Studying Replacement of Medical Equipment in the Radiology Department in a Local Hospital by Using Artificial Intelligence Algorithms

Mais Asef Halloum*

(Received 4 / 7 / 2024. Accepted 8 / 9 / 2024)

□ ABSTRACT □

The management of medical equipment is considered an important part in hospitals management, where good management of medical equipment leads to safe and effective use through medical equipment life cycle.

In this research, an expert system was built for managing medical equipment and its replacement. This system takes into consideration numbers of parameters that effect replacement decision, where Inference engine deals with input parameters according to the two types: Fuzzy Logic and Decision Tree.

We applied our expert system on some medical equipment in the radiology department in Tishreen University Hospital in Lattakia, and the results in the output showed the efficiency of our system for determining the medical equipment replacement.

Keywords: Medical Equipment, Replacement, Decision Tree, Fuzzy Logic.

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

* **Master's Degree, Biomedical Engineering, Faculty of Electrical and Mechanical Engineering, Damascus University, Damascus, Syria.**

دراسة استبدال أجهزة طبية في قسم الأشعة في مستشفى محلي باستخدام خوارزميات الذكاء الاصطناعي

ميس آصف حلوم*

(تاريخ الإيداع 4 / 7 / 2024. قُبِل للنشر في 8/ 9 / 2024)

□ ملخّص □

تعد إدارة الأجهزة الطبية جزءاً مهماً في إدارة المستشفيات، لأن الإدارة السليمة للأجهزة الطبية تؤدي إلى استخدام فعال وآمن طوال دورة حياتها.

تم في هذا البحث بناء نظام خبير لإدارة الأجهزة الطبية واستبدالها، يأخذ النظام بالحسبان عدداً من البارامترات التي تؤثر على قرار الاستبدال، حيث تعامل محرك الاستدلال مع بارامترات الدخل وفق أسلوبين هما: شجرة القرار والمنطق الضبابي.

طُبق النظام الخبير على بعض الأجهزة الطبية في قسم الأشعة في مستشفى تشرين الجامعي باللاذقية، وأظهرت النتائج مدى فعالية النظام في تحديد مؤشر استبدال الأجهزة الطبية المدروسة.

الكلمات المفتاحية: أجهزة طبية، استبدال، شجرة القرار، المنطق الضبابي.

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

* **ماجستير - الهندسة الطبية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة دمشق- دمشق- سورية.**

مقدمة:

تلعب الأجهزة الطبية في قطاع الرعاية الصحية دوراً رئيسياً في التشخيص والعلاج والمراقبة وإعادة التأهيل، لذلك من أجل بقاء الأجهزة الطبية بحالة جيدة وجاهزة للاستخدام بما يحقق ضمان استمرار عملها بفعالية وموثوقية وكلفة مناسبة لا بد من تقييم حالة الجهاز الطبي خلال دورة حياته لمعرفة إذا كان الجهاز بحاجة للاستبدال أم لا[1][2][3] .

ولما كان التقدم الحاصل في المجال الطبي وفي مجال التكنولوجيا الطبية الحديثة له دور في ازدياد عدد الأجهزة الطبية وبالتالي ازدياد في تكاليف شراء الأجهزة الطبية وإصلاحها وصيانتها واستبدالها، فإن هناك حاجة إلى وضع استراتيجيات وسياسات لمواجهة التحدي المتمثل في زيادة استخدام تلك الأجهزة. حيث قامت البلدان المتطورة بوضع خطط وبرامج ومعايير عالمية لإدارة الأجهزة الطبية وصيانتها واستبدالها[1][4].

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في أتمتة أداء الكادر الفني والطبي في المستشفيات من خلال استخدام إحدى تقنيات الذكاء الاصطناعي (النظم الخبيرة) في استبدال الأجهزة الطبية، بما يحقق استخداماً جيداً وآمناً للأجهزة.

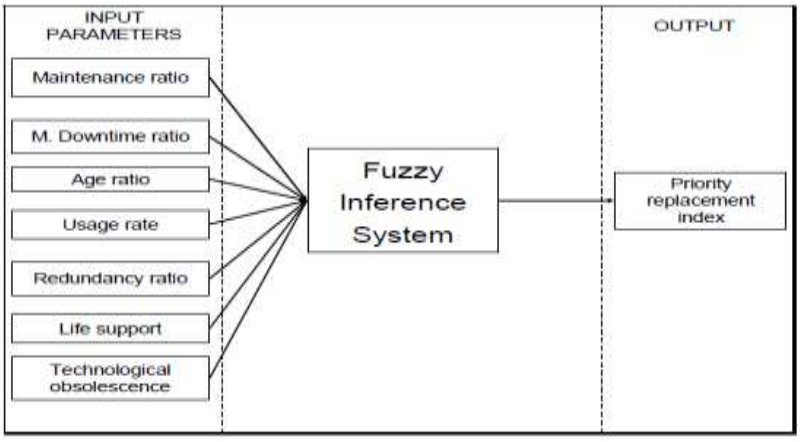
يهدف البحث إلى بناء نظام خبير قادر على التنبؤ بمؤشر استبدال الأجهزة الطبية وذلك بأقل زمن ممكن وبدقة وكفاءة عاليتين الأمر الذي يسهم في تحقيق إدارة ناجحة للأجهزة الطبية.

طرائق البحث ومواده:

تم في هذا البحث بناء نظام خبير باستخدام شجرة القرار والمنطق الضبابي لعدد من الأجهزة الطبية في قسم الأشعة في مستشفى تشرين الجامعي باللاذقية.

1.1 الدراسات المرجعية:

قام عديد من الباحثين بدراسة إدارة الأجهزة الطبية من جوانب مختلفة وبمنهجيات متعددة. طُورت في تلك الدراسات تقنيات مختلفة لاقتراح استبدال الأجهزة الطبية، ففي دراسة Giovanni Mummolo وزملاؤه (2007) اقترح الباحثون نموذج الاستدلال الغامض Fuzzy Inference System (FIS) لتحديد الأجهزة الواجب استبدالها[5] . تضمنت بنية النموذج سبعة بارامترات دخل وخرجاً واحداً كما هو موضح في الشكل (1).

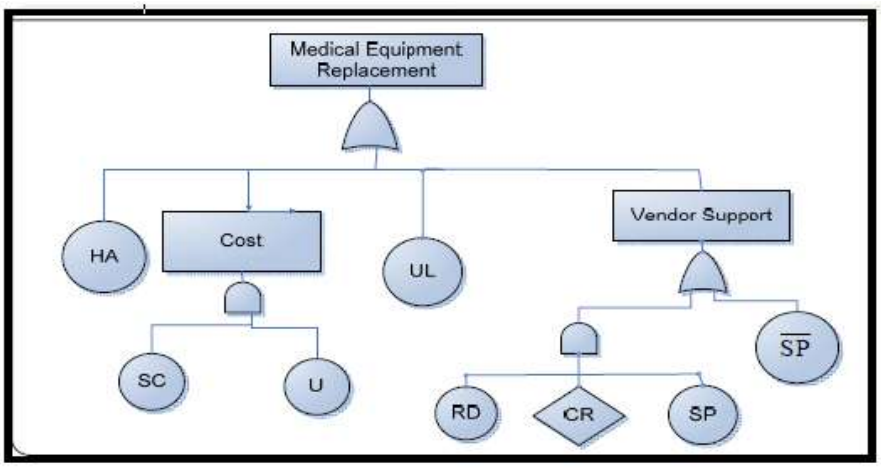


الشكل (1): بنية نموذج الاستدلال الغامض لاستبدال الأجهزة الطبية[5]

طُبق النموذج على100 جهاز حيث تمثلت عينة الدراسة بمجموعة من الأجهزة التشخيصية والعلاجية والداعمة للحياة في إحدى المستشفيات الإيطالية. وخلص الدراسة إلى النتائج التالية:

- أثبت النموذج فعاليته في تحديد الأجهزة الأكثر أهمية التي يجب استبدالها.
- أظهر كل من بارامتري نسبة الصيانة ومعدل الاستخدام قوة تنبؤية فائقة عند مقارنتها بالمتغيرات الأخرى.

أما في دراسة Bassem K. Ouda وزملاؤه (2010) فقد تم استخدام تحليل شجرة الخطأ Fault Tree Analyze (FTA) لنمذجة عملية الاستبدال باستخدام مجموعة من البارامترات التي تؤثر بشكل مباشر أو غير مباشر على قرار الاستبدال والموضحة في الشكل (2).



