

## كشف وتحديد مكان العطل في شبكات التوزيع الكهربائية المزودة بمؤشرات حدوث الأعطال باستخدام تقنية الأمثلة الخطية

ندى العينية<sup>1</sup>، د. فؤاد صالح<sup>2</sup>، د. مصطفى الحزوري<sup>3</sup>

<sup>1</sup>طالبة دكتوراه- قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة دمشق.  
<sup>2</sup>مدرس- قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة دمشق.  
<sup>3</sup>أستاذ - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة دمشق.

### الملخص

دخلت التقانات الحديثة في كشف الأعطال على شبكات التوزيع الكهربائية، حيث تعتبر مؤشرات حدوث الأعطال (FI) Fault Indicator من التجهيزات واسعة الانتشار حالياً، نظراً لسهولة تركيبها، وزنها الخفيف، وتزويدها بمدخرة تعمل لسنوات. تشرح هذه المقالة كيفية استخدام ال FI، لكشف وتحديد مكان العطل، في شبكات التوزيع الكهربائية، حيث يتم الاستفادة من الإشارات الواردة منها إلى مركز التنسيق، من خلال معالجة هذه الإشارات ضمن خوارزمية أمثلة خطية بتابع هدف وقيود محددة. تقوم هذه الخوارزمية بالاعتماد على إشارات FI، لاستنتاج مكان افتراضي للعطل، يطابق المكان الحقيقي، حتى لو أعطت بعض تجهيزات مؤشرات الأعطال FI، إشارات خاطئة لسبب ما، كما تقوم الخوارزمية بتحديد مكان حدوث أكثر من عطل على مستوى الشبكة المدروسة.

تم تطبيق الخوارزمية على شبكتين مرجعيتين، شبكة (6Bus) وشبكة (28Bus) باستخدام بيئة CPLEX وتم الحصول على نتائج جيدة.

**الكلمات المفتاحية:** شبكات التوزيع الكهربائية، مكان العطل، مؤشرات الأعطال، مسائل

الأمثلة، بيئة CPLEX

تاريخ الإيداع: 2022/7/5

تاريخ القبول: 2022/9/20



حقوق النشر: جامعة دمشق - سورية،

يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب

الترخيص CC BY-NC-SA 04

# Fault Detection And Location In Electrical Distribution Networks Equipped With Fault Indicators Using Linear Optimization Technique

Nada Alainiah<sup>1</sup>, Dr. Fouad Salha<sup>2</sup>, Dr. Mostafa Alhazori<sup>3</sup>

<sup>1</sup>PhD Student - Electrical Power Engineering Department - Faculty of Mechanical and Electrical Engineering - Damascus University.

<sup>2</sup>Assistance Professor - Electrical Power Engineering Department - Faculty of Mechanical and Electrical Engineering - Damascus University.

<sup>3</sup>Professor- Electrical Power Engineering Department - Faculty of Mechanical and Electrical Engineering - Damascus University.

Received: 5/7/2022

Accepted: 20/9/2022



**Copyright:** Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

## Abstract

Modern technologies have recently entered the faults detection in the electrical distribution networks, where the Fault Indicators (FI) are currently widespread instruments, due to their ease of installation, light weight, and provision of batteries that last for years.

This article explains how to use FI to detect and locate faults, in electrical distribution networks, whereby the signals incoming from such devices to the coordination center are utilized and processed within an algorithm with linear optimization, target functions and specific constraints.

This algorithm relies on FI signals to infer a hypothetical fault location that matches the real one, even if some FI instruments give false signals for some reason. In addition, the algorithm can determine the locations of more than one fault in the studied network.

The algorithm was applied to two reference networks, 6Bus network and 28Bus network using CPLEX environment and the results were very good.

**Key words:** Electrical Distribution Networks, Location of Fault, Fault Indicators, Optimization Problems, CPLEX Environment

## 1. المقدمة Introduction:

أصبحت جودة الطاقة الكهربائية موضوع اهتمام الشركات الموزعة للطاقة الكهربائية، وذلك بالنظر لأهميتها الكبيرة لمجتمع اليوم. حيث تؤكد معظم المواصفات القياسية العالمية، على وجوب توفر الطاقة الكهربائية، بجودة ذات معايير عالية، أي بطريقة موثوقة وأمنة ومستدامة، وفي الوقت ذاته يجب توفرها وإتاحتها في أي وقت يطلبه المستخدم، باستمرار ودون أي انقطاع. حيث بلغت خسائر انقطاع الطاقة الكهربائية حوالي 27 بليون دولار في السنة بحسب دراسة قدمتها وزارة الطاقة الأمريكية، و60% من حالات الانقطاع، ناتجة عن الأعطال في شبكات التوزيع.

تتعلق فترة انقطاع الطاقة الكهربائية الناتجة عن الأعطال بعدة عوامل، منها كشف العطل من قبل تجهيزات الحماية، وعملية الفصل التي تقوم بها، ثم تحديد مكان العطل، والقيام بإصلاحه، لإعادة الخدمة إلى وضعها بالشكل الصحيح.

إن مسألة معالجة مكان العطل في شبكات التوزيع الكهربائية، تتعلق بشكل أساسي بهيكلية النظام، وطول المغذي، بالإضافة إلى عدد وطول الفروع لشبكة التوزيع، والخصائص الجغرافية للمنطقة التي تقع فيها شبكة التوزيع.

إن الاعتبارات السابقة جعلت مسألة تحديد مكان العطل صعباً ومعقداً، كما هو مبين في [2] [3].

تعد مسألة تحديد مكان العطل في شبكات التوزيع، من أهم المشاكل التي تخضع لها شبكات التوزيع، حيث لا تقتصر تأثيراتها السلبية على المستهلكين (costumers) فقط، بل على الشركات المسؤولة عن تزويد الشبكة الكهربائية العامة بالطاقة الكهربائية، حيث يعد ذلك من الأمور الهامة، كي تكون قادرة على الدخول في منافسة سوق الكهرباء المفتوح [4].

إن زيادة الوقت المستهلك في حل مشكلة كشف العطل، يتسبب بزيادة الخسائر، بسبب الطاقة الكهربائية المهدورة، وغير المدفوعة الثمن، بالإضافة للتقليل من موثوقية وجودة الخدمة الموفرة للمستهلكين. تطرقت الأبحاث للكثير من الطرائق من أجل تحديد مكان الأعطال في الشبكات الذكية، منها طرائق تحليلية، تعتمد معالجتها على خواص المغذي الرئيسي بالإضافة لمقاومة الخطوط كما هو مبين في [5] و [6]، ومنها من استخدم تقنية compressive sensing من أجل تحديد مكان العطل كما في [7].

تناقش الطرائق الحديثة تقنيات تحديد موقع العطل في أنظمة التوزيع، وخصوصاً الشعاعية منها، باستخدام خوارزميات مختلفة. من هذه الخوارزميات، القاعدة التي تعتمد على المخطط التكميلي كما في [8]، حيث يتم تطبيق خطط حماية تكيفية جديدة على شبكات التوزيع، الهدف الرئيسي منها، العمل على تنسيق الحميات ولكن بدون التطرق لمشكلة تحديد مكان العطل، نتيجة تعدد مواقع العطل، بالإضافة لاعتماد بارامترات ضبط الحميات على بارامترات التوليد والحمل الساكن.

ركزت معظم الدراسات في هذا المحور، على تحديد موقع العطل، في شبكات النقل [9] [10]، ولكن لم تجدي أي منها نفعاً، في تحديد مكان العطل بشكل دقيق عند تطبيقها في شبكات التوزيع، وذلك بسبب بنية الخطوط غير المتجانسة، ووجود أفرع جانبية كثيرة، والسلوك المختلف في استهلاك الأحمال من قبل المستهلكين، فضلاً عن دمج وحدات التوليد الموزع في شبكات التوزيع [11].

