

دراسة مقارنة بين شبكات بتري الضبابية التقليدية وشبكات بتري الضبابية الجديدة المتكيفة المستخدمة في التنبؤ بأداء الشبكات الكهربائية

د. طارق خير بك*

د. أحمد سلمان أحمد**

رهف سليمان***

(تاريخ الإيداع 15 / 3 / 2021. قُبل للنشر في 26 / 5 / 2021)

□ ملخص □

يشير مصطلح التنبؤ إلى الوسائل التي تعمل على توقع الأخطار المحتملة أثناء عمل الشبكات الكهربائية قبل حدوثها من أجل تجنب آثارها السلبية على التشغيل والتجهيزات. تلعب شبكات بتري الضبابية FPN دوراً مهماً في هذا المجال بسبب خصائصها الرياضية والطبغرافية التي تسمح بتمثيل مجال واسع من احتمالات الأحداث. قمنا في هذا البحث بتقديم دراسة مقارنة بين شبكات بتري الضبابية التقليدية وشبكات بتري الضبابية المكيفة AFPN التي قمنا بتطويرها من أجل أن تتكيف مع الشروط المتغيرة التي تؤثر على عمل الشبكة. استخدمنا شبكة IEEE 9 bus system لإجراء تحليل المقارنة عند حالة حمل زائد ثم عند إضافة شروط بيئية متغيرة وناقشنا النتائج.

الكلمات المفتاحية: التنبؤ بالأداء، الشبكات الكهربائية، شبكات بتري الضبابية.

* أستاذ - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.
** أستاذ مساعد - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.
*** طالبة دكتوراه - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

A Comparison Study Between Original Fuzzy Petri Nets and the New Adapting Fuzzy Petri Nets Used in Power Systems Prognosis

Dr. Tarek Kherbek*
Dr. Ahmad Salman Ahmad**
Rahaf Solaiman***

(Received 15 / 3 / 2021. Accepted 26 / 5 / 2021)

□ ABSTRACT □

The term prediction refers to means that anticipate potential hazards during electrical network operation before they occur in order to avoid their negative effects on operation and equipment. Petri fuzzy networks (FPNs) play an important role in this field due to their mathematical and topographic properties that allow the representation of a wide range of event probabilities. In this paper, we present a comparative study between conventional fuzzy Petri networks and AFPN-adapted fuzzy Petri networks, which we have developed in order to adapt to changing conditions affecting the network's operation. We used the IEEE 9 bus system network to perform a comparison analysis at an overload condition and then as variable environmental conditions added and discussed the results.

Keywords: performance prediction, electrical networks, petri fog networks.

*Professor - Electrical Power Department- Faculty of Mechanical and Electrical Engineering - Tishreen university- Lattakia- Syria.

**Associate Professor - Electrical Power Department- Faculty of Mechanical and Electrical Engineering - Tishreen university- Lattakia- Syria.

***Postgraduate Student(Ph.D.) Electrical Power Department- Faculty of Mechanical and Electrical Engineering - Tishreen university - Lattakia- Syria.

مقدمة:

عند تشغيل واستثمار الشبكات الكهربائية من المهم الحفاظ على الأداء ضمن مستويات مقبولة تضمن جودة الطاقة المغذاة إلى المستهلكين، هناك العديد من النظريات والطرق التي استخدمت في هذا المجال حيث تشترك جميعها في السعي لتقييم أداء النظام من أجل تحديد العناصر أو الأقسام المعطلة لاتخاذ إجراءات مناسبة لعودة العمل الطبيعي للشبكة. من أهم الطرق المستخدمة في هذا المجال عمليتا التشخيص والتنبؤ بأداء الشبكات الكهربائية، حيث تهدف الأولى إلى تقييم أداء النظام في الزمن الحالي بينما يعمل التنبؤ على توقع كيف سيكون أداء النظام عند افتراض شروط معينة عادة يتم افتراض حالات أعطال أو حمولات زائدة [1]. تمتد الشبكات الكهربائية على مساحات واسعة تتضمن تغيرات جغرافية ومناخية حيث تتأثر بالعديد من العوامل المحيطة (درجة حرارة، برق، رياح...) حيث يعتبر إدخال تأثير هذه العوامل مهماً لتقييم أفضل [2].