الشكل (2): نموذج شجرة الخطأ لاستبدال الأجهزة الطبية[6]

ولإثبات صحة النموذج المقترح وتقييم نموذج شجرة الخطأ، تم تطبيق النموذج على30 جهاز عناية مشددة لحديثي الولادة بثمانية أنماط مختلفة في مستشفى جامعي. وخلصت الدراسة إلى أن عوامل العمر والتكلفة وعدم توفر القطع التبديلية لها تأثير مباشر وكبير على قرار الاستبدال.

وبينت دراسات أخرى أن هناك نقصاً في التقييم العلمي والواقعي لقرار استبدال الأجهزة الطبية، وأن التخطيط لاستبدال الأجهزة لم يلق أدنى حد من الاهتمام لأن عدداً قليلاً من المستشفيات لديها آلية رسمية لتحديد برنامج استبدال الجهاز. وهذا يقود إلى شراء مبكر أو متأخر أو غير ضروري في بعض الأحيان [11][10][9][8][7].

تمت الاستفادة من بعض هذه الدراسات في رسم الإطار النظري للبحث وفي تطوير أداة الدراسة وتقييمها.

2.1 عينة الدراسة في قسم الأشعة في مستشفى تشرين الجامعي باللاذقية:

يعد مستشفى تشرين الجامعي من أهم المستشفيات الموجودة في الجمهورية العربية السورية، فهو مستشفى تعليمي يضم حوالي1000 سرير ويشمل كافة الاختصاصات الطبية.

تركز البحث في قسم الأشعة نظراً لتنوع الأجهزة الموجودة وأهميتها ودورها في عمليتي التشخيص والعلاج من ناحية، ومن ناحية أخرى نظراً لتكاليف شرائها باهظة الثمن. وتم اختيار عينة الدراسة من عدد من الأجهزة المتشابهة في مبدأ عملها والتي تعتمد على الأشعة السينية، وهي جهاز تصوير الأشعة العام، وجهاز الطبقي المحوري، وجهاز القثطرة القلبية وجهاز التصوير والتنظير الظليل. يعود سبب اختيار صنف واحد من الأجهزة لأن النظام الخبير يتعامل مع قاعدة معرفة وهذه القاعدة سوف تتضمن بارامترات ذات شروط خاصة بكل نوع على حدة.

3.1 بناء نظام خبير لاستبدال الأجهزة الطبية:

اعتُمد النظام الخبير في هذا البحث للاستفادة من الخبرات العلمية للقائمين على الأجهزة الطبية (كادر طبي وفني) في مجال إدارة الأجهزة الطبية واستبدالها، وإمكانية تقييم الحالة الفنية للأجهزة وتحقيق جدوى اقتصادية جراء تطبيق هذا النظام. تمت الاستعانة بمجموعة من الخبراء في هذا البحث من مهندسي ووكلاء شركات الأجهزة الطبية المدروسة وهما شركتي GMM وSIEMENS، وكذلك الأمر الاستعانة بالكتالوكات والنشرات الفنية المرفقة مع الأجهزة، والتي تتضمن توصيات الشركات الصانعة فيما يخص الأجهزة ومتطلباتها.

1.3.1 الاستبيانات الخاصة بالأجهزة الطبية المدروسة:

تم تصميم نموذج استبيان يخص بشكل مباشر بارامترات استبدال الأجهزة الطبية بالاستعانة بالاستبيان الموجود في المرجع [1]، فقمنا بالاطلاع على الاستبيان وتعديله والاستفادة من البنود التي تخص موضوع البحث وأخذها بعين الاعتبار عند تصميم نموذج الاستبيان المعتمد، والذي يتكون من مجموعة من الأسئلة بلغت عشرة أسئلة وُزّعت على الكادر الطبي والفني المسؤول عن تشغيل واستثمار تلك الأجهزة، وقد جاء هذا الاستبيان كنتيجة عن دراسة واقع تلك الأجهزة في قسم الأشعة في مستشفى تشرين الجامعي باللاذقية وفق الجداول (1) و(2) و(3) و(4) التالية:

الجدول (1): الاستبيان الخاص بجهاز تصوير الأشعة العام في قسم الأشعة في مستشفى تشرين الجامعي

م	البيان	الشرط	محقق	غير محقق	ملاحظات
1	درجة حرارة بيئة التشغيل	10 – 40 C°	✓		–
2	نسبة الرطوبة في بيئة التشغيل	20 – 75 %	✓		–
3	التغذية الكهربائية عن طريق UPS	ضرورية		✓	–
4	الصيانة الدورية	ضرورية		✓	–
5	معدل استخدام الجهاز	8 ساعة / اليوم	✓		–
6	التدريب	ضروري	✓		–
7	توافر القطع التبديلية	ضروري	✓		متوفرة لدى الشركة الصانعة
8	الجدوى الاقتصادية للإصلاح	لا يتجاوز معامل تكلفة الإصلاح تقريبا 40% من سعر الجهاز	✓		معامل تكلفة الإصلاح بحدود 36.9%
9	التطبيقات الطبية	متوفرة	✓		–
10	الحالة التكنولوجية	حديث	✓		–

الجدول (2): الاستبيان الخاص بجهاز الطبقي المحوري في قسم الأشعة في مستشفى تشرين الجامعي

م	البيان	الشرط	محقق	غير محقق	ملاحظات
1	درجة حرارة بيئة التشغيل	10 – 40 C°	✓		–
2	نسبة الرطوبة في بيئة التشغيل	20 – 75 %	✓		–
3	التغذية الكهربائية عن طريق UPS	ضرورية	✓		–
4	الصيانة الدورية	ضرورية		✓	–
5	معدل استخدام الجهاز	8 ساعة / اليوم		✓	–
6	التدريب	ضروري	✓		–
7	توافر القطع التبديلية	ضروري	✓		–
8	الجدوى الاقتصادية للإصلاح	لا يتجاوز معامل تكلفة الإصلاح تقريبا 40% من سعر الجهاز	✓		–
9	التطبيقات الطبية	متوفرة	✓		–
10	الحالة التكنولوجية	حديث	✓		–

الجدول (3): الاستبيان الخاص بجهاز القثطرة القلبية في قسم الأشعة في مستشفى تشرين الجامعي

م	البيان	الشرط	محقق	غير محقق	ملاحظات
1	درجة حرارة بيئة التشغيل	20 – 28 C°	✓		–
2	نسبة الرطوبة في بيئة التشغيل	35 – 80 %	✓		–
3	التغذية الكهربائية عن طريق UPS	ضرورية	✓		–
4	الصيانة الدورية	ضرورية		✓	–
5	معدل استخدام الجهاز	8 ساعة / اليوم	✓		–
6	التدريب	ضروري	✓		–
7	توافر القطع التبديلية	ضروري	✓		متوفرة لدى الشركة الصانعة
8	الجدوى الاقتصادية للإصلاح	لا يتجاوز معامل تكلفة الإصلاح	✓		معامل تكلفة الإصلاح بحدود

		تقريبا 40% من سعر الجهاز			%15.8
9	التطبيقات الطبية	متوفرة	✓		–
10	الحالة التكنولوجية	حديث	✓		–

الجدول (4): الاستبيان الخاص بجهاز أشعة تصوير وتنظير ظليل في قسم الأشعة في مستشفى تشرين الجامعي

م	البيان	الشرط	محقق	غير محقق	ملاحظات
1	درجة حرارة بيئة التشغيل	10 – 35 C°	✓		–
2	نسبة الرطوبة في بيئة التشغيل	20 – 75 %	✓		–
3	التغذية الكهربائية عن طريق UPS	ضرورية		✓	–
4	الصيانة الدورية	ضرورية		✓	–
5	معدل استخدام الجهاز	8 ساعة / اليوم	✓		–
6	التدريب	ضروري	✓		–
7	توافر القطع التبديلية	ضروري	✓		متوفرة لدى الشركة الصانعة
8	الجدوى الاقتصادية للإصلاح	لا يتجاوز معامل تكلفة الإصلاح تقريباً 40% من سعر الجهاز	✓		معامل تكلفة الإصلاح بحدود 12.6%
9	التطبيقات الطبية	متوفرة	✓		–
10	الحالة التكنولوجية	حديث	✓		–

2.3.1 مداخل النظام الخبير:

تم تحديد بارامترات الاستبدال في هذا البحث والتي تشكل المداخل الخاصة بالنظام الخبير، وذلك من خلال الاطلاع على الدراسات السابقة ومن خلال دراسة الواقع العملي للأجهزة المدروسة.

