**المجلة العراقية للعلوم الإحصائية (25) 2013**
**عدد خاص بوقائع المؤتمر العلمي السادس لكلية علوم الحاسوب والرياضيات**
**ص ص[474-487]**

# بناء نظام طبي خبير باستخدام نظام مهجن بين المنطق المضبب والشبكات العصبية الاصطناعية مع التطبيق

د.عمر صابر قاسم*  زينب عبد اللطيف رشيد**

**المستخلص**

اختص هذا البحث بدراسة موضوع المنطق المضبب واستخدامه في المجال الطبي لتعيين القيم التقديرية لبيانات مرضى الثلاسيميا، وكذلك أشتمل البحث دراسة تهجين المنطق المضبب بالشبكات العصبية الاصطناعية وتطبيق النموذج المهجن على البيانات وملاحظة مدى دقة النتائج بين النظامين، حيث اثبت النموذج المهجن تفوقا كبيرآ في دقة النتائج مقارنة مع النظام المضبب.

## Building an expert medical system by using hybrid system between fuzzy logic and artificial neural networks with an application

**Abstract**

Singled out for this research study the issue of fuzzy logic and use in the medical field to set the values estimated for the data thalassemia patients, as well as the research involved a study hybridization fuzzy logic with artificial neural networks and the application form hybrid data and note the accuracy of the results between the two systems, which proved to form hybrid superiority

large in the accuracy of results compared with the system fuzzy.

*مدرس/ قسم الرياضيات/ كلية علوم الحاسوب والرياضيات / جامعة الموصل

*باحثة / قسم الرياضيات / كلية علوم الحاسوب والرياضيات / جامعة الموصل

**تاريخ استلام البحث 2013/9/24 ـــــــــــــــــــــــــــــــ تأريخ القبول 2013/11/21**

## 1- المقدمة :

تعد مسألة تحليل البيانات المرضية الخطيرة من أكثر المسائل المعقدة والبالغة الأهمية وذلك لان العديد من الأمراض التي تصيب الإنسان تعتمد على قاعدة من البيانات الرقمية التي يتم تحليلها رياضيا من خلال قياس مدى تأثيرها بالاعتماد على القراءات التي يتم تسجيلها للمرضى المصابين. وقد تم في هذا البحث التركيز على مرض الثلاسيميا كونه احد الامراض الخطيرة والفتاكة التي تصيب الانسان، اذ تم التركيز على متغير الاستجابة وهو عمر العظم الذي له أهمية في تشخيص هذا المرض، حيث تم استخدام ثلاثة متغيرات توضيحية لدراسة تأثيرها في متغير الأستجابة. وقد أعطى الأسلوب المتبع في اختيار المتغيرات مع المنطق المضبب والنظام المهجن القيم التقديرية للحالات المرضية.

لقد تم تقديم دراسة مقارنة تحليلية لبيانات الثلاسيميا بين نظام المنطق المضبب (Fuzzy Logic) الاعتيادي من جهة ونموذج المنطق المضبب المهجن باستخدام الشبكات العصبية الاصطناعية (Neuro Fuzzy Logic) من جهة اخرى والتي تكون خوارزميته مختلفة في آلية المعالجة وطريقة تقبلها وتصنيفها لأنماط البيانات. كما تكمن أهمية البحث في كونهِ يتعرض لأول مرة على حد علمنا لتعيين القيم التقديرية لمرضى الثلاسيميا بالاعتماد على التقنيات الذكائية، إذ يتم من خلال هذه التقنيات تصنيف حالات المرضى بالثلاسيميا وتضبيبها من خلال مجموعة من العينات الخاصة لبيانات هذا المرض بالاعتماد على نموذج المنطق المضبب الاعتيادي والمنطق المضبب المهجن.

## 2- وصف المشاهدات :

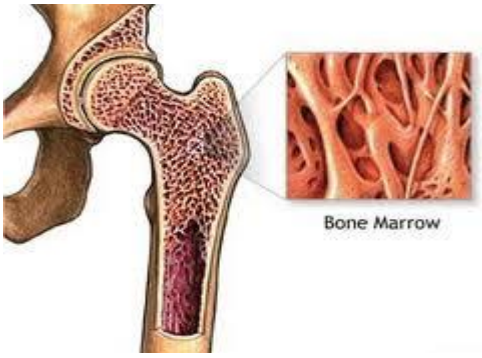
تم اخذ مجموعة من المشاهدات المختلفة بحجم (150) عينة، وتتكون كل عينة من (3) خصائص او (متغيرات توضيحية)، تتضمن كل منها العمر الحقيقي للمريض والأرومة الحمراء وعدد وحدات الدم، في حين يمثل متغير الأستجابة عمر العظم ، كما أن البيانات التي تم استخدامها في التعرف على مرضى الثلاسيميا عبارة عن قيم عددية تم الحصول عليها من مركز الثلاسيميا في مستشفى ابن الأثير في محافظة نينوى ، اذ تقدر نسبة حاملي مرض الثلاسيميا حوالي 6% من مجموع أفراد المجتمع في نينوى وتشير الدراسات الى ان معظم حاملي هذا المرض سببه زواج الأقارب (فولو، موديلو جورغاندا,1997).