اتجه الباحثون في [12]، لإيجاد طريقة لتحديد منطقة العطل، بالاعتماد على المخطط التكميلي للحماية APS، والتي تعطي استراتيجية لتحديد بارامترات تجهيزات الحماية (Intelligent Electronic Device IED) بحسب

برزت الشبكات العصبونية بشكل أكبر، في مجال الكشف عن الأعطال في شبكات التوزيع [14]، وفي تحديد مكان العطل في الشبكات [15].

من سيئات هذه الطريقة وجوب إعادة التدريب والتعلم لأي تغيير في هيكلية الشبكة.

تم دمج الشبكات العصبونية مع نظريات تعلم الآلة [16]، لتحديد موقع العطل، من أجل أنواع مختلفة من الأعطال في شبكات التوزيع الشعاعية. تم ذلك باستخدام القياسات في المحطات الفرعية، والحمايات وقواطع الحماية، ولكن دون وجود وحدات توليد موزع في الشبكات.

قدم الباحث في [15]، طريقة لكشف الأعطال باستخدام الشبكات العصبونية ANN. حيث تمت الدراسة على شبكة غير متوازنة، وأعطت الخوارزمية دقة جيدة بحالة (offline). سيئة هذه الطريقة عدم القدرة على العمل بالزمن الحقيقي.

كما تم استخدام طرائق تقليدية في كشف العطل تعتمد على قياس بارامترات الشبكة الكهربائية وتحديد السماحية، حيث اعتمد كل من [17] [18] [19] على شبكات مرجعية، لكن عادة في مثل هذه الطرائق تكون ممانعة العطل متغيرة، حسب نوع العطل وممانعته ومكانه، وبالتالي لم تعطي هذه الطريقة الدقة المطلوبة.

قدمت الدراسة [20] خوارزمية حماية جديدة، تعتمد دالة الحماية فيها على جريان الحمل، وحسابات الحساسية التي تعتمد على قياسات التوتر فقط، حيث تبنى الخوارزمية على نهج النمذجة، التي تقسم شبكة التوزيع إلى سلسلة أجزاء متداخلة، يتكون كل جزء من باسبار مركزي، وجميع الباسبارات المحيطة به. عند حدوث عطل في أحد المناطق، يؤدي ذلك لحدوث خلل في تدفق الطاقة عبر منطقة الحماية، فتتغير حساسية جريان الاستطاعة بتغيير توتر المنطقة المعطلة، تبعاً لمصفوفة يعقوبيان [21].

معطيات الشبكة، كما تم دراسة الأعطال من نوع طور مع الأرض، والعطل ثلاثي الطور متوازن.

ونتيجة زيادة التعقيد الحالي لنظام الطاقة الكهربائي، وتطوره، ودخول الأنظمة الكهربائية في سوق الطاقة العالمي، فقد أصبحت التقانات الحديثة ضرورة ملحة لتحسين أداء هذه الأنظمة.

دخلت العناصر الذكية من حساسات وعدادات الطاقة الكهربائية، بالإضافة إلى خوارزميات الإدارة الذكية، إلى النظام الكهربائي وأضفت عليه صفة الذكاء، ليدخل فيما يدعى بالشبكات الذكية (Smart Grid).

إن عملية كشف الأعطال باستخدام الحساسات الذكية، تعد من الطرائق الحديثة والدقيقة، في تحديد مكان حدوث العطل، في حال وضع الخوارزمية المناسبة والدقيقة، للإستفادة من المعلومات المرسله من قبلها.

اتجهت بعض الدراسات في سياق الشبكات الذكية، إلى طرائق الذكاء الصناعي من أجل كشف الأعطال، حيث اعتمدت الكثير من الخوارزميات على التجهيزات الإلكترونية الذكية IED، والتي تعد أجهزة غير اقتصادية، في حال تم نشرها بشكل واسع على شبكات التوزيع. نتيجة لذلك استعاضت بعض الدراسات عن ذلك ببنية تحتية متقدمة القياسات، تحوي بشكل رئيسي على العدادات الذكية Smart Meter [13].

تعتمد طرائق الذكاء الصناعي، على العمليات الحاسوبية وعلى قواعد الذكاء الصناعي، لحل المسائل المعقدة، وتستخدم هذه القواعد كمية كبيرة من المعلومات، من أجل عملية التعلم والتجريب من أجل الوصول للقدرة على التنبؤ بالنتائج.

من أمثلة الذكاء الصناعي الشبكات العصبونية (artificial neural networks ANN) وشبكات (support vector machines SVM)، المنطق العائم (Fuzzy Logic)، والخوارزميات الجينية (Genetic algorithms).... الخ.

سيتم التطرق للمفاهيم النظرية المتعلقة باستخدام مؤشرات الأعطال، في عملية كشف الأعطال، في شبكات التوزيع الكهربائية، وتوضيح مبدأ عملها، بالإضافة لإستخدام خوارزميات الأمثلة الخطية، للاستفادة المثلى من المعلومات الواردة من هذه المؤشرات.

في النهاية سيتم عرض نتائج تطبيق الخوارزمية المقترحة، لإثبات الهدف من هذه الدراسة في كشف الأعطال، وفق عدة سيناريوهات مقترحة.

### 3. بنية نظام التوزيع Distribution System Structure:

من أهم الجوانب التي تؤخذ بالحسبان عند تحديد مكان العطل، هي خواص أنظمة شبكات التوزيع الشعاعية والتي تصنف إلى:

- أ- اختلاف خصائص الكابلات (حجم وطول)، واختلاف طريقة التمديد (هوائية أو أرضية).
- ب- عدم التوازن، الناتج عن اختلاف طبيعة الأحمال (أحادية، ثنائية أو ثلاثية الطور).
- ت- وجود تفرعات متفرقة، على طول المغذي.
- ث- وجود نقاط فرعية، على طول المغذي والفروع لتغذية الأحمال.

### 4. مؤشرات الأعطال Fault Indicators:

هي أجهزة إلكترونية تستخدم في الشبكات الكهربائية، من أجل تحديد مكان الأعطال، وتقليل الوقت اللازم لاكتشاف مكانها.

تصنف أنواع مؤشرات الأعطال بحسب طريقة إعادة تشغيلها إلى [22]:

- أ - مؤشرات الأعطال التي يتم إعادة تشغيلها يدوياً Manual reset: هي من أبسط الأجهزة المتاحة وأقلها كلفة، يمكن استخدام هذا النوع من المؤشرات على الموصلات المحمية وغير المحمية، أو على الكابلات الموجود تحت الأرض، يعطي مؤشر العطل

تعتمد الطريقة المقدمة في هذا البحث، على استخدام التجهيزات الذكية في كشف حدوث الأعطال، والتي تسمى مؤشرات حدوث الأعطال (Fault Indicators FIs).

تفرض الطريقة المقترحة في هذه الدراسة، أن الإشارات الواردة من مؤشرات الأعطال، هي المرجع الوحيد لكشف وتحديد مكان العطل. حيث توزع تجهيزات المؤشرات على طول المغذيات، وفق ترقيم معين، ومعروف من قبل المشغلين في مركز التنسيق والتشغيل لشبكة التوزيع. ويتم عبر خوارزمية مقترحة، معالجة البيانات الواردة من مؤشرات الأعطال، وتحديد قطاع محدد من المغذي، على أنه قطاع معطل.

تم اختبار هذه الطريقة، في حال ورود معلومات صحيحة أو خاطئة، أو حتى في حال وجود خلل تقني في مؤشرات حدوث الأعطال.

سنقدم في هذا البحث بنية مؤشرات الأعطال، بالإضافة لبنية نظام الاتصالات الخاص بمؤشرات الأعطال، بما يخدم كشف وتحديد مكان العطل في شبكات التوزيع.

نقدم في الجزء التالي من هذا البحث، بنية نظام التوزيع بشكله العام، ثم خوارزمية كشف العطل، وتحديد موقعه، بالاعتماد على الإشارات المرسله من مؤشرات الأعطال فقط، يتم بعدئذ تطبيق الخوارزمية، على شبكة مرجعية بسيطة، من ثم على شبكة أكثر تعقيداً، ولحالات خاصة متعددة، تعطي المتانة والوثوقية للمبدأ المقترح.