من أكثر الطرق استخداماً في تشخيص أعطال الشبكات الكهربائية العصبونية والتي تستخدم البيانات التاريخية لتحديد القسم المحتمل تعطيله [3] ولكنها تحتاج لكثير من البيانات وتحتاج زمن معالجة طويل نسبياً بسبب الحاجة لإعادة التدريب عند كل تغيير. الخوارزمية الجينية وهي إحدى طرق الحل الامثل التي تعمل على البحث عن فرضية العطل المناسبة لرسائل الإنذار المتوافرة [4]. المنطق الضبابي من الطرق المستخدمة بكثرة في هذا المجال بسبب قدرته على التعامل مع نقص البيانات وتغطية مجال احتمالي واسع للأحداث، يتم استخدام توابع العضوية في المتحركات الضبابية لتحديد دلالات البيانات المتوافرة من النظام للأعطال المحتملة [5]، في [6] تم استخدام قيم التيارات لتشخيص الأعطال. نظراً لمقدرة النظام الضبابي فإن العديد من الباحثين لجؤوا لجمع المنطق الضبابي مع نظريات أخرى لتحسين أدائها وخاصة الشبكات العصبونية مثل [7] التي تستقصي الأعطال الأحادية والمعقدة. إضافة لشبكات بترى الضبابية التي تعد من تطبيقات دمج المنطق الضبابي الهامة والتي تتمتع بتمثيل رياضي وطبوغرافي للشبكات، عادة تمثل العناصر بشكل منفصل [8]، استخدام معادلات شبكات بترى الضبابية [9] استخدام مصفوفة التأثير لتقليل زمن العمل [10] اخذ زمن عمل الحماية بالاعتبار [11] ادخال القيود الزمنية. [12]

يهدف التنبؤ بالأداء إلى توقع بعض الأخطار المحتملة قبل حدوثها لتجنب اثارها، تعد نظريات الذكاء الصناعي أدوات فعالة في هذا المجال كالشبكات العصبونية التي استخدمت في [13] لتوقع حالات الأخطار المقابلة لحالات تحميل محددة سابقاً، النظرية الاحتمالية استخدمت لتوقع مشاكل الجهد في شبكات النقل، [14] ، إضافة للمنطق الضبابي الذي يعتمد على قواعد if-then. [15] [16]، شبكات بترى العادية استخدمت للتنبؤ بالأداء اعتماداً على حساب احتمالات إطلاق الانتقالات [17] ، شبكات بترى الضبابية ظهرت بقوة في هذا المجال حيث يسمح تضمين المنطق الضبابي بزيادة المجالات الاحتمالية لتمثيل الاحداث وبالتالي تحسيت تحليل الاداء كما في [18] ، والاشارة للحالات غير الطبيعية في العناصر كما في [19].

في شبكات بترى الضبابية التقليدية يتم استخدام رسائل الإنذار من أجهزة الحماية لتحديد القسم المعطل بالتالي لا يتم إدخال أي شروط فنية خاصة بالعناصر أو شروط مؤثرة على عمل التجهيزات أثناء التشغيل، إضافة لذلك تكون عوامل الحيرة المرتبطة بالانتقالات ذات قيم ثابتة في جميع حالات المحاكاة بشكل لا يعكس التغيرات التي تطرأ على الشبكة الكهربائية.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف هذا البحث إلى:

- بناء نموذج شبكة بتري ممثل للشبكة الكهربائية ككل متضمناً الأثر المتبادل للعناصر مع بعضها عوضاً عن التمثيل المنفصل لكل عنصر على حدى.
- إدخال تغيير الشروط البيئية إلى المحاكاة لزيادة دقة التقييم.
- تقديم مقارنة بين FPN/ AFPN في ضوء النقاط السابقة لمناقشة التغيرات التي أضافتها العوامل المتغيرة.

طرائق البحث ومواده:

تعتمد طريقة البحث على تمثيل الشبكة الكهربائية كشبكة بتري ضبابية وإيجاد درجات الحقيقة التي تعبر عن تقييم الأماكن بعد حساب سريان الاستطاعة عند تحميل زائد لاستخدام قيم جهود العقد واستطاعات الخطوط في التقييم.

