استخدام المنطق العائم لتصميم نموذج عام لتحسين حساب الوثوقية في النظم والتجهيزات الإلكترونية عموماً ونظم الاتصالات تحديداً

الدكتور المهندس هيثم الرضوان*

الدكتور المهندس حسن البستاني**

المهندس: علاء رافع حبيب***

ملخص:

اهتمت أبحاث الوثوقية (Reliability) مؤخراً بإدخال تقنيات الذكاء الصنعي (Artificial Intelligence) لتحسين حسابات الوثوقية للأنظمة عالية التعقيد والشديدة الحراجة (complex and critical systems) مثل (أنظمة الاتصالات الفضائية، أنظمة المراقبة والتحكم في المفاعلات النووية، أنظمة الاتصال والتحكم في المركبات والمحطات الفضائية. تم في هذا البحث الاعتماد على المنطق العائم (Fuzzy Logic) وهو أحد تقنيات الذكاء الصنعي لتحسين حسابات الوثوقية على امتداد حياة التجهيزة أو النظام المدروس ابتداءً من المراحل الأولى للتشغيل (Infant Mortality Failures) وانتهاءً بمرحلة هرم التجهيزة (Wear out Failures) مروراً بمراحل العمل الفعالة (Constant Failures) لهذه التجهيزة، بحيث نصل إلى قيم أكثر دقة لوثوقية التجهيزات قيد الدراسة (التجهيزات الإلكترونية وتحديداً تجهيزات نظم الاتصالات) ، مما يعطي توجيه أدق لعمليات الصيانة الدورية وتبيان نقاط الضعف في النظام المدروس.

كلمات مفتاحية: وثوقية ، أنظمة حرجة ، ذكاء صنعي ، فشل ، فائضية

*أستاذ في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين

**مدرس في كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات – جامعة طرطوس

***طالب دكتوراه في قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات كلية الهمك – جامعة تشرين

Designing a general model to improve the reliability calculation in electronic systems and equipment, specifically communications systems using Fuzzy Logic.

***Dr.Haitham Alradwan**
****Dr. Hasan Albustani**
*****Eng. Alaa Habeeb**

Abstract

Reliability researches has recently been interested in introducing artificial intelligence techniques to improve reliability calculations for complex and critical systems، such as space communications systems، communication and control systems in space vehicles and stations. In this research، we relied on Fuzzy Logic، to improve reliability calculations throughout the life of the equipment or system studied، starting from the first stages of operation (Infant Mortality Failures) and ending with the equipment pyramid stage (Wear out Failures)، passing through the effective work stages. (Constant Failures) for this equipment، so that we reach more accurate values for the reliability of the equipment under study (electronic equipment، specifically communications system equipment)، which gives more accurate guidance for periodic maintenance operations and identifying weak points in the studied system.

Key words: Reliability،critical systems،Artificial Intelligence، Failure.

*** Professor at Faculty of Mechanical and Electrical Engineering-Tishreen University**
**** Lecturer at Faculty of Information and Communication Technology Engineering**
***** Doctorate student in the Department of Communications and Electronics Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering - Tishreen University**

مقدمة :

تعرف الوثوقية على أنها احتمال استمرار نظام معين بتأدية المهمة المطلوبة منه بعد مدة زمنية محددة [1]، وتعد من أهم التحديات التي تواجه الأنظمة الهندسية المعاصرة وخاصة تلك الأنظمة التي تعد أساساً في التطبيقات الحرجة من الناحية الأمنية أو الطبية أو حتى مجالات الطاقة وخصوصاً الطاقة النووية ومجالات أبحاث الفضاء، حيث تتميز هذه الأنظمة بمتطلبات وثوقية عالية جداً، وانطلاقاً من هذه الأهمية تم التركيز على تحسين حسابات الوثوقية بحيث أصبحت الوثوقية من القيم التصميمية والتشغيلية المهمة جداً والتي من الممكن قياسها بعدة طرق([3] ;[2])، ويمكننا تصنيف طرق القياس هذه إلى :

- **طرق تقليدية [4]:** تكون دقة النتائج فيها مشروطة بدقة المعلومات المتوفرة عن معدلات الخطأ للجهاز المدروس أو النظام ككل، ويوضح الجدول (1) بعض هذه الطرق :

جدول (1) الطرق التقليدية لحساب الوثوقية

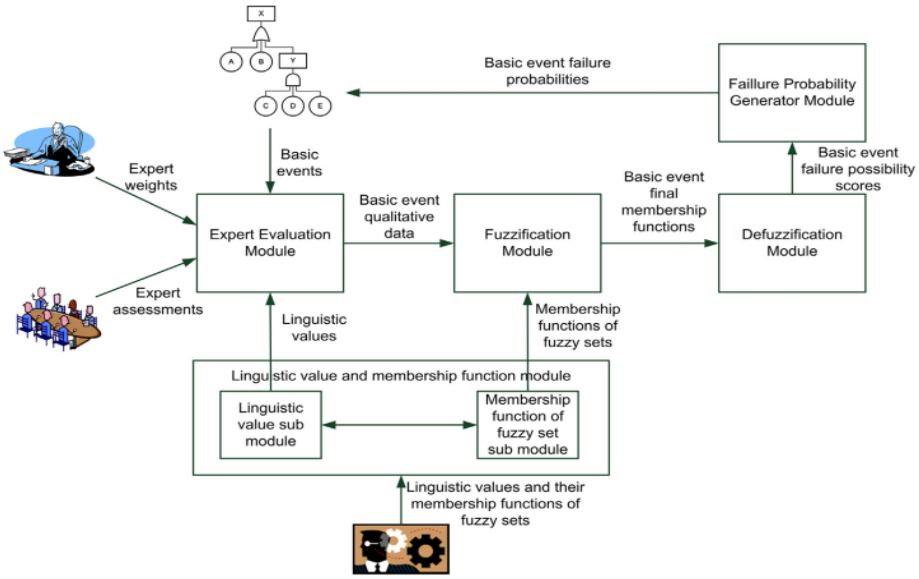
Reliability Block Diagrams (RBDs)	المخطط الصندوقي لحساب الوثوقية
Fault tree analysis (FTA).	تحليل شجرة الأعطال
Failure modes and effect analysis (FMEA).	أنماط الفشل وتحليل الأثر
Markov chains، Bayesian networks، and Petri nets	سلاسل ماركوف ، شبكات بييز ، شبكات بيتري

