Improving Reliability Calculations In Cellular Communications System Stations Using Fuzzy Logic

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

(Received 11 / 7 / 2024. Accepted 24 / 11 / 2024)

□ ABSTRACT □

Reliability is one of the most important parameters studied in many modern engineering applications, especially critical applications (spacecraft - nuclear reactors - medical applications - communications...). Traditional methods for reliability calculations have suffered from difficulties related to collecting information and monitoring, as these methods require quantitative information about malfunctions and failures of the system (equipment) studied in order to calculate its reliability. In most of the targeted applications, collecting information is a difficult task due to the difficulty of monitoring.

Accordingly, we relied on Artificial Intelligence techniques to avoid the aforementioned difficulties, and in our research, we relied on Fuzzy Logic technology (one of the artificial intelligence techniques) to find a general model for improving reliability calculations in electronic equipment in general, including communications system equipment. To ensure the effectiveness of this model, we conducted a realistic study of applying this model to cellular broadcast stations (Base Stations) and compared the results with results obtained in a previous study by studying the reliability of the same broadcast stations, but according to traditional methods for calculating reliability (Weibull Distribution).

Keywords: reliability - artificial intelligence - fuzzy logic - communications systems - Weibull distribution.

Copyright **:**Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* **Professor - Faculty of Mechanical and Electrical Engineering-Tishreen University- Latakia- Syria.**
** **Assistant Professor - Faculty of Information and Communication Technology Engineering - Tartous University- Tartous- Syria.**
*** **Postgraduate Student (Doctorate) - Department of Communications and Electronics Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering - Tishreen University- Latakia- Syria.**

تحسين حسابات الوثوقية لمحطات نظام اتصالات خلوي باستخدام المنطق الضبابي

د. هيثم الرضوان*

د. حسن البستاني**

علاء رافع حبيب***

(تاريخ الإيداع 11 / 7 / 2024. قُبِل للنشر في 24/ 11 / 2024)

□ ملخّص □

تعد الوثوقية (Reliability) من أهم البارامترات المدروسة في العديد من التطبيقات الهندسية الحديثة وخاصة التطبيقات الحرجة (المركبات الفضائية – المفاعلات النووية – التطبيقات الطبية – الاتصالات ...)، وعانت الطرق التقليدية لحسابات الوثوقية من صعوبات تخص جمع المعلومات والمراقبة، حيث تتطلب هذه الطرق معلومات كمية عن الأعطال وحالات الفشل للنظام أو التجهيزة المدروسة ليتم بعد ذلك حساب الوثوقية، وفي أغلب التطبيقات المستهدفة يكون جمع المعلومات من المهمات الصعبة نظراً لصعوبة المراقبة.

بناءً عليه كان الاعتماد على تقنية المنطق الضبابي (Fuzzy Logic) وهي إحدى تقنيات الذكاء الصنعي (Artificial Intelligence) لتلافي الصعوبات سابقة الذكر، وإيجاد نموذج عام لتحسين حسابات الوثوقية في التجهيزات الإلكترونية عموماً ومن ضمنها تجهيزات نظم الاتصالات ، والتأكد من فعالية هذا النموذج بدراسة واقعية لتطبيق هذا النموذج على محطات بث خلوية (Base Stations) ومقارنة النتائج مع نتائج تم الحصول عليها في دراسة سابقة من خلال دراسة وثوقية نفس محطات البث ولكن وفق الطرق التقليدية لحساب الوثوقية (توزيع وايبل الاحتمالي(Weibull Distribution)).

الكلمات المفتاحية: الوثوقية – الذكاء الصنعي – المنطق الضبابي – نظم الاتصالات – توزيع وايبل.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY-NC-SA 04

* **أستاذ – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين – اللاذقية- سورية.**

** **مدرس – كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات – جامعة طرطوس –طرطوس- سورية.**

*** **طالب دكتوراه – قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات كلية الهمك – جامعة تشرين – اللاذقية- سورية.**

مقدمة:

الوثوقية هي احتمال استمرار نظام معين بتأدية المهمة المطلوبة منه بعد مدة زمنية محددة، واعتمدت معظم الدراسات السابقة على جمع البيانات الإحصائية والمراقبة ومن ثم إخضاع هذه البيانات للمعالجة بإحدى طرق حساب الوثوقية التقليدية، وقد يكون هذا الأمر مكلفاً على صعيد الجهد والوقت وترتبط دقة القياس هنا بشكل مباشر بالخبراء المراقبين وملاحظاتهم [1].

فيما يخص مجال الاتصالات يعد ضمان جودة الخدمة المقدمة إلى الزبائن من أهم أولويات مزودي الخدمة، والذين يسعون إلى تلبية هذه الحاجة من خلال زيادة محطات البث وزيادة وثوقية هذه المحطات [2] وتحسين وزيادة البنية التحتية لتجهيزات الطاقة [3] ، والتي تضمن عمل محطات البث وتعتبر كل محطة بث مع التجهيزات والبنى المرافقة لها نظم فرعية [Sub system] من الشبكة الخلوية، وحتى تقدم هذه النظم الغرض المرجو منها يجب ضمان وثوقيتها، وانطلاقاً من ذلك اهتمت بعض الأبحاث بأنواع الفشل (Failure) المرتبطة بالإشارة الراديوية وانقطاعاتها، وكانت تقنية العميل الذكي (Smart agent technology) [4] من الحلول المقترحة والتي حققت نتائج جيدة .

كما أعطت المعادلات التجريبية (Empirical equations) كذلك نتائج جيدة في حساب بارامترات الوثوقية والإتاحية (Availability،Reliability) لعناصر شبكة الاتصالات المدروسة في البحث [6,5]، وكان من نتائج البحث [7] أن وثوقية الشبكات الخلوية مرتبطة إلى حد كبير بخطوط الاتصالات (communication lines) التي يقدمها مزود الخدمة وخلصت الدراسة إلى أن خطوط الاتصال الضوئية هي الأكثر وثوقية. القاسم المشترك في الأبحاث السابقة هو أنها تعتمد على مجموعة من البيانات الإحصائية التي تم جمعها من خلال متابعة ومراقبة أعطال وحالات فشل الشبكة الخلوية من خلال مجموعة من الخبراء.