### 2. هدف البحث Research Object:

يهدف البحث إلى كشف الأعطال، وتحديد مواقعها، في شبكات التوزيع الكهربائية ذات الهيكلية المعقدة. لإنجاز هذا الهدف، لا بد من استخدام التقنيات الحديثة، في كشف الأعطال، وهو ما دفع لاستخدام مؤشرات الأعطال (Fault Indicator).

تحديد مكان العطل، ولو كان أكبر من اللازم، وحدث عطل آخر فلن يعمل المؤشر بشكله الصحيح. تتمثل الوظيفة الأساسية لمؤشرات الأعطال في اكتشاف تيار العطل، وتقديم دليل على اكتشاف تيار العطل، تتوفر مجموعة متنوعة من خيارات عرض مؤشرات الأعطال، فمن الممكن أن يكون إنذار مسموع أو ضوء أو عداد أو غيرها.

يوجد العديد من أشكال مؤشرات الأعطال، تم إدراج بعضها في الشكل (1)، يبلغ حجم مؤشرات الأعطال بحجم قبضة اليد بشكل عام، فعلى سبيل المثال يبلغ ارتفاع المؤشر (d) في الشكل (1) 128 mm وأبعاده حوالي 93mm ووزنه حوالي 600g، ويبلغ متوسط ثمنه حوالي 60 دولار [23].



الشكل (1) أشكال مؤشرات الأعطال

تتميز مؤشرات الأعطال بسهولة تركيبها، فمعظم الأشكال تحوي في قاعدتها على مقبضين لتثبيتها على الكبل بسهولة، ويرفق مع كل نوع من المؤشرات قطعة مخصصة لا يمكن فك المؤشر من الكبل إلا عن طريقها، وذلك من أجل حمايتها من السرقة.

## 5. بنية مؤشرات الأعطال Fault indicator

### :structure

تنقسم مكونات مؤشر العطل، إلى جزء لكشف تيار العطل، واجهة اتصال، ووحدة معالجة صغيرة، ويزود الجزء المتعلق بكشف التيار، بلبد ضوئي كما يبين الشكل (2).

إشارة عطل عندما تتجاوز قيمة التيار المقاس قيمة عتبة التيار المحددة من قبل المستخدم، فيولد حقل مغناطيسي كافي لإطلاق مغناطيس قابل للتدوير. سيئة هذا النوع أنه يحتاج لإعادة ضبط بشكل يدوي في كل مرة يحدث عنده العطل.

ب \_ مؤشرات الأعطال التي يتم إعادة تشغيلها آلياً Automatic reset: يوجد وسائل أوتوماتيكية عديدة لإعادة الضبط التي تعيد مؤشر العطل إلى حالته الطبيعية، منها مايعتمد على إعادة الضبط التلقائي بالتيار، والتوتر، والزمن، يسمح أيضاً هذا النوع من إعادة الضبط يدوياً في حالات الاختبارات.

- مؤشرات الأعطال التي يتم إعادة تشغيلها بالتيار Current reset: وهي المؤشرات الأكثر إنتشاراً على الإطلاق في شبكات التوزيع، وتعود هذه المؤشرات تلقائياً لحالتها الطبيعية عند عودة التيار لقيمة تيار الحمل، أو لقيمة أصغر من قيمة تيار التنبيه المعير عليها.

- مؤشرات الأعطال التي يتم إعادة تشغيلها بالتوتر Voltage reset: لا تتأثر مؤشرات الأعطال التي يتم إعادة تشغيلها بالتوتر بقيمة تيار الحمل، ويوجد منه عدة أنواع، وهي المؤشرات التي تعمل على شبكات التوتر العالي والمتوسط، حيث تعتمد في عملها على المجال الكهروستاتيكي المحيط بكابل التوتر العالي والمتوسط، من متطلبات هذا النوع من المؤشرات أن تكون الكابلات غير محمية.

- مؤشرات الأعطال التي يتم إعادة تشغيلها بمؤقت زمني Time reset: يعود هذا المؤشر لحالته الطبيعية بعد فترة زمنية محددة، يعير عليها المؤشر من قبل المشغل، بغض النظر عن قياسات التوتر والتيار، وتكمن صعوبة استخدام هذا النوع من المؤشرات، في تحديد زمن العودة للوضع الطبيعي، فلو كان الزمن قصير وغير كافي لإصلاح وحدات الصيانة للأعطال، فذلك سيؤدي لحدوث أخطاء في

إيجاد القيمة الصغرى لتابع الهدف. تنتج الإشارات الخاطئة عن نوعين من حالات العمل:

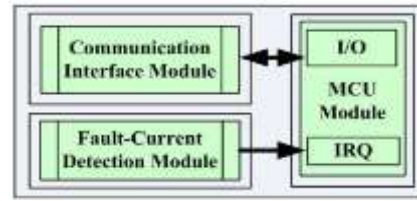
أ - Failure: يحدث عند فشل مركز التنسيق لتلقي إشارة من المؤشر (بسبب خلل فني في المؤشر)، بالرغم من وجوب تلقيها.

ب - Malfunction: تحدث عند تلقي إشارة من أحد المؤشرات، على الرغم من وجوب عدم تلقي الإشارة. وتعزى أسباب الإشارات الخاطئة المسماة Failure and Malfunction لـ :

- فشل المعالج الصغرى في مؤشرات الأعطال، في إتخاذ قرار وجود العطل، بسبب خلل ما في حلقة التحكم.
- فشل شبكة الاتصالات، حيث يتم ارسال الإشارة الى نظام SCADA، عن طريق شبكة WAN، وبالتالي يوجد عدة عوامل تؤثر على جودة الإشارة المنقولة الى مركز العمليات.
- مسألة البرامج، فالبيانات من FI يجب أن تجتاز جدار حماية البيانات، ليتم معالجتها في مركز العمليات، وبالتالي من الممكن ترشيح البيانات الصحيحة قبل وصولها الى المعالجة.

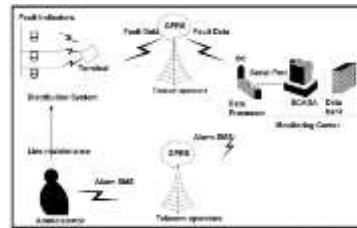
#### 7. بيئة الأمثلة CPLEX:

تم تسمية بيئة الأمثلة CPLEX بهذا الاسم، للتعبير عن مصطلح Simplex method، والمنفذ بلغة ال C (C Programming Language)، ثم تم تطويره لاحقاً من شركة IBM، ليدعم لغات برمجة أخرى، مثل Visual Basic، Fortran، Java... الخ. تنتم بيئة الأمثلة CPLEX بأنها بيئة عالية الأداء، وتستخدم لحل مسائل الأمثلة الخطية وغير الخطية (linear and nonlinear programming problems) ذات المتغيرات الصحيحة والمستمرة، والمسائل التريبعية بنوعها (convex and non-convex problems quadratic programming) [26].



الشكل (2) بنية مؤشر العطل مع واجهة الاتصال [24]

يتم تحديد حالة وجود عطل، بمقارنة مطال التيار المقاس، مع عتبة التنبيه، حيث تجري معالجة الإشارة في وحدة المعالجة المصغرة [25]، وعند حدوث عطل يتم ارسال الإشارة لاسلكياً بتردد [900MHz]، إلى مركز عمليات نظام التوزيع المطلوب، يبين الشكل (3)، إلى بنية نظام الاتصالات حيث يتم دمج الإشارات الراديوية، الصادرة عن مؤشرات الأعطال، ومعالجتها بالزمن الحقيقي، عن طريق شبكة WAN، ويتحدد موقع العطل بشكل آلي، عن طريق هذه الإشارة، في مركز عمليات نظام التوزيع.