بارامتر الموثوقية:

تعرف الموثوقية بنجاح جهاز ما بتنفيذ وظائفه المطلوبة من دون عطل تحت شروط محددة خلال مدة زمنية معينة [3]. يمكن تحسين مستوى موثوقية الجهاز الطبي من خلال: البيئة التشغيلية للجهاز، الصيانة، معدل الاستخدام والتدريب.

نمثل هذا البارامتر بالمعادلة التالية [إعداد الباحث] :

$$X_1 = (\text{البيئة التشغيلية} * k_1) + (\text{الصيانة} * k_2) + (\text{معدل استخدام الجهاز} * K_3) + (\text{التدريب} * K_4) \quad \ldots\ldots\ldots (1)$$

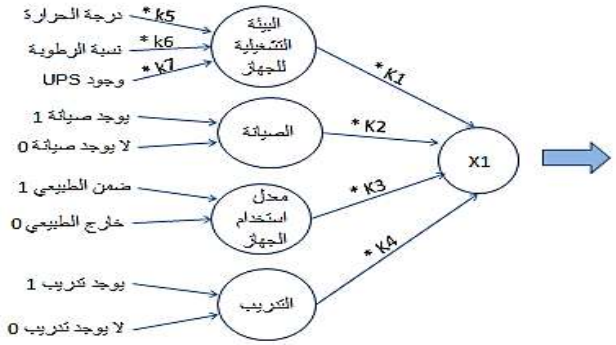
حيث تمثل k_n معامل التثقيل.

$K_1=35, K_2=30, K_3=10, K_4=25$

البيئة التشغيلية = (درجة الحرارة *k_5) + (نسبة الرطوبة *k_6) + (وجودUPS *K_7)

$K_5=35, K_6=30, K_7=35$

تم تحديد قيم معاملات التثقيل السابقة بالاعتماد على بعض الدراسات المرجعية التي تناولت موضوع استبدال الأجهزة الطبية[6][12][13][5] ، ومن خلال تحليل العوامل المؤثرة في دراسة بارامتر الموثوقية ومدى أهميتها وتأثيرها بشكل مباشر أو غير مباشر في الحالة الفنية للجهاز وبالتالي في قرار الاستبدال. يبين الشكل (3) العوامل المؤثرة في دراسة بارامتر الموثوقية وفقاً لشجرة القرار.



الشكل (3): تمثيل بارامتر الموثوقية [إعداد الباحث]

تم تثقيل البيئة التشغيلية التي تضم درجة الحرارة والرطوبة ووجود UPS بوزن 35%لأنها تؤثر بشكل كبير على موثوقية الجهاز، وهي قابلة للتغير بشكل كبير حسب المكان الجغرافي الذي يعمل فيه الجهاز. وتم تثقيل الصيانة بوزن 30% وهي النسبة الثانية للتأكيد على أهمية صيانة الجهاز حتى يكون موثوقاً به، وتشمل الصيانة مراقبة بارامترات عمل الجهاز والصيانة الدورية. تم تثقيل بارامتر استخدام الجهاز بقيمة تثقيل أقل لأن معظم الأجهزة تتعرض لضغوط تشغيل في المستشفيات وخاصة الأجهزة النوعية مثل جهاز الطبقي المحوري وانخفاض قيمة التثقيل للبارامتر يتم تعويضه بالصيانة وتحسين البيئة التشغيلية. تم تثقيل بارامتر الكادر المدرب بنسبة 25% لأن وجود كادر مدرب يرفع موثوقية الجهاز بشكل جيد ويساعد في توقع احتياجات الجهاز من صيانة دورية وتحسين معاملي الرطوبة والحرارة المتغيرين بشكل دائم.

فيما يخص بارامتر معدل استخدام الجهاز ومن خلال الاطلاع على بعض الدراسات المرجعية [12][5]، اعتمد الباحثون متوسط ساعات استخدام الجهاز في الأسبوع مقسماً على عدد ساعات الأسبوع لحساب معدل استخدام الجهاز، في حين اعتمد آخرون نظام درجات لتقييم الاستخدام كما يلي: ثلاث درجات في حال تم استخدام الجهاز أكثر من ست ساعات في اليوم ودرجتان في حال تم استخدامه من صفر إلى ست ساعات في اليوم ودرجة واحدة في حال لا يوجد استخدام يومي للجهاز.

تم اعتماد معدل الاستخدام الطبيعي للجهاز بعد أخذ رأي الخبراء وهو عدد ساعات الدوام الرسمي أي بمعدل ثمان ساعات في اليوم (من صفر إلى ثمان ساعات) وفي هذه الحالة يتم إعطاء القيمة 1، أما في حال كان معدل الاستخدام فوق ثمان ساعات في اليوم فإنه يعتبر فوق الحد الطبيعي ويأخذ القيمة 0.

أما بالنسبة لمعاملات التثقيل الخاصة بالبيئة التشغيلية فقد جاء معاملي تثقيل درجة الحرارة ووجود وحدة عدم انقطاع التيار الكهربائي UPS أعلى بقليل من معامل تثقيل نسبة الرطوبة، نظراً لأهميتهما في تأمين بيئة عمل مناسبة للجهاز وما لذلك من تأثير على أداء الجهاز وبالتالي على موثوقيته.

بارامتر القطع التبديلية:

تلعب القطع التبديلية للأجهزة الطبية دوراً مهماً في تحديد الحاجة لاستبدالها وتتراوح الأهمية من أولوية متوسطة إلى عالية[3] ، لذلك يجب الأخذ بعين الاعتبار أن الشركة المصنعة لازالت تقوم بتصنيع هذه القطع وأنها متوفرة في مستودعاتها، وبالتالي نضمن إمكانية توفر هذه القطع وإصلاح الجهاز في حال تعطله، شريطة أن تتحقق الجدوى الاقتصادية جراء إصلاح أو صيانة الجهاز، الأمر الذي يسهم في استمرار عمل الجهاز وتقديم الخدمة الطبية المرجوة وبنفس الوقت يخفض التكاليف على المستشفى.

نمثل هذا البارامتر بالمعادلة التالية [إعداد الباحث] :

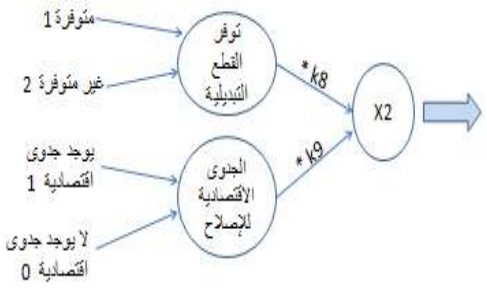
$$X_2 = (\text{توفر القطع التبديلية}) * k_8 + (\text{الجدوى الاقتصادية للإصلاح}) * K_9 \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

حيث تمثل k_n معامل التثقيل

$K_8=55$, $k_9=45$

معامل تكلفة الإصلاح = (تكلفة الإصلاح / التكلفة الأساسية للجهاز) * 100

يُمثّل هذا البارامتر بالشكل (4).



الشكل (4): تمثيل بارامتر القطع التبديلية [إعداد الباحث]

تم تثقيل توفر القطع التبديلية بقيمة أعلى من الجدوى الاقتصادية لأن توفر القطع يأتي بالدرجة الأولى من ناحية الأهمية ثم يتم حساب الجدوى الاقتصادية للإصلاح، بالتالي توفر القطع سيكون له تأثير أكبر في هذا البارامتر[6].

بارامتر تطبيقات الجهاز:

عند كتابة المواصفات الفنية لشراء الأجهزة الطبية يتم تحديد التطبيقات الطبية المطلوبة من الجهاز ليحقق الفائدة المرجوة من شرائه وهذا يعود إلى حاجة المستشفى للتطبيقات المذكورة. وفي ظل ما تشهده الأجهزة الطبية من تطور وتقدم تقني دائم، فإن هذا ينعكس على ظهور تطبيقات طبية جديدة وحديثة للأجهزة تساهم في تحسين عمليتي التشخيص والمعالجة للمرضى وبالتالي رضا من قبل الكادر الطبي على استخدام الجهاز. وهذا يحول دون الحاجة لاستبدال الجهاز الحالي بجهاز أخر يتضمن التطبيقات الطبية الحديثة.

