. ووفقاً لما سبق يمكن صياغة مشكلة تخفيض الحمل رياضياً على النحو التالي [16]:

$$\min \sum_{i=1}^{nb} LC_i \dots\dots\dots(14)$$

وفقاً للشروط التالية:

$$P_G + \hat{B}\theta + LC = P_D$$

$$P_{G_{\min}} \leq P_G \leq P_{G_{\max}}$$

$$LC_{\min} \leq LC \leq LC_{\max}$$

$$b\hat{A}\theta \leq F_f^{\max}$$

$$-b\hat{A}\theta \leq F_r^{\max}$$

حيث أن:

LC_i : يمثل تخفيض الحمل على العقدة i :

nb : يمثل عدد عقد الحمولة في النظام.

\hat{B} : تمثل مصفوفة القابلية المعززة للعقد.

θ : تمثل شعاع زاوية طور جهود العقد.

b : تمثل مصفوفة قابلية النقل.

\hat{A} : تمثل مصفوفة حدوث عقدة العنصر.

F_f^{\max} : يمثل شعاع ساعات السريان الأمامي لخطوط النقل.

F_r^{\max} : يمثل شعاع ساعات السريان العكسي لخطوط النقل.

LC_{\min}, LC_{\max} : تمثل الحد الأدنى والحد الأقصى لتخفيض الحمل.

P_G : تمثل استطاعة التوليد الفعلية.

$P_{G_{\min}}, P_{G_{\max}}$: تمثل الحد الأدنى والحد الأقصى لاستطاعة التوليد الفعلية.

P_D : يمثل الطلب على الحمل (حالة حمل الذروة).

الخطوة 6: تقييم تابع الملائمة لكل حل (سلسلة) في مجموعة الحلول الإبتدائية للخوارزمية الوراثية وفقاً لتابع الملائمة

$$\text{التالي: } Fitness_GA = 1 - [w_1(LC) + w_2(P_G + \hat{B}\theta + LC - P_D)]$$

حيث: w_1, w_2 عبارة عن عاملي وزن يتم ضبط قيمهما اختيارياً لتجنب سيطرة أي من حدي المعادلة السابقة وهيمنتته

على تابع الملائمة. تم اختيار القيم 0.4 و 0.6 لهذين العاملين على التوالي.

الخطوة 7: التحقق مما إذا كانت شروط توقف خوارزمية الـ GA محققة أم لا (هذه الشروط هي العدد الأعظمي

للتكرارات أو أن تكون قيمة سماحية الفرق بين تابع الملائمة لجيلين متلاحقين أقل من 10^{-6}). في حال لم تكن شروط

التوقف محققة، يتم توليد مجموعة جديدة من الحلول عن طريق تنفيذ عمليات الاختيار والتقاطع والطفرة وفقاً لما هو معروف في خوارزمية الـ GA ، وإلا يتم الانتقال إلى الخطوة 8.

الخطوة 8: تحديث مصفوفة الحالة عن طريق إضافة حالة الفشل هذه إلى المصفوفة وإنهاء خوارزمية الـ GA.
الخطوة 9: التحقق مما إذا كانت شروط توقف خوارزمية الـ DE محققة أم لا. إذا لم تكن هذه الشروط محققة، يتم توليد مجموعة جديدة من الحلول عن طريق تنفيذ عمليات الطفرة والتقاطع والاختيار وفقاً لخوارزمية الـ DE كما يلي:
1- الطفرة: يتم اختيار ثلاثة حلول مختلفة من مجموعة الحلول الحالية، بشكل عشوائي، ويتم توليد شعاع تجريبي من خلال المعادلة التالية [27]:

$$V_{r,G} = X_{r1,G} + F(X_{r2,G} - X_{r3,G}) \dots \dots \dots (15)$$

2- التقاطع: من أجل كل $X_{i,G}$ ، وللحصول على حل جديد، يتم استخدام المعادلة التالية [27]:

$$u_{j,G} = \begin{cases} V_{j,G} & \text{for } j = \langle n \rangle_D, \langle n+1 \rangle_D, \dots, \langle n+L-1 \rangle_D \\ (X_{i,G})_j & \text{for all other, } j \in [0, D-1] \end{cases} \dots \dots \dots (16)$$

3-الاختيار: لاختيار حل جديد للجيل القادم $G = G + 1$ ، ومن أجل كل $X_{i,G}$ وما يقابله $u_{i,G}$ ، يتم استخدام المعادلة التالية [27]:

$$X_{i,(G+1)} = \begin{cases} u_{i,(G+1)} & \text{if } f(u_{i,(G+1)}) \leq f(X_{i,G}) \\ X_{i,G} & \text{otherwise} \end{cases} \dots \dots \dots (16)$$

وإلا يتم الانتقال إلى الخطوة 10.