الأدوات المستخدمة : Psat tool Matlab – FIS tool Matlab

مفاهيم نظرية

1- شبكات بتري الضبابية التقليدية

أنت تسمية شبكات بتري الضبابية من دمج المنطق الضبابي مع شبكات بتري بشكل يحقق الاستفادة من خصائص اتخاذ القرار في المنطق الضبابي لدعم آلية التمثيل والتقييم التي تقدمها شبكات بتري بشكل يسمح بالتعامل مع عدم الدقة والنقص في المعطيات المتعلقة بالعناصر [20].

تعرف شبكة بتري الضبابية كما يلي:

$$FPN = (P, T, D, I, O, f, \alpha, \beta) \quad (1)$$

حيث:

$P = (p_1, p_2, \dots, p_i, p_n)$ مجموعة غير منتهية من الأماكن، n عدد الأماكن.

$T = (t_1, t_2, \dots, t_i, t_m)$ مجموعة غير منتهية من الانتقالات، m عدد الانتقالات.

$D = (d_1, d_2, \dots, d_n)$ مجموعة غير منتهية من الاقتراحات وتكون مساوية لعدد الأماكن.

$P \rightarrow T$: عبارة عن مصفوفة الدخل $n \times m$ والتي تمثل الأقواس التي تربط بين الأماكن والانتقالات.

$T \rightarrow P$: عبارة عن مصفوفة الخرج $m \times n$ والتي تمثل الأقواس التي تربط الانتقالات بالأماكن.

$f: T \rightarrow [0, 1]$: تابع يربط الانتقالات بقيم بين 0 و 1

$\alpha: P \rightarrow [0, 1]$: تابع يربط الأماكن بقيم بين 0 و 1

$\beta: P \rightarrow D$: تابع يربط الأماكن بالاقتراحات

، يمكن تلخيص قواعد إطلاق النار الضبابي على النحو التالي:

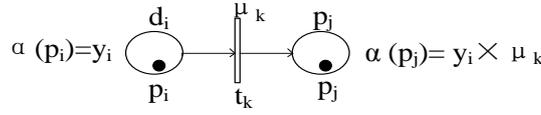
(1) وهي درجة الحقيقة للاقتراح $\beta(p_i) = d_i$, $\alpha(p_i) = y_i$ then $y_i \in [0, 1]$ If p_i is a place and

(2) إذا كان p_i مكاناً سابقاً و p_j مكاناً ناتجاً عن الانتقال tk حيث $p_j \in O(tk)$, $p_i \in I(tk)$ عندها يمكن تحديد

درجة الحقيقة لمكان الخرج كمايلي:

$$\alpha(p_j) = y_i \times \mu_k \quad (2)$$

الشكل (1) يوضح القاعدة البسيطة لشبكة بتري الضبابية الأساسية.

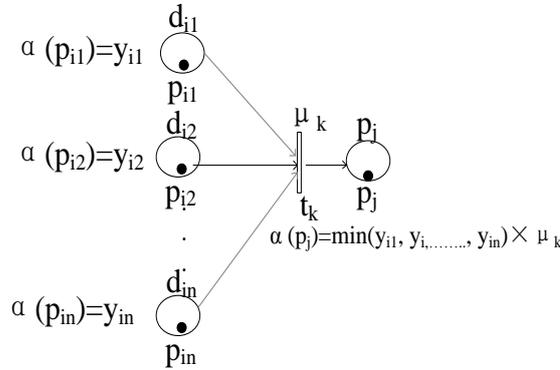


الشكل (1) القاعدة الضبابية البسيطة لشبكة بتري الضبابية الأساسية

(3) بالنسبة إلى انتقال t_k ، إذا كان $p_j \in O(t_k)$ هو مكان الإخراج وكان عدد أماكن الإدخال $p_i \in I(t_k)$ أكثر من واحد ، عندئذٍ يتم تحديد درجة الحقيقة لـ p_j بناءً على قاعدة الربط الغامض على النحو التالي:

$$\alpha(p_j) = \min(y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{in}) \times \mu_k \quad (3)$$

يبين الشكل (2) قاعدة الجمع الضبابية.

