



كلية الهندسة - جامعة بغداد

## Association of Arab Universities Journal of Engineering Sciences

مجلة اتحاد الجامعات العربية للدراسات والبحوث الهندسية

جمعية كليات الهندسة  
اعضاء اتحاد الجامعات العربية

# متحكم ضبابي يعتمد على نظام ذكي ديناميكي للوقاية من انخفاض ضغط الدم الشرياني خلال جلسة الغسيل الكلوي

شذا شحادة<sup>1\*</sup>، جمانا دياب<sup>2</sup>، أحمد أحمد<sup>3</sup><sup>1</sup> قسم هندسة التحكم الآلي والحاسوب، كلية الهندسة الكهربائية والميكانيكية، جامعة البعث، سوريا، shaza\_321@hotmail.com<sup>2-2</sup> الهندسة الطبية، جامعة الأندلس، القدموس، طرطوس، سوريا<sup>2-2</sup> قسم هندسة التحكم الآلي والحاسوب، كلية الهندسة الكهربائية والميكانيكية، جامعة البعث، حمص، سوريا ggomana@gmail.com<sup>3</sup> الهندسة الطبية، جامعة الأندلس، القدموس، طرطوس، سوريا ahmad1@free.fr

\* الباحث الممثل: شذا شحادة، shaza\_321@hotmail.com

نشر في: 31 آذار 2021

**الخلاصة:** إن الوقاية من مخاطر الغسيل الكلوي هي الركيزة الأساسية لضمان استقرار حالة المريض، ويعتبر انخفاض ضغط الدم الشرياني من أكثر هذه المخاطر شدة وتأثيراً على المريض. تم في هذا البحث دراسة نظام للوقاية من حدوث انخفاض ضغط الدم الشرياني وذلك باستخدام المتحكم الضبابي وتقنيات تعليم الآلة المسؤولة عن تصميم نظام ذكي ديناميكي يتنبأ بالسلوك المستقبلي للمريض خلال الجلسة. إن انخفاض ضغط الدم الشرياني هو اختلاط خطير وعامل خطر رئيسي لزيادة معدل الوفيات أثناء غسيل الكلى، حيث يشكل معدل انتشار حدوث انخفاض ضغط الدم الشرياني Hypotension نسبة مرتفعة بين المرضى اللذين يخضعون لجلسات الغسيل الكلوي التقليدية. إن بطء استجابة الأنظمة التقليدية المعتمدة على القيم الأنيمة لضغط الدم الشرياني هي سبب رئيسي لحدوث انخفاض ضغط الدم، ومن الصعب التنبؤ بحدوث تقلبات ضغط الدم الشرياني سريرياً، فمن الضروري أن يكون هناك تنبؤ مسبق بقيم ضغط الدم الشرياني خلال جلسة العلاج باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي للوقاية من حدوث الانخفاض. تم في هذا البحث تصميم نظام ذكي ديناميكي يعتمد على الشبكات العصبونية الاصطناعية ومتحكم ضبابي قائم على المعرفة، حيث يتنبأ النظام الذكي بالقيم المستقبلية للضغط الشرياني، ويستخدم المتحكم الضبابي هذه القيم لحل مشكلة بطء الاستجابة في الأنظمة التقليدية، وهذا ما أدى إلى تقليل حالات حدوث انخفاض ضغط الدم الشرياني وتخفيض زمن المعالجة الكلي واستقرار ضغط الدم الشرياني.

**الكلمات الرئيسية –** الغسيل الكلوي، انخفاض ضغط الدم، المتحكم الضبابي، الشبكات العصبونية.

## 1. المقدمة

بذلت العديد من الجهود العلاجية للحد من وتيرة انخفاض ضغط الدم أثناء غسيل الكلى، منها: إدخال محلول الديليزة المحتوي على البيكربونات، والتحكم في الترشيح الفائق عن طريق مراقبة التغيرات في حجم الدم. [2,4]

تساهم الجهود العلاجية بوضوح في استقرار ضغط الدم ومع ذلك، فإن كل هذه الإجراءات تعاني من موضوع التعميم على المرضى بغض النظر عن حالة المريض الفردية، حيث لا يوجد تنظيم للارتجاع البيولوجي الفردي، وبالتالي فإن حلقة التحكم مفتوحة بدون تغذية عكسية.