الشكل (3) بنية نظام الاتصالات لنظام مؤشرات الأعطال

#### 6. مبدأ الخوارزمية المقترحة

##### principle of the proposed algorithm:

تعتمد الخوارزمية على الإشارات الواردة من مؤشرات الأعطال فقط، كمدخلات لعملية الأمثلة، بينما تقوم الخوارزمية التي تستخدم تقنية الأمثلة الخطية، بتحديد مكان العطل بناءً على إيجاد مصفوفة تابع هدف محدد، مع الأخذ بالحسبان، تلقي إشارات خاطئة أو وهمية.

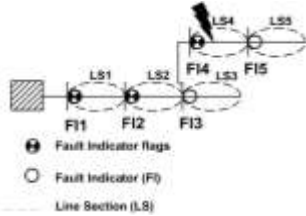
يتألف تابع الهدف، من المجموع الجبري لتابعين، معبرين عن حالات الإشارات الخاطئة (FIs). وتحدد الخوارزمية حالة مؤشرات الأعطال المطابقة لحالة العطل الفعلي، حتى لو كانت الإشارات الواردة من مؤشرات الأعطال تحوي إشارات خاطئة، عن طريق

فشل المؤشر الثاني مثلاً من إعطاء إشارة، فسيُعطي مكانه في مصفوفة  $z$  قيمة (1).

$x$ : مصفوفة أصفار ووحدات تحدد القسم الذي قد تم حدوث العطل عنده وهي في مثالنا:

$$x = \{0, 0, 0, 0, 1, 0\}$$

يعتمد تحديد المصفوفة  $x$  بشكل رئيسي على تحديد المصفوفة  $v$ ، فكما نلاحظ بأن مصفوفة  $x$  مائلة لمصفوفة  $v$ ، إلا أن عناصر  $x$  ترمز لرقم القسم (Line Section LS)، بينما عناصر  $v$  ترمز لرقم المؤشر.



الشكل (4) شبكة توضيحية مكونة من 5 عقد

## 8-2. التابع الهدف Objective Function:

التابع الهدف في هذا البحث، هو تصغير مجموع الإشارات الخاطئة التي يمكن أن تؤثر على عملية تحديد المكان الفعلي للعطل.

حيث يعبر عن الإشارات الخاطئة، عن طريق إيجاد القيمة المطلقة للفرق الجبري لمصفوفة الإشارات الحقيقية الواردة من مؤشرات الأعطال  $y_0$  ومصفوفة الإشارات المحسوبة عبر عملية الأمثلة والمقدرة لمكان العطل المفترض  $y$ .

نعبر عن ذلك بالمعادلة:

$$objFun = \min \sum_{i \in P_{FI}} (z_i) \quad (1)$$

$$z_i = |y_i - y_i^0| \quad (2)$$

$P_{FI}$ : رقم مؤشر العطل.

نبين في المقطع التالي جزء من البرنامج المنجز بلغة java لانجاز التابع الهدف.

```
// Objective
IloLinearNumExpr obj = cplex.linearNumExpr();
for(int i = 0; i < PFI; i++) {
    obj.addTerm(z[i], 1);
}
```

ونظراً لعدم توفر بيئة IBM ILOG CPLEX، تم استخدام بيئة البرمجة Eclips الداعمة للغة البرمجة Java، باستخدام مكتبات الأمثلة من بيئة الأمثلة IBM ILOG CPLEX.

## 8. تشكيل مسألة الأمثلة Formation of

### Optimization Problem

#### 1-8. متغيرات مسألة الأمثلة Variables of

##### Problem

تعتمد مسألة الأمثلة على المتغيرات  $(v, w, y, z, x)$ ، حيث سنعمل على إدراج مثال مباشر لكل منها، على الشبكة المبينة في الشكل (4)، والتي قد افترضنا حدوث عطل فيها على المقطع LS4:

$v$ : مصفوفة أصفار ووحدات ترمز لمؤشرات

الأعطال، حيث تعطي قيمة (1)، عندما يكون

مؤشر العطل مجاور مباشرةً للعطل، وفي القسم العلوي Upstream، ويعطي قيمة (0)، في باقي الأقسام منه، وبذلك تكون مصفوفة  $v$  في المثال التوضيحي:

$$v = \{0, 0, 0, 0, 1, 0\}$$

$w$ : مصفوفة أصفار ووحدات ترمز إلى مؤشرات

الأعطال، وتعطي قيمة (1) عندما يكون مؤشر العطل مجاور، ولكن ليس بشكل مباشر، وفي القسم العلوي Upstream من العطل، وقيمة (0) عند باقي المؤشرات، وبذلك تكون  $w$  في المثال:

$$w = \{1, 1, 0, 0, 0, 0\}$$

$y$ : مصفوفة أصفار ووحدات ترمز للقيمة المتوقعة

الصحيحة لمؤشرات الأعطال وبالتالي مصفوفة  $y$  في مثالنا:

$$y = \{1, 1, 1, 0, 0, 0\}$$

$z$ : مصفوفة أصفار ووحدات ترمز لعدد الإشارات

الخاطئة، حيث تعطي قيمة (1)، عندما تكون القيمة المتوقعة، مغايرة للقيمة المتقاة في مركز التوزيع، و (0) في حال تطابق القيمتين وتكون في مثالنا:

$$z = \{0, 0, 0, 0, 0, 0\}$$

المصفوفة  $z$  في هذا المثال جميعها أصفار لأن

مؤشرات الأعطال عملت بشكل مثالي، أما في حالة



$$N_D = \sum_{i \in P_{FI}} (z_i) \& \begin{cases} z_i \geq y_i - y_i^0 \\ z_i \geq y_i^0 - y_i \\ z_i \leq 2 - y_i^0 - y_i \\ z_i \leq y_i^0 + y_i \end{cases} \quad (6)$$

نبين في المقطع التالي جزء من البرنامج المنجز بلغة java لانجاز القيد المتعلق بالمتغير z.

```
for(int j = 0; j < PFI; j++) {
    cplex.addLe( y[j], cplex.sum(z[i][j], y0[j]));
    cplex.addLe( y0[j], cplex.sum(z[i][j], y[j]));
    cplex.addLe(cplex.sum(z[i][j], y[j]), 2- y0[j]);
    cplex.addLe( z[i][j], cplex.sum(y[j], y0[j]));
}
```

(e) القيد  $x_i^k$  المعبر عن حالة الخط.

في حال وجود عطل يكون مساوي (1)، وفي حال كان سليم يكون مساوي (0)، مع ملاحظة أن كل عطل يحتاج سطر في مصفوفة الخرج، تعبر عن الجزء المعطل من الخط.

$$\sum_{i \in P_{LS}} x_i^k = 1, k \in P_{fault} \quad (7)$$

نبين في المقطع التالي جزء من البرنامج المنجز بلغة java لانجاز القيد المتعلق بالمتغير x.

```
// every row on x matrix have one fault or not
for(int j=0;j<PLs;j++) {
    for(int i=0;i<Pfault;i++) {
        cplex.addLe( cplex.sum(x[i][j]),1);
    }
}
```

$P_{fault}, P_{LS}$ : رقم الخط والعطل بالترتيب.

ربما لا تظهر فائدة القاعدة بشكل جلي في عزل العطل، ولكنها ذات فعالية عالية في تحديد موقع العطل، من أجل إرسال وحدات إصلاح الأعطال وإعادة الخدمة لحالتها الطبيعية.

#### 4-8. دراسة حالة Case Study

تمت برمجة مسألة الأمثلة، لتحديد منطقة العطل باستخدام لغة Java، وتم استخدام البيئة البرمجية eclipse-java-2022-03-R في كتابة التعليمات البرمجية المعبرة عن مسألة الأمثلة، يبين الشكل (6) المخطط الانسيابي للخوارزمية المقترحة، كما تم تطبيق الخوارزمية على شبكتين مرجعيتين.

