

تصميم برامج حاسوبية لتقويم موثوقية شبكات التوزيع الكهربائية السورية

م. نشأت نصر*

د. عباس صندوق**

أ. د. علي حمزة**

الملخص

يعرض البحث برامج صُممت بهدف تقويم موثوقية شبكات التوزيع في الشبكة الكهربائية السورية؛ وذلك عن طريق حساب بعض مؤشرات الموثوقية لمغذيات توزيع رئيسية ذات توتر 20 KV. وتكمن أهمية هذا العمل بأنه تضمن دراسة موثوقية بعض المغذيات الرئيسية في شبكة التوزيع السورية (20 KV) للمرة الأولى.

عُرِضَتْ بدايةً بعض الأسس النظرية لحساب الموثوقية، ثم عُرِضَ البرنامج DIS_REL_1 الذي أُعِدَّ لحساب مؤشرات موثوقية لهكذا شبكات باستخدام بيئة MATLAB. بهدف التأكد من صحة عمل البرنامج، حُلَّتْ الموثوقية لشبكة توزيع نموذجية وعملية بالحل اليدوي ثم باستخدام البرنامج المنجز. وبعد ذلك قُدِّمَ البرنامج DIS_REI_2 لحساب مؤشرات الموثوقية في شبكات توزيع صغيرة من المنظومة الكهربائية السورية ذات التوصيل الشعاعي، والبرنامج DIS_REI_3 للشبكات ذات التوصيل الحلقي. وأخيراً عُرِضَ تطبيق عملي للبرنامجين المذكورين على مغذيين اثنين من المغذيات الكهربائية من واقع شبكة التوزيع الكهربائية لمدينة دمشق، وحُسِبَتْ مؤشرات الموثوقية لهذين المغذيين. بنتيجة تحليل النتائج تبين تحسن قيم مؤشرات الموثوقية جراء تطبيق تغذية حلقيه في المثالين المذكورين.

الكلمات المفتاحية: شبكات التوزيع الكهربائية، تقويم الموثوقية، مؤشرات الموثوقية

* أعد هذا البحث في سياق رسالة الدكتوراه للمهندس نشأت نصر بإشراف الأستاذ الدكتور علي حمزة ومشاركة المدرس الدكتور عباس صندوق.

** كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق

** كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق

1- مقدمة

لتحليل وتقويم الموثوقية في شبكات التوزيع، تبرز أهمية إنجاز هذه الدراسة.

2- النماذج الرياضية لمسألة الموثوقية

1-2 العلاقة العامة للموثوقية

إذا كان $F(t)$ يمثل احتمال أن العنصر أو الجهاز سوف يتعطل قبل الزمن t (ويسمى هذا الاحتمال بتابع عدم الوثوقية)، فإن احتمال أن يستمر هذا العنصر بأداء وظيفته المحددة حتى الزمن t هو:

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (1)$$

ويسمى هذا الاحتمال بتابع الموثوقية [1]. ويمكن التعبير عن العلاقة السابقة بالشكل:

$$\{F(t) = P(T \leq t; t > 0)\} \Rightarrow \{R(t) = P(T > t)\} \quad (2)$$

إذ T هي الزمن حتى حدوث العطل، وهي متغير عشوائي.

إذا كان لهذا المتغير تابع كثافة $f(t)$ فإننا نكتب:

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(t) \cdot d(t) = \int_t^{\infty} f(t) \cdot d(t) \quad (3)$$

وبذلك يعطى احتمال تعطل عنصر أو نظام

معين في مدة زمنية $(t_1 - t_2)$ بدلالة تابع عدم الموثوقية بالشكل:

$$\int_{t_1}^{t_2} f(t) d(t) = \int_{-\infty}^{t_2} f(t) d(t) - \int_{-\infty}^{t_1} f(t) d(t) = F(t_2) - F(t_1) \quad (4)$$

وبدلالة تابع الموثوقية بالشكل:

$$\int_{t_1}^{t_2} f(t) d(t) = R(t_1) - R(t_2) \quad (5)$$

يدعى المعدل الذي تحدث فيه الأعطال في المدة الزمنية $(t_1 - t_2)$ بمعدل التعطل (failure rate) أو (hazard rate)

ويكتب بالشكل:

تتألف المنظومة الكهربائية من نظام التوليد ونظام النقل ونظام التوزيع. إن نظام التوزيع هو المسؤول عن تزويد الطاقة الكهربائية للمستهلكين على نحو موثوق به وبمستوى عالٍ من الجودة. يمكن تعريف موثوقية التغذية الكهربائية بأنها مقدرة المنظومة الكهربائية في تزويد المستهلكين بالطاقة الكهربائية بشكل مستمر وعند مستوى معين من الجودة والأمان. كما يمكن تعريفها بأنها مقدرة المنظومة على تقديم طاقة كهربائية ملائمة لمتطلبات الحمل بشكل اقتصادي - قدر الإمكان - عند مستويات مقبولة من الاستمرارية والجودة. والاستمرارية تعني أن تلبية التغذية الكهربائية لمتطلبات المستهلك ضمن شروط سلامة الأشخاص والتجهيزات، كما تعني جودة التغذية الكهربائية الحفاظ على توتر وتردد موافقين لمتطلبات المستهلك.

تحدث معظم الأعطال في شبكات التوزيع من جراء مسببات خارجية كالبرق والرياح والمطر والجليد والحيوانات. ومن المسببات الأخرى للأعطال أعطال التجهيزات نفسها وأفعال الإنسان.

تاريخياً، كان الاهتمام الأكبر بدراسة موثوقية نظام التوليد وتحليلها أكثر منه لنظام التوزيع، علماً أن لنظام التوزيع المساهمة الكبرى في عدم إمكانية تزويد المستهلكين بالطاقة الكهربائية. وقد أظهرت العديد من الدراسات أن نحو 80% من انقطاعات التغذية الكهربائية ناتجة بسبب أعطال في شبكات التوزيع [2]. وعلى الرغم من هذا، فإن دراسة موثوقية شبكة التوزيع وتحليلها لم تلقَ الاهتمام اللازم إلا منذ سنوات قليلة. لهذه الأسباب ولأن المنظومة الكهربائية السورية تفتقر لأية دراسة

إذ r_{ij} هي مدة التعطل عند نقطة الحمل i نتيجة انقطاع الفرع j . (Average Outage Duration)

- زمن التعطل الوسطي عند نقطة الحمل

$$r_i = \frac{U_i}{\lambda_i} \text{ Hrs} \quad (12)$$

- القيمة المتوقعة للطاقة غير المقدمة عند نقطة الحمل i (Expected Energy Not Supplied)

$$EENS_i = P_i U_i \frac{\text{MWh}}{\text{yr}} \quad (13)$$

إذ P_i هي قيمة الحمل الوسطية عند نقطة الحمل i .
تكلفة الانقطاع المتوقعة عند نقطة الحمل

(Expected Interruption Cost)

$$ECOST_i = P_i \sum_{j=1}^n SCDF_{ij} \times \lambda_j \frac{\$}{\text{yr}} \quad (14)$$

إذ $SCDF_{ij}$ هي Sector Cost Damage Function في العقدة i والنتائج عن عطل العقدة j .