الخطوة 10: تحديث مصفوفة الحالة النهائية.

الخطوة 11: استخدم معلومات مصفوفة الحالة النهائية في حساب مؤشرات موثوقية النظام المركب وفقاً للمعادلات (5) حتى (12).

الخطوة 12: طباعة النتائج وإنهاء البرنامج.

النتائج والمناقشة:

تم في هذا البحث تطوير عدد من البرامج باستخدام لغة البرمجة ماتلاب (MATLAB). استُخدم برنامج MATLAB-R2018 على كمبيوتر شخصي بالمواصفات التالية: CPU@2.60 GHz – Core™ i5-4210M مع ذاكرة 8GHZ وذلك من أجل عمليات المحاكاة والحسابات.

تشمل البرامج التي تم تطويرها برامج حساب أحمال الذروة اليومية والأسبوعية والفصلية اعتماداً على الحمل الساعي السنوي وبرامج حساب معدلات الخروج القسري عن الخدمة لمجموعات التوليد وكذلك برامج حساب معدلات العطل لخطوط نقل النظام المدروس. يضاف إلي ذلك برامج خوارزميات الذكاء الاصطناعي التالية: DE و GA و PSO. تم ربط هذه البرامج مع بعضها البعض لتقوم بعملية تقييم موثوقية النظام المركب في محافظة اللاذقية وفقاً للمنهجية المقترحة في هذا البحث.

يُظهر الجدول (3) قيم البارامترات الإبتدائية لخوارزميات الذكاء الاصطناعي التي تم استخدامها في هذا البحث. تم اعتماد هذه القيم الإبتدائية استناداً لما هو متاح وموثق في المراجع [28].

الجدول (3) البارامترات الإبتدائية لخوارزميات الذكاء الاصطناعي التي تم استخدامها في هذا البحث

خوارزمية التطور التفاضلي (DE)		الخوارزمية الوراثية (GA)		خوارزمية عناصر السرب (PSO)	
NP	30	NP	30	NP	30
G_{max}	900	G_{max}	30	G_{max}	30
NV	38	NV	17	NV	17
LI	38	LI	17	LI	17
F	0.8	P_S	0.8	C_1, C_2	1.5
CR	0.5	P_C	0.6	W_{max}	0.9
DE strategy	DE/rand/1/bin	P_M	0.04	W_{min}	0.4
شرط التوقف	1×10^{-6} or G_{max}	شرط التوقف	1×10^{-6} or G_{max}	شرط التوقف	1×10^{-6} or G_{max}
-	-	-	-	انحراف السرعات الابتدائية	10

NP: عدد الحلول في الجيل الواحد. G_{max} : عدد التكررات الأعظمي. NV: عدد المتغيرات المطلوب إيجاد القيم الأمثل لها. LI: طول السلسلة. P_S : احتمال الاختيار بالنسبة لطريقة اختيار العينات المحددة المتبعة في هذا البحث. P_C : احتمال التقاطع بالنسبة لنمط التقاطع البسيط المتبع في هذا البحث. P_M : احتمال حدوث الطفرة بالنسبة لنمط الطفرة غير المنتظم المتبع في هذا البحث. C_1 و C_2 : ثابتان لهما قيمتان موجبتان يعبران عن المعايير المعرفية والاجتماعية المتبعة في خوارزمية عناصر السرب. W_{min} و W_{max} هما الوزن الإبتدائي والوزن النهائي المستخدمان في خوارزمية عناصر السرب.

تم تطبيق المنهجية المقترحة في هذا البحث على نظام الطاقة الكهربائية المركب في محافظة اللاذقية وذلك بهدف تقييم موثوقية هذا النظام وإظهار مدى فعالية وكفاءة الطريقة المقترحة في حساب مؤشرات الموثوقية من حيث العبء الحسابي والزمني ودقة الحسابات وقد حصلنا على النتائج التالية:

تم حساب مؤشرات الموثوقية السنوية للنظام المدروس ومقارنة النتائج مع تلك التي تم الحصول عليها من طريقة محاكاة مونت كارلو (محاكاة مونت كارلو التسلسلية) كما هو موضح في الجدول (4).