#### 3-8. قيود مسألة الأمثلة Constraints of Problem

(a) قيد تشكيل مصفوفة v والممثل بالمعادلة:

$$v_i = \sum_{j \in P_{LS_i}} \sum_{k \in P_{Fault}} x_j^k, i \in P_{FI} \quad (3)$$

$P_{fault}, P_{LS}$ : رقم الخط والعطل بالترتيب.

نبين في المقطع التالي جزء من البرنامج المنجز بلغة java لانجاز القيد المتعلق بالمتغير v.

```
for(int j = 0; j < PLS; j++) {
    c2 = cplex.linearNumExpr();
    for(int k = 0; k < Pfault; k++) {
        c2.addTerm(1, x[k][j]);
    } cplex.addEq(c2, v[j]);
}
```

(b) قيد تشكيل المصفوفة w والممثل بالمعادلة:

$$|P_{i_{down}}| * w_i \geq \sum_{j \in P_{i_{down}}} v_j \& w_i \leq \sum_{j \in P_{i_{down}}} v_j, i \in P_{FI} \quad (4)$$

نبين في المقطع التالي جزء من البرنامج المنجز بلغة java لانجاز القيد المتعلق بالمتغير w.

```
//create w
for(int i=0;i<PFI;i++) {
    c3 = cplex.linearNumExpr();
    c4 = cplex.linearNumExpr();
    for(int j=0;j<pidown;j++) {
        if (up_LS[i][j]==1)
            c3.addTerm(x_pidown[j], w[i]);
    }
    for(int j=0;j<pidown;j++) {
        if (down_fi[i][j]==1)
            c4.addTerm(1, v[j]);
    } cplex.addGe(c3, c4);
    cplex.addLe(w[i], c4 );
}
```

$P_{i_{down}}$ : مؤشرات الأعطال الواقعة في القسم

السفلي لمؤشر العطل، فعلى سبيل المثال:

$$P_{22_{down}} = \{F123, F124, F125, F126\}$$

(c) قيد القيمة التقديرية لمصفوفة y والممثل بالمعادلة:

$$y_i = w_i + v_i \quad (5)$$

نبين في المقطع التالي جزء من البرنامج المنجز بلغة java لانجاز القيد المتعلق بالمتغير y.

```
// y=v+w
for(int j = 0; j < PFI; j++) {
    c1 = cplex.linearNumExpr();
    c1.addTerm(1.0, v[j]);
    c1.addTerm(1.0, w[j]);
    cplex.addEq(c1, y[j]);
}
```

(d) قيد عدد الإشارات الخاطئة الذي يحدد من المعادلة:

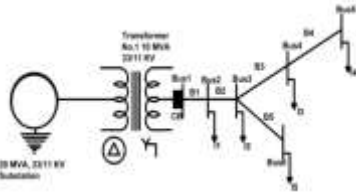
8-4-1. شبكة مكونة من 6 عقد و5 فروع: (a) عطل وحيد في LS4 دون وجود أخطاء في

المؤشرات:

عند حدوث عطل عند LS4 كما يبينه الشكل (8)، من المفروض نظرياً، أن تعطي كل من F11, F12, F13, F14 إشارات تفعيل إلى مركز التنسيق.

ويفرض عدم وجود أي مؤشر FI، قد أعطى إشارة خاطئة، لذلك يمكن أن نفترض بأن مصفوفة الدخل هي:

$$y_0 = \{1, 1, 1, 1, 0, 0\}$$

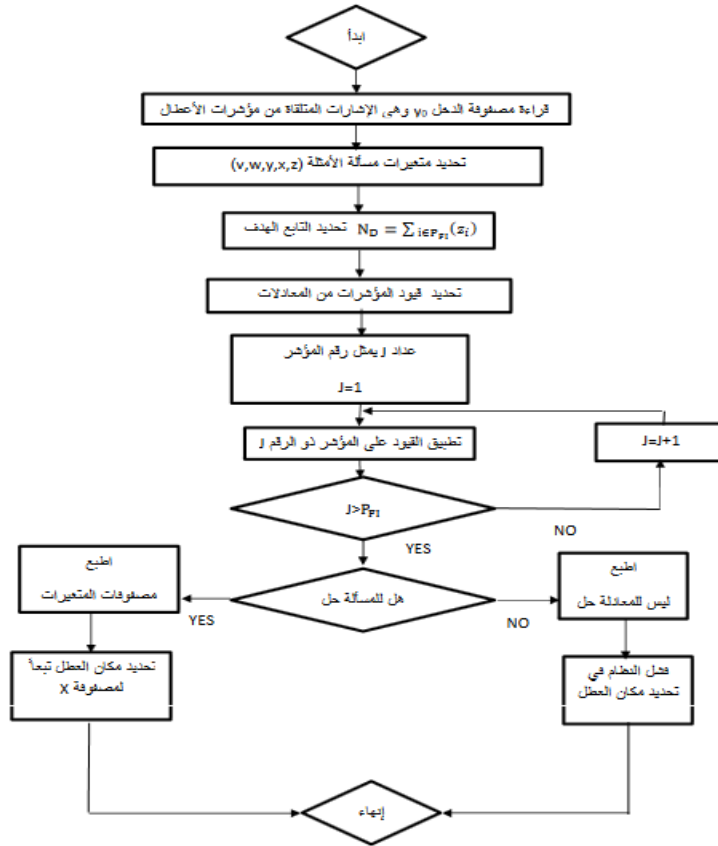


الشكل (5) مخطط الخط الواحد لشبكة مكونة من 6 عقد و5 فروع

يبين الشكل (5) الشبكة المدروسة، والمكونة من 6 عقد و5 فروع، تغذى من مصدر توليد 20MVA بتوتر 11kV، باقي المعلومات موضحة في الجدول (1) والجدول (2) في الملحق.

نقوم بداية بتوزيع مؤشرات الأعطال، على طول المغذيات في الشبكة، وعند كل باسبار، وترميز المنطقة التي تلي مؤشر العطل بالقسم Section LS Line.

يبين الشكل (7) توزيع الأقسام LSs على الشبكة المدروسة. سنعمل على تطبيق سيناريوهات مختلفة للأعطال، وسندرس فاعلية الطريقة المدروسة في إيجاد مكان العطل.

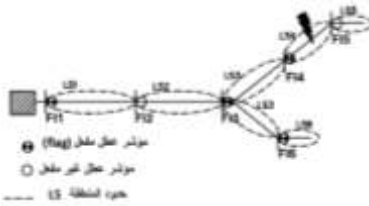


الشكل (6) خوارزمية الأمثلة لتحديد مكان العطل في شبكات التوزيع

(b) عطل وحيد في LS4 مع وجود أخطاء في المؤشرات:

بفرض حدوث عطل عند LS4 مع وجود أخطاء في المؤشرات، حيث نفرض حدوث فشل للمؤشر FI2، بإرسال الإشارة لمركز العمليات، وتم استقبال إشارة من المؤشر FI6، على الرغم من عدم وجوب ذلك كما يبينه الشكل (9)، نتيجة لذلك تكون مصفوفة الدخل:

$$y_0 = \{1, 0, 1, 1, 0, 1\}$$



الشكل (9) عطل على LS4 مع وجود أخطاء في المؤشرات عند تطبيق الخوارزمية المدروسة، نحصل على النتائج التالية:

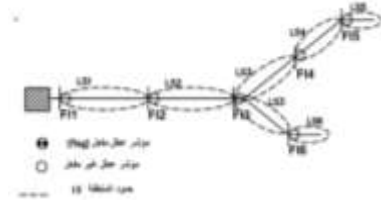
$$\begin{aligned} \text{Obj fun} &= 2 \\ v &= 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \\ w &= 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \\ y &= 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \\ z &= 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \\ x &= 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \end{aligned}$$

يتبين من النتائج بأن التابع الهدف مساوي (2)، وهي عدد الإشارات الخاطئة، وهذا مطابق للفرض بأن FI2 و FI6 تعطي إشارات خاطئة.