ركز بحثنا على توقع سلوك ضغط الدم الشرياني خلال جلسة العلاج بالاعتماد على مواصفات المريض الشخصية ومعلومات تشغيل جهاز الغسيل الكلوي، باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي، وذلك من أجل الوقاية من مخاطر انخفاض ضغط الدم الشرياني وإمكانية التعديل المباشر لبارامترات التشغيل وهي معدل الترشيح الفائق (Ultra-Filtration Rate: UFR) وتركيز الصوديوم في الديال (Dialysate Sodium Concentration: DSC).

إن عملية غسيل الكلى (Hemodialysis: HD) هي علاج شائع للمرضى الذين يعانون من مرض الفشل الكلوي في مراحله النهائية (End Stage Renal Disease: ESRD) حيث يتم إزالة السموم والماء الزائد من المريض بواسطة جهاز غسيل الكلى الذي يسحب الدم ويمرره خلال مرشح (dialyzer) ليتم تنقيته وإزالة السموم منه. [1]

إن انخفاض ضغط الدم الشرياني Hypotension هو أحد أخطر المضاعفات الشائعة لعملية الغسيل الكلوي، وتمثل نوبات انخفاض ضغط الدم أثناء غسيل الكلى مشكلة كبيرة بالنسبة لحياة مرضى غسيل الكلى وتحدث بنسبة 20 % إلى 30 % من العلاجات، إذ أن السبب الرئيسي لانخفاض ضغط الدم هو انخفاض حجم الدم الناتج عن عدم التوازن بين معدل سحب الدم من المريض ومعدل إعادة تعبئة البلازما. وعلى الرغم من التحسينات في تقنية غسيل الكلى، فإن انتشار حدوث انخفاض ضغط الدم أثناء جلسة غسيل الكلى (HD) تزداد في زيادة، وذلك بسبب زيادة سن المرضى والأمراض المزمنة المرتبطة بها. [10]

بشكل دقيق ولكن اكتفى بالتنبؤ باحتمال حدوث انخفاض ضغط الدم الشرياني دون معالجته. [7]

في عام 2019 تم دراسة تأثير التخفيض التدريجي لصوديوم محلول الديليزة على حدوث انخفاض ضغط الدم الشرياني ومستوى صوديوم البلازما حيث أظهرت الدراسة أن عملية خفض الصوديوم لم تلعب دور مهم في التقليل من انخفاض ضغط الدم [9].

في عام 2019 تم دراسة تأثير تبريد محلول الديليزة على حدوث انخفاض ضغط الدم الشرياني حيث تبين أن عملية التبريد هي أداة مهمة لتقليل حالات انخفاض ضغط الدم الشرياني ولكنها تتطلب تجهيزات ومعدات خاصة إضافية. [5]

في عام 2019 تم دراسة التنبؤ بحدوث انخفاض ضغط الدم الشرياني بالاعتماد على تغير معدل ضربات القلب ولكن هذه الدراسة كانت تعاني من بعض التحديات وأهمها حجم العينة كان صغير ولم يكتمل التحقق بشكل كامل من أجل إنشاء نموذج التنبؤ. [10]

في عام 2004 تم استخدام الشبكات العصبونية الاصطناعية للتنبؤ بحدوث انخفاض ضغط الدم الشرياني من خلال حساب معامل جودة الغسيل  $Kt/v$  ومعدل هدم البروتين (PCR) (protein catabolic rate)، حيث يتم حساب  $Kt/v$  باستخدام النماذج البرمجية الإحصائية ( Syatat7.0 and SPSS 11.0) وبناء على قيمها يتم إعطاء احتمال حدوث انخفاض ضغط الدم الشرياني IDH. وبالتالي اعتمدت الدراسة في التنبؤ على نتائج النماذج الإحصائية، حيث تعتبر النماذج القائمة على الإحصائيات المعتادة مخيبة للأمال عند استخدامها لتحليل البيانات غير الخطية. [6].