كما يمكن تعريف العوامل الأساسية التي تم استخدامها كمتغيرات فعالة ومؤثرة على نخاع العظم، كما يأتي : (طيب, 2005)

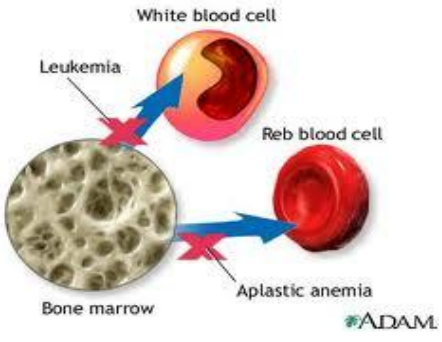
1-**العمر الحقيقي مقاساً بالشهر (X1):** حيث إن الأشخاص عرضة للإصابة بالمرض منذ مقتبل العمر إذ يلاحظ أن أعلى نسبة للإصابة بالمرض يكون في عمر (36 إلى 80) شهر. وتتركز في عمر (58 إلى 80) شهر.

2-**الأرومة الحمراء (X2):** هي عبارة عن كريات دم حمراء جديدة التكوين وتكون غير ناضجة حاوية على نواة وتكون في نخاع العظم وتنتج لكثرة الحاجة إليها، فتكون خارج العظم في الدم للمصابين بالثلاسيميا وهو مؤشر على وجود المرض، وتكون أعلى نسبة لها في العينة بين (0-80).

3-**عدد وحدات الدم (X3):** من المعلوم إن نخاع العظم لا ينتج كريات دم حمراء بالصورة الصحيحة بل تكون الكريات مريضة وضعيفة فتتكسر بسرعة مما ينتج عنه فقر دم شديد يحتاج إلى تعويضه عن طريق نقل الدم، إذ يعطى وحدات الدم بحسب الوزن للمريض، فيعطى مثلا (20 ملي لتر) لكل كيلوغرام من وزن الطفل وعندما يكون وزن المصاب 20 فأكثر فإنه يعطى في هذه الحالة (450 ملي لتر). إن التشخيص المتقن والتعرف الدقيق على الأنماط يعد من أهم المسائل التي تحتاج إلى اختيار دقيق لتقنيات التشخيص، وقد تم في هذا البحث استخدام المتغيرات ذات التأثير الأكبر على نخاع العظم وتطبيقها مع المنطق المضبب لتصنيف الحالات إلى حالات ذات تأثير قوي على العظم، وأخرى ذات تأثير ضعيف. والشكل (1) مقطع طولي لنخاع العظم.




مقطع طولي لنخاع العظم




كريات الدم مع نخاع العظم

الشكل (1 ) : مقطع طولي مفصل لنخاع العظم.

## 3- المنطق المضبب Fuzzy Logic:

هو نظريات وتقنيات تستخدم المجموعات المضببة (Fuzzy Set) والتي هي مجموعات بلا حدود قاطعة بوصفها بديلاً ملاءماً للمجموعة الكلاسيكية التي لم تعد تفي بمتطلبات الفهم الرياضي والمنطقي الجديد في فكرنا العلمي المعاصر. لقد نشأ هذا المفهوم عام 1965 على يد العالم الأذربيجاني الأصل لطفي زادة (Lotfi Zadeh,) من جامعة كاليفورنيا [Sivanandam, et al.,2007]، وقد تم تطويره بطريقة أفضل لمعالجة البيانات، وذلك عن طريق تطبيق طريقة تفكير أكثر شبها بالإنسان في برمجة البيانات.

## 4- دوال العضوية Membership Functions :

هناك العديد من دوال العضوية المستخدمة في النموذج المضبب نذكر منها على سبيل المثال الدوال الآتية [klir, et al., 1997] [Castillo O., 2012] :

### 1- دالة العضوية ذات الشكل المثلثي (Triangular-Shape):

يمكن التعبير عن هذه الدالة رياضياً من خلال المعادلة الآتية :

$$\mu A(x)=\begin{Bmatrix} 1-\dfrac{|x-a|}{c}; a-c\le x\le a+c \\ 0 \quad ; \quad \text{otherwise} \end{Bmatrix} \qquad \dots (1)$$

### 2- دالة العضوية ذات الشكل شبه المنحرف (Trapezoidal-Shape):

يمكن التعبير عن هذه الدالة رياضياً من خلال المعادلة الآتية :