وهنا نميز حالتين لبارامتر تطبيقات الجهاز: في حال كان الجهاز يواكب ويلبي أحدث التطبيقات الطبية يُعطى البارامتر القيمة 1 وفي حال كان غير ذلك يُعطى القيمة 0 [3].

بارامتر الحالة التكنولوجية للجهاز:

بشكل عام، تُستبدل الأجهزة الطبية في حالة التقادم التكنولوجي والذي يحدث إما نتيجة ظهور تكنولوجيا طبية أكثر تقدماً تستدعي ضرورة استبدال الجهاز على الرغم من أنه يعمل بكفاءة اقتصادية جيدة، وإما بسبب التوقف عن الممارسة السريرية التي كانت تستخدم هذا الجهاز والاستعاضة عنها بممارسة جديدة بشكل كامل [3].

وانطلاقاً من ذلك يعد هذا البارامتر هاماً عند دراسة استبدال الجهاز الطبي نظراً لما تحققه التكنولوجيا الطبية الجديدة من رفع مستوى خدمات الرعاية الصحية التي تقدم للمرضى.

وهنا نميز حالتين: إذا كان الجهاز يواكب التكنولوجيا الحديثة يُعطى البارامتر القيمة 1 أو أن يكون قديماً من الناحية التكنولوجية فيُعطى القيمة 0 [5].

3.3.1 النظام الخبير المقترح في تقييم حالة الأجهزة الطبية المدروسة:

تم استخدام بيانات الأجهزة الطبية التي حصلنا عليها من قاعدة المعرفة (الخبراء) ومن المستخدم النهائي (الاستبيانات) في دراسة وتقييم الحالة الفنية للأجهزة. وتم بناء النظام الخبير في هذا البحث وفق طريقتين هما شجرة القرار والمنطق الضبابي.

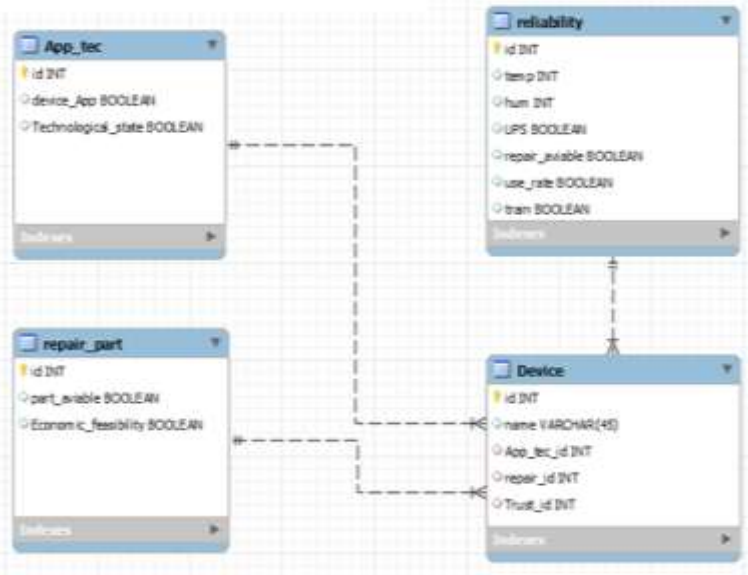
تعرّف شجرة القرار بأنها أداة دعم القرار وتستخدم في تحليل القرارات للمساعدة في تحديد الإستراتيجية التي ستؤدي لتحقيق الهدف. وتم اعتمادها في هذا البحث لأنها تتمتع بالعديد من المزايا فهي سهلة الفهم والتفسير، ولها قيمة حتى بوجود القليل من البيانات وتسمح بإضافة سيناريوهات جديدة ممكنة.

إلا أن قرار الشجرة هو قرار وحيد أي خرجها هو قيمة واحدة، وهناك العديد من الحالات يجب أن يكون الخرج فيها لأكثر من قرار أي خرج احتمالي نسبي، هذا ما دفعنا إلى استخدام المنطق الضبابي. حيث يعرف المنطق الضبابي بأنه فرع من فروع الذكاء الاصطناعي يهدف إلى تقليد عملية اتخاذ القرار عند الإنسان، وهو منطق متعدد القيم ويأخذ في الاعتبار جميع الاحتمالات بين القيمتين 0 و1 [15]. فقمنا بإنشاء نظام استدلال ضبابي يستطيع النظام الخبير من خلاله إعطاء قدرة تنبؤ بالحالة الفنية للأجهزة مستقبلاً.

الطريقة الأولى– شجرة القرار:

تم استخدام شجرة القرار ونظام العتبات للتعامل مع كافة البارامترات، حيث:

- استخدمت لغةC# في بناء النظام الخبير.
- استخدم visual studio في إنشاء الواجهات الخاصة بالنظام.
- تم استخدام لغة الاستعلامات الهيكلية SQL لإنشاء قاعدة البيانات الخاصة ببارامترات الدخل (بارامتر الموثوقية، بارامتر القطع التبديلية، بارامتر تطبيقات الجهاز، وبارامتر الحالة التكنولوجية). حيث تتميز هذه اللغة البرمجية بسهولة الاستخدام، فهي تتيح جمع البيانات ومعالجتها وتخزينها وتعديلها، كما تساعد في استرداد كميات هائلة من البيانات في الوقت المناسب وبشكل فعال. وتم تمثيل قاعدة البيانات الخاصة بالأجهزة المدروسة وفق الشكل (5).



الشكل (5): قاعدة بيانات بارامترات الدخل

يمثل ناتج النظام إحدى الحالات التالية: إما أن يستبدل الجهاز، أو لا يستبدل، أو لا يستبدل مع محدودية العمل (مع مراقبة)، أو لا يستبدل ولكنه قديم من الناحية التكنولوجية (يستبدل خلال 1– 3 سنوات).

تم في هذه الطريقة:

– حساب قيمة بارامتر الموثوقية وفقاً للمعادلة رقم (1) الموضحة سابقاً، وإذا كان الخرج أكبر من 60 فإنه يمكن التعبير عن احتمال موثوقية الجهاز بالقيمة1 وخلاف ذلك يكون الاحتمال0.

– حساب قيمة بارامتر القطع التبديلية وفقاً للمعادلة (2) الموضحة سابقاً، وإذا كان الخرج أكبر من 60 فإنه يمكن التعبير عن احتمال القطع التبديلية بالقيمة 1 وخلاف ذلك يكون الاحتمال 0.

– تم إعطاء بارامتري تلبية الجهاز للتطبيقات الطبية والحالة التكنولوجية للجهاز في حال تحقق البارامتر القيمة (1) وخلاف ذلك (0).

أُنشئت شجرة القرار وفق الجدول (5)، وحُدّد الخرج وفق الحالات الأربع المذكورة بالاعتماد على رأي الخبراء في هذا المجال.

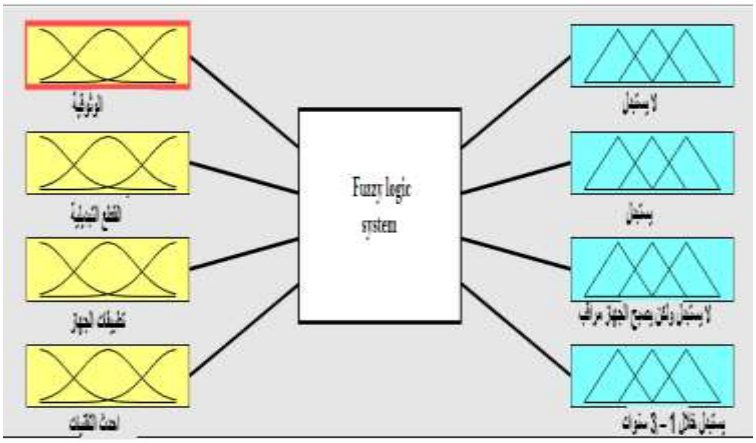
الجدول (5): تمثيل شجرة القرار

الدخل				الخرج			
الحالة التكنولوجية	التطبيقات	القطع التبديلية	الموثوقية	يستبدل	لا يستبدل	لا يستبدل ولكن يصبح الجهاز مراقب	يستبدل خلال 1 – 3 سنوات
0	0	0	0	1			
1	0	0	0	1			
0	1	0	0	1			
1	1	0	0			1	
0	0	1	0	1			
1	0	1	0				1
0	1	1	0				1
1	1	1	0			1	
0	0	0	1	1			
1	0	0	1	1			
0	0	1	1			1	
1	0	1	1				1
0	1	0	1				1
1	1	0	1		1		
0	1	1	1		1		
1	1	1	1		1		