نلاحظ من الدراسات المرجعية أن الوقاية من انخفاض ضغط الدم الشرياني تمثل تحدياً مهماً في مجال غسيل الكلى العلاجي، لذا تتطلب عملية غسيل الكلى عادةً مراقبة طبية صارمة لضبط حالة المريض خلال الجلسة وضمان استقراره بأقل مضاعفات ممكنة ناتجة عن الغسيل الكلوي.

يهدف البحث إلى دراسة نظام الوقاية من انخفاض ضغط الدم الشرياني لمريض الغسيل الكلوي، باستخدام وحدة التحكم الضبابي المعتمدة على النظام الذكي الذي يتولى مهمة توقع السلوك المستقبلي للمريض خلال جلسة الغسيل الكلوي، وذلك لتجنب نوبات انخفاض ضغط الدم الحاد والمحافظة على استقرار ضغط الدم الشرياني خلال الجلسة ضمن الحدود المسموحة.

### 3. منهجية البحث

#### 3.1 مواد البحث

تم جمع البيانات السريرية خلال جلسات غسيل الكلى العادية بعد استبعاد المرضى الذين تقل أعمارهم عن 20 عاماً وذلك لدراسة أثر الأمراض المزمنة على الحالة السريرية للمرضى، حيث تم التركيز على جمع المعلومات المرتبطة بعوامل الخطر المحتملة والأعراض السريرية.

خضع للدراسة 1075 مريض بمعدل 3 إلى 4 جلسات اسبوعياً ولمدة 4 سنوات، وتستمر كل جلسة حوالي 240 دقيقة، وبالتالي تم جمع وتسجيل بيانات حوالي 165986 جلسة وفي كل جلسة سجل حوالي 20 قياساً لنحصل على 4366298 سجل من البيانات عالية الدقة.

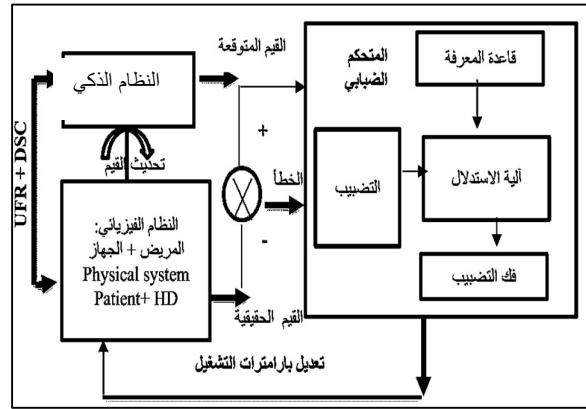
في كل الجلسات كانت مواصفات محلول الديليزة لمعظم المرضى عند بدء العلاج وفق الآتي:

- تركيز الصوديوم في محلول الديليزة الافتراضي 138 مليمول/لتر.
- تركيز الكالسيوم في محلول الديليزة 3.0 مليمول/لتر.
- معدل تنفق محلول الديليزة 500 مل/دقيقة.

إن الهدف الأساسي من هذا البحث هو تقليل المخاطر التي قد يتعرض لها المريض لتلبية متطلبات الراحة المثلى خلال جلسة الغسيل الكلوي، وذلك باستخدام القيم المتوقعة من النظام الذكي ((Artificial System والتي تعكس السلوك المستقبلي للمريض، إذ يتنبأ النظام الذكي بقيمة ضغط الدم الشرياني ويقوم بالتحكم الضبابي بإعطاء قيم بارامترات تشغيل جهاز الغسيل بحيث يحافظ على استقرار حالة المريض.

يتلقى المتحكم الضبابي القيم المتوقعة من النظام الذكي وهي: ضغط الدم الشرياني (Systolic Blood Pressure: SBP)، والقيم الحقيقية المقابلة لها من مقياس ضغط الدم الشرياني الإلكتروني، ووفقاً للتغيرات في قيم المدخلات وحسب قواعد المعرفة التي يبنى عليها المتحكم الضبابي يتم تعديل قيم المخارج وهي معدل الترشيح الفائق وتركيز الصوديوم في الديال بحيث تبقى الدورة الدموية للمريض مستقرة، ويبقى ضغط الدم الشرياني ضمن حدوده بدون حدوث انخفاض الضغط الشرياني Hypotension.