- **طرق معاصرة تعتمد على تقنيات الذكاء الصنعي (Artificial Intelligence):**

تم الاتجاه إلى هذه الطرق نظرا لندرة المعلومات الإحصائية الدقيقة التي يمكن الحصول عليها وصعوبة المراقبة وتسجيل المعلومات [5] نظرا لحراجة التطبيقات ومن هنا كانت تقنيات الذكاء الصنعي هي الحل لتجاوز هذه الصعوبات، ومن أهم هذه التقنيات:المنطق العائم أو المجموعات العائمة (وهي التقنية المستخدمة في البحث) بالإضافة إلى الشبكات العصبونية (Neural networks) والخوارزميات الجينية (Algorithms Genetic)....

عند استخدام الطرق الاحتمالية التقليدية في تحليل وثوقية النظم الهندسية المعقدة كما في الدراسة [6] يشترط الحصول على معلومات فشل سابقة بصيغة كمية لتحديد خصائص الوثوقية ، وفي أغلب المجالات المطروقة في التطبيقات العملية (الهندسة النووية مثلا ، تقنيات الاتصالات الفضائية ...) تكون هذه المعلومات غير متاحة أو غير كافية والمعلومات الوحيدة المتاحة هي آراء الخبراء والتي تكون على شكل تعابير لغوية يتم جمعها واستخدامها لاحقاً في تقدير وثوقية النظام ، يفضل الخبراء استخدام هذه المصطلحات اللغوية (التي تقبل درجة عالية من عدم اليقين) أكثر من استخدام الطريقة الكمية .وبناء عليه ظهرت الحاجة إلى تقنيات جديدة تنتج نماذج أكثر دقة لوثوقية الأنظمة الهندسية المعقدة ودون الحاجة إلى معلومات فشل "كمية" دقيقة .

تم في الدراسة [7] تطوير خوارزمية وثوقية عائمة (الشكل (1)) لضمان توليد احتمالات فشل للأحداث الأولية بدون الاعتماد على معلومات عددية أو كمية عن معدلات الخطأ أو الفشل.



الشكل (1) خوارزمية عائمة لتوليد احتمالات فشل للأحداث الأولية

ما يميز هذه الدراسة هو أن البيانات اللغوية المفصلة والمقدمة على شكل احتمالات فشل لمكونات النظام تستخدم في التقييم الكمي لاحتمال الفشل للأحداث الأولية المحتملة للمكونات والتي تعامل كدخل للنموذج المقترح وتولد احتمالات فشل للأحداث الأولية كخرج لها.

من أجل إيضاح فعالية الخوارزميات المقترحة، تم مقارنة نتائجها مع النتائج المأخوذة من تجارب عملية على محطة طاقة ذرية، أوضحت نتائج المقارنة فعالية الخوارزمية كطريقة بديلة عن الطرق الاحتمالية التقليدية لتقييم الوثوقية وأظهرت الدراسة السابقة نتائج جيدة مقارنة مع الطرق التقليدية.

تهتم الدراسة [8] فيما إذا كان النظام سوف يعمل إلى نقطة زمنية محددة يدخل بعدها في الفشل ويتوجه بعدها إلى الصيانة، حيث ركزت على مهمة تقييم وثوقية الأنظمة المعقدة

والمتعددة الحالات، واعتمدت على شجرة أعطال عائمة (Fuzzy Fault Tree) فتم بناء خريطة للعلاقة بين الأنظمة وشجرة الأعطال وتم نقل تحليل التقييم الخاص بوثوقية النظام إلى تحليل مبني على طريقة تحليل شجرة الأعطال عن طريق تحديد قواعد تقييم للوثوقية والبدء ببناء جدول الحقيقة (وثوقية – الزمن) لوحدات النظام، البدء أيضاً بجداول الحقيقة لوثوقية النظم الجزئية والنظم المعقدة في أزمنة مختلفة واستنتاج الصيانة الخاصة بالنظام . تم إيضاح قواعد التقييم سابقة الذكر والخاصة بهذه الطريقة عن طريق مثال بسيط لنظام معقد متعدد الحالات ومن خلال هذا المثال تم إثبات فعالية الطريقة المقترحة .

في الدراسة [9] استخدمت النظم الخبيرة في تحسين شفافية وتكرار التقييم في مجالات تحليل الخطورة في حال توفر بيانات محدودة ، وهذا المجال يشمل تحليل الوثوقية البشري (Human Reliability Analysis) وبشكل خاص تعتمد مهمة تحليل الاعتمادية في تحليل الوثوقية البشرية على حكم المحلل .

قارنت هذه الدراسة بين نظامين خبيرين بالاعتماد على شبكات بايز للحقيقة (Bayesian Belief Networks) والمنطق العائم في النظم الخبيرة (Fuzzy Expert System, FES) على التوالي.

أظهرت المقارنة أن طريقة بايز (BBN) يفضل استخدامها في الحالات التي من الممكن قياس المدخلات فيها بشكل كمي (اي في الحالات التي من الممكن فيها تحديد التوزيع الاحتمالي لوصف مدخلات بارمترات عدم اليقين) وذلك كون هذه الطريقة توصف وبشكل مرضي حالات عدم اليقين ومخرجاتها ويمكن استخدام هذه المخرجات بشكل مباشر وتفسيرها بطريقة مناسبة للاستخدام، ومن جهة أخرى وفي حال محدودية البيانات الكمية

الدقيقة والتي تجعل المحلل مقيد من حيث البيئة الاحتمالية، في هذه الحالات تكون نتائج النظم العائمة الخبيرة أكثر شفافية.

تم في البحث [10] دراسة وثوقية نظام اتصالات خلوية من خلال دراسة وثوقية خمس محطات اتصال وفق توزيع وايبل الاحتمالي، ومن ثم حساب وثوقية كامل النظام.