الجدول (4) مؤشرات الموثوقية السنوية لنظام القدرة المركب في محافظة اللاذقية (نتائج خوارزمية الـ DE بالمقارنة مع نتائج محاكاة مونت كارلو)

مؤشرات الموثوقية	خوارزمية التطور التفاضلي (DE)	طريقة محاكاة مونت كارلو
LOLP	0.009109	0.009448
LOLF [تكرار/ العام]	12.4412	13.2841
LOLE [ساعة/ العام]	79.79484	82.76448
LOLD [ساعة]	6.41375	6.23034
EPNS [ميغاواط/ العام]	0.174417	0.18447
EENS [ميغاواط ساعي/ العام]	1527.893	1615.957

يلاحظ من الجدول السابق أنّ النتائج التي تم الحصول عليها من خوارزمية التطور التفاضلي أكثر دقة مقارنةً مع النتائج التي تم الحصول عليها باستخدام طريقة محاكاة مونت كارلو التسلسلية. يضاف إلى ذلك أنّ عدد حالات الفشل التي تمت دراستها وفقاً للمنهجية المقترحة اعتماداً على خوارزمية التطور التفاضلي هو 4096 حالة من أصل $2^{ng+nt} = 2^{5+33} = 2^{38}$ حالة. ومن بين هذه الـ 4096 حالة، هناك 2048 حالة فقط تتطلب تخفيض حمولة. تظهر النتائج متقاربة في كلتا الطريقتين وذلك كون كلاهما تقريبتان وتعتمد دقة الطريقة المقترحة على عدد الحلول الابتدائية وحالات الفشل التي تمت دراستها.

يُظهر الجدول (5) مؤشرات الموثوقية السنوية لعقد الحمولة في النظام المدروس. تم حساب هذه المؤشرات استناداً لاستراتيجية تخفيض الحمل المقترحة في هذا البحث. حيث تم تخفيض الحمل من الأحمال الأقل أهميةً بنسبة أكبر من تخفيضه من الأحمال الأكثر أهمية وذلك بدون انتهاك شروط تشغيل النظام.

الجدول (5) مؤشرات الموثوقية السنوية لعقد الحمولة (تم تصنيف الأحمال حسب أهميتها من الأكثر أهمية إلى الأقل أهمية)

مؤشرات الموثوقية					عقد الحمولة	تسلسل
EENS [MWh/year]	LOLD [h]	LOLE [h/year]	LOLF [occ./year]	LOLP		
9.9864	1.78078	4.38	2.4596	0.0005	عقدة الحمولة رقم 10	1
10.6872	3.88912	16.9068	4.3472	0.00193	عقدة الحمولة رقم 7	2
28.8624	3.57167	17.77404	4.9764	0.002029	عقدة الحمولة رقم 17	3
40.4528	6.10306	31.64988	5.1859	0.003613	عقدة الحمولة رقم 9	4
45.8418	5.22575	32.3244	6.185599	0.00369	عقدة الحمولة رقم 1	5
37.5788	5.0038	33.8136	6.75759	0.00386	عقدة الحمولة رقم 14	6
14.454	7.52744	54.312	7.215199	0.0062	عقدة الحمولة رقم 8	7
115.53	7.17106	54.3996	7.58599	0.00621	عقدة الحمولة رقم 12	8
108.396	6.92079	55.47708	8.015999	0.006333	عقدة الحمولة رقم 15	9
18.922	7.57381	61.1448	8.07319	0.00698	عقدة الحمولة رقم 11	10
82.472	7.34063	61.72296	8.4084	0.007046	عقدة الحمولة رقم 6	11
95.46	7.68737	67.2768	8.7516	0.00768	عقدة الحمولة رقم 13	12
178.9228	8.55046	78.06912	9.130399	0.008912	عقدة الحمولة رقم 4	13
136.792	7.67082	78.58596	10.24479	0.008971	عقدة الحمولة رقم 5	14
168.1528	7.6886	79.20792	10.302	0.009042	عقدة الحمولة رقم 2	15
151.196	6.73343	79.72651	11.8404	0.009101	عقدة الحمولة رقم 3	16
284.186	6.41376	79.79484	12.4412	0.009109	عقدة الحمولة رقم 16	17

أما الجدول رقم (6) فيظهر مقارنة بين نتائج تخفيض الحمولة على عقد الحمولة من 1 حتى 17 وذلك باستخدام الخوارزمية الوراثية (GA) وخوارزمية عناصر السرب (PSO). يلاحظ من هذا الجدول أنّ النتائج التي تم الحصول عليها باستخدام الخوارزمية الوراثية أكثر دقةً من تلك التي تم الحصول عليها باستخدام خوارزمية عناصر السرب. لكن الزمن الذي استغرقته الخوارزمية الوراثية في الحل كان أطول من الزمن اللازم لخوارزمية عناصر السرب.