يتم تطبيق بارامترات تشغيل جهاز غسيل الكلية وهي معدل الترشيح الفائق وتركيز الصوديوم في الديال على كل من الجهاز والنظام الذكي معاً. يقوم النظام الذكي بالتنبؤ بالقيم المستقبلية لضغط الدم الشرياني، ويعطي النظام الفعلي القيم الحقيقية اللحظية. تعبر إشارة الخطأ بين القيم المستقبلية والقيم الحقيقية عن السلوك المستقبلي المتوقع للنظام. يعطي المتحكم الضبابي القيم المباشرة لبارامترات التشغيل والتي بدورها تطبق من جديد على كل من النظام الحقيقي والنظام الذكي معاً. الشكل (1).



الشكل 1: مكونات النظام الأساسية وهي النظام الفيزيائي والمتحكم الضبابي والنظام الذكي

### 2. الدراسات السابقة

في عام 2017 تم تطوير فرضية لمنع حدوث انخفاض ضغط الدم خلال جلسة الغسيل الكلوي، حيث اعتمدت هذه الفرضية على الأساليب العلاجية والتوصيات الطبية من خلال الدراسات الإحصائية وبالتالي لا زالت هذه الطريقة تعاني من مشكلة التعميم. [8]

في عام 2009 تم تطوير نظام تحكم ارتجاعي بيولوجي خلفي biofeedback control لمنع حدوث انخفاض ضغط الدم خلال الجلسة وذلك باستخدام المتحكم الضبابي المعتمد على القيم الحقيقية لضغط الدم الشرياني والاتجاهات طويلة وقصيرة الأمد له، حيث تبين أن المتحكم الضبابي الذي يضبط معدل الترشيح الفائق، يعاني من وجود حالات انخفاض في قيم ضغط الدم في ساعات العلاج الأخيرة بسبب اعتماده على القيم اللحظية والتي تسبب بطء في استجابة المتحكم، وتعتبر الساعات الأخيرة من العلاج هي الأكثر أهمية نظراً لتعب المريض خلالها وتسعى الدراسات إلى استقرار حالة المريض ما أمكن خلال هذه الساعات. [11]

في عام 2018 تم تصميم نظام ذكي للتنبؤ بحدوث حالات انخفاض ضغط الدم الشرياني بالاعتماد على قاعدة بيانات كبيرة وعلى تحليل الانحدار اللوجستي المعتمد على الزمن، حيث أعطى النظام المصمم إمكانية التنبؤ

كما تم فحص درجة حرارة الجسم، وتسجيل إعدادات جهاز غسيل الكلى المتزامنة، بما في ذلك معدل تدفق مضخة الدم، ومعدل الترشيح الفائق، وتركيز الصوديوم في محلول الديليزة.

يبين الجدول (1) المواصفات السريرية للمرضى اللذين خضعوا للدراسة.

• درجة حرارة محلول الديليزة 36.5 درجة مئوية.

تم قياس نبض القلب، ودرجة حرارة الجسم، وتم أخذ قياس ضغط الدم عدة مرات بواسطة مقياس ضغط الدم الإلكتروني من بداية الجلسة حتى نهايتها على فترات متقطعة، بالإضافة إلى قياسات أخرى وفقاً للحاجة السريرية،

الجدول 1: المواصفات السريرية للمرضى الخاضعين للدراسة ومعلومات جهاز الغسيل.