كما اعتمدت الدراسات السابقة على معلومات دقيقة ومحددة عن الأعطال وأزمنتها ومدد الإصلاح والصيانة، وهذه النقطة جوهرية في أبحاث حسابات الوثوقية، ومن الصعب غالباً الحصول على هذه المعلومات بدقة بل غالباً تكون معلومات تقريبية مقدرة برأي الخبير وبالتالي فهي معلومة ضبابية وغير محددة، ومن هنا كان المنطق الضبابي من تقنيات الذكاء الصنعي الأكثر مرونة والأكثر قابلية للتعامل مع هكذا نمط من المعلومات.

أهمية البحث وأهدافه:

يركز البحث على إيجاد نموذج جديد لحساب الوثوقية بالاعتماد على المنطق الضبابي من أجل تحسين حسابات الوثوقية، حيث تم الحصول على نموذج عام لحساب الوثوقية، وبعد دراسة نتائج هذا النموذج توصلنا إلى معادلة رياضية تمثل هذا النموذج الضبابي، وتعد توزيعاً احتمالياً ضبابياً جديداً. سوف نطبقه على منظومة اتصالات خلوية سبقت دراستها وفق توزيع وايبل ومن ثم سوف نقارن النتائج.

طرائق البحث ومواده:

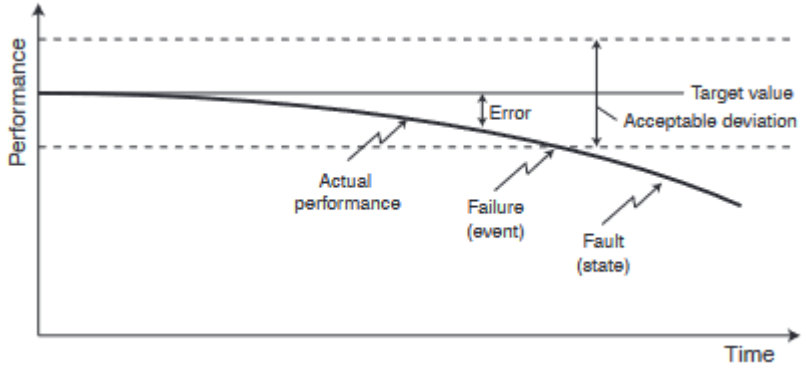
- تحديد بعض المفاهيم المهمة في البحث
- دراسة طرق حساب الوثوقية (التقليدية منها والمعاصرة).
- مفهوم المجموعات الضبابية والمنطق الضبابي.
- استنتاج بارامتر معدل الفشل (Failure rate) الخاص بالتجهيزات المدروسة سابقاً في نظام الاتصالات في الدراسة [2].

- بناء نموذج ضبابي لحساب الوثوقية وتدريبه اعتماداً على بيانات تجريبية للحصول في النهاية وباستخدام برنامج (Matlab) على معادلة رياضية يمكن اعتبارها توزيعاً احتمالياً جديداً.
- دراسة نفس التجهيزات المدروسة في الدراسة [2] وفق التوزيع الجديد.
- مقارنة النتائج مع الدراسة [2].
- المقترحات والتوصيات.

1- مفاهيم أساسية:

عرّفنا سابقاً في مقدمة البحث مفهوم الوثوقية ويندرج تحت هذا المفهوم العديد من المفاهيم الجزئية التي سترد لاحقاً أو وردت سابقاً في البحث ومنها:

- الفشل (Failure): وهو توقف الجهاز أو النظام عن تقديم الوظيفة المطلوبة منه نتيجة تجاوز الأخطاء (Errors) للقيم الحدية المطلوبة، وهذه الأخطاء قد تكون أخطاء برمجية أو أخطاء بشرية أو أخطاء العتاد الصلب [8].
- العطل (Fault): هو حالة العنصر والتي فيها يمكن اعتباره فيها غير قادر على تأدية الوظيفة المطلوبة منه، وهي حالة يصل لها العنصر نتيجة حدوث الفشل (Failure)، يبين الشكل (1) بيانياً الفرق بين الحالات الثلاث السابقة[8] .



الشكل (1) الفرق بين الخطأ والفشل والعطل

2- طرق حساب الوثوقية:

❖ **طرق تقليدية[9] :** تكون دقة النتائج فيها مشروطة بدقة المعلومات المتوفرة عن معدلات الخطأ للجهاز المدروس أو النظام ككل، وبعض هذه الطرق موضح في الجدول (1):

جدول (1) بعض الطرق التقليدية لحساب الوثوقية

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

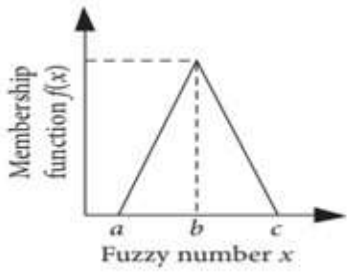
❖ **طرق معاصرة تعتمد على تقنيات الذكاء الصنعي (Artificial Intelligence):**

تم الاتجاه إلى هذه الطرق نظرا لندرة المعلومات الإحصائية الدقيقة التي يمكن الحصول عليها وصعوبة المراقبة وتسجيل المعلومات نظرا لحراجة التطبيقات[10] ، ومن هنا كانت تقنيات الذكاء الصنعي هي الحل لتجاوز هذه الصعوبات، ومن أهم هذه التقنيات: المجموعات الضبابية (وهي التقنية المستخدمة في البحث) بالإضافة الشبكات العصبونية (Neural networks)، الخوارزميات الجينية (Algorithms Genetic)....

3- مفهوم المجموعات الضبابية:

يتركز الفرق بين المنطق الضبابي 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 الضبابي وكان Zadeh أول من طرح هذه النظرية [11].