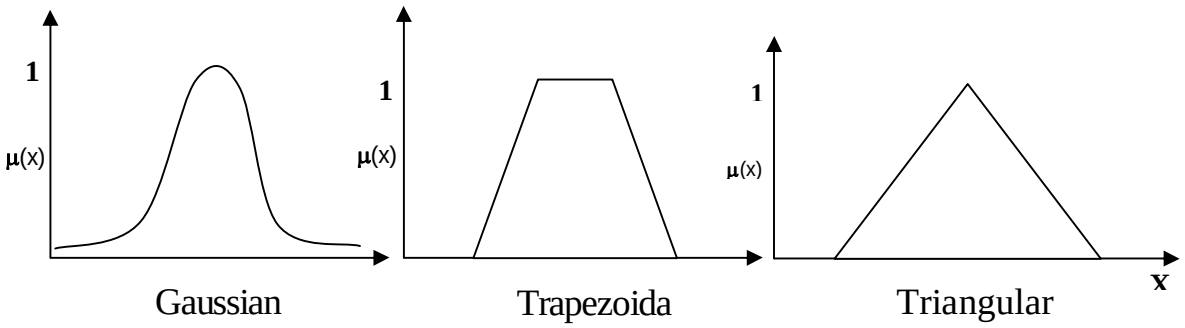
$$\mu A(x)=\begin{Bmatrix} \dfrac{(a-x)}{(a-b)} & ; & a\le x\le b \\ 1 & ; & b\le x\le c \\ \dfrac{(d-x)}{(d-c)} & ; & c\le x\le d \\ 0 & ; & \text{otherwise} \end{Bmatrix} \qquad \dots (2)$$

### 3- دالة العضوية ذات الشكل الجرسي (Bell-Shape) :

تسمى هذه الدالة أيضا بدالة كاوس ( Gaussian Function ) ويكون الشكل العام لها كما يأتي:

$$\mu_{A(x)}=e^{-\dfrac{(\chi-a)^2}{2b^2}} \qquad \dots(3)$$

ويمكن توضيح رسم هذه الدوال من خلال الشكل(2) بالآتي:-




الشكل (2): رسم الدوال العضوية.

**5- تحديد درجة العضوية :**

لتحديد درجة الانتماء الجزئي (درجة العضوية) لأي عنصر من عناصر البيانات يمكن استخدام الأسلوبين الآتيين :-

(1) أسلوب الاعتماد على الخبرة البشرية: وذلك لأن المجموعات المضببة تستعمل في أغلب الأحيان لصياغة المعرفة الإنسانية. وإن الدوال العضوية تمثل جزءاً من المعرفة البشرية. وهذا الجانب يعطي صيغة مرنة للدالة العضوية والحاجة إلى عمل توليفات دقيقة.

(2) أسلوب استعمال البيانات المتجمعة من المحسسات المختلفة لتحديد دالة العضوية في هذه الطريقة يتم عادة تحديد تركيبة الدالة العضوية أولاً. ثم إجراء التوليف الدقيق للمعلمات الخاصة بالدالة العضوية استناداً إلى تلك البيانات.[زين العابدين, 2005]

**6- مراحل بناء نموذج مضبب:**

بعد التطرق إلى الشروط أو المقدمّات الواجب توفرها قبل عملية البناء، يتم الآن توضيح مراحل بناء النموذج المضبب [Sivanandam, et al. ; 2007 ] :

- ❖ مرحلة التضبيب Fuzzification .
- ❖ مرحلة تقييم القاعدة Rule Evaluation.
- ❖ مرحلة إزالة الضبابية Defuzzification .

**7- الشبكات العصبية الاصطناعية Artificial Neural Network:**

إن الشبكات العصبية الاصطناعية تعمل على تمثيل عقل الإنسان عن طريق شبكة من المعطيات الرقمية (التي تمثل الخلية العصبية) متصلة بروابط موزونة (التي تمثل الروابط بين الخلايا) والتي يتم معالجتها بواسطة نموذج رياضي محدد. فالمعطيات لوحدها لا تقوم بأي تأثير، أما إذا اتحدت هذه المعطيات مع الأوزان فإنها تؤدي إلى تحديد المهمة المطلوبة من الشبكة العصبية. [Babuska,R.,2002],[Ertel,W.2011]

## 8- تهجين المنطق المضبب باستخدام الشبكات العصبية الاصطناعية:

لوحظ من خلال دراسة الشبكات العصبية والأنظمة المضببة وجود صفات مشتركة لحل المسائل المختلفة وذلك لكونها أكثر الأنظمة تشابهاً بتفكير الإنسان، فإذا تم الدمج بين هذين النظامين على اعتبار أن الطريقتين تكمل إحداهما الأخرى، يتم الحصول على نتائج أكثر فعالية وأقل نسبة من الخطأ، إذ إنه لا يخفى أن كل نظام يكون محملاً بمحاسن ومساوئ.