الطريقة الثانية –المنطق الضبابي:

تم استخدام المنطق الضبابي مع نظام استدلال Mamdani، وهو النظام الأكثر شيوعاً في أنظمة الاستدلال الغامضة كونه نظام مفيد بشكل خاص عند التعامل مع عمليات صنع القرار المعقدة. حيث تتم مراعاة جميع حالات الدخل الخاصة بالنظام الخبير والتخلص من قيود العتبات، واستُخدم برنامج الماتلاب في إنشاء النظام الضبابي. ويمثل ناتج النظام الخبير في هذه الحالة نسبة مئوية لكل حالة من حالات الخرج الأربعة المذكورة في طريقة شجرة القرار. تشمل قاعدة المعرفة الخاصة بالمنطق الضبابي على قواعد Mamdani وهي عبارة عن مجموعة من العبارات IF–THEN التي تناقش حالات المداخل والخرج الموافق، بحيث يكون الخرج الفعلي ناتجاً عن تقاطع عدد من القواعد، وبالتالي تنتج شبكة قرار قادرة على استنتاج قرار لجميع نتائج الخرج الخاصة بالنظام، بحيث يحصل المستخدم على خرج يوضح الوضع الفني المستقبلي للجهاز وهذا ما يميز المنطق الضبابي[14] [15] .

ويوضح الشكل (6) التالي المخطط العام للنظام الضبابي المعتمد في البحث



الشكل (6): المخطط العام للنظام الضبابي المعتمد في البحث

- **المجموعات الضبابية وتوابع الانتماء:**

في المجموعات التقليدية يحدد انتماء العناصر بشكل واضح ودقيق (1 في حالة الانتماء و0 خلاف ذلك)، ولتمثيل المتغيرات اللغوية والمجموعات غير الدقيقة طُرح مفهوم المجموعة الضبابية، وهي تختلف عن المجموعة التقليدية في أنها تسمح لعنصر ما بالانتماء الجزئي، فبإمكان العنصر أن يأخذ قيماً بين0 و 1.

يعبر عن المجموعات الضبابية بتوابع انتماء ومن أشهرها: المثلثية، شبه المنحرفة والغاوصية.

- **توصيف مداخل النظام الضبابي:**

تم تمثيل مداخل النظام الضبابي باستخدام المعادلات الخاصة بالتابع المثلثي والموضح بالشكل (7)، والذي تم اعتماده في هذا البحث نظراً لسهولة التعامل معه. وتم اختيار مجالات التوابع بحيث تحقق التقاطع بين المجموعات الضبابية، ويكون له قاعدة الربط التالية:

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

حيث X: هو شعاع متحول على المحور الأفقي

a, b, c: هي نقاط لها إحداثيات ثابتة تمثل رؤوس المثلث الذي يمثل التابع

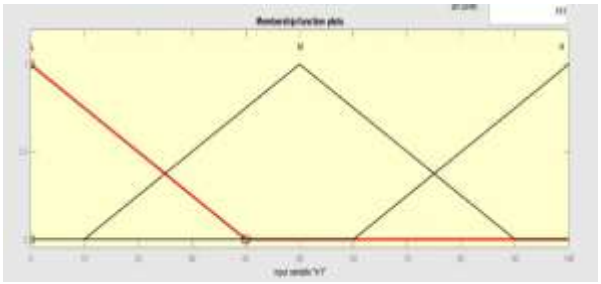
الشكل (7): التابع المثلثي

- **دخل الموثوقية:**

مُثّل دخل الموثوقية وفق الشكل (8) بقيمة من0 وحتى 100 وضم الدخل توابع الانتماء الموضحة في الجدول (6)، ويدل كل تابع على القيمة اللغوية لقيمة الموثوقية.

الجدول (6): بارامترات توابع الانتماء لدخل الموثوقية

اسم التابع	بارامترات التابع
L	[0 0 40]
M	[10 50 90]
H	[60 100 100]



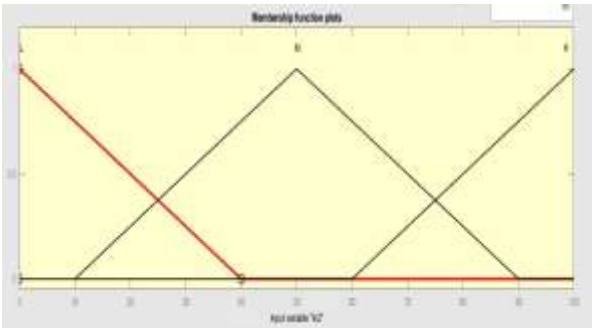
الشكل (8): توابع الانتماء لدخل الموثوقية في المنطق الضبابي المعتمد في البحث

- **دخل القطع التبديلية:**

مُثّل دخل القطع التبديلية وفق الشكل (9) بقيمة من0 وحتى100 وضم الدخل توابع الانتماء الموضحة في الجدول (7)، ويدل كل تابع على القيمة اللغوية لقيمة القطع التبديلية.

الجدول (7): بارامترات توابع الانتماء لدخل القطع التبديلية

اسم التابع	بارامترات التابع
L	[0 0 40]
M	[10 50 90]
H	[60 100 100]



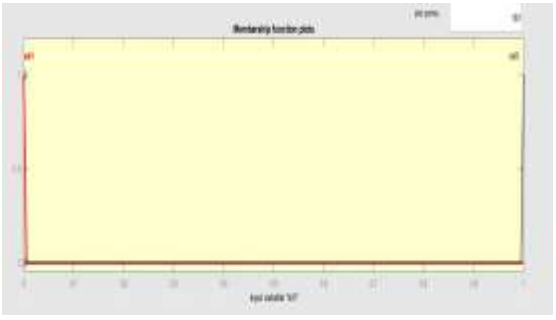
الشكل (9): توابع الانتماء لدخل القطع التبديلية في المنطق الضبابي المعتمد في البحث

- **دخل تطبيقات الجهاز:**

مُثّل دخل تطبيقات الجهاز وفق الشكل (10) بقيمة من 0 حتى 1وضم الدخل توابع الانتماء الموضحة في الجدول (8)، ويدل كل تابع على القيمة اللغوية لقيمة تطبيقات الجهاز.

الجدول (8): بارامترات توابع الانتماء لدخل الحالة التكنولوجية

اسم التابع	بارامترات التابع
L	[0 0 0]
M	[1 1 1]



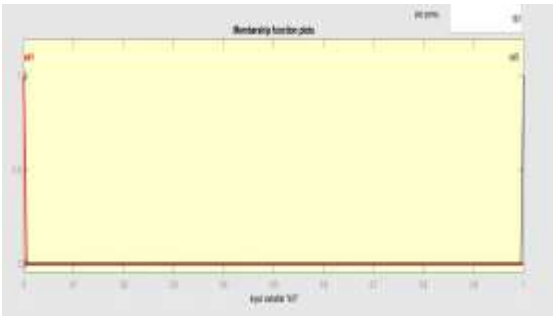
الشكل (10): توابع الانتماء لدخل تطبيقات الجهاز في المنطق الضبابي المعتمد في البحث

- **دخل الحالة التكنولوجية:**

مُثّل دخل الحالة التكنولوجية وفق الشكل (11) بقيمة من 0حتى 1وضم الدخل توابع الانتماء الموضحة في الجدول (9)، ويدل كل تابع على القيمة اللغوية لقيمة الحالة التكنولوجية.