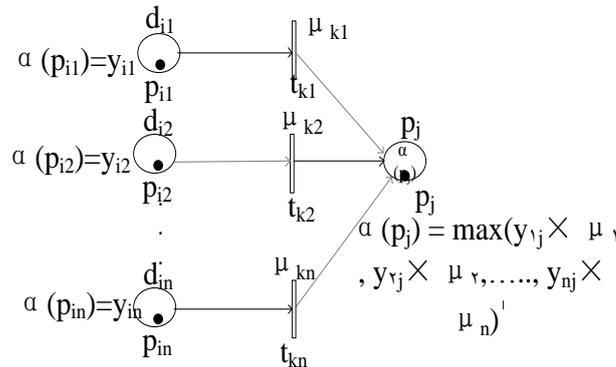


الشكل (2) قاعدة الجمع الضبابية

(4) إذا كان p_j مكانًا طرفيًا حيث $t_{kj} \in I(p_j)$ ، $p_j \in O(t_{kj})$ ، $k = 1, \dots, n$ ، فإن درجة الحقيقة لـ p_j تُعرف على النحو التالي:

$$\alpha(p_j) = \max(y_{i1} \times \mu_{k1}, y_{i2} \times \mu_{k2}, \dots, y_{in} \times \mu_{kn})$$

يبين الشكل (3) قاعدة الاختيار الضبابية.



الشكل (3) قاعدة الاختيار الضبابية

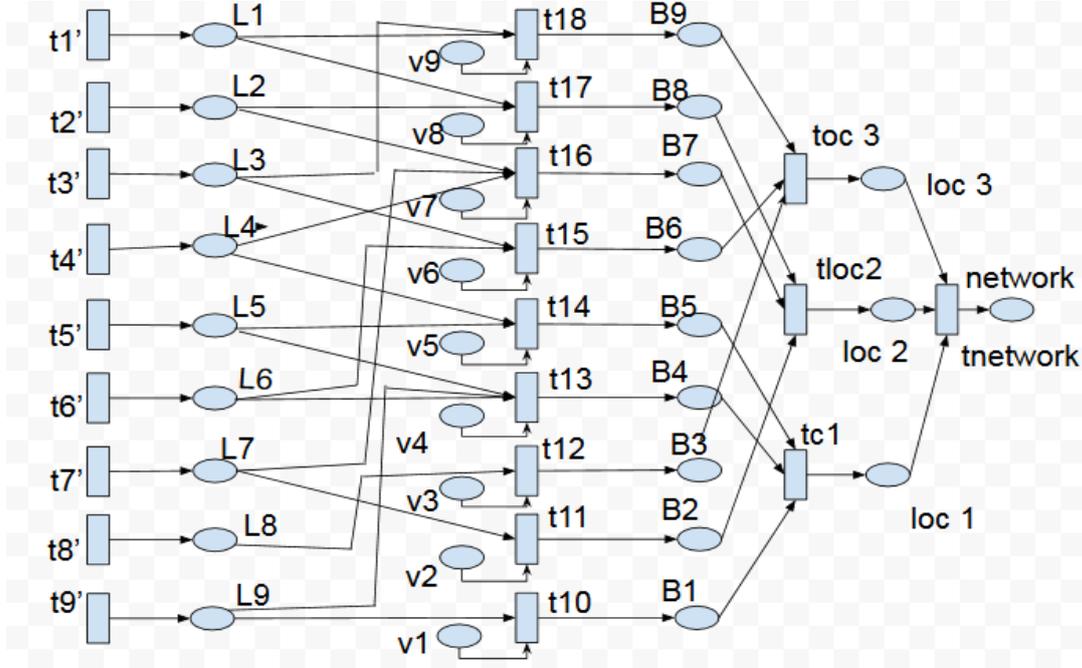
2- شبكات بتري الضبابية المتكيفة

نميز هنا ثلاثة أنواع من الانتقالات المرتبطة بعوامل حيرة مقابلة هي [21]:

حيث يتم تقييم كل باسبار من خلال تقييم الخطوط المرتبطة به وجهد البار نفسه، ثم يتم تقييم كل منطقة بتقييم باراتها ومن ثم يتم تقييم الشبكة ككل بتقييم حالة المناطق.

1- شبكات بتري الضبابية التقليدية

يبين الشكل (5) نموذج شبكة بتري التقليدية للنظام المدروس، من الجدير الذكر أننا قمنا ببناء الشبكة بشكل يمثل النظام ككل من أجل المقارنة.