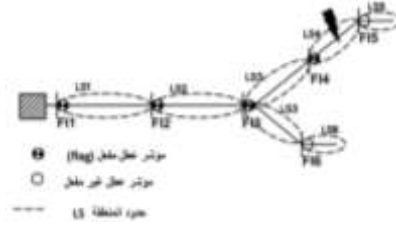
كما نلاحظ دقة الخوارزمية، في تحديد مكان المؤشرات ذات الإشارات الخاطئة FI2, FI6، من خلال المصفوفة Z، وعلى الرغم من ذلك فقد بقي تحديد مكان العطل دقيق، حيث حدد العطل في LS4، وهذا مايدل على دقة الخوارزمية المطبقة في تحديد مكان العطل.

(c) تطبيق أكثر من عطل على الشبكة في LS4 و LS6:

يبين الشكل (10) حالة حدوث عطلين، في الأقسام LS4 و LS6.



الشكل (7) الشبكة المدروسة والمكونة من 6 عقد و5 فروع



الشكل (8) عطل وحيد على LS4

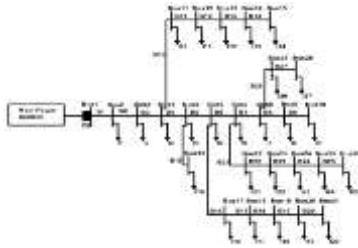
عند تطبيق الخوارزمية لإيجاد مكان العطل، نحصل على النتائج التالية:

$$\begin{aligned} \text{Obj fun} &= 0 \\ v &= 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \\ w &= 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \\ y &= 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \\ z &= 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \\ x &= 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \end{aligned}$$

نلاحظ من النتائج التي أعطتها الخوارزمية أن  $\text{Obj fun}=0$ ، ما دل على عدم وجود إشارات خاطئة واردة من المؤشرات، وهذا مطابق لما تم فرضه عند إجراء الاختبار، وتبين نتائج مصفوفة y أن المؤشرات FI1, FI2, FI3, FI4 لها قيمة مساوية (1)، مما يعني أن تيار العطل، قد مرَّ بالمؤشرات  $FI_{(1 \rightarrow 4)}$ ، وهذا مطابق لإشارة مؤشرات العطل الفعلية الواردة إلى المركز  $y_0$ ، وذلك يعني أن الإشارة المتوقعة والمحسوبة عن طريق الخوارزمية متطابقة مع الإشارات الحقيقية المفروضة. كما نلاحظ أيضاً من مصفوفة z بأنه لا وجود لإشارات خاطئة، واردة من مؤشرات الأعطال FI، وهذا مطابق للفرض  $y_0$ ، أي مرور تيار العطل من خلال  $FI_{(1 \rightarrow 4)}$ .

تدل المصفوفة x على موقع العطل حيث يتبين من نتيجة تطبيق الخوارزمية، بأن قيمة مصفوفة المتغير x مساوية (1) عند موقع العطل LS4 كما هو مفروض ومبين في الشكل (8).

وحيث عند LS14، بما فيها قيمة التابع الهدف والتي تمثل قيم الإشارات الخاطئة، مساوية للصفر. ويتبين من المصفوفة  $y$  أن  $FI_{(1 \rightarrow 3)}$  وكذلك  $FI_{(11 \rightarrow 14)}$  قد تم تفعيلها، وهي حالة مطابقة لقيم  $y_0$  المفروضة وهذا يدل على دقة هذه النتيجة.



الشكل (11) مخطط الخط الواحد لشبكة مكونة من 28 عقدة و 27 فرع

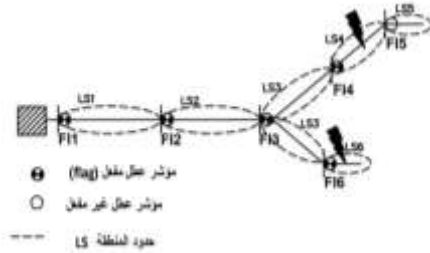
(b) حالة عطل وحيد مع وجود فشل Failure في أحد المؤشرات:

يبين الشكل (15) حالة عطل على LS14 مع فشل المؤشر FI12، في إرسال الإشارة لمركز التوزيع. تم تطبيق التابع الهدف المقترح، والقيود التي تم ذكرها، لتعطي الطريقة النتائج المبينة في الشكل (20)، حيث نجد أن التابع الهدف أعطى قيمة مساوية للواحد، وهي عدد الإشارات الخاطئة، وذلك عند المؤشر FI12، وأعطى تقدير صحيح لمصفوفة قيم المؤشرات  $y$  التي تم تقديرها في مركز التنسيق، عن طريق تطبيق التابع الهدف والقيود، وأعطى  $Z=1$  عند FI12، وبقي تقدير مكان العطل صحيح.

(c) حالة وجود عطل وحيد مع وجود فشل malfunction عند المؤشرين FI6,FI24:

يبين الشكل (16) حالة وجود عطل في LS14 مع فشل المؤشر FI24,FI6 بحالة malfunction. يبين الشكل (21)، نتائج تطبيق الخوارزمية، حيث أعطت الخوارزمية عبر المصفوفة  $y$  تحديد دقيق لمكان العطل LS14 عبر إعطاء إشارة لكل من  $FI_{(1 \rightarrow 3)}$  و  $FI_{(11 \rightarrow 14)}$ ، كما بينت النتائج عبر المصفوفة  $Z$

تكون مصفوفة الدخل في هذه الحالة كالتالي:  
 $y_0 = \{1, 1, 1, 1, 0, 1\}$



الشكل (10) عطل ثانوي على LS4 و LS6 بتطبيق الخوارزمية نحصل على النتائج التالية:

$$\begin{aligned} \text{Obj fun} &= 0 \\ v &= 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \\ w &= 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \\ y &= 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \\ z &= 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \\ x &= 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \\ & \quad 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \end{aligned}$$

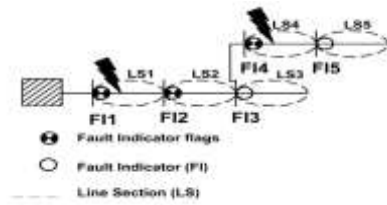
نلاحظ دقة الخوارزمية أيضاً في تحديد مكان وجود عطلين في الشبكة، حيث نلاحظ من المصفوفة  $X$  تحديد مكان كل عطل في سطر منفصل، وإعطاء قيمة (1) عند الجزء المعطل، حيث أعطت القيمة (1)، في كل من LS4 و LS6 اللذان قد حدث العطل عندهما.

8-4-2. شبكة مكونة من 28 باسبار و 27 فرع:  
يبين الشكل (11) الشبكة المدروسة، والمكونة من 28 باسبار و 27 فرع، متصلة بالشبكة العامة، بتوتر 11 KV، بقية التفاصيل في الجدول (3) والجدول (4) في الملحق.

تم توزيع مؤشرات الأعطال عند كل باسبار، وتم الرمز للمنطقة التي تلي مؤشر العطل بالقسم Line Section LS، كما يبينه الشكل (13).

(a) حالة عطل وحيد:

يبين الشكل (14) فرضية حدوث عطل وحيد على LS14، بدون وجود أي حالة فشل لمؤشرات الأعطال. أعطى البرنامج نتائج صحيحة من حيث تحديد مكان العطل، وحالة كل مؤشر، حيث يبين الشكل (19)، نتائج مسألة الأمثلة عند حدوث عطل



الشكل (12) حالة حدوث عطلين على شبكة

مكونة من 5 عقد

$$y_0 = \{1, 1, 0, 1, 0\}$$

وفي حال حدوث عطل وحيد عند LS4 فقط، أيضا

سنتكون مصفوفة الدخل:

$$y_0 = \{1, 1, 0, 1, 0\}$$

في هذه الحالة ستعطي الخوارزمية تقدير خاطئ لمكان العطل، بسبب الاعتماد فقط على مصفوفة إشارات مؤشرات الأعطال، سنعمل في دراسة لاحقة لحل هذه المشكلة.