فإذا طبق المنطق المضبب لوحدهِ، فإنه لا يعطي نتائج مقبولة أو حتى مرضية لأنه من الضروري معرفة القواعد التي تصنف على أساسها البيانات وكون هذه القواعد لغوية فيجب أن تكون البيانات لغوية أيضاً. أما تقنية الشبكات العصبية الاصطناعية فيتمثل دو ها في تحديد الشكل المناسب لبيانات الإدخال دون الحاجة لمعرفة طبيعة هذه البيانات، اذ نتج عن هذا الدمج نظام يقوم بتعديل معلمات دالة العضوية بشكل يناسب بيانات الإدخال من خلال استخدام خوارزمية الانحدار المتدرج Gradient Descent وذلك للحصول على أنسب النتائج من خلال قواعد مضببة مع الدوال العضوية. يسمى النظام الناتج عن عملية الدمج هذه احيانا بنظام الاستدلال الضبابي العصبي المكيف Adaptive Neuro Fuzzy Inference System والذي يكتب اختصاراً ANFIS. تحتوي معمارية تقنية نظام الاستدلال الضبابي العصبي المكيف على عملية المحاكاة التي من خلالها يتم إدخال بيانات جديدة.

[Tesfamariam,S. and Najjaran,H.,2007]

## 9- خوارزمية نظام الاستدلال الضبابي العصبي المكيف :

تتضمن هذه الخوارزمية الطبقات الاتية : [Sumathi,S. and Surekhap, 2010] (قاسم ;2010)

**الطبقة الأولى :**

تسمى طبقة التضبيب (Layer Fuzzification)، إذ يتم فيها تضبيب المدخلات من خلال دوال العضوية، كما يأتي :

$$O_i^1 = \mu_{A_i}(x) \quad \ldots.(4)$$

$\mu_{A(x)i}$ : تمثل دالة العضوية

$O_i^1$: الإخراج للطبقة الأولى.

**الطبقة الثانية :**

تسمى طبقة القواعد (Rules)، إذ أن كل خلية عصبية في هذه الطبقة تقابل قاعدة مضببة وحيدة من نوع تاكاجي- سوجينو، وكل خلية قاعدة تستلم الإدخالات من خلايا التضبيب وتحسب قوة إثارة القاعدة (Firing Strength) التي تمثلها.

في تقنية (ANFIS)، ارتباط أسبقيات القاعدة يقدر من خلال حاصل الضرب (Product)، وحساب ناتج الخلية العصبية ( $i$ ) في الطبقة الثانية يتم من خلال المعادلة الآتية:

$$O_i^2 = w_i = \Pi\, \mu_{A_i}(x) \quad \ldots.(5)$$

**الطبقة الثالثة :**

كل خلية عصبية في هذه الطبقة تستلم الإدخالات من كل الخلايا العصبية في طبقة القاعدة، إذ يتم فيها إجراء عملية التطبيع (Normalization) على الخلايا العصبية لحساب قوة الإثارة. كما أن حساب ناتج الخلية العصبية في الطبقة الثالثة يتم من خلال المعادلة الآتية:

$$O_i^3 = \overline{w_i} = \frac{w_i}{\sum w_i} \quad \ldots.(6)$$

**الطبقة الرابعة :**

تتم في هذه الطبقة عملية عكس التضبيب (Defuzzification)، إذ أن كل خلية عصبية في هذه الطبقة تتصل بخلية التطبيع الخاصة وايضاً تستلم الإدخالات الأولية ( Initial Inputs) مثل (x1 and x2).

إن كل خلية في هذه الطبقة تحسب قيمة الإخراج للقاعدة المستند على معلمات التوابع. إذ أن :

$$O_i^4 = y_i = \overline{w_i} f_i = \overline{w_i}(p_i x_1 + q_i x_2 + r_i) \qquad \ldots.(7)$$

إذ أن $p_i$ و $q_i$ و $r_i$ معلمات التوابع للقاعدة **(i)**.