حيث يمكن في المنطق الضبابي إعطاء قيمة لانتماء عنصر معين إلى مجموعة معينة وهذه القيمة تقع في المجال [1,0]، الذي يحدد قيمة انتماء العنصر إلى مجموعة ضبابية معينة هو تابع الانتماء (Membership Function) ، يأخذ هذا التابع العديد من الأشكال ولكن الأكثر استخداماً في مجال الوثوقية هو الشكل المثلثي (Triangular) وشكل شبه المنحرف (Trapezoidal) والتابع المستخدم في بحثنا هو التابع المثلثي المبين في الشكل (2) مرفقاً بمعادلته الرياضية.



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

الشكل (2) التابع الضبابي المثلثي وعلاقته الرياضية

4- استنتاج بارامتر معدل الفشل الخاص بالتجهيزات المدروسة في الدراسة [2].

4-1- الدراسة المرجعية:

دفعت مشكلة الصعوبة في الحصول على البيانات المطلوب لحسابات الوثوقية وتحليلها إلى اللجوء إلى تقنيات المجموعات الضبابية (FSs) لتجاوز هذه المشكلة ونذكر من أهم الأبحاث المعتمدة على تقنية المجموعات الضبابية البحث[12]، والذي اعتمد فيه الباحث على التوزيع الأسي المضبب لدراسة الوثوقية خلال العمر التشغيلي، وكذلك اعتمد الباحث في البحث [13] على توزيع وايبل الضبابي لدراسة وثوقية النظام.

قدم البحث [14] منهجية معتمدة على طريقة بايز (Bayesian approach) لتقدير تابع الوثوقية المعتمد على توزيع رايلي الاحتمالي المستند على بيانات ضبابية لتوصيف عمر النظام، وفي بحث آخر [15] عام (2017) تم تقييم معدل الفشل والوثوقية لتوزيع رايلي المعمم (Generalized Rayleigh Distribution).

أما في الدراسة [2]، كان الهدف تقييم وثوقية منظومة اتصالات من خلال دراسة وثوقية خمسة محطات بث (الأكثر حراجة في المنظومة)، تمت الدراسة بالاعتماد على توزيع وايبل الاحتمالي وكون الدراسة تعنى بمنظومة اتصالات فقد اعتمدنا عليها في بحثنا حيث أعدنا دراسة نفس المنظومة باستخدام نموذجنا الضبابي وتمت مقارنة النتائج ومن أجل أن

تكون المقارنة حقيقية والنتائج موثوقة استنتجنا البارامترات المطلوبة لنموذجنا الضبابي من خلال البارامترات المعتمدة أساساً في الدراسة المذكورة.

4-2- تفاصيل الدراسة [2]:

تم في الدراسة [2] جمع المعلومات الإحصائية على مدى ستة أشهر ومن خلال هذه المعلومات تم دراسة التوزيع الاحتمالي للأعطال وفق المعادلة (1):

$$F(t_i) = \frac{(i - 0.3)}{(n + 0.4)} \qquad (1)$$

حيث: $F(t_i)$ احتمال العطل i ، t_i مدة العطل (i) ويقاس بالساعة، n العدد الكلي للأعطال، i عدد الأعطال المدروسة.

ومن خلال استخدام طريقة المربعات الصغرى (smallest squares) المعتمدة على المعادلات (2,3):

$$y = \ln\ln(\frac{1}{1 - F(t_i)}) \qquad (2)$$

$$x = \ln(t_i) \qquad (3)$$

تم استنتاج معاملات توزيع وايبل لكل محطة حيث تم كبداية جمع المعلومات الإحصائية عن الأعطال خلال فترة الدراسة (ستة أشهر) لـ 200 محطة بث (BTS) وانتقاء خمس محطات (الأكثر تأثير على عمل المنظومة)، ويبين الجدول (2) عشر حالات للفشل تخص كل محطة بث من المحطات الخمس قيد الدراسة مرفقة مع المدة الزمنية لكل عطل مقاسة بالساعات والدقائق وأيضا بالساعات فقط.

جدول (2) أكثر عشر حالات للفشل ومدتها وفقا للمحطات الخمس

No	Besharik Bagat_2G (6074)		Durvadik Xanka_2G 5913)		Gandimiyon_SEZ_2G (6031)		Mirishkor Bagat_3G (6068)		Xadra Kushkupir_2G (5927)	
	Fault duration (t),(hr; mins)	Fault duration (t), hr	Fault duration (t),(hr; mins)	Fault duration (t), hr	Fault duration (t),(hr; mins)	Fault duration (t), hr	Fault duration (t),(hr; mins)	Fault duration (t), hr	Fault duration (t),(hr; mins)	Fault duration (t), hr
1	**01:23:14**	**1.394**	**01:04:36**	**1.07**	**01:19:41**	**1.357**	**01:18:07**	**1.307**	**02:19:02**	**2.318**
2	**01:23:16**	**1.396**	**01:05:06**	**1.089**	**01:20:30**	**1.363**	**01:33:48**	**1.598**	**02:19:10**	**2.326**
3	**01:23:17**	**1.397**	**01:05:29**	**1.112**	**01:20:32**	**1.365**	**01:33:53**	**1.603**	**02:19:13**	**2.330**
4	**01:27:34**	**1.414**	**01:05:59**	**1.142**	**01:20:36**	**1.368**	**01:33:56**	**1.606**	**02:19:16**	**2.333**
5	**03:02:04**	**3.037**	**01:42:44**	**1.744**	**01:20:39**	**1.371**	**01:33:59**	**1.609**	**03:24:44**	**2.444**
6	**03:02:13**	**3.046**	**01:43:14**	**1.75**	**01:20:40**	**1.372**	**01:34:03**	**1.613**	**03:24:46**	**2.450**
7	**03:56:32**	**3.965**	**01:44:26**	**1.77**	**01:20:41**	**1.373**	**01:34:08**	**1.616**	**03:24:59**	**2.458**
8	**04:05:24**	**4.107**	**01:44:56**	**1.81**	**01:21:33**	**1.383**	**01:34:27**	**1.619**	**03:25:04**	**2.462**
9	**04:17:23**	**4.306**	**02:20:00**	**2.333**	**01:21:37**	**1.357**	**01:35:04**	**1.623**	**03:25:05**	**2.469**
10	**04:39:02**	**4.652**	**02:20:30**	**2.363**	**01:21:39**	**1.389**	**01:35:34**	**1.643**	**03:25:10**	**2.472**

بالاستفادة من البيانات السابقة يمكننا حساب الوثوقية للمحطات الخمس قيد الدراسة وفق المتحولات التالية:

t_i زمن الفشل (Failure Time)، i عدد الحالات قيد الدراسة، nعدد الأعطال الإجمالية في كل محطة بث، $F(t_i)$ احتمال الفشل.