- معدل الطاقة المنقطعة عند نقطة الحمل i .

(Interrupted Energy Assessment Rate Index)

$$IEAR_i = ECOST_i / EENS_i \frac{\$}{\text{MWh}} \quad (15)$$

2-2-2 مؤشرات موثوقية النظام

- مؤشر القيمة الوسطية لتكرار انقطاع النظام (SAIFI):

(System Average Interruption Frequency Index)

يدل هذا المؤشر على العدد الوسطي للانقطاعات الطويلة التي يواجهها كل مستهلك مشترك في المنظومة الكهربائية في منطقة محددة وفي زمن محدد.

$$SAIFI = \frac{\text{Total Number of Customer Interruptions}}{\text{Total Number of Customers Served}}$$

$$SAIFI = \frac{\sum N_i}{N_T} \quad (16)$$

$$\lambda(t) = \frac{R(t_1) - R(t_2)}{(t_1 - t_2)R(t_2)} = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - F(t)} \quad (6)$$

إذ

$$f(t) = -\frac{dR(t)}{dt} \quad (7)$$

وبذلك يكون:

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad (8)$$

وتدعى العلاقة السابقة بالعلاقة العامة للموثوقية، ونلاحظ فيها تابعة كل من تابع الموثوقية ومعدل التعطل للزمن.

في حال كان معدل التعطل مستقلاً عن الزمن، فإن علاقة الموثوقية تصبح:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (9)$$

2-2 مؤشرات الموثوقية

يمكن دراسة الانقطاعات وخروج العناصر من الخدمة بالاعتماد على شكل النظام وبيانات موثوقية العناصر باستخدام مؤشرات الموثوقية، وهي أدوات لتقييم الأداء السابق للنظام وتوقع الأداء المستقبلي له.

1-2-2 مؤشرات الموثوقية الرئيسية في نقاط الأحمال

- معدل التعطل الوسطي عند نقطة الحمل i (Average Failure Rate)

$$\lambda_i = \sum_{j=1}^n \lambda_j \frac{\text{fault}}{\text{yr}} \quad (10)$$

إذ z هي النقاط التي يؤدي تعطلها إلى تعطل الفرع i .

- مدة الانقطاع خلال سنة عند نقطة الحمل i (Annual Outage Duration)

$$U_i = \sum_{j=1}^n \lambda_j r_{ij} \frac{\text{Hrs}}{\text{yr}} \quad (11)$$

وهو مؤشر يبين الزمن الوسطي اللازم لإعادة التغذية للمستهلكين المتأثرين بالانقطاعات.

$$CAIDI = \frac{\text{Total Duration of Customer Interruptions}}{\text{Total Number of Customers Interruptions}}$$

$$CAIDI = \frac{\sum r_i N_i}{\sum N_i} = \frac{SAIDI}{SAIFI} \quad (19)$$

- مؤشر القيمة الوسطية لمدى توفر التغذية (ASAI) :
(Average System Availability Index)

يمثل هذا المؤشر المدة الزمنية (عادةً نسبة مئوية) التي يتلقى فيها المستهلك تغذية كهربائية خلال مدة الدراسة (عادةً تؤخذ خلال سنة).

$$ASAI = \frac{\text{Customer Hours Service Availability}}{\text{Customer Hours Service Demand}}$$

$$ASAI = \frac{8760 \times N_T - \sum r_i N_i}{8760 \times N_T} \quad (20)$$

- القيمة المتوقعة للطاقة غير المقدمة لكامل النظام
(Expected Energy Not Supplied) -

$$EENS = \sum EENS_i \frac{\text{MWh}}{\text{yr}} \quad (21)$$

- تكلفة الانقطاع المتوقعة لكامل النظام
(Expected Interruption Cost)

$$ECOST = \sum ECOST_i \frac{\$}{\text{yr}} \quad (22)$$

- الطاقة غير المقدمة للنظام
(Energy Not Supplied)

$$ENS = \sum L_{avg,i} \times r_i \quad (23)$$

القيمة الوسطية للطاقة غير المقدمة للنظام
(Average Energy Not Supplied Index)

$$AENS = \sum EENS_i / \sum N_i \text{ MWh/Cust} \quad (25)$$

إذ N_i هو عدد المستهلكين المتأثرين بالانقطاع (i) للتغذية خلال المدة الزمنية المدروسة، ومن ثم يكون $\sum N_i$ عدد الانقطاعات جميعها. أمّا N_T فهو العدد الكلي للمستهلكين المرتبطين بالمنطقة المدروسة.

- مؤشر القيمة الوسطية لزمن استمرار انقطاع النظام (SAIDI):

(System Average Interruption Duration Index)

يدلُّ هذا المؤشر على المدة الوسطية لانقطاع التغذية عن كل مستهلك مشترك في المنظومة الكهربائية في المنطقة المدروسة وخلال مدة زمنية محددة.

$$SAIDI = \frac{\text{Total Duration of Customer Interruptions}}{\text{Total Number of Customers Served}}$$

$$SAIDI = \frac{\sum r_i N_i}{N_T} \quad (17)$$

إذ r_i هي مدة انقطاع التغذية (مدة الإصلاح) في كل حادثة فصل.

- مؤشر القيمة الوسطية لتكرار الانقطاع عن المستهلكين المتضررين (CAIFI):

(Customer Average Interruption Frequency Index)

يعطي هذا المؤشر قيمة التكرار الوسطي للانقطاعات عن المستهلكين المتأثرين بهذه الانقطاعات.

$$CAIFI = \frac{\text{Total Number of Customer Interruptions}}{\text{Total Number of Customers Interrupted}}$$

$$CAIFI = \frac{\sum N_i}{CN} \quad (18)$$

إذ CN هو العدد الكلي للمستهلكين المتأثرين بالانقطاعات خلال المدة المدروسة.

- مؤشر القيمة الوسطية لزمن استمرار الانقطاع عن المستهلكين المتضررين (CAIDI):

(Customer Average Interruption Duration Index)

الجدول (1) معدل أعطال وزمن الانقطاع الوسطي السنوي في بعض البلدان العالمية المتقدمة

Country	Interruption frequency [1/a]	Unavailability [min/a]
Austria	0,59	35,23
Barcelona city	2,28	107,60
Belgium	0,90	42,25
Finland	4,06	182,67
France	1,21	53,33
Germany	0,27	37,00
Great Britain	0,77	70,09
Ireland	1,34	235,67
Italy	3,83	202,85
Norway	2,73	218,00
Spain	2,98	153,00
Sweden	2,07	99,00
The Netherlands	0,38	27,50

3 تصميم برامج حاسوبية للتقويم الكمي للموثوقية

صُمِّمَتْ عدة برنامج بلغة MatLab تقوم بحساب قيم مؤشرات الموثوقية الأكثر استخداماً بهدف تقويم الموثوقية في شبكات التوزيع، يقوم كل برنامج منها بحساب بعض مؤشرات الموثوقية وفق بيانات الدخل المتوافرة.