الشكل (5) نموذج شبكة بتري التقليدية

تمثل الأماكن (L1 to L9) حالة خطوط النقل وهي عادة تؤخذ كمتوسط التشغيل الصحيح للخط وتعتبر نفس القيمة لجميع الخطوط وهي هنا (0.9)

الانتقالات (t1'....t9') تمثل العوامل الجوية المضافة للمحاكاة وهي هنا (0.85)

الأماكن الابتدائية (v1 to v9) تعبر عن جهود البارات وتم إدخالها كأرقام ضبابية مكافئة

الانتقالات (t10....t18) تعبر عن العلاقة بين البارات والخطوط المرتبطة بها لتقييم كل بار

الأماكن (loc1, loc2, loc3) تمثل حالة المناطق الثلاث

الانتقال t يعبر عن العلاقة بين الأماكن الممثلة للمناطق المحلية للحصول في النهاية على تقييم الشبكة ككل.

الجدول (1) يبين نتائج المحاكاة عند حالة تحميل زائد 8pu ثم عند نفس التحميل مع اختلاف الشروط البيئية.

الجدول (1) نتائج المحاكاة عند استخدام شبكات باتري التقليدية

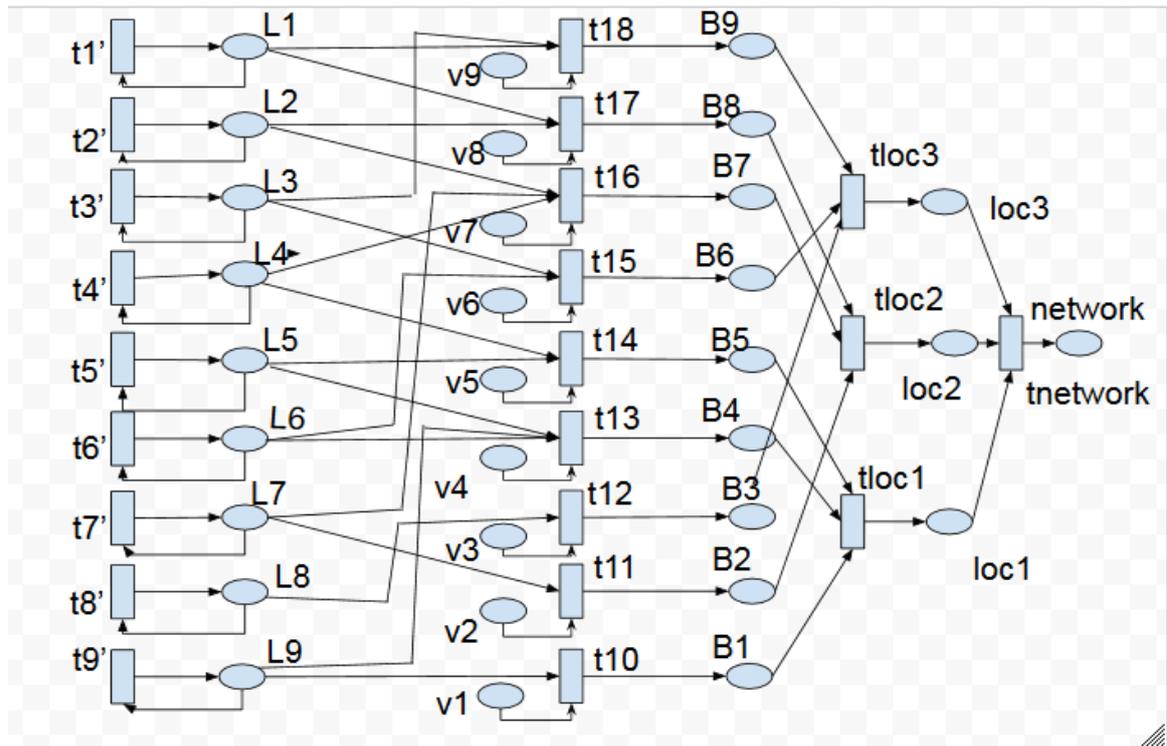
	Overload	Additional environmental factor
B1	0.76	0.72
B2	0.76	0.72
B3	0.76	0.72
B4	0.69	0.69
B5	0.67	0.67

B6	0.67	0.67
B7	0.74	0.72
B8	0.72	0.72
B9	0.76	0.72
Loc1	0.6	0.6
Loc2	0.64	0.64
Loc3	0.6	0.6
network	0.54	0.54

بالمقارنة بين القيم المبينة في الجدول نلاحظ أن القيم متطابقة عند جميع البارات تقريبا، ينتج ذلك بسبب القيم الابتدائية الثابتة لجميع العناصر وعوامل الحيرة الثابتة لجميع الانتقالات حيث لم يمكن تمييز تأثير العوامل المضافة على عمل النظام.