حيث تم الاعتماد على المعادلات (1 ، 2) واعتبار العدد الكلي للأعطال بحسب الباحث (n =256) كما يلي:

$$F(t_1) = \frac{(i - 0.3)}{(n + 0.4)} = \frac{1 - 0.3}{256 + 0.4} = 0.00263$$

$$y_1 = ln\, ln(\frac{1}{1-0.00263}) = ln\, ln(1.0026) = -5.953$$

وكذلك المعادلة (3) لحساب x_i كما يلي:

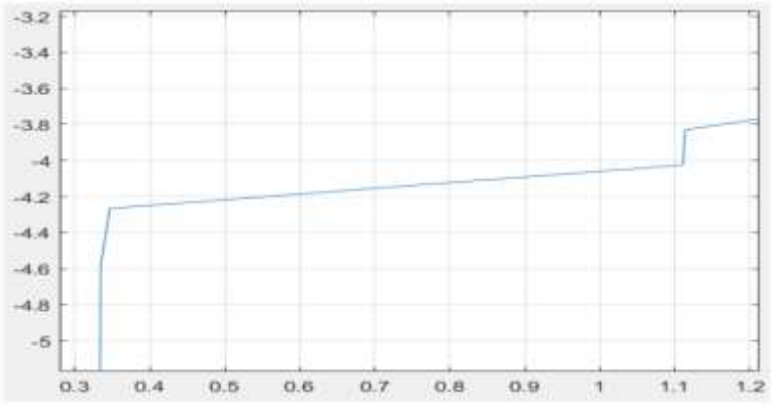
$$x_1 = \ln(t_1) = \ln(1.394) = 0.332$$

وعلى ذات المنوال طبقت حسابات المربعات الصغرى السابقة على الحالات العشر المدروسة وكانت النتائج في الجدول (3):

جدول (3) حسابات المربعات الصغرى لتوزع الأخطاء في الحالات العشر المدروسة

i	t_i	$\ln(t_i)$	$\mathbf{F(t_i) = \frac{(i-0.3)}{(n+0.4)}}$	$y = \ln\ln(\frac{1}{1-F(t_i)})$
1	1.394	0,332177312	0.00263	−5,93659285
2	1.396	0,333611004	0,006405426	−5,047398577
3	1.397	0,33432708	0,010173323	−4,582877993
4	1.414	0,346422567	0,013941221	−4,265893859
5	3.037	1,110870186	0,017709118	−4,024755015
6	3.046	1,113829254	0,021477016	−3,829936086
7	3.965	1,377505855	0,025244913	−3,66637332
8	4.107	1,412692835	0,029012811	−3,525332909
9	4.306	1,460009399	0,032780708	−3,401296366
10	4.652	1,537297235	0,036548606	−3,290553379

من خلال القيم السابقة حصلنا على الرسم البياني لاحتمالات العطل في محطة البث (BTS1) كما هو مبين في الشكل (3) وهو يمثل وفق توزيع وايبل الاحتمالي:



الشكل (3) توزع أعطال محطة البث الأولى (BTS1) وفق توزيع وايبل

بحيث: $x = \ln(t_i)$ **&** $y = \ln\ln(\frac{1}{1-F(t_i)})$

فتكون الوثوقية بحسب وايبل وبالتعويض في المعادلة (4):

$$R(t) = e^{-(\frac{t}{\theta})*\beta} \qquad (4)$$

بحيث:

المدة التي تم حساب الوثوقية عندها $t = 6\ months = 24*30*6 = 4320\ h$

مدة التقادم الإجمالية للمحطة الأولى خلال الدراسة $\Theta = 213463\ h$

معامل الشكل لتوزيع وايبل $\beta = 0.991$

ومما سبق: $R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)*\beta} = e^{-\left(\frac{4320}{213463}\right)*0.991} = 0.971$

بتطبيق الخطوات ذاتها وعند نفس البارامترات على المحطات الأربعة المتبقية تم الحصول على وثوقية المحطات الخمس:

المبينة في الجدول (4)، الذي يلخص الوثوقية المحسوبة وفق توزيع وايبل الاحتمالي للمحطات الخمس:

جدول (4) معدل الوثوقية للمحطات الخمس المدروسة

	BTS1	BTS2	BTS3	BTS4	BTS5
Reliability rate (in percent)	97.1	94.8	93.4	91.8	91

يمكن الآن وباستخدام طريقة حساب الوثوقية التفرعية للتجهيزات حساب وثوقية النظام الإجمالية كما يلي:

$$R = [1 - (1 - R1)(1 - R2)(1 - R3)(1 - R4)(1 - R5)]$$
$$= [1 - (1 - 0.971)(1 - 0.948)(1 - 0.934)(1 - 0.918)(1 - 0.91)]$$
$$= 0.999999$$

4-3- حساب معدلات الفشل للمحطات الخمس (Failure rate):

بما أن الحسابات السابقة تمت وفق توزيع وايبل الاحتمالي فإنه يمكننا حساب معدل الفشل (λ) لكل محطة وفق المعادلة (5)[16] كما يلي:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\frac{\beta}{\theta}(\frac{t}{\theta})^{\beta-1}e^{-(\frac{t}{\theta})^{\beta}}}{e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)*\beta}} = \frac{\beta}{\theta}(\frac{t}{\theta})^{\beta-1} \qquad (5)$$

بحيث :

تابع الكثافة الاحتمالية لتوزيع وايبل $f(t) = \frac{\beta}{\theta}(\frac{t}{\theta})^{\beta-1}e^{-(\frac{t}{\theta})^{\beta}}$

بتطبيق المعادلة (5) على بارامترات المحطات الخمس نحصل على معدلات الفشل (λ) التالية:

من أجل المحطة الأولى يكون معدل الفشل (λ1):

$$\lambda 1(t) = \frac{\beta 1}{\theta 1}\left(\frac{t}{\theta 1}\right)^{\beta 1-1} = \frac{0.991}{213463}\left(\frac{4320}{213463}\right)^{0.991-1} = 4\,.\,10^{-6} \quad ;\ t = 4320\ h$$

ومن أجل المحطة الثانية يكون معدل الفشل (λ2):

$$\lambda 2(t) = \frac{\beta 2}{\theta 2}\left(\frac{t}{\theta 2}\right)^{\beta 2-1} = \frac{0.961}{335461}\left(\frac{4320}{335461\theta 1}\right)^{0.961-1} = 3.394\,.\,10^{-6} \quad ;\ t = 4320\ h$$

من أجل المحطة الثالثة يكون معدل الفشل (λ3):

$$\lambda 3(t) = \frac{\beta 3}{\theta 3}\left(\frac{t}{\theta 3}\right)^{\beta 3-1} = \frac{0.97}{116962}\left(\frac{4320}{116962}\right)^{0.97-1} = 9.15595\,.\,10^{-6} \quad ;\ t = 4320\ h$$

من أجل المحطة الرابعة يكون معدل الفشل (λ4):

$$\lambda 4(t) = \frac{\beta 4}{\theta 4}\left(\frac{t}{\theta 4}\right)^{\beta 4-1} = \frac{0.93}{338650}\left(\frac{4320}{338650}\right)^{0.93-1} = 3.72675.10^{-6} \quad ; t = 4320\,h$$

من أجل المحطة الخامسة يكون معدل الفشل (λ5):

$$\lambda 5(t) = \frac{\beta 5}{\theta 5}\left(\frac{t}{\theta 5}\right)^{\beta 5-1} = \frac{0.917}{593083}\left(\frac{4320}{593083}\right)^{0.917-1} = 2.3263.10^{-6} \quad ; t = 4320\,h$$

تتلخص الحسابات السابقة بالجدول (5):

جدول (5) معدلات الفشل للمحطات الخمس

	BTS1	BTS2	BTS3	BTS4	BTS5
λ	4.10^{-6}	$3.394\,.10^{-6}$	$9.15595\,.10^{-6}$	$3.72675.10^{-6}$	$2.3263.10^{-6}$

5- استخدام المنطق الضبابي لاستنتاج نموذج ضبابي لحساب الوثوقية:

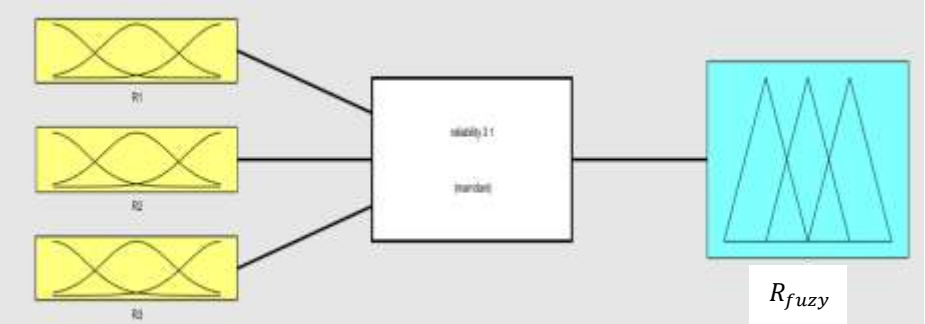
نهتم في الدراسة الحالية بالنظم الحرجة عموماً ومنها نظم الاتصالات على وجه التحديد، اي ان وثوقية هذه النظم مرتفعة جدا وبالتالي سوف نركز في الدراسة على مجال وثوقية مرتفع يتراوح بين 90% (0.9) و99% (0.99).

تم تقسيم المجال السابق إلى مجموعات ضبابية (خمس مجالات) تبعا لقيم الوثوقية بدءً من القيم المنخفضة جداً (كتعبير لغوي حيث قد تسمى من قبل باحث آخر بـ ضعيفة جداً أو قد يصنفها كوثوقية منخفضة فقط) إلى قيم الوثوقية الجيدة جداً كما يلي:

a. المجال من $(0.9 - 0.91)$ حيث الوثوقية منخفضة جداً (Very Low)
b. المجال من $(0.9 - 0.94)$ حيث الوثوقية منخفضة (Low)
c. المجال من $(0.93 - 0.97)$ حيث الوثوقية متوسطة (Medium)
d. المجال من $(0.96 - 1)$ حيث الوثوقية جيدة (Good)
e. المجال من $(0.99 - 1)$ حيث الوثوقية جيدة جداً (Very Good)

مع العلم أنه كلما ازداد عدد مجالات الدراسة زادت الدقة ولكن يترتب على هذا الأمر زيادة في التكلفة الحسابية والزمنية للحصول على النتيجة وبناءً عليه تم اختيار عدد المجالات خمسة بحيث نحقق التوازن بين الدقة والتكلفة الحسابية.

يقوم النموذج المقترح على مبدأ اعتبار قيم الوثوقية لتجهيزة معينة أو نظام معين قيد الدراسة, والتي تم حسابها بالطرق التقليدية كمدخلات له ومن ثم معالجة هذه المدخلات من خلال تضبيبها وإخضاعها لعمليات الاستدلال الضبابي عن طريق تطبيق مجموعة من القواعد الضبابية والتي تؤدي بالنتيجة إلى الحصول على قيمة ضبابية للوثوقية (R_{fuzy}) ومن ثم القيام بعملية عكس التضبيب للحصول على قيمة محددة أمثلية للوثوقية (R_p) وهي خرج النموذج، كما هو موضح في الشكل (4)، حيث أن (R1,R2,R3) هي مدخلات النموذج الضبابي وهي قيم الوثوقية المحسوبة بالطرق التقليدية وفي بحثنا اعتمدنا على توزيع وايبل كطريقة تقليدية لحساب الوثوقية وفق قيم مختلفة موضحة بشكل أكبر لاحقاً في الجدول (6)، وخرج النظام (R_{fuzy}) هو القيمة المحسنة للوثوقية بعد معالجة القيم التقليدية الثلاث وفق النموذج المقترح.