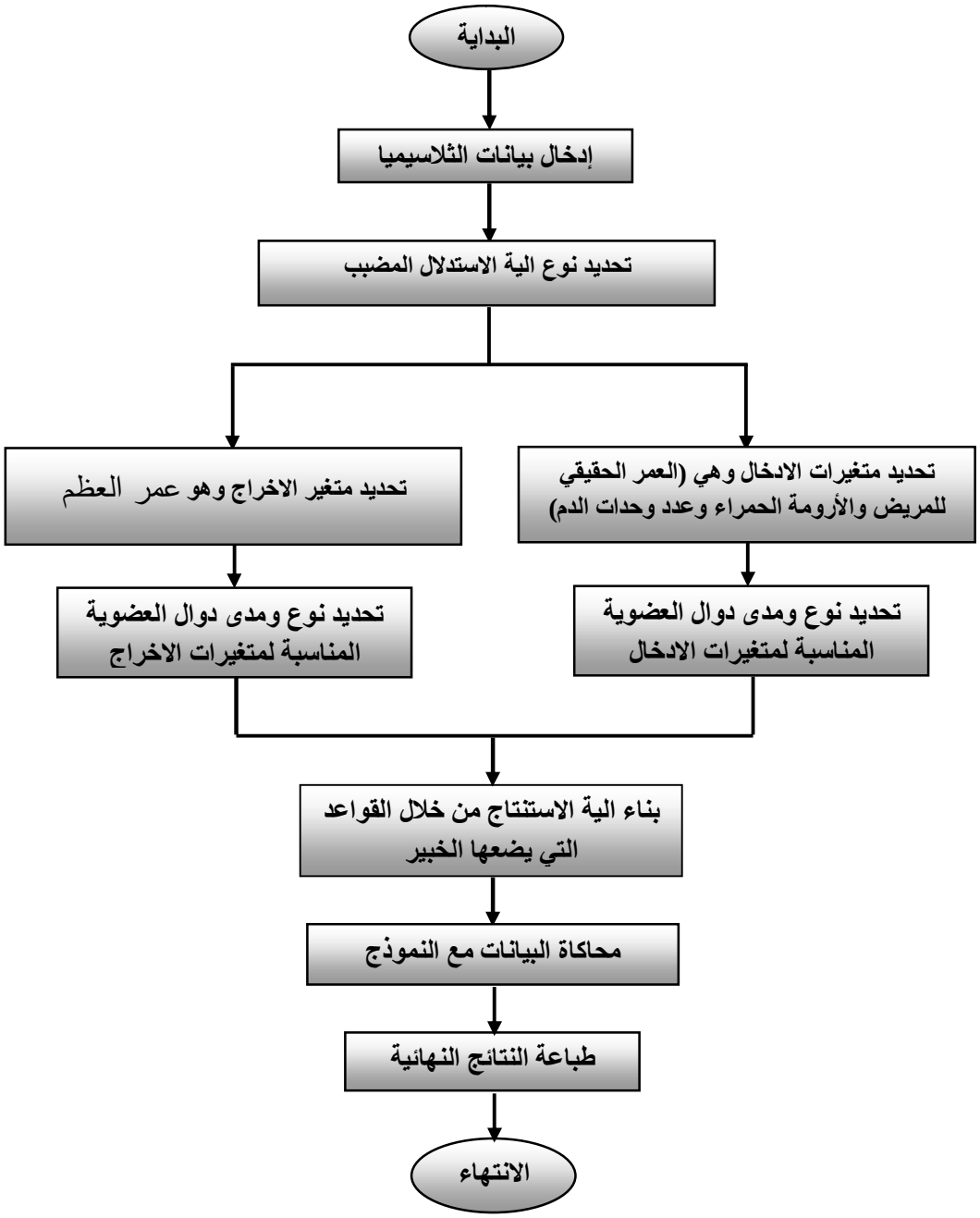
**الطبقة الخامسة :**

تتكون من خلية عصبية وحيدة تمثل حاصل جمع النواتج للخلايا العصبية في الطبقة السابقة (طبقة عكس التضبيب)، ويتم من خلالها حساب الإخراج النهائي لنظام الاستدلال الضبابي العصبي التكيفي (ANFIS).

$$O_i^5 = \sum_i y_i = \sum_i \overline{w_i} f_i = \sum_i \overline{w_i}(p_i x_1 + q_i x_2 + r_i) \qquad \ldots.(8)$$

**10- تطبيق نماذج المنطق المضبب الاعتيادي والمهجن على بيانات الثلاسيميا :**

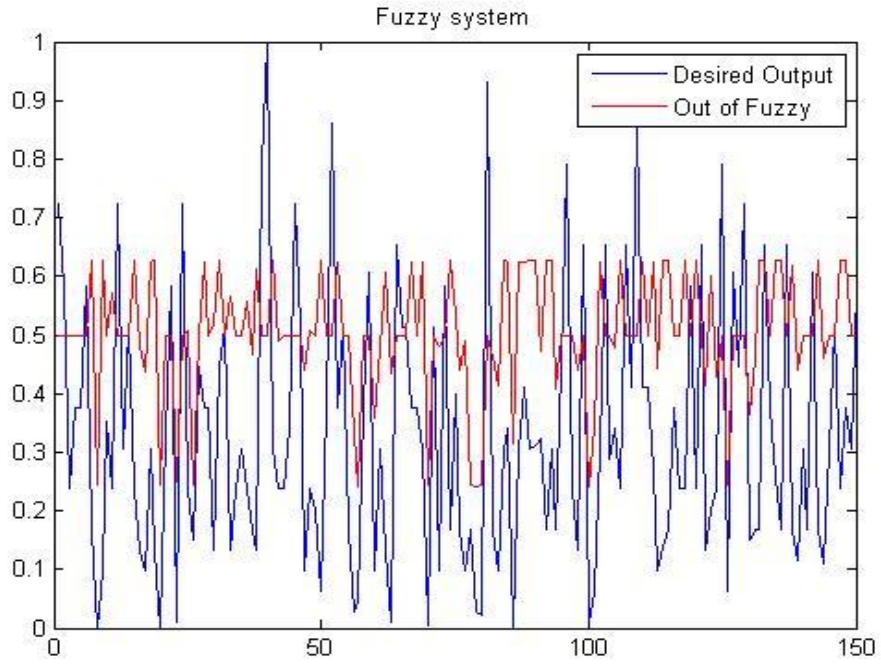
تم تطبيق نموذج كل من المنطق المضبب الاعتيادي والمهجن بالشبكات العصبية الاصطناعية على البيانات المرضية للثلاسيميا وذلك من خلال تحديد ثلاثة متغيرات اساسية وفعالة تم ذكرها في وصف البيانات، كما تم تعيين القيم التقديرية لبيانات مرضى الثلاسيميا وذلك بالاعتماد على خوارزميات كل من نموذج المنطق المضبب الاعتيادي ونموذج المنطق المضبب المهجن بالشبكات العصبية الاصطناعية، والشكلين (3) و(5) يوضحان المخططات الانسيابية لكل من النظام الطبي المعتمد على النظام المضبب الاعتيادي والنظام المضبب الهجين .