3-1 البرنامج (Dis_Rel_1):

هذا البرنامج قابل للتطبيق من أجل عدد غير منته من نقاط التوزيع (Laterals) المتفرعة عن المغذيات الرئيسية (feeders)، وذلك من أجل عدد غير منته من المستهلكين المرتبطين بهذه المغذيات. يظهر الشكل (2) واجهة البرنامج الرئيسية، ويظهر عليها بيانات الدخل المطلوبة فضلاً عن طريقة إدخالها.

يأخذ البرنامج بيانات الدخل الآتية:

- عدد المشتركين في المنظومة الكهربائية المرتبطين مع كل تفرعة (Lateral) متفرعة عن أحد المغذيات الرئيسية في شبكة التوزيع.

- القيمة الوسطية للأحمال المرتبطة بهذه التفرعات، مقدره بالـ KW.

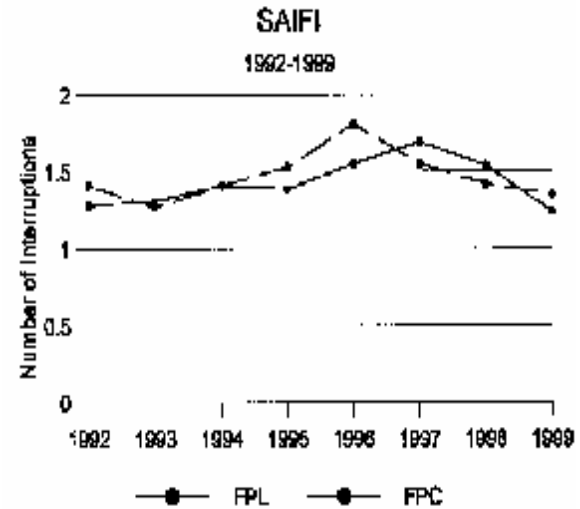
معدل الطاقة المنقطعة لكامل النظام

(System Interrupted Energy Assessment Rate Index)

$$IEAR = ECOST/EENS \$/MWh \quad (25)$$

2-3 قيم بعض مؤشرات الموثوقية في بعض البلدان المتقدمة

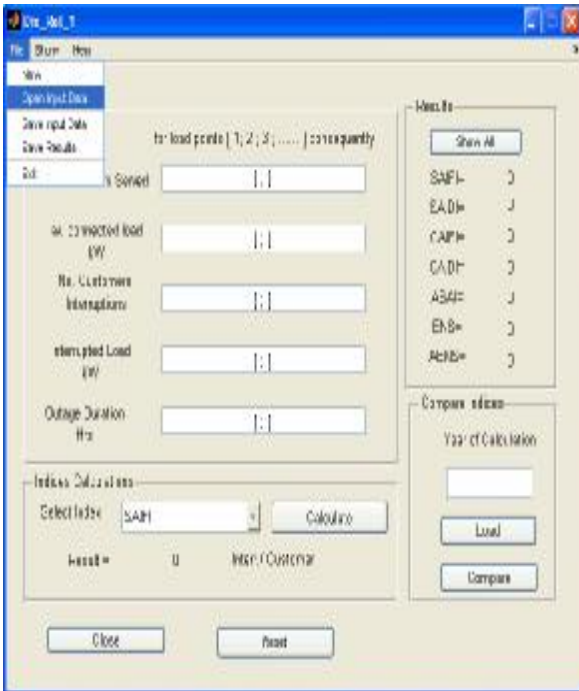
يبين الشكل (1) قيم مؤشر القيمة الوسطية لتكرار انقطاع النظام، والمحسوب في كل من شركة طاقة فلوريدا (FPC)، وشركة إنارة فلوريدا (FPL) في الولايات المتحدة الأمريكية [4]، وذلك بالاعتماد على معطيات جُمعت في المدة الزمنية بين 1992 و 1999م.



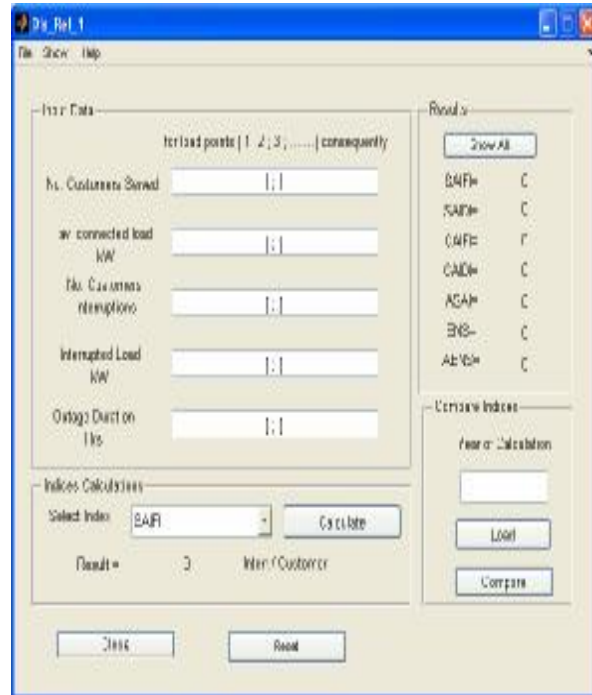
الشكل (1) قيم (SAIFI) للشركتين المذكورتين في ذات المدة الزمنية

يبين الجدول (1) قيم تكرار حدوث الأعطال وأزمنة الانقطاع السنوية في بعض الدول والمدن الأوروبية والعالمية المتقدمة [5].

- عدد الانقطاعات الحاصلة عند كل المستهلكين في كل فرع من الفروع.
- القيمة الوسطية للاستطاعة المنقطعة، مقدرة بالـKW، في كل فرع نتيجة حدوث هذه الانقطاعات في المدة الزمنية المحددة لتسجيل البيانات بهدف إجراء الدراسة.
- الزمن الوسطي، مقدراً بالساعة، لاستمرار الانقطاع في كل فرع وذلك خلال مدة أخذ البيانات.
- إمكانية استدعاء هذه البيانات لاحقاً لإجراء العمليات الحسابية.
- إمكانية حفظ نتائج الحساب في ملف mat.file.
- إمكانية تهيئة البرنامج لإدخال بيانات جديدة.
- إمكانية إغلاق البرنامج، بعد أن تظهر رسالة تأكيد هذه العملية. ويبين الشكل(3) واجهة البرنامج مبيّناً عليها خيارات القائمة File.



الشكل (3) واجهة البرنامج، مبيّناً عليها القائمة File.