الجدول (9): بارامترات توابع الانتماء لدخل الحالة التكنولوجية

اسم التابع	بارامترات التابع
L	[0 0 0]
M	[1 1 1]



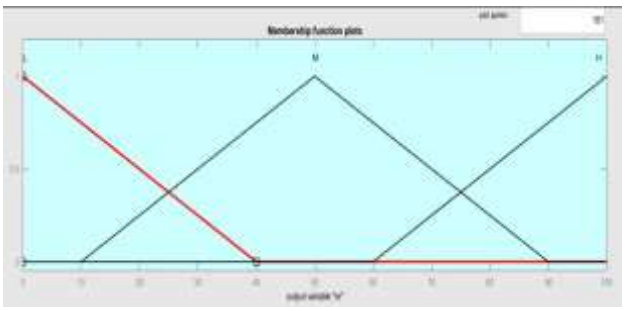
الشكل (11): توابع الانتماء لدخل الحالة التكنولوجية في المنطق الضبابي المعتمد في البحث

- **توصيف مخارج النظام الضبابي:**

للنظام أربعة مخارج موضحة في الشكل (12) تبين النسبة المئوية للحالات الأربعة للخرج (يستبدل، لا يستبدل، لا يستبدل مع محدودية العمل (مع مراقبة)، يستبدل خلال ثلاث سنوات). ويكون لكل حالة ثلاثة توابع انتماء والموضحة في الجدول (10)، والتي تناقش النسبة المئوية للخرج، تظهر عند الاختبار قيم لجميع المخارج بحيث يتشكل لدى المستخدم صورة كاملة عن اختبار الجهاز.

الجدول (10): بارامترات توابع الانتماء لخرج النظام

بارامترات التابع	اسم التابع
[0 0 40]	L
[10 50 90]	M
[60 100 100]	H



الشكل (12): توابع الانتماء للخرج في المنطق الضبابي المعتمد في البحث

النتائج والمناقشة:

تم إجراء الاختبارات الأساسية للنظام الخبير على الأجهزة قيد الدراسة وتحليل النتائج ومناقشتها ومقارنتها.

1.نتائج اختبار النظام وفق شجرة القرار:

1.1. نتائج اختبار النظام على جهاز تصوير الأشعة العام:

أجري الاختبار الأساسي "وفق البيانات الموجودة في مستشفى تشرين" وكانت النتيجة وفق الشكل (13).

الشكل (13): الاختبار الأساسي على جهاز تصوير الأشعة العام باستخدام شجرة القرار

نجد من الشكل السابق أنه بالرغم من عدم وجود UPS وعدم وجود صيانة للجهاز إلا أن ذلك لم يؤثر على بارامتر الموثوقية، وجاء قرار الشجرة بأن الجهاز لا يستبدل، حيث أن باقي البارامترات محققة وبالتالي لا يوجد ضرورة لاستبدال الجهاز.

2.1.1 نتائج اختبار النظام على جهاز الطبقي المحوري:

أجري الاختبار الأساسي "وفق البيانات الموجودة في مستشفى تشرين" للجهاز المختبر وكانت النتيجة وفق الشكل (14).

الشكل (14): الاختبار الأساسي على جهاز الطبقي المحوري باستخدام شجرة القرار

جاءت نتيجة الاختبار بأن الجهاز لا يستبدل ولكن يصبح مراقباً، بسبب عدم وجود صيانة للجهاز بالإضافة إلى أن معدل استخدام الجهاز فوق الحد الطبيعي المسموح به، وبالتالي فإن الجهاز يجب أن يخضع للمراقبة المستمرة من أجل تجنب أي طارئ قد يصيب الجهاز نظراً لأهميته في المستشفى.

3.1.1 نتائج اختبار النظام على جهاز القثطرة القلبية:

أجري الاختبار الأساسي "وفق البيانات الموجودة في مستشفى تشرين" للجهاز المختبر وكانت النتيجة وفق الشكل (15).

الشكل (15): الاختبار الأساسي على جهاز القثطرة القلبية باستخدام شجرة القرار

بعد إدخال البيانات وتطبيق المعادلات وعلى الرغم من عدم وجود صيانة للجهاز، إلا أن قرار الشجرة جاء بعدم استبدال الجهاز.

4.1.1 نتائج اختبار النظام على جهاز الأشعة التصوير والتنظير الظليل:

أجري الاختبار الأساسي "وفق البيانات الموجودة في مستشفى تشرين" للجهاز المختبر وكانت النتيجة وفق الشكل (16).

الشكل (16): الاختبار الأساسي على جهاز التصوير والتنظير باستخدام شجرة القرار

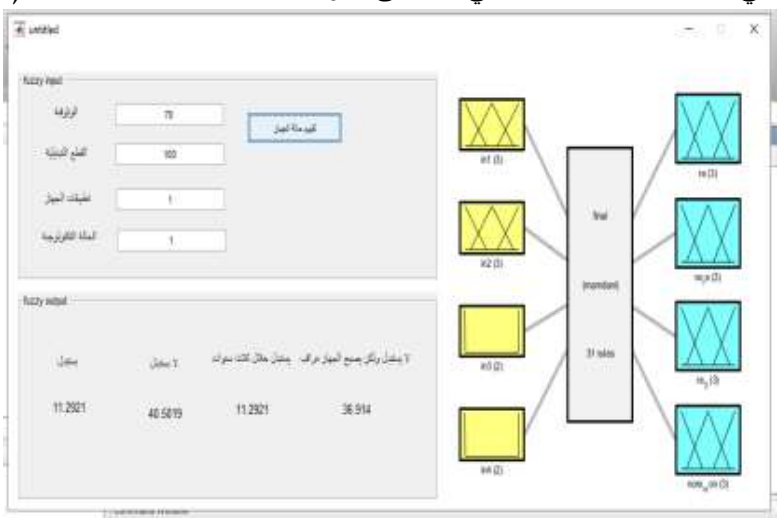
نجد مما سبق أن الجهاز لا يستبدل، وهي نتيجة مطابقة للاختبار الأساسي المقدم في جهاز تصوير الأشعة العام ويعود السبب لتشابه ظروف تشغيل معظم أجهزة الأشعة في المستشفى.

نجد من خلال الاختبارات السابقة تشابه نتائج الاختبارات الأساسية للأجهزة الأربعة بسبب تشابه ظروف التشغيل لهذا النوع من الأجهزة ضمن المستشفى وهذا أمر طبيعي، وعندما قمنا بإجراء ((سيناريوهات)) مختلفة وقمنا بتغيير بارامترات التشغيل التي يمكن أن تحدث نتيجة للعديد من الظروف منها تغير درجة الحرارة أو الرطوبة، أو تغيير أي من المداخل الخاصة بنظام الاستدلال مثل قدم الجهاز وغير ذلك فإن هذا الأمر قد سبب تغيراً في النتائج. وهذا يدل على قدرة النظام الخبير على التعامل بشكل ديناميكي مع تغيرات بارامترات الأجهزة وظروف تشغيلها وبالتالي اتخاذ القرار المناسب.

2.1 نتائج اختبار النظام وفق المنطق الضبابي:

1.2.1 نتائج اختبار النظام على جهاز تصوير الأشعة العام:

أجري الاختبار الأساسي "وفق البيانات الموجودة في مستشفى تشرين" وكانت النتيجة وفق الشكل (17)

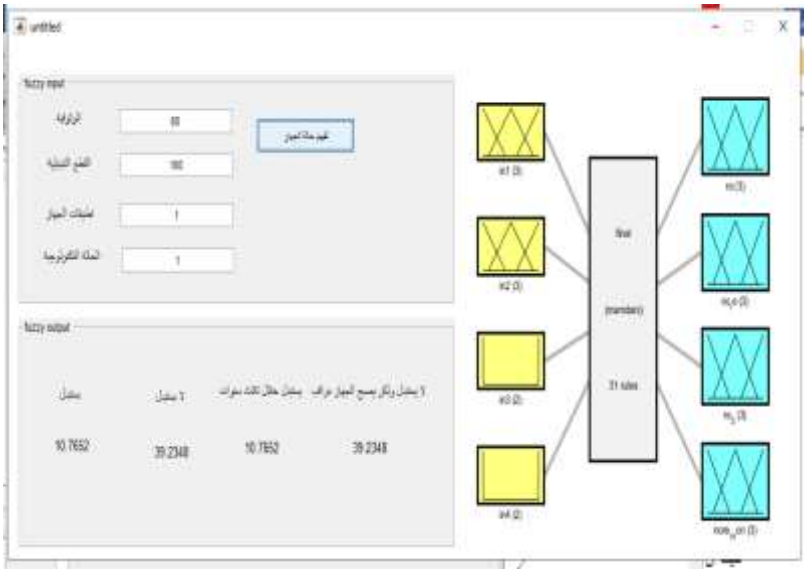


الشكل (17) الاختبار الأساسي على جهاز تصوير الأشعة العام باستخدام المنطق الضبابي

حيث تبين نتيجة الاختبار الأساسي أن الجهاز لا يستبدل بنسبة 40.5019% ولا يستبدل مع مراقبة بنسبة 36.914% وهما النسبتان الأعلى في التقييم ونلاحظ أن المنطق الضبابي قد رفع من نسبة عدم استبدال الجهاز لأن الجهاز من أحدث التقنيات ويلبي التطبيقات الطبية ولكن يعمل بظروف تشغيل فيها خلل (عدم وجود صيانة، وعدم وجود UPS)، بالتالي يجب مراقبته والعمل على تحسين موثوقية الجهاز.