الجدول (6) مقارنة تخفيض الحمولة بواسطة خوارزميات الـ GA و الـ PSO

تخفيض الحمل [p.u.]		عقدة الحمولة	تسلسل
الخوارزمية الوراثية	خوارزمية عناصر السرب		
0.0685	0.0837	عقدة الحمولة رقم 10	1
0.1162	0.1474	عقدة الحمولة رقم 7	2
0.0188	0.0211	عقدة الحمولة رقم 17	3
0.0776	0.0494	عقدة الحمولة رقم 9	4
0.0816	0.1419	عقدة الحمولة رقم 1	5
0.0852	0.0515	عقدة الحمولة رقم 14	6
0.0545	0.0848	عقدة الحمولة رقم 8	7
0.0412	0.0353	عقدة الحمولة رقم 12	8
0.0187	0.0387	عقدة الحمولة رقم 15	9
0.0738	0.0539	عقدة الحمولة رقم 11	10
0.0593	0.0653	عقدة الحمولة رقم 6	11
0.0080	0.0251	عقدة الحمولة رقم 13	12
0.0183	0.0236	عقدة الحمولة رقم 4	13
0.0429	0.0469	عقدة الحمولة رقم 5	14
0.0776	0.0396	عقدة الحمولة رقم 2	15
0.0247	0.0309	عقدة الحمولة رقم 3	16
0.0131	0.0269	عقدة الحمولة رقم 16	17

الاستنتاجات والتوصيات:

عرض هذا المقال منهجية محددة لتقييم موثوقية نظام طاقة مركب اعتماداً على خوارزميات الذكاء الاصطناعي ومن خلال النتائج التي حصلنا عليها يمكن أن نخلص إلى الاستنتاجات والتوصيات التالية:

الاستنتاجات:

- تدل النتائج التي تم الحصول عليها على أنّ الخوارزميات المقترحة قد حققت نتائج أكثر دقة مع انخفاض كبير في العبء الحسابي الزمني مقارنة بالطرق التقليدية (طرق محاكاة مونت كارلو).
- إبت منهجية المقترحة في هذا البحث إلى تسهيل حساب مؤشرات الموثوقية اعتماداً على حساب أحمال الذروة اليومية والأسبوعية والفصلية وكذلك حساب معدلات الخروج القسري وتعطل خطوط النقل وهذا ما انعكس على دقة النتائج وزمن الحساب.
- أثبتت إستراتيجية تخفيض الحمولة المقترحة أنها إستراتيجية فعالة ومناسبة لتخفيض الحمل وذلك بدون انتهاك لشروط التشغيل وبدون فصل كامل للحمل.

التوصيات:

- يمكن تطوير هذه البحث وتوسيعه ليشمل تقييم موثوقية نظام التوزيع أيضاً.

References:

- [1] BILLINTON, R. *Composite System Reliability Evaluation*, ". *IEEE Transactions on Power Apparatus and System*. PAS-88, 1969, 276–281
- [2] BILLINTON, R.; ALLAN, R. *Reliability Evaluation of Engineering Systems Concepts and Techniques*. Springer Science & Business Media: New York, NY, USA, 2013.
- [3] MORI, H.; KAKUTA, H. *Modified SPEA2 for Probabilistic Reliability Assessment in Smart Grids*. *Procedia Comput. Sci.* Vol. 6, 2011, 435–440.
- [4] BILLINTON, R.; LI, W. *Reliability Assessment of Electric Power Systems Using Monte Carlo Methods*. Springer: New York, NY, USA, 1994.
- [5] A KADHEM, A.; WAHAB, N. I. A.; ARIS, I.; JASNI, J.; ABDALLA, A. N. *Computational techniques for assessing the reliability and sustainability of electrical power systems: A review*. *Renew. Sustain. Energy Rev.* Vol. 80, 2017, 1175–1186.
- [6] WANG, L. SINGH, C. *Population-Based Intelligent Search in Reliability Evaluation of Generation Systems with Wind Power Penetration*. *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 23, No. 3, 2008, 1336-1345.
- [7] SHU, Z.; JIRUTITIJAROEN, P.; LEITE DA SILVA, A. M.; SINGH, C. *Accelerated State Evaluation and Latin Hypercube Sequential Sampling for Composite System Reliability Assessment*. *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 29, No. 4, 2014, 1692-1700.
- [8] GREENWOOD, D. M.; TAYLOR, P. C. *Investigating the Impact of Real-Time Thermal Ratings on Power Network Reliability*. *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 29, No. 5, 2014, 2460-2468.
- [9] AMARAL, T. S.; BORGES, C. L. T.; REI, A. M. *Composite system well-being evaluation based on non-sequential Monte Carlo simulation*. *Electr. Power Syst. Res.*, Vol. 80, 2010, 37–45.
- [10] BAKKIYARAJ, R. A.; KUMARAPPAN, N. *Optimal reliability planning for a composite electric power system based on Monte Carlo simulation using particle swarm optimization*. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* Vol. 47, 2013, 109–116.
- [11] URGUN, D.; SINGHA, C. *Multi Label RBF Classification Method for Composite System Reliability Evaluation*. *IEEE International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems (PMAPS)*, 2018, 1-5.
- [12] ZHAO, Y.; TANG, Y.; LI, W.; YU, J. *Composite Power System Reliability Evaluation Based on Enhanced Sequential Cross-Entropy Monte Carlo Simulation*. *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 34, No. 5, 2019, 3891-3901.
- [13] URGUN, D.; SINGH, C.; VITTAL, V. *Importance Sampling Using Multilabel Radial Basis Classification for Composite Power System Reliability Evaluation*. *IEEE Systems Journal*, Vol. 14, No. 2, 2020, 2791-2800.
- [14] ZHOU, P.; JIN, R. Y.; FAN, L. W. *Reliability and economic evaluation of power system with renewables: A review*. *Renew. Sustain. Energy Rev.* Vol. 58, 2016, 537–547.
- [15] URGUN, D.; SINGH, C. *A Hybrid Monte Carlo Simulation and Multi Label Classification Method for Composite System Reliability Evaluation*. *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 34, No. 2, 2019, 908-917.
- [16] PATRA, S. B.; MITRA, J.; EARLA, R. *A New Intelligent Search Method for Composite System Reliability Analysis*. *IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition*, 2006, 803-807.