## 9. الخاتمة Conclusion:

قدمت هذه المقالة تقنية وآلية مميزة، لتحديد مكان الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية، باستخدام تجهيزات مؤشرات الأعطال، حيث تم بداية شرح أنواع وأشكال وتطبيقات مؤشرات الأعطال المستخدمة في شبكات التوزيع، ثم إعطاء فكرة عامة عن بيئة الأمثلة CPLEX واستخداماتها في حل مسائل الأمثلة الخطية وغير الخطية، ثم شرح آلية بناء مسألة الأمثلة بداية بتحديد التابع الهدف بتصغير قيم الإشارات الخاطئة، ثم تحديد قيود مسألة الأمثلة بالإضافة لوضع خوارزمية الحل.

تم تطبيق الخوارزمية المقترحة، باستخدام الأمثلة الخطية، وبالاعتماد على مصفوفة دخل وحيدة  $y_0$  على شبكتين، شبكة بسيطة ذات 6 عقد بتوتر 11KV، وشبكة أكثر تعقيداً 28 عقدة وبتوتر 11KV، حيث طبقنا عدة سيناريوهات للأعطال على عدة أجزاء لكل شبكة، ثم تم اختبار ما توصلنا إليه على نفس الشبكات بوجود فشل لبعض مؤشرات الأعطال من إعطاء الإشارات الصحيحة، وتبيّن نجاح الخوارزمية في

وجود إشارة خاطئة عند كل من FI6 و FI24 عبر إعطاء قيمة مساوية (1) ضمن المصفوفة Z.

## (d) حالة وجود عطلين في الشبكة:

يبين الشكل (17) حالة وجود عطلين في الشبكة عند الجزأين LS17 و LS27، يبين الشكل (22) نتائج تطبيق الخوارزمية المقترحة، حيث نلاحظ قيم المصفوفة  $y$  التي تشير للمؤشرات التي قد مر بها تيار العطل، قد أعطت قيم (1) عند المؤشرات  $FI_{(1 \rightarrow 7)}$  و FI17 و FI27. كما تم تقدير العطل بالشكل الجيد، من خلال المصفوفة  $x$  حيث أعطت قيمة (1) عند كل من LS17 و LS27، بالإضافة لتشكيل مصفوفات المتغيرات الأخرى بشكلها الصحيح.

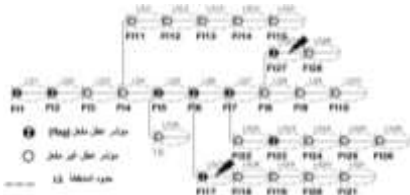
## (f) حالة وجود عطلين في الشبكة مع وجود حالتين

فشل Failure في المؤشرين FI3,FI4 وحالة فشل

## Malfuction في المؤشر FI23 :

يبين الشكل (18)، حالة وجود أكثر من عطل في الشبكة، عند الجزأين LS17,LS27، ووجود أخطاء في المؤشرات عند المؤشرين FI4,FI3 بحالة Failure وحالة فشل عند المؤشر FI23 بحالة malfunction. عند تطبيق الخوارزمية المقترحة، تم تقدير العطل بالشكل الجيد كما يبينه الشكل (23) حيث أعطت المصفوفة  $y$  قيمة (1) للمؤشرات على طول مسار تيار العطل، على الرغم من اختلاف هذه المصفوفة عن المصفوفة  $y_0$  المعبرة عن الإشارات الحقيقية مع وجود أخطاء، بالإضافة لتحديد المؤشرات ذات الإشارة الخاطئة.

من عوائق استخدام هذه الطريقة، عدم قدرة الخوارزمية على التمييز بين حالة عطل وحيد في قسم من الخط، وحالة عطلين على نفس مسار الخط، فعلى سبيل المثال، في الشبكة المبينة في الشكل (4)، بفرض حدوث عطلين على نفس الخط في LS4,LS1 كما يبينه الشكل (12)، سنتكون مصفوفة الدخل :



الشكل (18) عطلين في LS17,LS27 مع وجود مؤشرين بحالة Failure ومؤشر بحالة Malfunction

```

Obj Fun = 8
...

```

الشكل (19) قيم مصفوفات المتغيرات لعطل وحيد، والنتيجة عن تطبيق الخوارزمية في بيئة CPLEX

```

Obj Fun = 1
...

```

الشكل (20) قيم مصفوفات المتغيرات لعطل وحيد، والنتيجة عن تطبيق الخوارزمية في بيئة CPLEX، مع وجود حالة فشل عمل أحد مؤشرات العطل

```

Obj Fun = 2
...

```

الشكل (21) قيم مصفوفات المتغيرات لعطل وحيد، والنتيجة عن تطبيق الخوارزمية في بيئة CPLEX، مع وجود حالة فشل malfunction عند المؤشرات FI24,FI6

```

Obj Fun = 6
...

```

الشكل (22) قيم مصفوفات المتغيرات لعطلين على LS17,LS27، والنتيجة عن تطبيق الخوارزمية في بيئة CPLEX

```

Obj Fun = 3
...

```

الشكل (23) قيم مصفوفات المتغيرات لعطلين على LS17,LS27، والنتيجة عن تطبيق الخوارزمية في بيئة CPLEX، مع وجود مؤشرين بحالة Failure ومؤشر بحالة Malfunction

إعطاء الموقع الصحيح لموقع العطل في كل مرة على الرغم من ورود إشارات خاطئة للخوارزمية.

كما تتميز الخوارزمية المفروضة بالقدرة على التكيف مع تغير هيكلية الشبكة عند إضافة فروع أو عقد، وهذا مايعطي الخوارزمية الفعالية والمرونة.

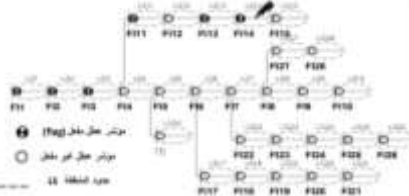
يتم البحث والدراسة حالياً على تعديل وتوسيع الخوارزمية، باتجاه إدماج وحدات التوليد الموزع على الشبكات الشعاعية.



الشكل (13) الشبكة المدروسة، مكونة من 28 عقدة و 27 فرع



الشكل (14) عطل واحد عند LS14



الشكل (15) عطل واحد عند LS14 مع وجود فشل (Failure) عند المؤشر FI12



الشكل (16) عطل واحد عند LS14 مع وجود فشل (Malfunction) عند المؤشر FI24 و FI6



الشكل (17) عطلين في LS17,LS27

## 10. الملاحق Appendices:

الجدول (1) محددات الخطوط للشبكة المبينة في الشكل (5) المكونة من 6 عقد.

رقم الخط Branch No.	عقدة البداية From Bus No.	عقدة النهاية To Bus No.	المقاومة R(p.u)	المفاعلة X(p.u)	السماحية Y(p.u)
1	1	2	0.279	0.015	3.53-0.192i
2	2	3	0.444	0.439	1.138-1.126i
3	3	4	0.854	0.751	0.660-0.580i
4	4	5	0.854	0.751	0.66-0.580i
5	3	6	1.374	0.774	0.552-0.311i

الجدول (2) كميات الأحمال للشبكة المبينة في الشكل (5) المكونة من 6 عقد.

رقم العقدة Bus No.	الاستطاعة الفعلية المستهلكة P(KW)	الاستطاعة الرديئة المستهلكة Q(KVAR)
1	0	0
2	0	0
3	1572	1581.6
4	1936	1960.979
5	189	199.2235
6	1336	1340.686

\* لا يوجد توليد عند عقد الأحمال.

الجدول (3) محددات الخطوط للشبكة المبينة في الشكل (11) المكونة من 28 عقدة.