الشكل (2) واجهة البرنامج (Dis_Rel_1)

2- القائمة Show وهي مخصصة لإظهار مجال العمل (workspace) في البرنامج؛ وذلك عند الحاجة لتصفح الملفات الموجودة لدينا، ويمكننا ذلك من إجراء عملية طباعة النتائج إن أردنا ذلك.

3- القائمة Help، وهي مخصصة لما يأتي:

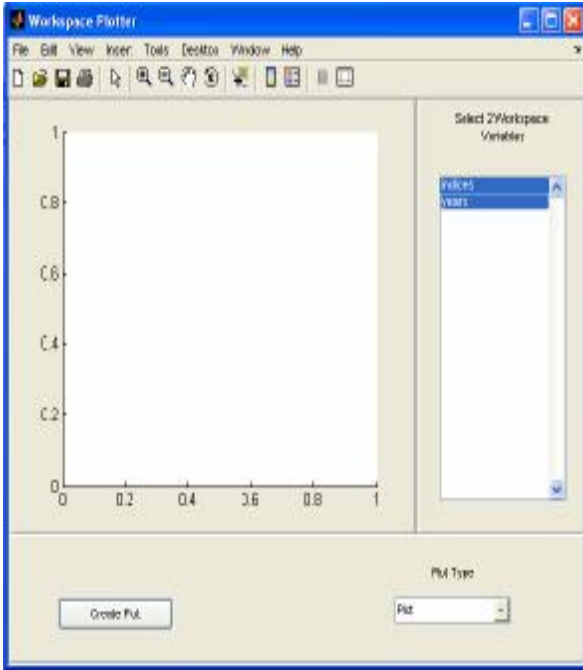
- تقديم تعريف بالبرنامج، من القائمة (about).

والبرنامج مزود بالقوائم الآتية:

1- القائمة File، حيث تتيح لنا هذه القائمة الإمكانيات الآتية:

- إمكانية حفظ بيانات الدخل في ملف mat.file.

بيانات الدخل الخاصة بالسنة التالية وإجراء عملية حساب المؤشر بناءً على هذه المعطيات، وبإدخال السنة الجديدة في الخانة Year of Calculation، ثم بإعطاء أمر التحميل Load، فإن عنصرين جديدين سوف يضافان إلى النسقين السابقين. بتكرار هذه العملية من أجل بيانات مأخوذة لسنوات متعددة، نقوم بعدها بالضغط على الأيقونة Compare ليصبح بإمكاننا اختيار النسقين المشكلين من الشكل (5)، وإجراء المقارنة بالضغط على الأمر Create Plot.



الشكل (5) عملية رسم تغيرات مؤشر موثوقية على مدى سنوات متعددة

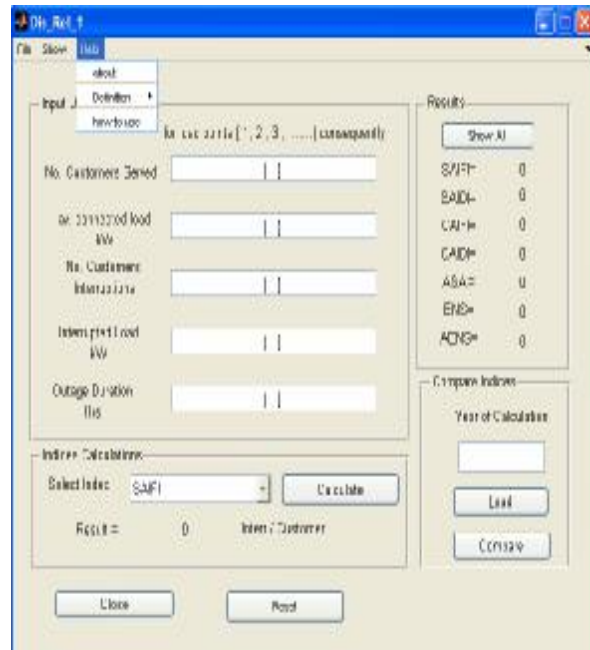
2-3 البرنامج (Dis_Rel_2):

عدّل البرنامج (Dis_Rel_1) ليستفاد منه في حساب بعض مؤشرات الموثوقية للشبكات الشعاعية في حال اختلفت بيانات الدخل المتوفرة للدراسة مهما كان عدد التقريعات وعدد المستهلكين المرتبطين، بحيث يمكن القيام بحساب

-تقديم تعريف لمؤشرات الموثوقية من القائمة (definition)، والعلاقات الرياضية لها، مما يساعد مستخدم البرنامج في توضيح هذه المؤشرات.

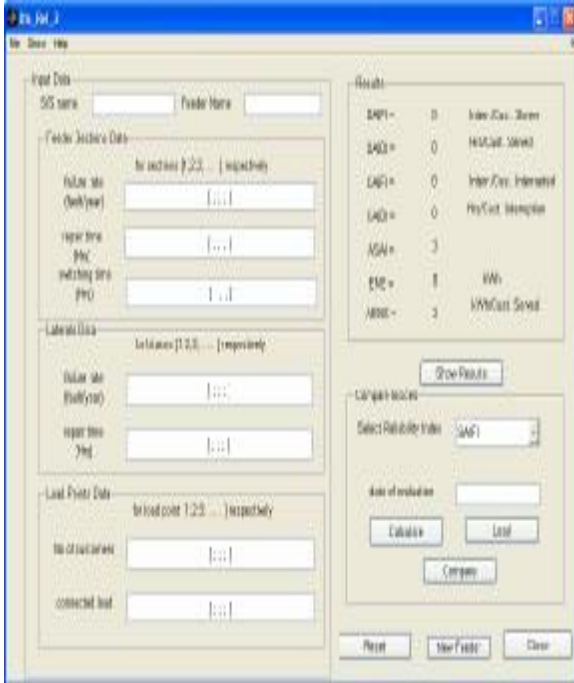
- تقديم ملخص عن كيفية استخدام البرنامج، من القائمة (how to use). ويبين الشكل (4) واجهة البرنامج مبيّناً عليها محتويات القائمة Help. كما أُضيفتُ خانة باسم Results تظهر فيها النتائج مجمعة كلّها.

يتمتع البرنامج بإمكانية مقارنة قيم أحد مؤشرات الموثوقية ومراقبة تغيراته خلال مدة زمنية معينة، وهي عادة على مدار عدة سنوات.



الشكل (4) واجهة البرنامج، مبيّناً عليها القائمة Help.