الشكل (3) : مخطط انسيابي عام يوضح آلية تعيين القيم التقديرية لبيانات مرضى الثلاسيميا باستخدام نموذج النظام المضبب الاعتيادي.

تم تحديد الية استدلال النموذج المضبب الاعتيادي من نوع مامداني (Mamdani) ، في حين كانت دوال العضوية من نوع المثلثية (Triangular) في كل من فضاء الادخال والاخراج، وان عدد دوال العضوية في كل متغير هو دالتين يقع مداها بين (0 و 80) بحسب مدى بيانات الادخال لمرضى الثلاسيميا.

ونتج من خلال التطبيق العملي باستخدام النموذج المضبب الاعتيادي على بيانات الثلاسيميا مجموعة من الاخراجات تم تمثيلها مقارنة مع الاخراجات الحقيقية من خلال الشكل (4) بالاتي:



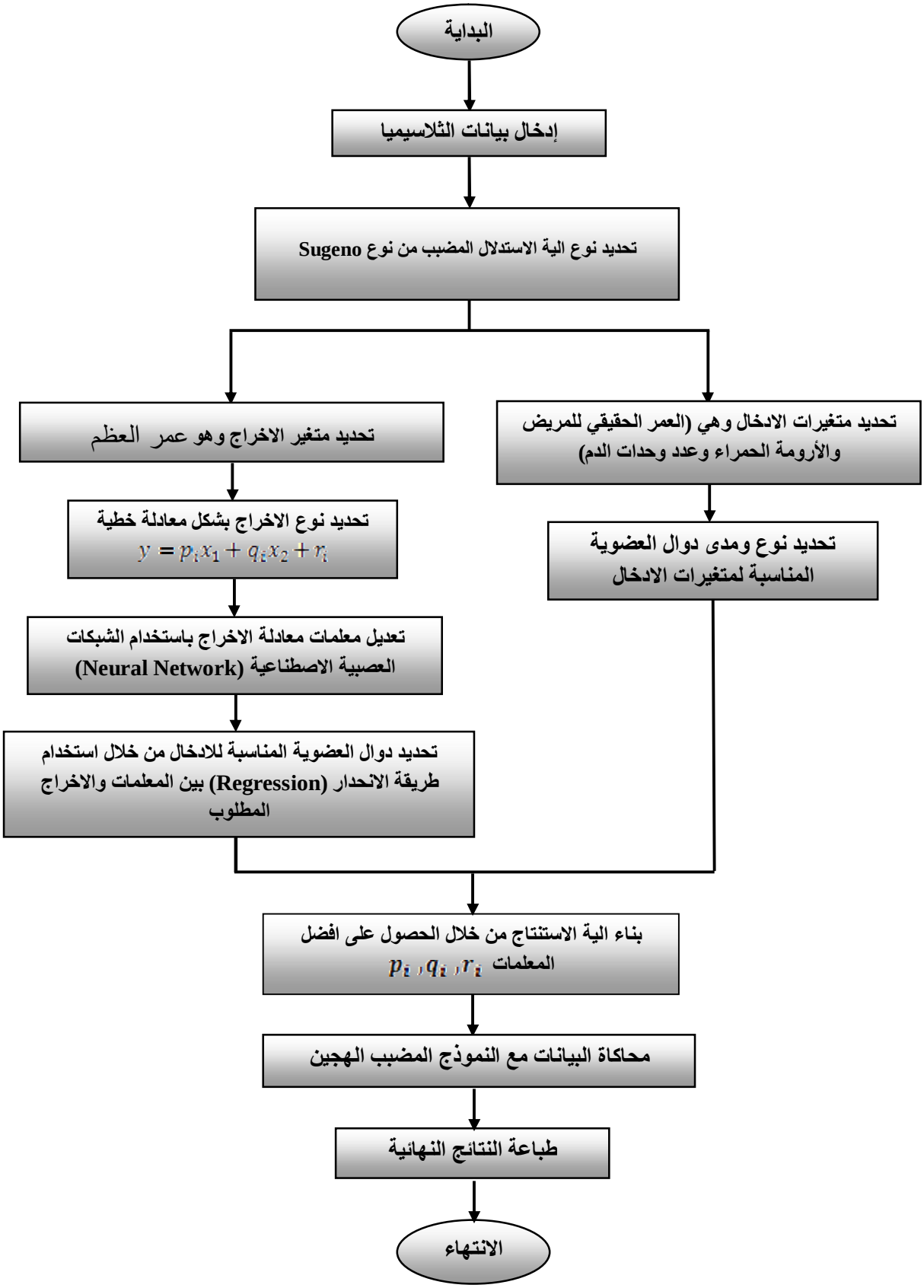

الشكل(4): رسم نتائج تطبيق المنطق المضبب مقارنة مع البيانات الحقيقية.