2- شبكات بتري الضبابية المتكيفة

يوضح الشكل (6) شبكة بتري الضبابية المتكيفة الممثلة لشبكة ال IEEE9bus system



الشكل (6) نموذج شبكة بتري المتكيفة

تتألف AFPN من الأماكن والانتقالات التالية:

الأماكن الابتدائية (L1 to L9) تعطي تمثيلاً لحالة الخطوط الابتدائية بناء على متوسط التشغيل الصحيح وطول الخط والاستطاعة السارية في الخط.

الانتقالات (t1'....t9') عبارة عن انتقالات شرطية تسمح بإدخال تغير الشروط البيئية إلى النموذج

الأماكن الابتدائية (v1 to v9) تمثل جهد العقدة لكل باسبار وتؤخذ من خلال الرقم الضبابي المكافئ لقيم الجهود الحقيقية كما في الشكل ()

- الانتقالات (t10.....t18) عبارة عن انتقالات عادية تتمثل العلاقة بين الجهود وخطوط النقل لتقييم كل بار الاماكن (B1...B9) تمثل حالة البارات
- الانتقالات (tloc1, tloc2, tloc3) عبارة عن انتقالات عادية تمثل العلاقة بين البارات لتقييم كل منطقة محلية. الاماكن (loc1, loc2, loc3) تمثل حالة كل من المناطق المحلية
- في النهاية الانتقال tnetwork يمثل العلاقة بين المناطق المقسمة لإيجاد تقييم نهائي للشبكة.
- قمنا باستخدام أداة Psat [22] في برنامج MatLab لحساب سريان الاستطاعة للشبكة وإدخال قيم الجهود والاستطاعات للمتحكمات الضبابية التي صممت باستخدام المتحكم الضبابي FIS [23] في ماتلاب أيضا المتحكمات الضبابية التي تم استخدامها هي:
- 1- FIS1 يحدد درجة الحقيقة الابتدائية للخطوط نالتالي (input: line flow, correct operation, line long ; output Line's truth degree)
- 2- FIS2 يسمح بإدخال التغيرات البيئية. (input: temp. wind speed; output: environmental CF).
- 3- FIS3 يمثل العلاقة بين البارات لتحديد أثرها على عمل الاقسام وتحديد عامل الحيرة لكل منطقة (input BI BII BIII ; output CF for every tloc).
- 4- FIS4 يمثل العلاقة بين الاقسام لتحديد. (input loc1, loc2, loc3; output CF for tnetwork).

الجدول (2) يبين القيم الابتدائية للأماكن الممثلة للخطوط المأخوذة من المتحكم FIS1

رقم الخط	متوسط التشغيل الصحيح	سريان الاستطاعة عند حمل 8pu	طول الخط km	درجة الحقيقة
1	0.95	6.304	106	0.93
2	0.95	1.63	76	0.96
3	0.95	0.85	179	0.92
4	0.95	0.16	170	0.92
5	0.95	2.9	89	0.92
6	0.95	2.9	97	0.94
7	0.99	1.63	-	0.99
8	0.99	0.85	-	0.99
9	0.99	6.3	-	0.99

هنا أجرينا تعديل على العتبات λ حيث يتم إدخال عتبة متحكم بها لتسمح بعمل الانتقالات في حالات شرطية فقط، في الحالة العادية نضع $\lambda=1$ وتكون الانتقالات الشرطية مغلقة ولكن عند تجاوز درجة الحرارة 38°C و سرعة الرياح 70 km.h^{-1} فإن العتبة ستصبح 0.5 لتكون الانتقالات متاحة وتكون قيم CF محسوبة من FIS2. هنا اعتبرنا قيمة درجة الحرارة 40°C و سرعة الرياح 90 km.h^{-1} وحصلنا على قيم معاملات الحيرة المبينة في الجدول (3):

الجدول (3) قيم عوامل الحيرة عند تغير الشروط

Constraint transitions	cf
t 1'	0.88
t 2'	0.88
t 3'	0.88
t 4'	0.9
t 5'	0.87
t 6'	0.88
t 7'	0.9
t 8'	0.9
t 9'	0.9

الجدول (4) تغيرات الأمان الابتدائية عند تغير الشروط البيئية.