أنجز هذه العملية باستخدام الخانة Compare Indices، إذ تُدخّل السنة التي تُؤخذ بيانات الدخل خلالها، وذلك بعد إعطاء أمر حساب المؤشر الذي نريد مراقبته، ثم نقوم بالضغط على الأيقونة Load، فينشأ نسقان، الأول بالاسم Indices مؤلف من قيمة المؤشر والثاني بالاسم Years وهو مؤلف من السنة التي أُخذتِ البيانات خلالها. بإدخال



الشكل (6) الواجهة الرئيسية للبرنامج (Dis_Rel_2)

3-3 البرنامج (Dis_Rel_3):

وهو برنامج شبيه بالبرنامج (Dis_Rel_2)، إلا أنه خاص بالتطبيق على الشبكات الحلقية المفتوحة، أي إن هذا البرنامج يستخدم عندما يُعزّل المقطع المتعطل، وعندما تتوفر إمكانية إعادة التغذية على بقية المراكز.

يستخدم هذا البرنامج المعطيات المستخدمة نفسها في البرنامج Dis_Rel_2، وله نفس إمكانيات هذا البرنامج.

4- تطبيق البرمجيات المنجزة في تحليل موثوقية شبكات توزيع نموذجية

استُخدم البرنامج (Dis_Rel_1) لحساب الشبكة المبيّنة في الشكل (7)، وذلك بهدف التأكد من صحة عمل البرامج المنفذة.

بعض مؤشرات الموثوقية عند معالجة البيانات المأخوذة من واقع الشبكة السورية، إذ إنّ البيانات المتوافرة والمسجلة في شركات توزيع الكهرباء في سورية تتضمن بشكل رئيسي عدد الانقطاعات وزمن استمرارها، وقد لا يتوافر دائماً بيانات عن عدد المستهلكين المتضررين جراء كل انقطاع وعند كل نقطة تقريع. لذا فهذا البرنامج يأخذ بيانات الدخل الآتية:

- المعدل الوسطي للانقطاع السنوي للأجزاء الرئيسية للمغذيات (Sections of Feeders).
- المعدل الوسطي للانقطاع السنوي للتفرعات (Laterals).
- الزمن الوسطي للإصلاح لكل من المغذيات والتفرعات.

- الزمن الوسطي لإعادة وصل القواطع السكنية في المقسمات (Manual Sectionalizers).

- العدد التقريبي للمستهلكين المرتبطين بكل فرع.
- الاستطاعة التقريبية المطلوبة من كل فرع.

ويبيّن الشكل (6) واجهة البرنامج الرئيسية، مبيّناً عليها بيانات الدخل المطلوبة فضلاً عن أسلوب إدخال هذه البيانات.

والبرنامج مزود بقوائم كتلك التي في البرنامج Dis_Rel_1، فضلاً عن إمكانية إدخال اسم المحطة، واسم المغذي المراد حسابه، كما ويمك البرنامج إمكانية حساب مؤشرات الموثوقية لجميع المغذيات الصادرة من محطة تحويل واحدة، وذلك عن طريق اختيار مغذٍ آخر ليصار إلى إدخال بيانات الدخل الخاصة به، وذلك من الخيار (New Feeder). ويقوم البرنامج بحساب مؤشرات الموثوقية المبيّنة في الشكل (6).

الجدول (3) مؤشرات نقاط الحمل

U_L (Hrs/year)	r (Hrs)	λ (fault/year)	load point
1.2	6.0	0.20	L_1
1.7	5.7	0.30	L_2
2.9	6.4	0.45	L_3

الجدول (4) بيانات نظام التوزيع

Average load demand in kW	No. of Customer	Load point
1000	200	L_1
700	150	L_2
400	100	L_3
$L_T = 2100$	$N_T = 450$	

الحل اليدوي:

معدلات الانقطاع السنوية للأحمال

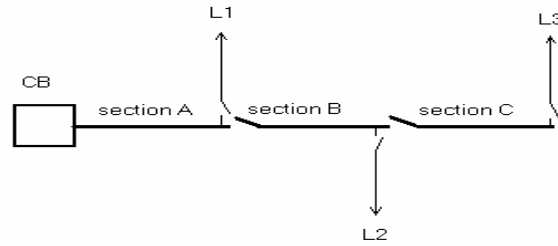
$$\lambda_{total,L1} = \lambda_A + \lambda_B + \lambda_C + \lambda_{L1} = 0.2 + 0.1 + 0.15 + 0.2 = 0.65 f/yr$$

$$\lambda_{total,L2} = \lambda_A + \lambda_B + \lambda_C + \lambda_{L2} = 0.2 + 0.1 + 0.15 + 0.3 = 0.75 f/yr$$

$$\lambda_{total,L3} = \lambda_A + \lambda_B + \lambda_C + \lambda_{L3} = 0.2 + 0.1 + 0.15 + 0.45 = 0.9 f/yr$$

- مؤشر القيمة الوسطية لتكرار انقطاع النظام (SAIFI):

العدد الوسطي للمستهلكين المتضررين (انقطاعات

المستهلكين) سنوياً نتيجة الأعطال عند نقطة الحمل L_1 :

الشكل (7) مغذ شعاعي يغذي ثلاثة مخارج

تتألف الشبكة من مغذي رئيس [3]، يتألف من ثلاثة أقسام رئيسية A, B, C، يتفرع عنه ثلاثة فروع L_1, L_2, L_3 ، حيث يتركز حمل كل فرع في نهايته كما هو مبين في الشكل (7).

يبين الجدول (2) بيانات أقسام المغذي الشعاعي، في حين يبين الجدول (3) مؤشرات نقاط الحمل (معدل تكرار العطل "λ"، زمن استمرار العطل "r"، والزمن الوسطي الذي تستغرقه فرق الصيانة لوصول القواطع السكنية في مسار المغذي لعزل العطل وتغذية الأقسام غير المتأثرة R_{MS} وهو بمقدار نصف ساعة كما جاء في المرجع المذكور، أمّا الجدول (4) فتبين بيانات نظام التوزيع.

المطلوب تحديد مؤشرات الموثوقية الآتية:

SAIFI, SAIDI, CAIFI, CAIDI, ASAI, ENS, AENS.

الجدول (2) بيانات أقسام المغذي

R_{MS} (Hrs)	r (Hrs)	λ (fault/year)	Section
0.5	6	0.20	A
0.5	5	0.10	B
0.5	8	0.15	C

$$CAIDI = \frac{\sum r_i \cdot N_i}{\sum N_i}$$

$$= \frac{(3.88 \times 130) + (4.65 \times 112.5) + (6.42 \times 90)}{332.5} = 4.83 \text{ Hrs/}$$

customer interrupted

- مؤشر القيمة الوسطية لمدى توافر التغذية (ASAI):

$$ASAI = \frac{N_T \times 8760 - \sum r_i \cdot N_i}{N_T \cdot 8760}$$

$$= \frac{450 \times 8760 - 1653.6}{450 \times 8760} = 0.9996$$

- مؤشر الطاقة غير المقدمة (ENS):

الحمل الوسطي المنقطع سنوياً نتيجة الأعطال عند الحمل L_1 :

$$L_{L1,i} = \lambda_{total,L1} \cdot L_{i2} = 0.65 \times 1000 = 650 \text{ KW}$$