2.2.1 نتائج اختبار النظام على جهاز الطبقي المحوري:

أجري الاختبار الأساسي "وفق البيانات الموجودة في مستشفى تشرين" وكانت النتيجة وفق الشكل (18)

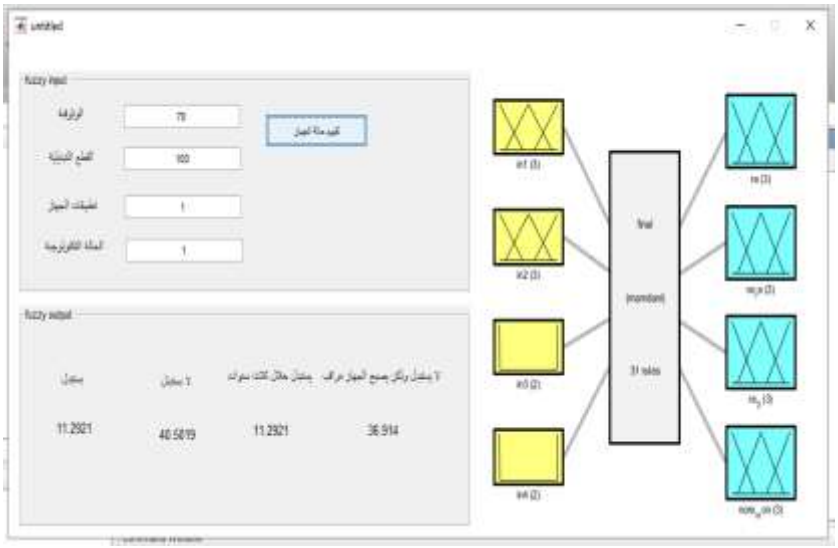


الشكل (18): الاختبار الأساسي على جهاز الطبقي المحوري باستخدام المنطق الضبابي

نلاحظ من نتيجة الاختبار الأساسي أن الجهاز لا يستبدل بنسبة 39.2348% ولا يستبدل مع مراقبة بنسبة 39.2348% لأن انخفاض نسبة موثوقية الجهاز وهي 60% قد أثرت في قرار المنطق الضبابي، وجاءت نتائج الاستدلال الضبابي مناصفة بين عدم استبدال الجهاز وعدم استبداله مع مراقبة، إذ يجب أن يخضع الجهاز للصيانة مع ضرورة انتباه المستثمر إلى معدل استخدام الجهاز بحيث يكون ضمن الطبيعي.

3.2.1 نتائج اختبار النظام على جهاز القثطرة القلبية:

أجري الاختبار الأساسي "وفق البيانات الموجودة في مستشفى تشرين" وكانت النتيجة وفق الشكل (19)

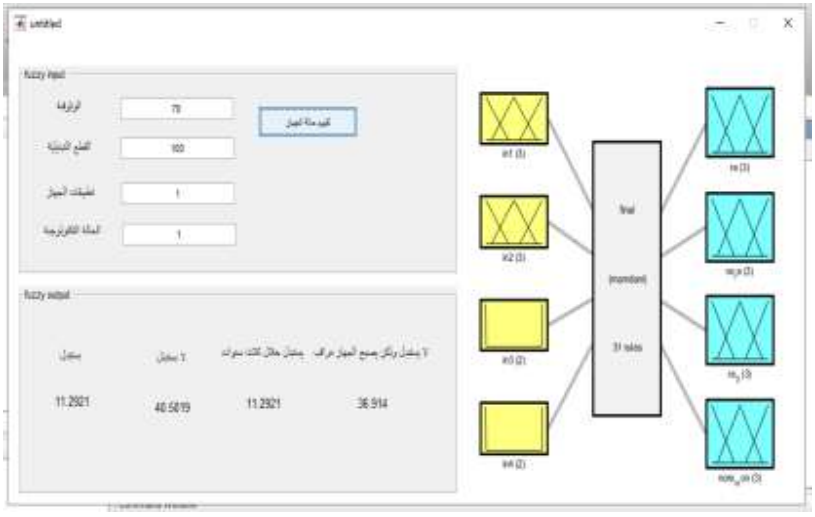


الشكل (19): الاختبار الأساسي على جهاز القثطرة القلبية باستخدام المنطق الضبابي

وتبين نتائج الاختبار الأساسي أن الجهاز لا يستبدل بنسبة 40.5019% ولا يستبدل مع مراقبة بنسبة 36.914% وهما النسبتان الأعلى في التقييم ونلاحظ أن المنطق الضبابي قد رفع من نسبة عدم استبدال الجهاز لأن الجهاز من أحدث التقنيات ويلبي التطبيقات الطبية ولكن يعمل بظروف تشغيل فيها خلل بالتالي يجب مراقبته.

4.2.1 نتائج اختبار النظام على جهاز الأشعة للتصوير والتنظير الظليل:

أجري الاختبار الأساسي "وفق البيانات الموجودة في مستشفى تشرين" وكانت النتيجة وفق الشكل (20)



الشكل (20): الاختبار الأساسي على جهاز التصوير والتنظير باستخدام المنطق الضبابي

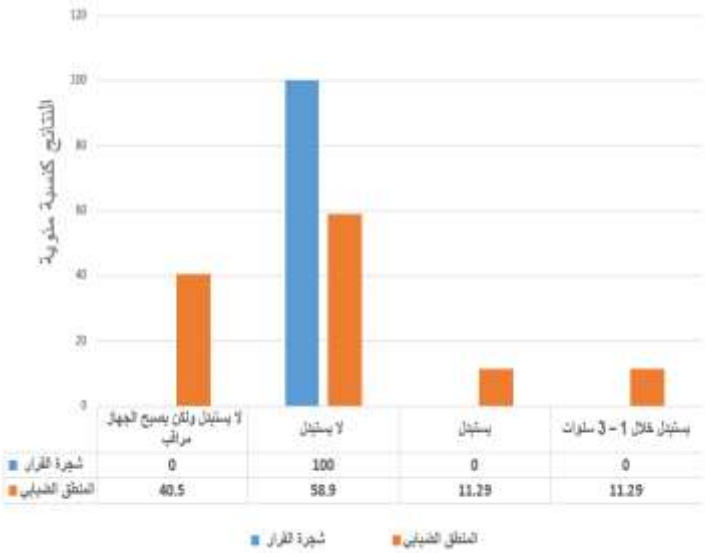
تبين نتائج الاختبار الأساسي أن الجهاز لا يستبدل بنسبة 40.5019% ولا يستبدل مع مراقبة بنسبة % 36.914 وهما النسبتان الأعلى حيث أكدت نتائج المنطق الضبابي على ضرورة التخطيط لاستبدال الجهاز خلال المرحلة المقبلة أو رفع موثوقية التشغيل الخاصة بالجهاز وهذا الجانب لم تناقشه شجرة القرار.

3.1 مقارنة نتائج المنطق الضبابي مع شجرة القرار للاختبار الأساسي للأجهزة:

يوضح الشكل (21) مقارنة بين نتائج المنطق الضبابي وشجرة القرار من أجل الأجهزة الطبية التي تعمل وفق البارامترات التالية:

الموثوقية 70%، القطع التبديلية 100%، تطبيقات الجهاز 1، أحدث التقنيات 1

حيث تشابهت البارامترات السابقة للأجهزة الثلاثة (جهاز الأشعة العام، والقثطرة القلبية، والتصوير والتنظير).