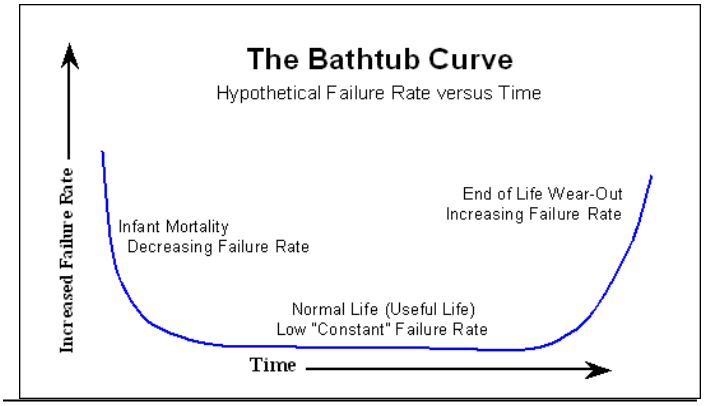


الشكل (4) الشكل العام للنموذج الضبابي المقترح

بالتالي يجب إيضاح حسابات الوثوقية بالطرق التقليدية كونها مدخلات للنموذج المنشود.

5-1- حساب قيم الوثوقية بالطرق التقليدية:

اعتمدنا في هذه الحسابات على توزيع وايبل الاحتمالي وفق ثلاث ثنائيات مختلفة لقيم (β و θ) لأنه يمثل المنحنى الأعم والأشهر لتمثيل الوثوقية وهو منحني حوض الاستحمام (bathtub curve) والمبين في الشكل (5).



الشكل (5) منحني حوض الاستحمام الذي يعبر عن تغيرات الوثوقية لتجهيزة معينة مع الزمن

حيث (β و θ) معاملا الشكل والقياس، اللذان يحددان التوزع الاحتمالي للأخطاء على زمن حياة التجهيزة وبإعطاء القيم المناسبة لهذه المعاملات في معادلة توزيع وايبل الاحتمالي السابقة (4)، نحصل على ثلاث توزيعات مشتقة من وايبل وتمثل بمجموعها منحنى حوض الاستحمام وتمكننا مجتمعة من دراسة الوثوقية على كامل العمر الافتراضي للنظام أو التجهيزة المدروسة وهي مبينة في الجدول (6):

جدول (6) توزيع وايبل بقيم مختلف لمعاملات الشكل والقياس

المرحلة من حياة التجهيزة الذي يمثله التوزيع	$R(t)$	θ	β
تمثل مرحلة المهد للتجهيزة (Mortality life)	$\boldsymbol{R1(t) = e^{-(\frac{t}{220000})^{0.5}}}$	220000	0.5
تمثل مرحلة العمل المفيد للتجهيزة (Useful life)	$\boldsymbol{R2(t) = e^{-\lambda t}}$ حيث λ هي معدل الفشل	$1/\lambda$	1
تمثل مرحلة اهتلاك التجهيزة (Wear – out)	$\boldsymbol{R(t) = e^{-(\frac{t}{220000})^{3.5}}}$	220000	3.5

وبالتالي تم تمثيل حياة التجهيزة بالكامل للحصول على قيمة وثوقية أمثلية، حيث تحسب الوثوقية في المهد وفي الحياة المفيدة للتجهيزة وفي مرحلة اهتلاك التجهيزة، وتدخل القيم الثلاث السابقة للمعالجة وفق النموذج الضبابي المقترح

للحصول على القيمة المثلى للوثوقية الخاصة بالتجهيزة وفق بارامترات فشل معينة وفي لحظة معينة. ولاستنتاج نموذج شامل قمنا بتدريب النموذج على عينة كبيرة وشاملة لمختلف قيم الوثوقية الممكنة في مجال الدراسة حيث جرى تضبيب القيم على الدخل وعكس التضبيب على الخرج للحصول على R_p.

5-2- استنتاج النموذج الرياضي:

قمنا باستنتاج هذا النموذج من خلال إدخال عدد لا بأس به من العينات التدريبية وبالاستفادة من أداة ملاءمة المنحنيات (Curve Fitting Tool) في الماتلاب، يبين الجدول (7) جزء بسيط من العينة التدريبية المستخدمة لاستنتاج معادلة النموذج الرياضي.

جدول (7) 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 كمدخلات للنظام الضبابي المقترح لنحصل على ما يقابلها من قيمة ضبابية مثلى للوثوقية (R) والتي بدورها خضعت لعملية عكس التضبيب فحصلنا على قيمة حدية لها، ونبين في الجدول (8) قيم R المقابلة لقيم (R3،R2،R1) في الجدول السابق.

جدول (8) حساب قيم R من خلال قيم الوثوقية التقليدية الثلاثة اعتمادا على النموذج الضبابي

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

بعد إخضاع القيم السابقة في الجدولين (7,8) لأقرب تمثيل بياني ومعادلة رياضية وفق الماتلاب تم استنتاج المعادلة (6) والتي تمثل إلى حد كبير النموذج الضبابي المقترح.

$$\boldsymbol{R = a\lambda + bt + c} \qquad (\mathbf{6})$$

بحيث:

$$a = (-1.536e+07\,,\quad 2.216e+06)$$
$$b = (-0.0003417\,,\quad 4.898e-05)$$
$$c = (-32.05\,,\quad 229.7)$$

6- إعادة حساب وثوقية المحطات الخمس وفق التوزيع الضبابي المقترح

بعد الحصول على معدلات الفشل للمحطات الخمس يمكننا حساب وثوقية هذه المحطات وفق التوزيع الضبابي المبين سابقاً بالمعادلة (6) وهي:

$$R = a\lambda + bt + c$$

بحيث قيم المعاملات (a، b، c) تم اختيارها ضمن المجالات السابقة تجريبياً بما يتلاءم مع نظام الاتصالات المدروس:

$$\mathbf{a = -6.574e+06\ \ (-1.536e+07,\ 2.216e+06)}$$
$$\mathbf{b = -0.0001664\ \ (-0.0003417,\ 4.898e-05)}$$
$$\mathbf{c = 116\ (-32.05,\ 229.7)}$$