وبالمثل فإن:

$$L_{L2,i} = \lambda_{total,L2} \cdot L_{i2} = 0.75 \times 700 = 525 \text{ KW}$$

$$L_{L3,i} = \lambda_{total,L3} \cdot L_{i3} = 0.9 \times 400 = 360 \text{ KW}$$

$$ENS = \sum L_i \cdot r_i$$

$$= (650 \times 3.88) + (525 \times 4.65) + (360 \times 6.42)$$

$$= 7274.45 \text{ kWh}$$

- مؤشر القيمة الوسطية للطاقة غير المقدمة (AENS):

$$AENS = \frac{ENS}{N_T} = \frac{7274.45}{450} =$$

16.16 kWh/ customer served

الحل باستخدام البرنامج المنجز

يظهر الشكل (8) واجهة هذا البرنامج (Dis_Rel_1)، ويظهر عليها بيانات الدخل والنتائج المحسوبة.

$$NL1i = \lambda_{total,L1} \times N_{i1} = 0.65 \times 200 = 130$$

وبالمثل فإن:

$$N_{L2,i} = \lambda_{total,L2} \times N_{i2} = 0.75 \times 150 = 112.5$$

$$N_{L3,i} = \lambda_{total,L3} \times N_{i3} = 0.9 \times 100 = 90$$

ومنه فإن:

$$SAIFI = \frac{\sum N_i}{N_T} = \frac{130 + 112.5 + 90}{450} = \frac{332.5}{450} =$$

0.738 interr./ cust. served

- مؤشر القيمة الوسطية لزمن استمرار انقطاع النظام (SAIDI):

عند الحمل L_1 ، يكون المتوسط السنوي لزمن الانقطاع:

$$\bar{r}_{L1} = \frac{\sum \lambda_i r_i}{\lambda_{total,L1}} = \frac{(\lambda_A \cdot r_A) + (\lambda_B \cdot r_B) + (\lambda_C \cdot r_C) + (\lambda_{L1} \cdot r_{L1})}{\lambda_{total,L1}}$$

$$= \frac{(0.2 \times 6) + (0.1 \times 0.5) + (0.15 \times 0.5) + (0.2 \times 6)}{0.65} = 3.88 \text{ Hrs/yr}$$

وبالمثل عند الحمل L_2 :

$$\bar{r}_{L2} = \frac{\sum \lambda_i r_i}{\lambda_{total,L2}} = \frac{(\lambda_A \cdot r_A) + (\lambda_B \cdot r_B) + (\lambda_C \cdot r_C) + (\lambda_{L2} \cdot r_{L2})}{\lambda_{total,L2}}$$

$$= \frac{(0.2 \times 6) + (0.1 \times 5) + (0.15 \times 8) + (0.45 \times 6.4)}{0.9} = 6.42 \text{ Hrs/yr}$$

وعند L_3 :

$$\bar{r}_{L3} = \frac{\sum \lambda_i r_i}{\lambda_{total,L3}} = \frac{(\lambda_A \cdot r_A) + (\lambda_B \cdot r_B) + (\lambda_C \cdot r_C) + (\lambda_{L3} \cdot r_{L3})}{\lambda_{total,L3}}$$

$$= \frac{(0.2 \times 6) + (0.1 \times 5) + (0.15 \times 8) + (0.45 \times 6.4)}{0.9} = 6.42 \text{ Hrs/yr}$$

ومن ثم:

$$SAIDI = \frac{\sum r_i \cdot N_i}{N_T} = \frac{(3.88 \times 130) + (4.65 \times 112.5) + (6.42 \times 90)}{450} =$$

3.57 Hrs / customer served

- مؤشر القيمة الوسطية لزمن استمرار انقطاع المستهلك (CAIDI):

كافية لإعطاء قيم وسطية ومقبولة لحساب مؤشرات الموثوقية وإعطاء تصور مقبول عن موثوقية الشبكة.

قُدِّرَ عدد المشتركين وبشكل وسطي في مركز التحويل KV 20/0.4 بحدود ألف مشترك تقريباً، وعلى أرض الواقع، قد يصل عدد المستخدمين الفعلي للمركز بحدود سبعمائة مشترك تقريباً.

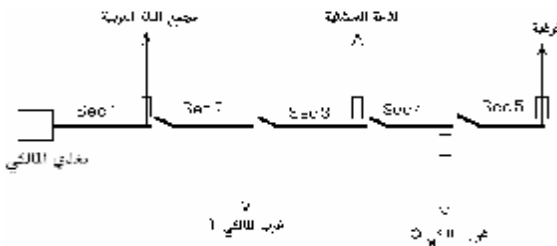
قُدِّرَتِ الاستطاعة الوسطية لمراكز التحويل KV 20/0.4 بحدود 1000 KVA يتم استجرار استطاعة قدرها 450 KW منها تقريباً بشكل وسطي.

استُخدمَ كل من البرنامج Dis_Rel_2 والبرنامج Dis_Rel_3 لحساب بعض مؤشرات الموثوقية لهذه المغذيات، حيث تم القيام بالحساب في حال لم تجر عملية تغذية حلقيه للأجزاء غير المتعطلة، وفي حال غُذِّيت بقية المراكز بعد عزل الجزء المتعطل وذلك بهدف إجراء مقارنة لتغير قيم مؤشرات الموثوقية في كلتا الحالتين.

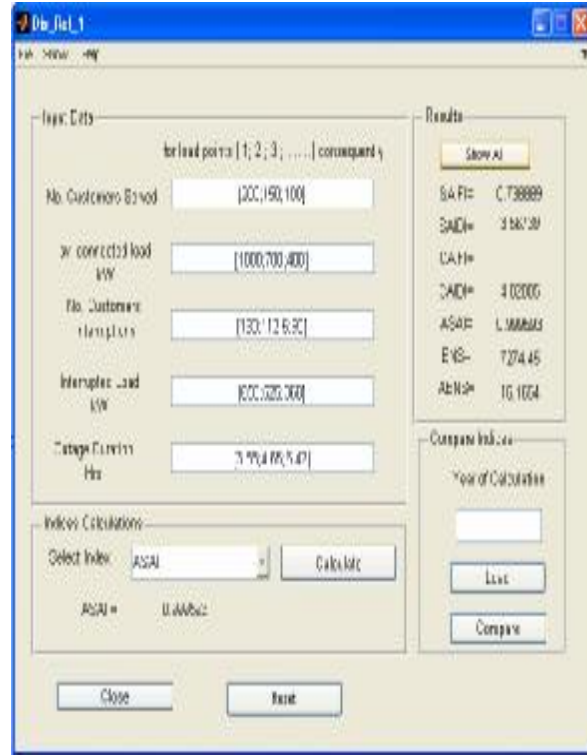
وقد اختير مغذيان فقط ليصار إلى عرضهما في هذا البحث كأمثلة على تطبيق البرامج المنجزة، وهما مغذي المالكي ومغذي المهني.