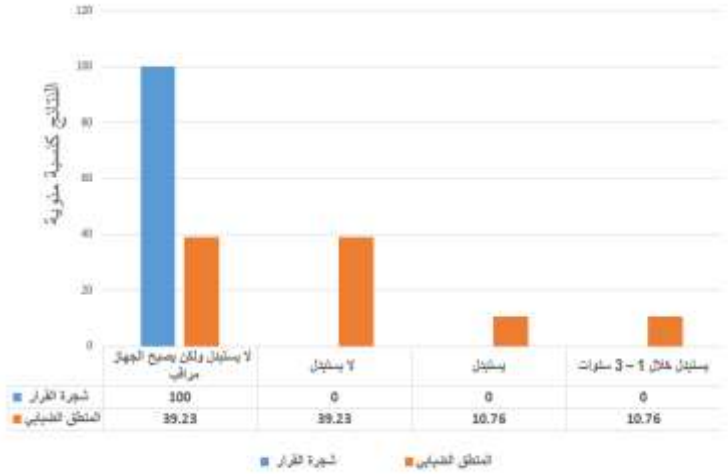
الشكل (21) مقارنة بين نتائج المنطق الضبابي وشجرة القرار
لأجهزة الأشعة العام والقثطرة القلبية والتصوير والتنظير في المستشفى

نلاحظ من الشكل السابق أن شجرة القرار قد أعطت نتيجة واحدة فقط في الخرج وهي أن الجهاز لا يستبدل، في حين أعطى المنطق الضبابي نتائج لجميع الحالات، وبالتالي ساعد المنطق الضبابي على تقييم أداء الجهاز بشكل أدق وتوقع الحالة الفنية له مستقبلاً.

من حيث النسب المئوية فقد تطابقت النسبة الأكبر في النظام الضبابي مع قرار الشجرة في عدم استبدال الجهاز، ولكن المنطق الضبابي أكد على ضرورة مراقبة الجهاز ورفع بارامتر الموثوقية من خلال تحقيق بيئة مثالية لعمل الجهاز بشكل دائم.

يوضح الشكل (22) مقارنة بين نتائج المنطق الضبابي وشجرة القرار من أجل جهاز الطبقي المحوري الموجود في المستشفى والذي يعمل وفق البارامترات التالية:

الموثوقية 60%، القطع التبديلية 100%، تطبيقات الجهاز 1، أحدث التقنيات 1



الشكل (22) مقارنة بين نتائج المنطق الضبابي وشجرة القرار لجهاز الطبقي المحوري في المستشفى

نجد من الشكل السابق أن شجرة القرار قد أعطت خرجاً وحيداً وهو أن الجهاز لا يستبدل مع مراقبة، في حين أعطى المنطق الضبابي نتائج لجميع الحالات في الخرج إلا أن هناك قيمتين متساويتين في الخرج وذلك بسبب قيمة الموثوقية التي هي 60% والتي تشكل حد العتبة، وتشير إحدى القيمتين إلى عدم استبدال الجهاز، أما القيمة الثانية فهي تماثل وتؤكد على قرار الشجرة في أن الجهاز لا يستبدل مع مراقبة، وبالتالي نلاحظ أن قرار المنطق الضبابي يراعي احتمالات أكبر من شجرة القرار.

الاستنتاجات والتوصيات:

في نهاية هذا البحث تم التوصل إلى **الاستنتاجات** التالية:

- كانت نتائج النظام واقعية عند استخدامه لتقييم الحالة الفنية للأجهزة المختبرة على أرض الواقع حيث تطابقت النتائج الخاصة بالنظام مع النتائج الواقعية حسب رأي الخبراء.
- ساعد النظام الخبير المقدم في تحسين الجدوى الاقتصادية المستقبلية حيث توقع حالة الجهاز الفنية، لأنه عند معرفة الحالة المستقبلية للجهاز فإن هذا يساعد على تلافي الأخطاء التشغيلية التي يعمل بها الجهاز حالياً وهذا يطيل زمن عمل الجهاز.
- استخدام النظام يضيء على العيوب الفنية المتعلقة بظروف تشغيل الجهاز وهذا يرفع موثوقية الاستخدام.
- ساعد استخدام المنطق الضبابي في الحصول على نتائج الحالات الأربع للخرج الأمر الذي يسهم في تحديد الخرج الأمثل.
- استخدام المنطق الضبابي قدم إمكانية مناقشة حالات عديدة والحصول على نتائج أعلى دقة بالمقارنة مع شجرة القرار التي تعطي خرجاً وحيداً.

وفيما يلي نقدم عدداً من **التوصيات** التي نأمل أن تكون معيناً للباحثين في مجال إدارة الأجهزة الطبية واستبدالها والتي يمكن تلخيصها بالتالي:

1- توسيع قاعدة المعرفة لتشمل عدداً أكبر من بارامترات الدخل الخاصة بالنظام، وبالتالي إمكانية تحديد مؤشر استبدال الأجهزة الطبية بشكل دقيق.

2- استخدام تقنيات أخرى في الدراسة مثل استخدام الشبكات العصبونية.

ونقترح تطوير هذا النظام وتطبيقه في عدد من المستشفيات، لما له من دور رئيس في تحديد وتقييم حالة الأجهزة الطبية الحالية وبالتالي إمكانية التخطيط لشراء أجهزة جديدة وإدارة احتياجات الأجهزة لعدة سنوات قادمة وتوثيق قائمة الأولويات، ليصبح فيما بعد هذا النظام معياراً معتمداً في مستشفيات بلدنا من أجل تطوير إدارة الأجهزة الطبية والارتقاء بالواقع الطبي نحو مستقبل أفضل.

References:

1. Naqour, Lamis (2009-2010). "Management of medical devices - their maintenance and investment," Master's thesis, University of Damascus

2. AL-Talabi, W. (2012). "Quality Management System for Medical Devices", Master Thesis, Faculty of Engineering, Cairo University, GIZA, EGYPT.

3 .Mokheiber, Hanan and Issa, Haitham (2017). "Planning Medical Devices", Arab Center for Arabization, Translation, Authorship and Publishing, Damascus

4. WHO, (2011). "Medical equipment maintenance programme overview", who medical device technical series.

5. Mummolo, G., Ranieri, I., Bevilacqua, V., & Galli, P. (2007). "A Fuzzy Approach for Medical Equipment Replacement Planning", in Proceedings of the Third International Conference on Maintenance and Facility Management, pp. 229-235.

6. Ouda, B., Mohamed, A., & Saleh, N. (2010). "A Simple Mathematical Model for Replacement of Medical Equipment Proposed to Developing Countries", Cairo International Biomedical Engineering Conference, pages 188-191.

7. Arab-Zozani, M., Imani, A., Doshmangir, L., Dalal, k., & Bahreini, R. (2021). "Assessment of medical equipment maintenance management: proposed check list using Iranian experience".

8.Boatemaa, M. (2017). "Hospital Equipment and its Management System: A Mini Review". Department of Biomedical Engineering, Faculty of All Nations University College, Ghana, Volume 6, Issue 2, pages 27-30.

9. Mutia, D., Kihiu, J., & Maranga, S. (2012). "Maintenance Management of Hospital Equipment, A Case Study for Public Hospitals in Kenya", Mechanical Engineering Conference on Sustainable Research and Innovation, Volume 4, pages85-89.

10.Chong, F., Huang, Y., & Chien, C. (2010). "A framework of medical equipment management system for in-house clinical engineering department", IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Conference Taiwan, pages 6054-7.

11.SHIMIZU, sh. (2006). "MEDICAL EQUIPMENT: Basic Management and Human Resource Development", Japan International Cooperation Agency (JICA). Japan.

12. Houria, Z., Masmoudi, M., Al Hanbali, A., Khatrouch, I., & Masmoudi, F. (2017) "Quantitative techniques for medical equipment maintenance management". European J. Industrial Engineering, Vol. x, No. x, xxxx1.

13. Jamshidi, A., Rahimi, s., Kadi, D., & Ruiz, A. (2015). "A comprehensive fuzzy risk-based framework for replacement of medical devices". Laval University, Canada.

14. Murugan, S., Ramachandran, V. (2014). "Fuzzy Decision-Making Model for Byzantine Agreement". Journal of Engineering Science and Technology, Vol.9, No.2, pages 206-219.

15. Voskoglou, M. (2021). "Fuzzy Sets, Fuzzy Logic and Their Application".