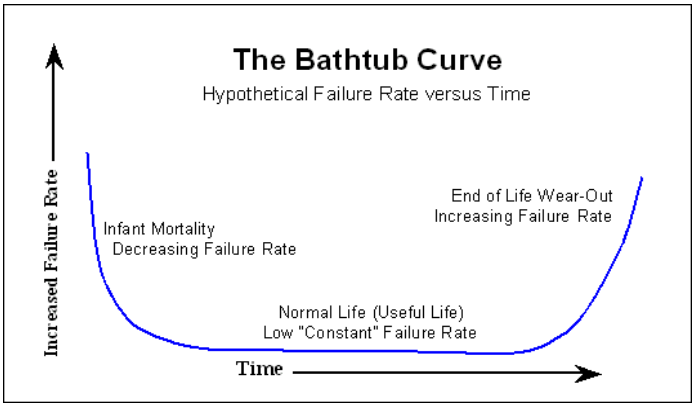
كما اعتمد الباحث في الدراسة [11] ، على التوزيع الأسي العائم لدراسة الوثوقية خلال العمر التشغيلي للتجهيزة، وفي البحث [12] تم الاعتماد على توزيع وايبل العائم لدراسة وثوقية النظام.

دفعت المميزات السابقة لتقنيات الذكاء الصنعي إلى استخدام هذه التقنيات في العديد من الدراسات وكذلك في بحثنا هذا، لكن بأسلوب مختلف من حيث مدخلات النظام (في دراستنا على سبيل المثال كانت مخرجات الدراسة السابقة مدخلات لنظامنا المقترح)، وتم اعتماد قواعد استدلال عائمة مرنة (قابلة للتعديل بما يتوافق مع خصائص كل نظام موضوع الدراسة).

أهداف البحث:

يهدف البحث إلى تحسين وثوقية الأنظمة عالية التعقيد وذات متطلبات الوثوقية المرتفعة ومنها أنظمة الاتصالات وتجهيزاتها، وذلك بإنتاج نموذج لحساب الوثوقية معتمد على نظرية المجموعات العائمة يقود إلى توزيع احتمالي جديد، والهدف من هذا النموذج التغلب على الصعوبات المتمثلة بعدم وجود معلومات دقيقة عن معدلات الخطأ لتجهيزات الأنظمة المستهدفة بالدراسة ،اعتمد النموذج المقترح على المجموعات العائمة لإيجاد توزيع احتمالي شامل لثلاث توزيعات احتمالية تغطي كافة مراحل عمل التجهيزة بدءاً من فترات التشغيل التجريبية (Mortality life) مروراً بمرحلة العمل الفعال (مرحلة العمل المفيد للتجهيزة (Useful life)) وانتهاءً بمرحلة تقادم أو اهتلاك التجهيزة (– Wear

out) والهدف من ذلك هو الحصول على نتائج أكثر دقة وواقعية تساهم بتحسين وثوقية التجهيزات والأنظمة من خلال حسابات وثوقية أكثر دقة وأكثر شمولية ومراحل عمل التجهيزة سابقة الذكر مبينة في الشكل (2)[13]، وذلك على خلاف الدراسات السابقة المعتمدة على الذكاء الصنعي في مجال الوثوقية والتي اتجهت مباشرة إلى المعلومات الإحصائية المتوفرة (معدلات الفشل)، وتم تعويم هذه المعلومات وتحويلها إلى قيم عائمة ومن ثم إجراء حسابات الوثوقية وفي النهاية تتم إزالة التعويم وفي حالات أخرى يتم تحويل الطرق التقليدية إلى طرق عائمة بإدخال مرحلة عائمة في مراحل حساب الوثوقية ومرحلة لإزالة التعويم [7].



الشكل (2): مراحل عمل التجهيزة منذ الانتاج حتى مرحلة الهرم والتقادم

مواد وطرق البحث: تتلخص خطوات البحث كمايلي:

- حساب الوثوقية وفق توزيع وايبل الاحتمالي بقيم مختلفة لمعامل الشكل (β) ومعامل القياس (α)، فنحصل على R1 التي تمثل وثوقية التجهيزة في مرحلة المهد وR2 التي تمثل وثوقية مرحلة الحياة المفيدة للتجهيزة وR3 التي تمثل وثوقية مرحلة التقادم.

- إدخال قيم الوثوقية الثلاث على نموذج الذكاء الصنعي المقترح بعد كتابة معادلات الاستدلال العائمة له والحصول على قيمة R المحسنة.
- إزالة تعويم R والحصول على قيمتها النهائية.
- استنتاج توزيع احتمالي جديد من خلال دراسة عينات شاملة من نتائج النموذج العائم المقترح.

1- حسابات الوثوقية:

1-1- معدل الفشل (Failure rate):

يوضح معدل الفشل العلاقة الكمية بين مفهوم الوثوقية والزمن باعتباره يمثل توزيع حالات الفشل على مسافة زمنية معينة وهذه الحالات قد تكون متركزة في جزء من المجال الزمني المدروس وقد تكون موزعة بشكل عشوائي على هذا المجال أو في نهايته في حال كانت حالات فشل ناتجة عن التقادم [14]، انطلاقاً مما سبق تم في هذا البحث حساب قيمة الوثوقية تبعا لمعدل الفشل (λ) وفق توزيع وايبل الاحتمالي ولكن مع قيم مختلفة لمعاملات الشكل والقياس بحيث نحصل على ثلاث قيم مختلفة للوثوقية (R1،R2،R3) تحسب كما يلي:

1-2- خطوات حساب الوثوقية R (ماقبل التعويم): تم الحساب على المراحل الثلاث لحياة التجهيزة وبافتراض العمر المقدر للتجهيزة (α= 25 year = 220000 h)

1-2-1- حساب وثوقية التجهيزة في مرحلة المهد **R1**:

يمكننا حساب R1 بالاعتماد على توزيع وايبل عند القيم التالية لمعامل القياس والشكل (α=220000 ، β = 0.5) وفق الأتي:

يعطى تابع الكثافة الاحتمالية لتوزيع وايبل كما يلي [13] :

$$f(x) = \begin{cases} \alpha\beta x^{\beta-1} e^{-\alpha x^{\beta}} \text{ ،} & x > 0 \\ 0 & elsewhere \end{cases}$$

وباعتبار أننا ندرس التوزع الزمني للعطل تصبح المعادلة بدلالة الزمن كما يلي:

$$f(t) = \alpha\beta t^{\beta-1} e^{-\alpha t^{\beta}}$$

أما الدالة التراكمية فتعطى بالعلاقة:

$$F(t) = \int_0^t \alpha\beta x^{\beta-1} e^{-\alpha x^{\beta}} dx$$

ونعلم أن :

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t \alpha\beta x^{\beta-1} e^{-\alpha x^{\beta}} dx = e^{-(\frac{t}{\alpha})^{\beta}}$$

وبالتالي نحصل على المعادلة (1) لتوزيع وايبل الاحتمالي :

$$R(t) = e^{-(\frac{t}{\alpha})^{\beta}} \qquad (1)$$

بتعويض قيم معامل الشكل والقياس (β=0.5،α=220000) نحصل على المعادلة (2) وهي معادلة الوثوقية لـ R1:

$$R1(t) = e^{-(\frac{t}{220000})^{0.5}} \qquad (2)$$

تم من خلال هذه المعادلة لاحقاً حساب قيم R1 في الجدول (2) والموافقة لقيم (t) المختارة لتدريب النموذج العائم.

2-2-1- حساب وثوقية التجهيزة في مرحلة العمل المفيد R2:

تم حساب R2 هنا بالاعتماد على التوزيع الاحتمالي الأسي (حالة خاصة من توزيع وايبل) والذي يعطى تابع الكثافة الاحتمالية له كما يلي:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\beta} e^{\frac{-x}{\beta}} & ، \quad x > 0 \\ 0 & ، elsewhere \end{cases}$$

وحيث أننا ندرس التوزيع الاحتمالي لمعدل الخطأ على محور الزمن يصبح لدينا:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

ومنه :

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

وبالتالي تكون الوثوقية هنا وفق المعادلة (3):

$$R2(t) = 1 - F(t) = e^{-\lambda t} \qquad (3)$$

1-2-3- حساب الوثوقية في مرحلة التقادم R3:

تم حساب الوثوقية هنا وفق توزيع وايبل بقيم معاملات قياس وشكل كالتالي (α= 220000 ، β = 3.5) ، ومنه وبالعودة إلى المعادلة (1) وتعويض قيم المعاملات فيها نجد المعادلة (4):

$$R3(t) = e^{-(\frac{t}{\alpha})^{\beta}} = e^{-(\frac{t}{220000})^{3.5}} \qquad (4)$$

1-3- تعويم قيم الوثوقية R1 و R2 و R3:

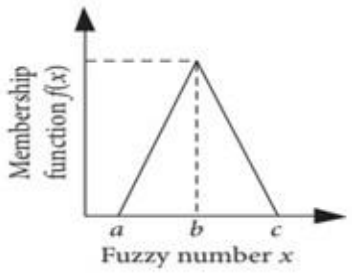
نقصد بمصطلح (تعويم) ، تحويل القيم الحدية إلى قيمة عائمة أو غير حدية ونلجأ لذلك عند وجود شك (عدم يقين) بدقة القيمة ،نعتمد في هذه الخطوة على نظرية المجموعات العائمة (Fuzzy Set Theory).

1-3-1- المجموعات والأعداد العائمة:

يتركز الفرق بين المنطق العائم والمنطق الثنائي على كون المنطق الثنائي يرتكز على اقتراحين فقط (0 ، 1) . ولكن يوجد اقتراحات أخرى بين القيمتين السابقتين وهذه الاقتراحات تعبر عن درجة ارتباط مجموعة معطاة من القيم وهو ما يميز المنطق العائم وكان Zadeh أول من طرح هذه النظرية [13] .

حيث أنه في المنطق العائم يمكن إعطاء قيمة لانتماء عنصر معين إلى مجموعة معينة وهذه القيمة تقع في المجال [1,0]، والذي يحدد قيمة انتماء العنصر إلى مجموعة عائمة معينة هو تابع الانتماء (Membership Function) ، يأخذ هذا التابع العديد من الأشكال ولكن الأكثر استخداما في مجال الوثوقية هو الشكل المثلثي (Triangular) وشكل شبه المنحرف (Trapezoidal) [13].

- التابع المثلثي (Triangular): يحدد هذا الشكل من التوابع أعداداً عائمة موضحة بالمعادلة (5) والشكل (3):

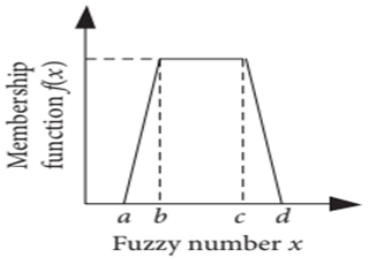


الشكل (3)

$$f(x)=\begin{cases}\dfrac{x-a}{b-a}, & a\le x\le b,\\ \dfrac{c-x}{c-b}, & b\le x\le c,\\ 0, & \text{others},\end{cases} \qquad (5)$$

بحيث : **a، x c، b** أعداد حقيقية ، يحدد هذا التابع المجموعة العائمة A بحيث : A = (a,b,c) ، ويمثل b العنصر الأعلى انتماء إلى المجموعة ، بينما c،a الحدين السفلي والعلوي للبيانات المقيمة من قبل تابع الانتماء المثلثي.