5-1- مغذي المالكي:

وهو مغذٍ سكني صادر عن محطة تحويل الأمويين في مدينة دمشق. يبين الشكل (9) مخططاً رمزياً لهذا المغذي.



الشكل (9) مخطط رمزي لمغذي المالكي



الشكل (8) تطبيق المثال السابق وحساب مؤشرات الموثوقية

نلاحظ أن المؤشر CAIFI لم يُحسَب، ذلك أن عدد المستهلكين الذين تكررت عندهم الانقطاعات غير معروف (من المرجح الذي طُبِّقَ المثال منه)، إذ إنَّ هذا العدد يتم الحصول عليه في أثناء عملية توثيق الأعطال الحاصلة.

5-2- تطبيق البرمجيات المنجزة في تحليل موثوقية شبكات توزيع صغيرة من المنظومة الكهربائية السورية

استُخْلِصَتُ وبالتنسيق مع الشركة العامة لكهرباء محافظة دمشق البيانات اللازمة لتقويم موثوقية بعض شبكات التوزيع في مدينة دمشق، فقد استُخْلِصَتِ المعلومات الموثقة عن الأعطال والانقطاعات الحاصلة على هذه المغذيات في مدة عشر سنوات، بدءاً من تاريخ 2000/1/1م وحتى تاريخ 2009/12/31م، وهي فترة



الشكل (10) يبيّن مؤشرات الموثوقية لمغذي المالكي في حال التغذية الشعاعية دون اعتبار انقطاعات الصيانة والمناورة وذلك في المدة الزمنية المذكورة

نلاحظ أن المؤشر CAIFI لم يتم حسابه بسبب عدم توفر بيانات الدخل اللازمة في الوقت الراهن (من عملية توثيق الأعطال في شركات توزيع الكهرباء).

(2) حالة اعتبار التغذية الشعاعية مع اعتبار الانقطاعات الحاصلة بسبب عمليات المناورة والصيانة

يبيّن الجدول (6) بيانات الدخل الخاصة بهذه الحالة.

وُدرست مؤشرات الموثوقية لهذا المغذي في ثلاث حالات:

(1) حالة اعتبار التغذية شعاعية دون اعتبار الانقطاعات الحاصلة بسبب عمليات المناورة والصيانة.

يبيّن الجدول (5) بيانات الدخل التي استُخرجت من تقارير الأعطال لهذا المغذي في هذه الحالة.

الجدول (5) بيانات الأعطال لمغذي المالكي في حال عدم اعتبار الانقطاعات الناجمة عن عمليات الصيانة والمناورة

1- Reliability data				
	Com P	Failure Rate f/yr	Repair Time(h)	Switch Time (h)
Sections	1	0.6	1.97	1
	2	0.1	1.63	1
	3	0.2	1.22	1
	4	0.1	3	1
	5	0.2	0.875	1
Laterals		0.742	2	1
Load Data	Mean Number of Customers		Average Load demand (KW)	
	100		450	

تم الحصول على مؤشرات الموثوقية لهذا المغذي في هذه الحالة بإدخال البيانات المبينة في الجدول (5) في البرنامج Dis_Rel_2، والنتائج مبينة في الشكل (10).



الجدول (6) بيانات الأعطال لمغذي المالكي في حال اعتبار الانقطاعات الناجمة عن عمليات الصيانة والمنورة.

Reliability data				
	Comp	Failure Rate f/yr	Repair Time (h)	Switch Time(h)
Sections	1	1.2	1.37	1
	2	0.2	1	1
	3	0.5	0.95	1
	4	0.2	2.25	1
	5	0.5	0.54	1
Laterals		0.742	2	1
Load Data	Mean Number of Customers		Average Load demand (KW)	
	700		450	

الشكل (11) مؤشرات الموثوقية لمغذي المالكي في حال التغذية الشعاعية مع اعتبار انقطاعات الصيانة والمنورة وذلك في المدة الزمنية المذكورة



تم الحصول على مؤشرات الموثوقية لهذا المغذي في هذه الحالة بإدخال البيانات المبينة في الجدول (6) في البرنامج Dis_Rel_2، والنتائج مبينة في الشكل (11).

3) حالة اعتبار التغذية حلقة

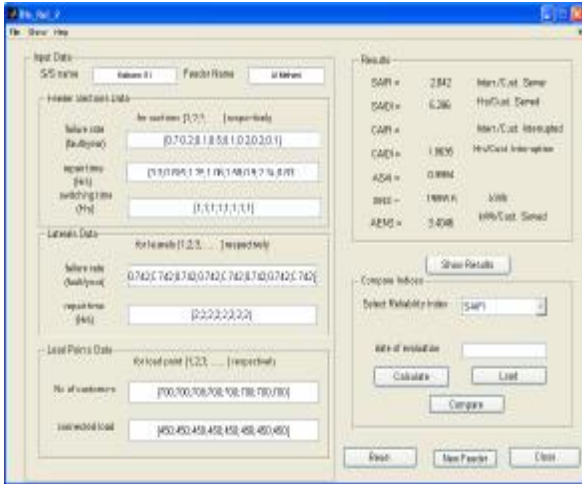
تم الحصول على مؤشرات الموثوقية لهذا المغذي في هذه الحالة بإدخال البيانات المبينة في الجدول (6) السابق في البرنامج Dis_Rel_3، والنتائج مبينة في الشكل (12).

الشكل (12) مؤشرات الموثوقية لمغذي المالكي في حال التغذية الحلقية، مع اعتبار انقطاعات المنورة والصيانة وذلك في المدة الزمنية المذكورة

5-2- مغذي المهني:

تم الحصول على مؤشرات الموثوقية لهذا المغذي في هذه الحالة بإدخال البيانات المبينة في الجدول (7) في البرنامج Dis_Rel_2، والنتائج مبينة في الشكل (14).

وهو مغذٍ صادر عن محطة تحويل القابون/1 في مدينة دمشق. يبين الشكل (13) مخططاً رمزياً لهذا المغذي.



الشكل (13) مخطط رمزي لمغذي المهني

وقد تمت دراسة مؤشرات الموثوقية لهذا المغذي في ثلاث حالات أيضاً:

1) حالة اعتبار التغذية شعاعية بدون اعتبار الانقطاعات

الحاصلة بسبب عمليات المناورة والصيانة.

يبين الجدول (7) بيانات الدخل التي تم استخراجها من تقارير الأعطال الخاصة لهذا المغذي.

الجدول (7) بيانات الأعطال لمغذي المهني في حال عدم اعتبار الانقطاعات الناجمة عن عمليات الصيانة والمناورة

الشكل (14) يبين مؤشرات الموثوقية لمغذي المهني في حال التغذية الشعاعية دون اعتبار انقطاعات الصيانة والمناورة وذلك في المدة الزمنية المذكورة

2) حالة اعتبار التغذية شعاعية مع اعتبار الانقطاعات الحاصلة بسبب عمليات المناورة والصيانة

يبين الجدول (8) بيانات الدخل الخاصة بهذه الحالة.