وبالتالي يصبح التوزيع الضبابي وبالمعاملات المتناسبة مع التجهيزات قيد الدراسة مبيناً بالعلاقة (7):

$$R = -6.574 \,.\, 10^{6} \,.\, \lambda - 0.0001664 \,.\, t + 116 \qquad (7)$$

بتطبيق العلاقة (7) على المحطات الخمس وفق معدلات الفشل الموضحة في الجدول (5) نحصل على قيم الوثوقية وفق التوزيع الضبابي كما في الجدول (9):

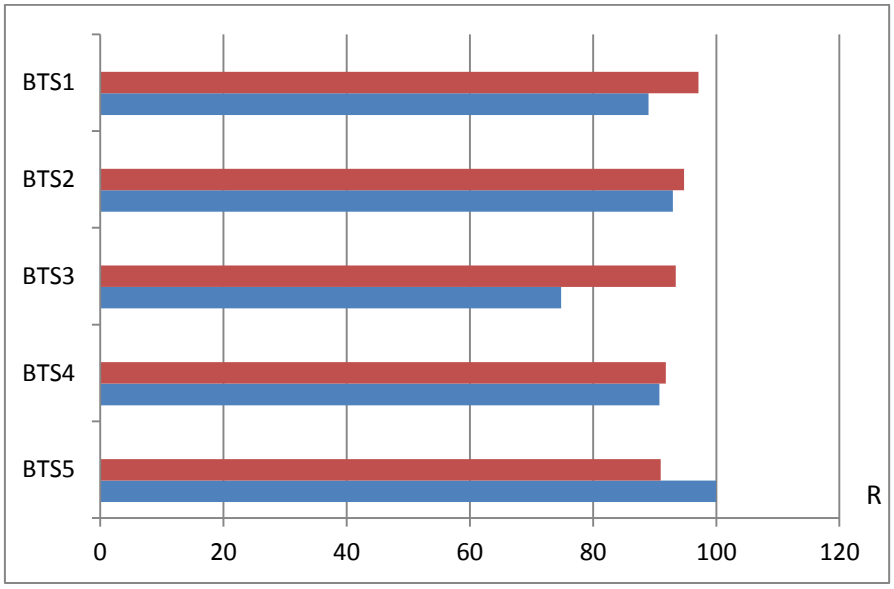
جدول (9) قيم الوثوقية للمحطات الخمس وفق التوزيع الضبابي

	BTS1	BTS2	BTS3	BTS4	BTS5
R	88.98515	92.969	74.81194	90.7815	99.98806

ولحساب الوثوقية الإجمالية للنظام نعود إلى معادلة حساب الوثوقية التفرعية كما يلي:

$$R_f = [1 - (1 - R1)(1 - R2)(1 - R3)(1 - R4)(1 - R5)]$$
$$= [1 - (1 - 0.8898515)(1 - 0.92969)(1 - 0.7481194)(1 - 0.907815)(1 - 0.9998806)]$$
$$= 0.999999979$$

يبين الشكل (6) قيم الوثوقية في حال التوزيع الضبابي وتوزيع وايبل:



الشكل (6) مقارنة قيم الوثوقية وفق التوزيع الضبابي مع الوثوقية التقليدية باستخدام توزيع وايبل

النتائج والمناقشة:

7- مناقشة النتائج ومقارنتها مع نتائج التوزيع الاحتمالي التقليدي:

بالمقارنة بين نتائج حساب الوثوقية للنظام من خلال التوزيعين الاحتماليين (وايبل – الضبابي) نلاحظ ما يلي:

1- المحطة ذات الوثوقية الأعلى في حالة توزيع وايبل (BTS1) ليست ذاتها وفق التوزيع الضبابي، حيث يقيس التوزيع الضبابي الوثوقية وفق منظور الحياة الكاملة للتجهيزة (يراعي قيم الوثوقية لمرحلة المهد ومرحلة الحياة المفيدة ومرحلة تقادم واهتلاك التجهيزة وهي القيم على دخل النموذج (R1,R2,R3)) ويعطي على الخرج قيمة وثوقية تراعي القيم الثلاث على الدخل، على عكس توزيع وايبل قيد المقارنة والذي يهتم بحساب الوثوقية عند نقطة زمنية محددة فقط (مرتبط بالتقادم فقط).

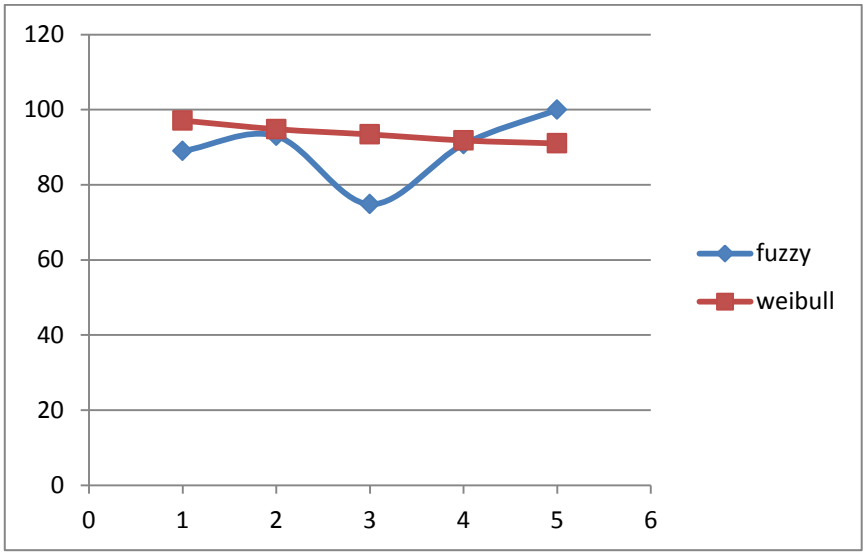
2- الوثوقية العامة للنظام والمحسوبة وفق التوزيع الضبابي قريبة جداً من الوثوقية المحسوبة وفق توزيع وايبل ولكن يتوقع ازدياد الدقة كون النموذج الضبابي يراعي أكثر من توزيع احتمالي ويعطي وثوقية شاملة لكافة مراحل عمل النظام.