- تابع شبه المنحرف (Trapezoidal): يعطى بالمعادلة (6) والشكل (4) :

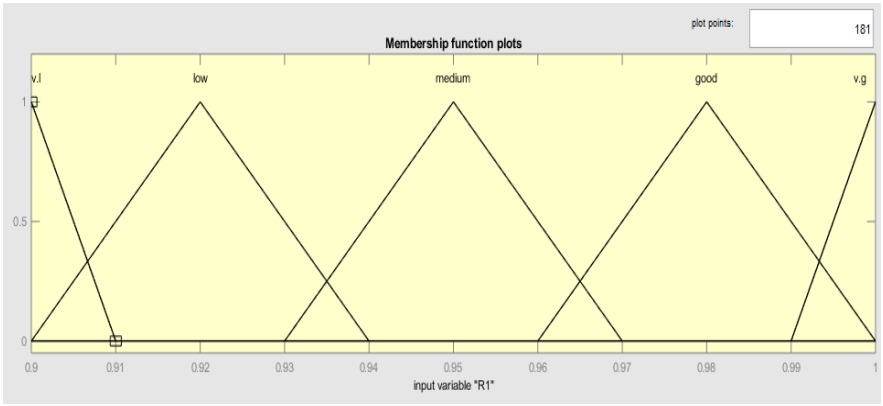


الشكل (4)

$$f(x)=\begin{cases}\dfrac{x-a}{b-a}, & a\le x\le b,\\ 1, & b\le x\le c,\\ \dfrac{d-x}{d-c}, & c\le x\le d,\\ 0, & \text{others}.\end{cases} \qquad (6)$$

وفي بحثنا هذا استخدمنا تابع الانتماء المثلثي لتحديد درجة انتماء قيم الوثوقية إلى المجموعات العائمة المختارة في الشكل (5) والذي يبين المجموعات العائمة وتوابع

الانتماء المستخدمة لتعويم قيم الوثوقية للتوزيعات الاحتمالية الثلاثة سابقة الذكر (R3، R2،R1).



الشكل (5) المجموعات العائمة المستخدمة لتعويم قيم الوثوقية

- تم تقسيم المجال السابق الذكر إلى خمس مجالات (مجموعات عائمة) تبعا لقيم الوثوقية وهي:

a. المجال من(0.9–0.91) تعتبر فيه الوثوقية منخفضة جداً(Very Low)

b. المجال من (0.9 – 0.94) تعتبر فيه وثوقية منخفضة (Low)

c. المجال من (0.93 – 0.97) تعتبر فيه وثوقية متوسطة (Medium)

d. المجال من (0.96 – 1) تعتبر فيه الوثوقية جيدة (Good)

e. المجال من (0.99 – 1) تعتبر فيه الوثوقية جيدة جداً (Very Good)

إن مجال الدراسة المبين في الشكل (5) وكذلك المجموعات العائمة قابلة للتعديل بما يتلاءم مع طبيعة الجهاز أو حراجة النظام المدروس بحيث يمكن تثقيل إحدى المجموعات

أو جعل مجال الدراسة أكثر اتساعا تبعا لخصوصية التطبيق، وفي هذا البحث درسنا قيم الوثوقية في المجال بين (90% و 99%) لأن قيم الوثوقية الأدنى من ذلك تعتبر وثوقية ضعيفة ولا تتناسب مع الأنظمة الحرجة من حيث الوثوقية وهي الأنظمة قيد الدراسة .

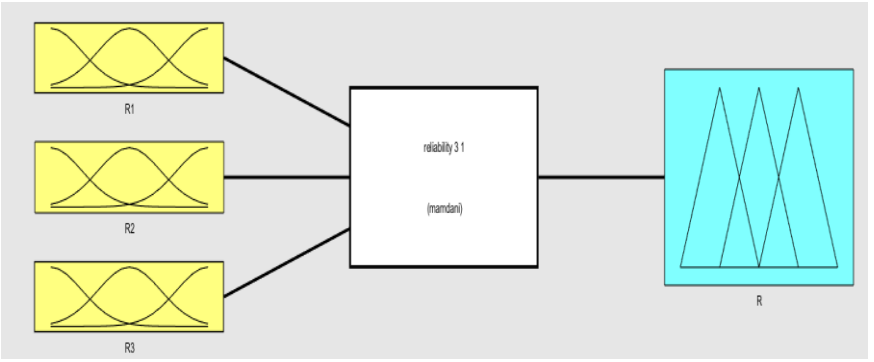
كما من الممكن في أبحاث لاحقة الاعتماد على تابع الانتماء الشبه المنحرف ومقارنة النتائج مع التابع المثلثي المستخدم حالياً كونه الأكثر استخداماً في مجال التجهيزات الإلكترونية وتجهيزات الاتصالات

ومن الممكن أيضاً تقسيم مجال الدراسة إلى ثلاث مجموعات عائمة فقط (جيدة ، متوسطة ، ضعيفة) ولكن تم اعتماد التقسيم إلى خمس مجموعات كونه أدق، أما زيادة الدقة إلى عدد أكبر من المجموعات العائمة فيكون على حساب زيادة تعقيد العمليات الحسابية للنموذج ، حيث يرتبط عدد قواعد الاستدلال كما هو معلوم بعدد المدخلات وعدد المجموعات العائمة (في بحثنا استخدمنا 125 قاعدة للاستدلال) لذلك كان اختيارنا لخمس مجموعات عائمة تعتمد تابع الانتماء المثلثي.

1-3-2- حساب قيمة R العائمة :