رقم الخط Branch No.	عقدة البداية From Bus No.	عقدة النهاية To Bus No.	المقاومة R(p.u)	المفاعلة X(p.u)	السماحية Y(p.u)
1	1	2	1.8216	0.7580	0.4679- 0.1947i
2	2	3	2.2270	0.9475	0.38-0.161i
3	3	4	1.3662	0.5685	0.623-0.259i
4	4	5	0.9180	0.3790	0.93-0.384i
5	5	6	3.6432	1.5160	0.233- 0.0973i
6	6	7	2.7324	1.1370	0.311-0.129i
7	7	8	1.4573	0.6064	0.584- 0.2433i
8	8	9	2.7324	1.1370	0.311- 0.1298i
9	9	10	3.6432	1.5160	0.233-0.097i
10	4	11	2.7520	0.7780	0.3364- 0.095i
11	11	12	1.3760	0.3890	0.672- 0.1902i
12	12	13	4.1280	1.1670	0.224- 0.0634i
13	13	14	4.1280	0.8558	0.2322- 0.048i
14	14	15	3.0272	0.7780	0.309- 0.0796i
15	5	16	2.7520	1.1670	0.307- 0.1306i
16	6	17	4.1280	0.7780	0.233-0.044i
17	17	18	2.7520	0.7780	0.336- 0.0951i
18	18	19	3.4400	0.9725	0.269-0.076i
19	19	20	1.3760	0.3890	0.6729- 0.190i
20	20	21	2.7520	0.7780	0.336- 0.0951i
21	7	22	4.9536	1.4004	0.186-

22	22	23	3.5776	1.0114	0.0528i 0.2588- 0.073i
23	23	24	3.0272	0.8558	0.305-0.086i
24	24	25	5.5040	1.5560	0.168-0.047i
25	25	26	2.7520	0.7780	0.336- 0.0951i
26	8	27	1.3760	0.3890	0.672-0.19i
27	27	28	1.3760	0.3890	0.672-0.19i

الجدول (4) كميات الأحمال للشبكة المبينة في الشكل (11) المكونة من 28 عقدة.

رقم العقدة Bus No.	الاستطاعة الفعلية المستهلكة P(KW)	الاستطاعة الردية المستهلكة Q(KVAR)
1	0	0
2	140	90
3	80	50
4	80	60
5	100	60
6	80	50
7	90	40
8	90	40
9	80	50
10	90	50
11	80	50
12	80	40
13	90	50
14	70	40
15	70	40
16	70	40
17	60	30
18	60	30
19	70	40
20	50	30
21	50	30
22	40	20
23	50	30
24	50	20
25	60	30
26	40	20
27	40	20
28	40	20

\* لا يوجد توليد عند عقد الأحمال.

التمويل: هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم التمويل (501100020595).



## References:

1. Available at: <https://openei.org/doi-opendata/dataset/utility-outage-information>, accessed 2 January 2019
2. U Kezunovic, M. (2011). Smart fault location for smart grids. IEEE transactions on smart grid, 2(1), 11-22.
3. Pérez, R., & Vásquez, C. (2016, October). Fault location in distribution systems with distributed generation using support vector machines and smart meters. In 2016 IEEE Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM) (pp. 1-6).
4. Mora-Florez, J., J. Meléndez and G. Carrillo-Caicedo. (2008): *Comparison Of Impedance Based Fault Location Methods For Power Distribution Systems*. Electric Power Systems Research, 78: 657-666.
5. Choi, M. S., Lee, S. J., Lim, S. I., Lee, D. S., & Yang, X. (2007). A direct three-phase circuit analysis-based fault location for line-to-line fault. IEEE Transactions on Power Delivery, 22(4), 2541-2547.
6. Trindade, F. C., Freitas, W., & Vieira, J. C. (2013). Fault location in distribution systems based on smart feeder meters. IEEE transactions on Power Delivery, 29(1), 251-260.
7. Jiang, Y. Xia, Y. (2018): *Smart Fault Indicators For Advanced Outage Management of Distribution Systems*. IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D)
8. Asian, Y., & Aggarwal, R. K. (2008). An alternative approach to fault location on main line feeders and laterals in low voltage overhead distribution networks. 2008 IET 9th International Conference on Developments in Power System Protection (DPSP 2008), Glasgow, pp. 354-359.
9. Eriksson, L., Saha, M. M., & Rockefeller, G. D. (1985). An accurate fault locator with compensation for apparent reactance in the fault resistance resulting from remote-end infeed. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, (2), 423-436.
10. Lawrence, D. J., Cabeza, L. Z., & Hochberg, L. T. (1992). Development of an advanced transmission line fault location system. II. Algorithm development and simulation. IEEE Transactions on Power Delivery, 7(4), 1972-1983.
11. Aslan, Y., & Aggarwal, R. K. (2008). Analysis of shunt faults in the laterals of overhead power distribution feeders using superimposed components. Electrical Engineering, 90(4), 255-264.
12. Alcalá, D., Alonso, M., Amaris, H., & Pindado, S. (2020, June). A unified adaptive scheme for fault location and relay coordination in Smart Grids. In 2020 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2020 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/I&CPS Europe) (pp. 1-6).
13. Wang, Y., Chen, Q., Hong, T., & Kang, C. (2018). Review of smart meter data analytics: Applications, methodologies, and challenges. IEEE Transactions on Smart Grid, 10(3), 3125-3148.
14. Postolache, O., Pereira, J. D., Cretu, M., & Girão, P. S. (1998, May). An ANN fault detection procedure applied in virtual measurement systems case. In IMTC/98 Conference Proceedings. IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference. Where Instrumentation is Going (Cat. No. 98CH36222) (Vol. 1, pp. 257-260). IEEE.
15. Usman, M. U., Ospina, J., & Faruque, M. O. (2018, August). Fault classification and location identification in a smart distribution network using ANN. In 2018 IEEE power & energy society general meeting (PESGM) (pp. 1-6). IEEE.

16. Thukaram, D., Khincha, H. P., & Vijaynarasimha, H. P. (2005). Artificial neural network and support vector machine approach for locating faults in radial distribution systems. *IEEE transactions on power delivery*, 20(2), 710-721.
17. Fazanehrafat, A., Javadian, S. A. M., Bathaee, S. M. T., & Haghifam, M. R. (2008). Maintaining the recloser-fuse coordination in distribution systems in presence of DG by determining DG's size.
18. José, B. D. S., Cavalcante, P. A. H., Trindade, F. C., & De Almeida, M. C. (2013, October). Analysis of distance based fault location methods for Smart Grids with distributed generation. In *IEEE PES ISGT Europe 2013* (pp. 1-5). IEEE.
19. Dhawas, P. V., & Bedekar, P. P. (2020, November). Improvement in High Impedance Fault Detection of Primary Distribution Network Using Voltage and Current Sequence Components. In *2020 IEEE 61th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)* (pp. 1-6). IEEE.
20. Manditereza, P. T., & Bansal, R. C. (2018, May). Introducing a new type of protection zone for the smart grid incorporating distributed generation. In *2018 IEEE Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT Asia)* (pp. 86-90). IEEE.
21. Weedy, B. M., Cory, B. J., Jenkins, N., Ekanayake, J. B., & Strbac, G. (2012). *Electric power systems*. John Wiley & Sons.
22. IEEE Guide for the Application of Faulted Circuit Indicators on Distribution Circuits, IEEE Std. 1610-2016 (Revision of IEEE Std 1610- 2007), 2017, pp. 1-26
23. Four-Faith Smart Power, JJZ-FF Overhead Line Fault Indicator. Retrieved 23/8/2022,from:  
<https://en.four-faith.net/Overhead-Line-Fault-Indicator/Overhead-Line-Fault-Indicator.html#Characteristic>
24. Jiang, Y., Liu, C. C., Diedesch, M., Lee, E., & Srivastava, A. K. (2015). Outage management of distribution systems incorporating information from smart meters. *IEEE Transactions on power systems*, 31(5), 4144-4154.
25. Jiang, Y., Liu, C. C., & Xu, Y. (2016). Smart distribution systems. *Energies*, 9(4), 297.
26. CPLEX. Retrieved 28/8/2022,from:  
: <https://en.wikipedia.org/wiki/CPLEX> .