يلاحظ من الشكل (4) وجود تفاوت في النتائج التي تم الحصول عليها من خلال النموذج المضبب الاعتيادي مقارنة مع بيانات الاخراج الحقيقية لمرضى الثلاسيميا، ويرجع هذا التفاوت نتيجة صعوبة تحديد شكل الدوال العضوية المناسبة في بناء النموذج المضبب. لهذا دعت الحاجة الى ايجاد طريقة شبه مثالية يتم من خلالها تحديد شكل دوال العضوية المناسبة والتي من خلالها يستدل على الاخراج للنظام بشكل اكفأ وهذه الطريقة تستند الى استخدام الشبكات العصبية الاصطناعية لتحديد معلمات دوال العضوية المناسبة التي تعطي الشكل المناسب في الية الاستنتاج وذلك من خلال الاعتماد على مفهوم تعديل الاوزان المعلمية كما يأتي:

$$p_i(new) = p_i(old) + \gamma \frac{\partial E}{\partial \Delta p_i} \qquad \ldots.(9)$$

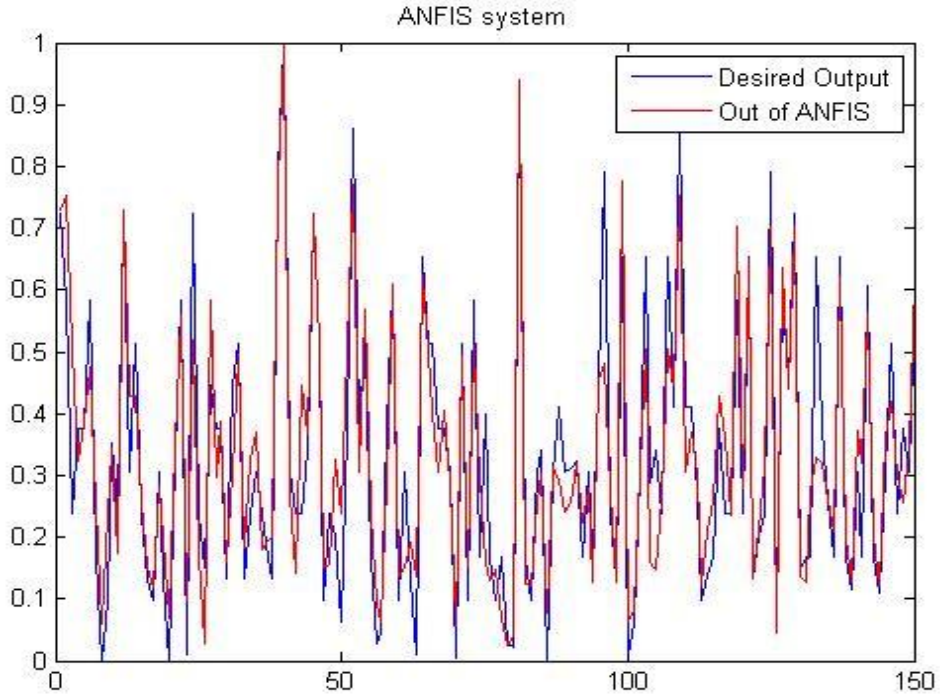
$$E = \frac{1}{2}(target - out)^2 \qquad \ldots.(10)$$

اذ ان $p_i$ تمثل اي معلمة في الدالة العضوية و $\gamma$ نسبة التعلم و $out$ الاخراج الحقيقي و $target$ الاخراج المطلوب، و $E$ مقدار الخطأ.




الشكل (5) : مخطط انسيابي عام يوضح آلية تعيين القيم التقديرية لبيانات مرضى الثلاسيميا باستخدام نموذج النظام العصبي المضبب المهجن.

اذ يعد النظام الهجين نظاما مشتركا بين المنطق المضبب والشبكات العصبية الاصطناعية حيث يتم تعديل الشكل المناسب لدالة العضوية من خلال مفهوم عملية التراجع الخلفي (Backtracking) التي تحدث في الشبكات العصبية الاصطناعية والتي لها الدور الأكبر في الحصول على الحلول المطلوبة من خلال سلسلة من الإجراءات التكرارية لتعديل معلمات شكل دالة العضوية المناسبة. ونتج من خلال التطبيق العملي باستخدام النموذج المهجن على بيانات الثلاسيميا مجموعة من الاخراجات تم تمثيلها مقارنة مع الاخراجات الحقيقية من خلال الشكل (6) بالاتي :




الشكل (6): يمثل نتائج تطبيق النظام الهجين على بيانات الثلاسيميا.