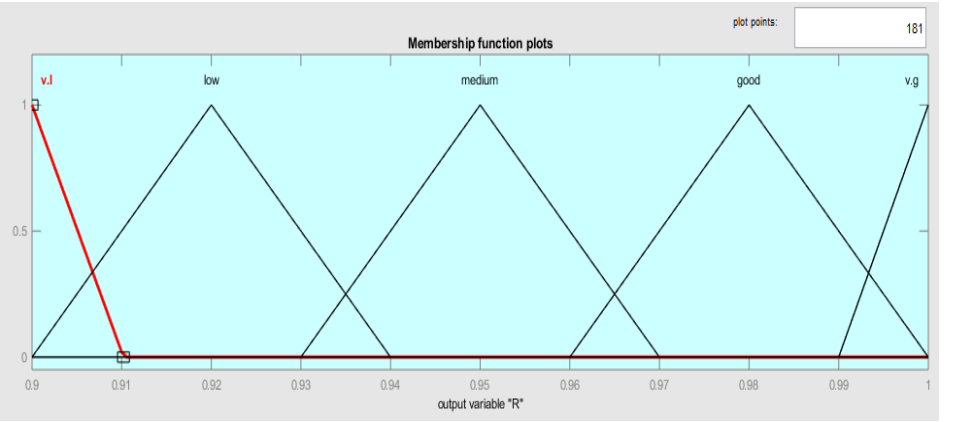
لحساب قيمة R وفق النموذج المقترح تم الاعتماد على (125) قاعدة من قواعد الاستدلال العائمة والذي يميز هذه القواعد وبالتالي يميز النموذج المقترح هو المرونة العالية وإمكانية التعديل في هذه القواعد بما يتناسب مع الخصائص المرتبطة بالنظام قيد الدراسة حيث يمكن على سبيل المثال دمج شرطين أو أكثر في شرط واحد في حال مستوى دقة معين مطلوب أو العكس زيادة الشروط للحصول على دقة أكبر كما يمكن التركيز على حالة معينة ودراستها وفق أكثر من شرط لكونها حالة خاصة مهمة، وفي بحثنا اعتبرنا أنا آراء الخبراء ترجح استخدام التوزيع الإحصائي الأسي (exponential distribution) لدراسة فترة

الحياة المفيدة من عمر التجهيزة وهي ما تقابل في دراستنا حساب الوثوقية (R2) وبناءً عليه تم تثقيل قيمة (R2) في قواعد الاستدلال المستخدمة، وعلى سبيل المثال لو حصلنا على قيمة تصنف "جيدة" عند حساب (R1) وقيمة "جيدة" لـ (R2) وقيمة "جيدة جداً" لـ (R3) فإن قيمة (R2) ترجح الكفة لصالح أن الوثوقية جيدة وليست جيدة جداً وذلك تبعاً لقواعد الاستدلال المستخدمة في البحث. ويبين المخطط الصندوقي في الشكل (6) كل من عملية تعويم (R3،R2،R1) ومن ثم الحصول على قيمة عائمة ل (R).



الشكل (6) تعويم قيم الوثوقية التقليدية الثلاث للحصول على قيمة عائمة R

بعد الحصول على قيمة الوثوقية (R)، تخضع هذه القيمة للتصنيف ضمن المجموعات العائمة ذاتها المستخدمة في تعويم كل من (R3،R2،R1) وهي موضحة في الشكل (7) :



الشكل (7) المجموعات العائمة المستخدمة لاستنتاج قيمة R

1-3-3- إزالة التعويم والحصول على قيمة محددة جديدة للوثوقية :

يوجد عدة طرق للحصول على قيمة حدية من أي متحول عائم وبالتالي الحصول على قيمته الصريحة ، نذكر من هذه الطرق [15] :

(1) Max–membership principle.

(2) Centroid method

(3) Weighted average method

(4) Mean–max membership

(5) Centre of sums

(6) Centre of largest area

(7) First of maxima or last of maxima

تم في بحثنا استخدام الطريقة المركزية (Centroid Method) من أجل إزالة التضبيب والحصول على قيمة دقيقة للوثوقية .

- **الطريقة المركزية لإزالة التعويم (Centroid Method):**

وتسمى هذه الطريقة أيضا بمركز الجاذبية (Center of Gravity) أو مركز المساحة (Center of Area) وهي من أكثر الطرق استخداما في مجال إزالة التعويم ، ويعبر عنه بالمعادلة الجبرية (7):

$$Z^* = \frac{\int \mu_{\underline{C}}(z).z\,dz}{\int \mu_{\underline{C}}(z).dz} \qquad (7)$$

بحيث تمثل $\int \mu_{\underline{C}}(z).dz$ المساحة المحددة بالخط البياني للتابع $\mu_{\underline{C}}(z)$.

تم باستخدام برنامج MATLAB تطبيق النموذج المقترح على عينة تدريبية كبيرة وشاملة من (λ،t)، بحيث حصلنا على القيمة المثلى لـ R لكل عينة، الجدول(2) يوضح ارتباط القيم التدريبية لـ (λ،t) بكل من (R1، R2، R3) وهي قيم الوثوقية المحسوبة بالطرق التقليدية (التوزيعات الاحتمالية الثلاث).

وكون الدراسة أعدت لتشمل أغلب النظم والتجهيزات الإلكترونية ونظم وتجهيزات الاتصالات ، فقد تم تطبيق عينة تجريبية افتراضية كبيرة من البيانات على الدخل ، حيث جهدنا أن تكون العينة قادرة على تغطية نسبة مقبولة من البيانات المتوقع ورودها على دخل النظام ، وتم تدريب النموذج على هذه العينة وتتبع الخرج الموافق ، الأمر الذي مكننا من الحصول على علاقة رياضية تربط الدخل بالخرج. يوضح الجدول (2) بعض العينات التوضيحية من بيانات التدريب الشاملة.

جدول (2) بعض القيم من بيانات التدريب المستخدمة

λ	T	R1	R2	R3
0.00001489	50	0.9850375	0.999255777	1
0.00001481	3650	0.879144764	0.947378578	0.999999412
0.00001476	5900	0.848943556	0.916600098	0.999996841
0.00001466	10400	0.804589618	0.858589803	0.999977032
0.00001284	92300	0.52323568	0.305705824	0.953293084
0.00001202	129200	0.464712095	0.21161557	0.856229316
0.00001057	194450	0.390573065	0.12804974	0.522487071

بعد الحصول على القيم التقليدية للوثوقية وفق التوزيعات الثلاث (R3،R2،R1)، قمنا بإدخال هذه القيم الثلاث كمدخلات للنظام العائم المقترح لنحص على مايقابلها من قيمة عائمة مثلى للوثوقية (R) والتي بدورها خضعت لعملية إزالة تعويم فحصلنا على قيمة حدية لها، ونبين في الجدول (3) قيم R المقابلة لقيم (R3،R2،R1) في الجدول السابق.