- [17] SAMAAN, N.; SINGH, C. *A new method for composite system annualized reliability indices based on genetic algorithms*. IEEE Power Engineering Society Summer Meeting Vol.2, 2002, 850-855.
- [18] MITRA, J.; XUFENG, X. *Composite system reliability analysis using particle swarm optimization*. IEEE 11th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems, 2010, 548-552.
- [19] MIRANDA, V.; DE MAGALHAES CARVALHO, L.; DA ROSA, M. A.; DA SILVA, A. M. L.; Singh, C. *Improving Power System Reliability Calculation Efficiency with EPSO Variants*. IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 24, No. 4, 2009, 1772-1779.
- [20] MITRA, J.; SINGH, C. *Incorporating the DC load flow model in the decomposition-simulation method of multi-area reliability evaluation*. IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 11, No. 3, 1996, 1245-1254.
- [21] SENJYU, T.; YAMASHIRO, H.; UEZATO, K. *Optimal configuration of power systems using GA based on reliability and loss of load*. International Conference on Power System Technology. Proceedings, Vol.1, 2000, 363-368.
- [22] WANG, J.; WEI, J.; ZHU, Y.; WANG, X. *The reliability and operational test system of a power grid with large-scale renewable integration*. CSEE Journal of Power and Energy Systems, Vol. 6, No. 3, 2020, 704-711.
- [23] SHAFIQ, S.; IRSHAD, U. B.; AL-MUHAINI, M.; DJOKIC, S. Z.; AKRAM, U. *Reliability Evaluation of Composite Power Systems: Evaluating the Impact of Full and Plug-in Hybrid Electric Vehicles*. IEEE Access, Vol. 8, 2020, 114305-114314.
- [24] WANG, Y.; VITTAL, V.; KHORSAND, M.; SINGH, C. *Composite System Reliability Evaluation with Essential Reliability Services Assessment of Wind Power Integrated Power Systems*. IEEE Open Access Journal of Power and Energy, Vol. 7, 2020, 403-413.
- [25] https://www.nerc.com/pa/RAPA/Workshops_DL/Probabilistic_Fundamentals_Workshop_Course_Materials_December_2017.pdf
- [26] TUINEMA, B. W.; KANDALEPA, N.; RUEDA-TORRES, J. L. *Probabilistic Indicators for the Assessment of Reliability and Security of Future Power Systems. IN Dynamic Vulnerability Assessment and Intelligent Control for Sustainable Power Systems, First Edition, John Wiley & Sons Ltd., 2018*
- [27] PRICE, K.V.; STORN, R.; LAMPINEN, J. A. *In: Differential Evolution: A Practical Approach to Global Optimization*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2005.
- [28] SHAHEEN, H. I.; RASHED, G. I.; CHENG, S. J. *Application and Comparison of Computational Intelligence Techniques for Optimal Location and Parameters Setting of UPFC*, Engineering Applications of Artificial Intelligence (EAAI), Elsevier. Vol. 23, No. 2, 2010, 03-216.