يلاحظ من الشكل (6) ان النموذج المهجن قد اثبت كفاءة عالية في التطابق مع البيانات الحقيقية مقارنة مع نموذج المنطق المضبب الاعتيادي.

## 11- مقارنة النتائج:

تم مقارنة كل من النموذج المضبب الاعتيادي مع النموذج المضبب الهجين باستخدام الشبكات العصبية الاصطناعية وذلك من خلال تطبيقهما على بيانات الثلاسيميا، وقد أثبتت النتائج أن النموذج المهجن له نسبة خطأ اقل بكثير من نسبة خطأ النموذج المضبب الاعتيادي والجدول (1) يوضح المقارنة بين نموذج المنطق المضبب والنموذج المهجن:

**الجدول (1) : مقارنة النتائج بين الطريقة المهجنة وطريقة المنطق المضبب.**

| ***نوع النموذج المستخدم*** | ***متوسط مربع الخطأ MSE*** |
|---|---|
| المنطق المضبب الاعتيادي (Fuzzy Logic System) | 0.0791 |
| المنطق المضبب المهجن باستخدام الشبكات العصبية (Neuro Fuzzy System) | 0.0079 |

يلاحظ من الجدول (1) ان مقدار متوسط مربعات الخطأ في النموذج المهجن اقل بكثير من متوسط مربعات الخطأ في النموذج الاعتيادي المضبب (اي ان الخطأ في النموذج المهجن اقل من الخطأ في النموذج المضبب الاعتيادي بمقدار 9.9874 %) ، ما يدل على كفاءة النظام المهجن مقا نة بالنظام المضبب الاعتيادي.

**12- الاستنتاجات والتوصيات :**

من خلال مقارنة النتائج بين كلتا الطريقتين، تم التوصل الى الأستنتاجات الأتية :

1. اثبت النموذج المضبب الهجين باستخدام الشبكات العصبية الاصطناعية في الجدول (1) إمكانية عالية في تعيين القيم التقديرية لبيانات مرضى الثلاسيميا وذلك من خلال مقياس (MSE) مقارنة مع النموذج المضبب الاعتيادي.
2. امكانية النموذج المهجن في تحديد دوال العضوية المناسبة لطبيعة البيانات في المسألة المعطاة من خلال تعديل المعلمات للحصول على افضل شكل لهذه الدوال.
3. صعوبة تحديد عدد ونوع دوال العضوية المستخدمة في النموذج المضبب الاعتيادي والتي يتم تحديدها في الغالب عن طريق التجربة وليس عن طريق تمثيل قياسي.

وعليه يوصى بالآتي:

1. يوصى باجراء تهجين بين النموذج المضبب الاعتيادي وتقنيات ذكائية اخرى كالخوارزمية الجينية.
2. يوصى بتوظيف النظام الطبي الخبير المستند على النموذج المضبب المهجن كنظام مساعد للطبيب في المراكز الطبية الخاصة بمرضى الثلاسيميا ومنها المركز الخاص في مستشفى ابن الأثير في محافظة نينوى.

**المصادر References :**

1. زين العابدين، نورسل أحمد ،(2005)، "**تطبيقات المنطق المضبب في الإحصاء**"، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية علوم الحاسبات والرياضيات، جامعة الموصل.

2. طيب، أسوان محمد ، (2005) " **اختيار المتغيرات في انحدار الحرف**". رسالة ماجستير غير منشورة، كلية علوم الحاسبات والرياضيات، جامعة الموصل.

3. فولو، موديل، جورغاندا (1997)، "**ما هي الثلاسيميا**" ،الجمعية السعودية لأصدقاء الثلاسيميا.

4. قاسم، عمر صابر ،(2010) ،"**تطبيق التقنيات الذكائية في المعلومات الحياتية**" أطروحة دكتوراه غير منشورة، كلية علوم الحاسبات والرياضيات، جامعة الموصل.

5. Babuska, R., (2002), **"Neuro-Fuzzy Methods for Modeling and Identification" ,** Springer-Verlag, Reprinted with permission.

6. Castillo,O., (2012),"**Type -2 Fuzzy Logic in Intelligent Control Applications"**,Springer-Verlage Berlin Heidelberg,USA.

7. Ertel, W. ,(2011) ,**"Intrducation To Artificial Intelligence**" Tanslated By Nathanael Back with illustation By Florian Mast, Springer-Verlag London

8. Klir, G.J., Clair, U.St. and Yuan , B. (1997) , **"Fuzzy Set Theory",** Prentice - Hall PTR.

9. Sivanandam, S. N., Sumathi, S. and Deepa , S. N. , (2007), **"Introduction to Fuzzy Logic Using MATLAB"**, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin.

10. Sumathi , S. and surekha p. ,(2010) ,**"Computational Intelligence Paradigms Theory and Applications using MATLAB",** Taylor and Francis Group, LLC.

11. Tesfamariam, S. and Najjaran, H., (2007) **, "Adaptive Network-Fuzzy Inferencing to Estimate Concrete Strength Using Mix design"**, Journal of Materials in Civil Engineering, v. 19, no. 7, pp. 550-560.