جدول (3) حساب قيم R من خلال قيم الوثوقية التقليدية الثلاثة اعتمادا على النموذج العائم

R1	R2	R3	R
0.9850375	0.999255777	1	0.992
0.879144764	0.947378578	0.999999412	0.95
0.848943556	0.916600098	0.999996841	0.95
0.804589618	0.858589803	0.999977032	0.948
0.52323568	0.305705824	0.953293084	0.903
0.464712095	0.21161557	0.856229316	0.903
0.390573065	0.12804974	0.522487071	0.903

ومن خلال هذه المحاكاة وإخضاع النتائج التي حصلنا عليها لدراسة دقيقة وبمساعدة (cftool) الأداة المساعدة لإيجاد المعادلة الرياضية والمنحني المطابق للمعطيات المقدمة من النموذج العائم تم الحصول على العلاقة التالية (8) والتي تعطي نموذجاً رياضياً عن النموذج العائم :

$$R = a\lambda + bt + c \qquad (8)$$

حيث تعطى قيم الثوابت ضمن المجالات التالية :

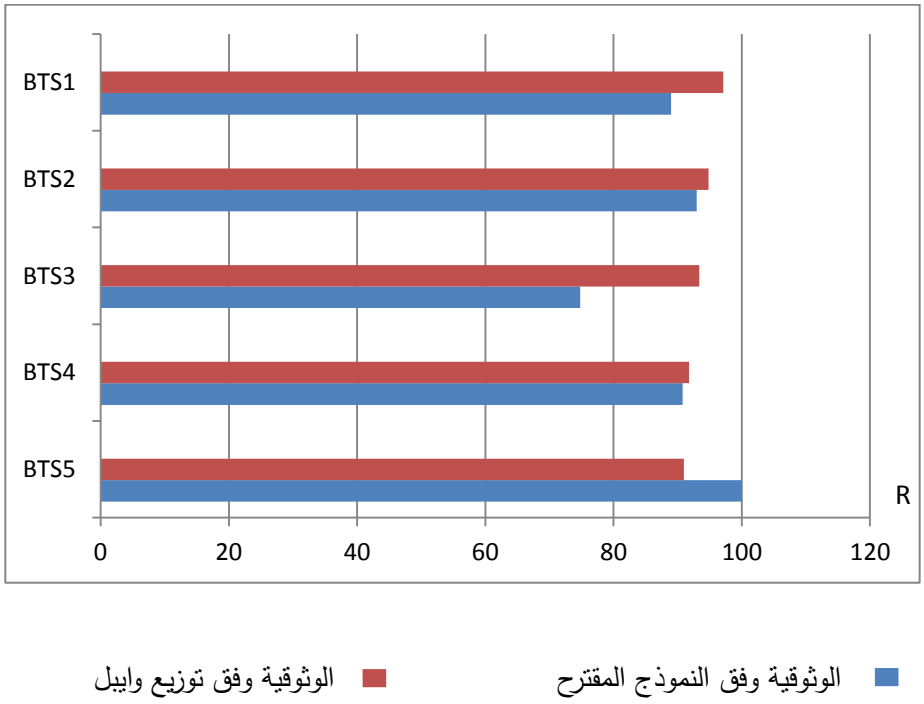
$$a = (-5.137e+16، 6.484e+16)$$

$$b = (-1.142e+06، 1.441e+06)$$

$$c = (-9.655e+11، 7.649e+11)$$

تعطي المعادلة (8) تمثيلاً رياضياً مقبولاً إلى حد كبير للنموذج العائم المقترح ، ويمكن اعتبار المعادلة السابقة توزيعاً احتمالياً جديدا يملك المرونة الكافية لتقييم وثوقية التطبيقات الحرجة على وجه الخصوص (وثوقية أعلى من 90 %) وذلك عند ضبط الثوابت في المعادلة السابقة تبعاً لعمليات قياس كل من (R1، R2 ،R3) .

من أجل تقييم النموذج المقترح تم تطبيقه على نظام اتصالات تم دراسته سابقاً في البحث [10] وهو مكون من خمس محطات خلوية وكانت النتائج للمحطات الخمس كما هو مبين في الشكل (8).



الشكل (8) مقارنة قيم الوثوقية وفق النموذج المقترح مع الوثوقية التقليدية باستخدام توزيع وايبل

أما الوثوقية الكلية للنظام فكانت متقاربة بين الطريقتين مع ترجيح النموذج المقترح من حيث الدقة، حيث كانت النتائج كما في الجدول (4):

جدول (4) قيم الوثوقية الناتجة من خلال تطبيق توزيع وايبل ونموذجنا المقترح

الطريقة المستخدمة	الوثوقية الكلية	المحطة ذات الوثوقية الأعلى	أعلى وثوقية مسجلة
توزيع وايبل	0.99999926	BTS1	97.1
النموذج المقترح	0.999999979	BTS5	99.07446

وفي دراسة أخرى (16) تمت دراسة الوثوقية باستخدام المنطق العائم للأنظمة المشغلة للطائرات الحربية وتم حساب الوثوقية وفق عدد ساعات الطيران، قمنا بتطبيق بارامترات معدل الفشل في هذه الدراسة وكذلك عدد من النقاط الزمنية المختارة لحساب الوثوقية (عدد ساعات الطيران) وفق نموذجنا وكانت النتائج كما في الجدول (5):

جدول (5) حسابات الوثوقية وفق النموذج المقترح ومقارنتها مع نتائج الدراسة (16)

Flying Hours (h)	R(t) Classical Model (Empirical)	R(t) Fuzzy Model	Our Model
65	0.97315	0.9300	0.98
175	0.77347	0.7950	0.95
302	0.41286	0.4160	0.903

تم في المقارنة السابقة الاعتماد على المعاملات (β،α) في توزيع وايبل ذاتها المستخدمة في الدراسة (16) من أجل دقة المقارنة، وبمراجعة النتائج نلاحظ تقارب القيم عند قيم الوثوقية العالية وتباعدها بشكل منطقي عند قيم الوثوقية المتوسطة (175 ساعة تشغيل) والوثوقية الضعيفة (302 ساعة تشغيل) وهذا منطقي من حيث أن نموذجنا يهتم بقيم الوثوقية الحرجة (من 0.9 إلى 0.99) وهذا المجال يقابل في الدراسة المقابلة (من 0 إلى 0.99) وبالتالي من المنطقي أن تقابل قيم وثوقية متوسطة (0.77347) قيمة حرجة متوسطة (0.95) وأيضاً تقابل (0.41286) القيمة الأدنى في مجال نموذجنا وهي (0.903).