3- يبين الجدول (10) مقارنة بين نتائج التوزيعين من حيث قيمة الوثوقية الناتجة والمحطة الأكثر وثوقية

جدول (10) قيم الوثوقية الناتجة من خلال تطبيق التوزيعين والمحطة الأكثر وثوقية

التوزيع الاحتمالي	الوثوقية الكلية	المحطة ذات الوثوقية الأعلى	أعلى وثوقية مسجلة
توزيع وايبل	0.99999926	BTS1	97.1
التوزيع الضبابي	0.999999979	BTS5	99.07446

4- يبين الشكل (7) المحطات التي تتقارب فيها قيم الوثوقية المحسوبة وفق التوزيعين وكذلك المحطات التي تباعدت عندها القيم.



الشكل (7) قيم الوثوقية للمحطات الخمس وفق التوزيعين المستخدمين

يلاحظ من الشكل السابق أن التوزيع الضبابي يراعي قيم معدل الفشل المختلفة للمحطات الخمس (بالإضافة إلى زمن التشغيل) على عكس توزيع وايبل الذي أعطى قيماً تراعي زمن التشغيل فقط ومن هنا كان الاختلاف في قيم الوثوقية بين المحطات الخمس وخاصة المحطة الثالثة حيث هناك تباين بين قيمة الوثوقية التقليدية والقيم الضبابية لأن التوزيع الضبابي يشمل التوزيع الأسي ضمناً والذي بدوره يعطي قيمة وثوقية تتناسب عكساً ليس فقط مع الزمن وإنما مع معدل الفشل والذي هو الأعلى للمحطة الثالثة (بالعودة إلى الجدول (5)).

الاستنتاجات والتوصيات:

1- الازدياد المتوقع في دقة قيمة وثوقية النظام المحسوبة عند استخدام التوزيع الضبابي المقترح عن القيمة الناتجة باستخدام توزيع وايبل يجعل التوزيع الضبابي أكثر واقعية قياساً بطرق الحساب التقليدية المعتمدة على التوزيعات الاحتمالية التقليدية.

2- التحسين المستهدف في بحثنا هو تحسين لآلية حساب وثوقية أنظمة الاتصالات وتجهيزاتها مقارنة مع أساليب الحساب التقليدية وذلك باستخدام توزيعنا الاحتمالي الضبابي المعتمد على الذكاء الصناعي، وقد تحقق هدف البحث من خلال شمولية التوزيع الجديد.

3- يوصى باستخدام التوزيع الضبابي في الحالات التي يكون فيها من الصعب تحديد التوزيع الدقيق للأعطال على المسار الزمني للعمر التشغيلي للتجهيزة أو النظام المدروس.

References:

[1] Breneman, James E., Chittaranjan, S. and Elmer E. L. Introduction to reliability engineering. John Wiley & Sons, 2022.

[2] Davronbekov, D., Matyokubov, U. K., and Abdullayeva, M. I. Evaluation of reliability indicators of mobile communication system bases. *EVALUATION*, *11*, 16-2020.

[3] Muradova A.; Khujamatov K. Results of calculations of parameters of reliability of restored devices of the multiservice communication network. In2019 International

Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT) 2019 Nov 4 (pp. 1-4). IEEE.
[4] Mas'ud, A. Fault management in communication networks (A Case Study of the CDMA Intercullar network at Kaduna). PhD diss., MSc Thesis. Ahmadu Bello University, Zaria. Retrieved March 21, 2008 from Department of Electrical Engineering Theses, Ahmadu Bello University, Zaria, 2006.
[5] Chen Y. Episodic Perspectives of Wireless Network Dependability. (Doctoral dissertation, Ohio University), 2006.
[6] Snow, A. P.;Upkar V., and Alisha D. M.Reliability and survivability of wireless and mobile networks. *Computer* 33.7 (2000): 49-55.
[7] Fawaz, W., Martignon, F., and Chen, K. A novel protection scheme for quality of service aware WDM networks. IEEE International Conference on Communications, 2005. Vol. 3, IEEE, 2005.
[8] Rausand, M., Hoyland, A. System reliability theory: models, statistical methods, and applications (Vol. 396). John Wiley & Sons. (2003). de Estadística, Vol. 40, No. 1, pp. 165-203.
[9] Stapelberg, R. F. Handbook of reliability, availability, maintainability and safety in engineering design. Springer Science & Business Media, 2009.
[10] Pokorni, S. J. Current state of the application of artificial intelligence in reliability and maintenance. Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier 69, no. 3 (2021): 578-593.
[11] Abdolshah, M., Samavi, A., Khatibi, S. A., and Mamoolraftar, M. A review of systems reliability analysis using fuzzy logic. Advanced Fuzzy Logic Approaches in Engineering Science, 2019, 362-377.
[12] Baloui J. E. An evaluation of the systems reliability using fuzzy lifetime distribution, Journal of Applied Mathematics, (2011). Vol. 7, No. 28, pp. 73-80.
[13] Baloui J. E. Analyzing system reliability using fuzzy Weibull lifetime distribution, International Journal of Applied Operational Research, (2014). Vol. 4, pp. 93-102.
[14] Pak, A., Parham, G. A. and Saraj, M. Reliability estimation in Rayleigh distribution based on fuzzy lifetime data, International Journal of System Assurance Engineering and Management, (2014). Vol. 5, No. 4, pp. 487-494.
[15] Venkatesh A., Manikandan R. and Senthil Kumar P. Fuzzy reliability analysis for the effect of oxytocin using generalized Rayleigh distribution, International Journal of Pure and Applied Mathematics, (2017). Vol. 117, No. 6, pp. 173-182
[16] Fan, L., Hu, Z., Ling, Q., Li, H., Qi, H. and Chen, H. Reliability analysis of computed tomography equipment using the q- Weibull distribution. Engineering Reports, 5(7), p.e12613, 2023.