	B6			B9			B3
	L3	L6	L1	L3	L8	L8	
8	0.92*0.88	0.94*0.88	0.93*0.88	0.92*0.88	0.95*0.9	0.95*0.9	
	B4			B5		B1	
	L5	L6	L9	L4	L5	L9	
8	0.92*0.88	0.94*0.88	0.95*0.9	0.92*0.9	0.92*0.88	0.95*0.9	
	B7			B8		B2	
	L2	L4	L7	L1	L2	L7	
8	0.92*0.88	0.92*0.9	0.95*0.9	0.93*0.88	0.92*0.88	0.95*0.9	

نلاحظ من الجدولين (3) و (4) تمايز القيم الابتدائية للخطوط حيث يتم أخذ طول الخط والاستطاعة التي تمر فيه لتحديد تقييم الخط وتغيير هذه القيم مع كل تغيير للاستطاعة. وفي الحالة الثانية تتغير القيم الابتدائية للخطوط بسبب إدخال تأثير العوامل البيئية عليها والذي يتغير بدوره حسب مقدار تغير درجة الحرارة وسرعة الرياح.

الجدول (5) تظهر قيم درجات الحقيقة للبارات في حالتها زيادة التحميل وتغير الشروط البيئية.

	overload	Additional environmental factor
B1	0.95	0.75
B2	0.95	0.75
B3	0.95	0.75
B4	0.62	0.51
B5	0.62	0.51
B6	0.75	0.63
B7	0.75	0.64
B8	0.75	0.64
B9	0.80	0.64
Loc1	0.57	0.62
Loc2	0.69	0.47
Loc3	0.69	0.59
network	0.53	0.49

نلاحظ من القيم المبينة في الجدول (5) الاختلاف الواضح بين قيم درجات الحقيقة للبارات والأماكن المحلية وتقييم الشبكة وذلك يوضح أهمية استخدام عوامل حيرة متغيرة وقيم ابتدائية متغيرة تمثل العناصر بشكل يعكس عملها على أرض الواقع.

نشير أيضاً إلى أن قيم درجات الحقيقة الواردة تمثل تقييماً لحالة العناصر والشبكة ككل ويتم استخدامها لتقدير اقتراب التشغيل من حالة خطرة لاستدراك الأخطار، حيث تكون الشبكة في هذه الحالة مازالت في حالة تشغيل بدون أعطال ولكن درجات الحقيقة تشير إلى الاقتراب من حالة حدية بالتالي يجب إرسال الصيانة إلى العناصر ذات درجة حقيقة منخفضة حيث يمكن فصل بعض الأحمال أو تركيب معوضات استطاعة ردية على البارات ذات المؤشرات المنخفضة.

الاستنتاجات والتوصيات:

قدمنا في هذا البحث دراسة حالة للتنبؤ بأداء الشبكات الكهربائية باستخدام FPN/AFPN لعرض الفوارق التي أضافتها الأنواع الجديدة من عوامل الحيرة المتغيرة. حيث لاحظنا أن شبكات بتري الضبابية المتكيفة ساهمت بإظهار التمايز بين قيم درجات الحقيقة للأماكن الممثلة لعناصر وأقسام الشبكة بسبب قدرتها على التكيف مع تغير الشروط بتغيير عوامل الحيرة والقيم الابتدائية، هذه التغييرات ساهمت بجعل عملية التنبؤ أكثر مرونة وأقل تعقيداً وقللت من زمن المعالجة بسبب عدم الحاجة لإعادة بناء الشبكة عند كل تغيير.

وفي ضوء هذه النتائج نوصي بالتوسع في استخدام شبكات بتري الضبابية المتكيفة على شبكات محلية وقياسية جديدة، إضافة للتوسع بالشروط المدخلة إلى عملية التنبؤ لتحسين دقة التقييم.