2- مناقشة النتائج:

نلاحظ من النتائج السابقة الإيجابيات التالية للنموذج:

- حصلنا من خلال النموذج العائم المقترح على معادلة رياضية تعتبر توزيعاً احتمالياً جديداً يشمل التوزيعات الاحتمالية الثلاث.
- تناسب المعادلة الناتجة بعد تعديل قيم الثوابت مختلف المجالات والتطبيقات العلمية والعملية ، كونها تراعي ثلاث توزيعات احتمالية بدلا من توزيع واحد.
- يمكن احتساب قيم الوثوقية (R1، R2 ،R3) بأي طريقة تقليدية لحساب الوثوقية وليس فقط عن طريق التوزيعات الاحتمالية لمعدلات الفشل المذكورة في البحث ، ولكن تم اعتماد هذه التوزيعات لأنها تغطي وبشكل احتمالي كافة مراحل عمل التجهيزة على امتداد زمن عملها المفترض.
- يعتبر النموذج المقترح الجهاز قيد الدراسة أو النظام المدروس على حد سواء يعتبره صندوقاً أسوداً ، حيث من غير المهم الدراسة التفصيلية لأنواع الأخطاء

الحاصلة وتأثيراتها المتفرقة ، بل يكفي أن نعلم معدل الفشل الاجمالي والذي بناء عليه نقوم بحساب الوثوقية بثلاث طرق مختلفة ومن ثم إخضاعها للنموذج الرياضي للحصول على قيمة مثلى لـ R.

- تعتبر المعادلة الناتجة مكافئة إلى حد كبير للنموذج العائم وبالتالي يمكن توفير العمليات الحسابية الأكثر تعقيدا للحسابات العائمة والإكتفاء بالمعادلة الرياضية على أنها توزيع احتمالي يمكن أن يصطلح على تسميته " التوزيع العائم " Fuzzy Distribution.

- يصعب في الدراسات المماثلة لدراستنا التأكد بشكل مباشر من دقة النتائج حيث يتطلب ذلك مراقبة طويلة من قبل خبراء للنظام المدروس، ولكن كون النموذج المقترح يغطي كامل حياة التجهيزة أو النظام المدروس من خلال دمج ثلاث توزيعات احتمالية، فمن المتوقع الحصول على نتائج دقيقة ومقبولة.

3- التوصيات:

- دراسة توزيعات احتمالية مختلفة عن التوزيعات المستخدمة في البحث ومقارنة النتائج مع مخرجات توزيعنا الاحتمالي الجديد (Fuzzy Distribution).

- اختبار العديد من التوزيعات الاحتمالية للوقوف على التوزيعات الأكثر ملاءمة لنظم الاتصالات بشكل خاص.

4- المراجع :

[1] MURPHY,B;LEVIDOW,B,2000- Windows 2000 dependability. Proc, IEEE DSN.

[2] CALIXTO, E, 2016 - Gas and Oil Reliability Engineering, Modeling and Analysis. Gulf Professional Publishing, (2nd Ed.).

[3] NAESS، A ; LEIRA, B J and BATSEVYCH, O, 2012 - Reliability analysis of large structural systems. Probabilistic Engineering Mechanic, 28, 164-168.

[4] STAPELBERG, F 2009- Handbook of reliability، availability، maintainability and safety in engineering design. Springer, London, 295-527.

[5] POKORNI, J, 2021- Current state of the application of artificial intelligence in reliability and maintenance. Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier 69, no. 3, 578-593.

[6] DAVRONBEKOV,D;MATYOKUBOV,K and ABDULLAYEVA,I 2020 - Evaluation of reliability indicators of mobile communication system bases. EVALUATION, 11.

[7] VPURBA, H; LU, J; ZHANG, G and PEDRYCZ, W, 2014 - A fuzzy reliability assessment of basic events of fault trees through qualitative data processing. Fuzzy Sets and Systems, 243,50-69.

[8] ZHI-GANG, L; JUN-GANG, Z; and BO-YING, L 2016 - Research on reliability evaluation method of complex multistate system based on fuzzy fault tree. In 2016 International Conference on Fuzzy Theory and Its Applications, pp. 1-4.

[9] BARALDI, P; PODOFILLINI, L; MKRTCHYAN, L; ZIO, E; and Dang, V. N 2015 - Comparing the treatment of uncertainty in

Bayesian networks and fuzzy expert systems used for a human reliability analysis application. Reliability Engineering & System Safety, 138, 176-193.

[10] DAVRONBEKOV, D.; MATYOKUBOV, U. K.; and ABDULLAYEVA, M. I 2020 - Evaluation of reliability indicators of mobile communication system bases. EVALUATION, 11.

[11] BALOUI J, E 2011- An evaluation of the systems reliability using fuzzy lifetime distribution. Journal of Applied Mathematics, Vol. 7, No. 28,73-80.

[12] BALOUI J, E 2014- Analyzing system reliability using fuzzy Weibull lifetime distribution. International Journal of Applied Operational Research, Vol. 4, 93-102.

[13] BRENEMAN, E; SAHAY, C and LEWIS, E 2022 - Introduction to reliability engineering. John Wiley & Sons.

[14] ABDOLSHAH, M; SAMAVI, A; KHATIBI, A and MAMOOLRAFTAR M 2019 - A review of systems reliability analysis using fuzzy logic. Advanced Fuzzy Logic Approaches in Engineering Science, 362-377.

[15] SAADE,J & DIAB, B 2004- Defuzzification methods and new techniques for fuzzy controllers. 161-174.

[16] ZYLUK, A, KUZMA, K, GRZESIK, N, ZIEJA, M, and TOMASZEWSKA, J 2021- Fuzzy Logic in Aircraft Onboard Systems Reliability Evaluation—A New Approach. Sensors, 21(23), 7913.