الجدول (8) بيانات الأعطال لمغذي المهني في حال اعتبار الانقطاعات الناجمة عن عمليات الصيانة والمناورات.

Reliability data				
	Com p.	Failure Rate f/yr	Repair Time (h)	Switch Time (h)
Sections	1	0.7	3.3	1
	2	0.2	0.875	1
	3	0.1	1.25	1
	4	0.5	1.06	1
	5	0.1	1.58	1
	6	0.2	0.9	1
	7	0.2	2.34	1
	8	0.1	0.83	1
Laterals		0.742	2	1
Load Data	Mean Number of Customers		Average Load Demand (KW)	
	700		450	

Reliability data				
	Comp.	Failure Rate f/yr	Repair Time (h)	Switch Time(h)
Sections	1	1.4	3.12	1
	2	0.2	0.875	1
	3	0.5	2.1	1
	4	1	1.18	1
	5	0.1	1.58	1
	6	0.2	0.9	1
	7	0.2	2.34	1
	8	0.2	1.18	1
Laterals		0.742	2	1
Load Data	Mean Number of Customers		Average Load demand (KW)	
	700		450	



الشكل (16) مؤشرات الموثوقية لمغذي المهني في حال التغذية الحلقية، مع اعتبار انقطاعات المناورة والصيانة وذلك في المدة الزمنية المذكورة

كما ذكر سابقاً، فإن البرامج المنجزة قابلة للتطبيق على المغذيات الكهربائية مهما كان عدد التقريعات الصادرة عن تلك المغذيات، ومهما كان عدد المستهلكين المرتبطين بتلك المغذيات. والغاية من تطبيق هذه البرامج هي معرفة قيم موثوقية هذه المغذيات، وإجراء مقارنات في حال جرى تعديل معين في طرائق التوصيل، أو في حال إضافة تجهيزات جديدة أو تقنيات جديدة إلى تلك المغذيات وطرائق تشغيلها.

تم الحصول على مؤشرات الموثوقية في هذه الحالة بإدخال البيانات المبينة في الجدول (8) في البرنامج Dis_Rel_2، والنتائج مبينة في الشكل (15).

3) حالة اعتبار التغذية حلقية

تم الحصول على مؤشرات الموثوقية لهذا المغذي في هذه الحالة بإدخال البيانات المبينة في الجدول (8) في البرنامج Dis_Rel_3، والنتائج مبينة في الشكل (16).



الشكل (15) مؤشرات الموثوقية لمغذي المهني في حال التغذية الشعاعية مع اعتبار انقطاعات الصيانة والمناورة وذلك في المدة الزمنية المذكورة

باستخدام البرنامج المنجز. وبعد ذلك قُدِّم البرنامج DIS_REI_2 لحساب مؤشرات الموثوقية في شبكات توزيع صغيرة من المنظومة الكهربائية السورية ذات التوصيل الشعاعي، والبرنامج DIS_REI_3 للشبكات ذات التوصيل الحلقي. وأخيراً جرى عرض تطبيق عملي للبرنامجين المذكورين على مغذيين اثنين من واقع شبكة التوزيع الكهربائية لمدينة دمشق، وحساب مؤشرات الموثوقية لهما. من مقارنة كل من الشكلين (11) و(12)، والشكلين (15) و(16) يمكن ملاحظة الفرق الحاصل عند تطبيق التغذية الحلقية، إذ نلاحظ في مثال مغذي المهني أن مؤشر تكرار حدوث العطل بقي بقيمة (5.542) انقطاع في السنة عن كل مستهلك مشترك في النظام، وذلك في كلتا الحالتين الشعاعية والحلقية، ذلك لأن حدوث الأعطال لا يتعلق بشكل توصيل الشبكة. غير أن مؤشر القيمة الوسطية لزم استمرار الانقطاع قد انخفض من القيمة (8.9601) إلى القيمة (5.7999) ساعة في السنة، وذلك عند كل مستهلك مشترك في المغذي المدروس. ومن ثمَّ فإن القيمة الوسطية للطاقة غير المقدمة لكل مستهلك قد انخفضت من القيمة (5.7601) إلى القيمة (3.7265) كيلوواط ساعي، ومن ثمَّ فإن مؤشر مدى توافر التغذية (ASAI) قد تحسن من القيمة (0.99893) إلى القيمة (0.99934) في حال تطبيق تغذية حلقية على المغذي المذكور.

وقد اقتصر عرض مغذي المالكي والمهني هنا بقصد إظهار كيفية تطبيق تلك البرامج على مغذيات من شبكة التوزيع السورية.

وكما هو ملاحظ في الأشكال السابقة، فإن المؤشر CAIFI لم يجري حسابه، ذلك بسبب عدم توافر بيانات الدخل اللازمة التي كان من المفترض توثيقها عند عملية توثيق الأعطال الكهربائية. ويمكن مستقبلاً حساب هذا المؤشر وغيره من مؤشرات الموثوقية عند توافر توثيق أفضل لحالات الأعطال في شركات التوزيع الكهربائية السورية.

6 ملخص واستنتاجات

يعرض البحث برامج صُمِّمت بهدف تقويم موثوقية شبكات التوزيع في الشبكة الكهربائية السورية، وذلك عن طريق حساب بعض مؤشرات الموثوقية لمغذيات توزيع رئيسية ذات توتر 20 kv. وتكمن أهمية هذا العمل بأنه تضمن دراسة موثوقية بعض المغذيات الرئيسية في شبكة التوزيع السورية (20 KV)، للمرة الأولى.

عُرِضت بدايةً بعض الأسس النظرية لحساب الموثوقية، ثم عُرِضَ البرنامج DIS_REL_1 الذي أُعدَّ لحساب مؤشرات موثوقية وهكذا شبكات باستخدام بيئة MATLAB. بهدف التأكد من صحة عمل البرنامج حُلَّت الموثوقية لشبكة توزيع نموذجية وعملية بالحل اليدوي ثم

المراجع:

- [1] R. Billinton and R.N. Allan, Reliability Evaluation of Power Systems. 2nded, New York: USAL Plenum Press, 1996.
- [2] Lawton, L et al, "A framework and review of customer outage cost", Lawrence Berkley National Laboratory, LBNL-54365, Nov2003.
- [3] Turan Gonen, "Electric Power Distribution System Engineering", 2008.
- [4] R. Lynn Fish, review of Electric Service Quality and Reliability at Florida Power & Light company and Florida Power Corporation, 2000.
- [5] A. Sumper, A. Sudrià and F. Ferrer, International Reliability Analysis in Distribution Networks, CITCEA, Universitat Politècnica de Catalunya, Av. Diagonal, 647. Pavelló A; 08028 Barcelona (Spain).