References:

- [1] Chang Liang, Wu Zhigang. Performance and reliability of electrical power grids under cascading failures. IJEPES 2011;33(8)
- [2] Innal, F. Contribution to modelling safety instrumented systems and to assessing their performance – critical analysis of IEC 61508 standard. PhD thesis, University of Bordeaux; 2008
- [3] Cardoso G, Rolim JG, Zurn HH. Application of neural network modules to electric power system fault section estimation. IEEE Trans Power Del 2004;19 (3):1034–41.
- [4] Leao FB, Pereira RAF, Mantovani JRS. Fast fault section estimation in distribution control centers using adaptive genetic algorithm. Int J Elect Power Energy Syst 2014;63:787–805.
- [5] kresna G, Vigay B. Fuzzy logic applications in power systems diagnosis. Indian Journal of Computer Science and Engineering (IJCSSE); Vol. 2 No. 4,(2011),554-558.
- [6] Aadum J, D. C. Idoniboyeobu, S. L. Braide. Fault detection on distribution line using fuzzy logic. International Journal of Scientific & Engineering; Volume 9, Issue 12, December-2018), 490-503
- [7] Yang Jian-wei, HeZheng-you, Tan Xi-jing, Zeng Qing-feng." A Distributed Fault Diagnosis Approach in PowerSystem Based on Fuzzy Reasoning Petri Net".Fund project: Project Supported by National Science Foundation of China.2010 IEEE
- [8] Sun Yan Bin, Chen Yi Ping, Bai Zhan, Miao Shi Hong, Yao Wei, Wen Jinyu, Hou Yun He." Fault Diagnosis for Power System Using Time Sequence Fuzzy Petri Net". 3rd International Conference on Mechanical Engineering and Intelligent Systems (ICMEIS 2015)

- [9] Tong Xiaoyang, XieHongtao, Sun Mingwei. Power system fault diagnosis model based on layered fuzzy petri net considering temporal constraint checking [J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(6): 63-68
- [10] Yan Zhang, Yong Zhang, Fushuan Wen, Chi Yung Chung, Chung-Li Tseng, Xiaoyi Zhang, FeiZeng, Yubo Yuan. A fuzzy Petri net based approach for fault diagnosis in power systems considering temporal constraints . Electrical Power and Energy Systems journal 78 (2016) 215–224 .
- [11] A. Malhi, R. Yan, and R. X. Gao, “Prognosis of defect propagation based on 703–711 recurrent neural networks,” IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 60, no. 3, pp., Mar. 2011
- [12] Yang Jianwei, He Zhengyou. Power system fault diagnosis approach based on time sequence fuzzy petri net. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(15): 46-51.
- [13] Y.S. Lim and G. Strbac. Analytical approach to probabilistic prediction of voltage sags on transmission networks. IEE. Vol. 149. No. 1. January . 2002.
- [14] Z. Wang, C. Hu, W. Wang, X. Si, and Z. Zhou, “An off-online fuzzy modelling method for fault prognosis with an application,” in Proc. IEEE Conf. Prognostics Syst. Health Manag., 2012, pp. 1–7.
- [15] B. T. Thumati, M. A. Feinstein, and S. Jagannathan, “A model-based fault detection and prognostics scheme for Takagi–Sugeno fuzzy systems,” IEEE Trans. Fuzzy Syst., vol. 22, no. 4, pp. 736–748, Aug. 2014
- [16] Zhao X-L, Zhou J-Z, Liu H. Research of fault diagnostic model based on probability Petri nets. Comput Eng Appl 2008;24:224–7
- [17] Mariana Dumitrescu . Combined Fuzzy-Petri Nets Hybrid Model for Power System Performability Analysis. Computing Science and Automatic Control (CCE) Mexico City, Mexico. September 30-October 4, 2013.
- [18] Chen, S. M. (2000). Fuzzy backward reasoning using fuzzy Petri nets. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part B: Cybernetics, 30(6), 846–856.
- [19] rahaf solaiman, Tarek kher bek, Ahmad Ahmad. Defining a New Method to Set Certainty Factors to Improve Power Systems Prognosis with Fuzzy Petri Nets. AIMS Energy, 2020,8(4) 686-700
- [20] Iman Kiaei, Saeed Lotfifard. "Fault Section Identification in Smart Distribution Systems Using Multi-Source Data Based on Fuzzy Petri Nets", IEEE Transactions on Smart Grid, 2020.
- [21]D.Kumar, S.Patel, A.Tomar, B. Prasad." Identification of Weak Bus using Load Variation". 05 Issue: 06 | June-2018.
- [22] User’s Guide . Fuzzy Logic Toolbox For Use with MATLAB. Version 2.
- [23]Federico Milano “ PSAT-Documentation for PSAT version 2.1.8”,July ,2015.