عدد المرضى الخاضعين للدراسة	1075
عدد سجلات البيانات	4366298
عدد الذكور	527
عدد مرضى السكري	370
زمن المعالجة (الساعة)	4.66±0.66
الوزن الجاف (kg)	58.4±13.55
درجة حرارة الجسم (c°)	36.4±0.27
الوزن قبل الجلسة (kg)	61.07±14.39
الوزن بعد الجلسة (kg)	58.75 ±13.87
معدل الترشيح الفائق (L/h)	0.52 ±0.41
تدفق مضخة الدم (ml/min)	186.82 ±98.04
درجة حرارة محلول الديليزة (°c)	36.39±0.45
ناقلية محلول الديليزة (mS/cm)	14.02±0.38
ضغط الدم الشرياني (mmHg)	157.68±25.85

## 1. بنية النظام الذكي

من أجل بناء النظام الذكي باستخدام الشبكات العصبونية، قمنا بتحديد أزواج التدريب وهي قيم المدخل والهدف المقابل لها، واعتمدنا بذلك على البيانات التي جمعت من مراكز غسيل الكلى.

يعتمد هذا النظام الذكي على عدة قيم وهي البارامترات الأكثر تأثيراً على ضغط الدم الشرياني وعلى حالة المريض خلال الجلسة، وبناءً على قيم المدخلات يقوم النظام الذكي المصمم بالتنبؤ بقيمة الضغط الشرياني المستقبلية للمريض خلال الجلسة، وبالتالي فهم سلوك الدورة الدموية للمريض واتخاذ الإجراءات العلاجية اللازمة مستقبلاً من قبل الخبير بشكل مسبق، وذلك للتقليل من انخفاض ضغط الدم الشرياني.

تم تصميم النظام الذكي وفق المراحل التالية:

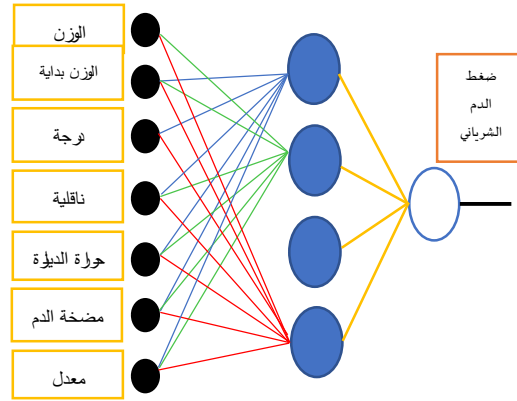
1. جمع البيانات اللازمة لتدريب الشبكة العصبونية الاصطناعية الخاصة بالمرضى الخاضع للدراسة.

2. تصميم شبكة عصبونية وفق خوارزمية تدريب ديناميكية، بحيث يتم تدريب الشبكة العصبونية من خلال تغيير عدد العصبونات في الطبقة الخفية من 7 إلى 24 عصبون كما موضح في الشكل (2)، وتغيير عدد خطوات التدريب من 1000 إلى 20000 خطوة ومن ثم اختيار البنية الأفضل التي تحقق أفضل تابع أداء وهو أقل قيمة لمتوسط مربعات الخطأ (Mean Squared Error: MSE)، كما هو موضح في الجدول (2) وأقل زمن تدريب.

اعتمد النظام الذكي على تقنيات تعليم الآلة (Machine Learning: ML) باستخدام خوارزميات تصميم الشبكة العصبونية الاصطناعية ذات التغذية الأمامية متعددة الطبقات، وذلك باعتماد منهجية البنى الديناميكية المتغيرة بناءً على الحالة الفردية للمريض للحصول على أفضل بنية تحقق معايير الأداء الأفضل.

إن الشبكات العصبونية الاصطناعية (Artificial Neural Network: ANN) هي نماذج تحاول محاكاة السلوك بتطبيق تقنية تشبه المشابك العصبية في الخلايا، ولديها قدرة قوية على التعلم، إذ يمكن أن تتعلم من العينات والحصول على المعرفة وتخزين المعلومات، وتتميز ANN بقدرتها على المعالجة المتوازية والذاكرة.

تتكون الشبكات العصبونية ذات التغذية الأمامية من مجموعة من الخلايا العصبونية التي يتم ترتيبها في طبقات، يقصد بالتغذية الأمامية أن انتشار البيانات الداخلة إلى الشبكة يكون باتجاه الأمام دائماً من طبقة الإدخال باتجاه طبقة الإخراج وتعتمد على خوارزمية الانتشار العكسي للخطأ لانجاز عملية التدريب. ويسمى هذا النوع من الشبكات شبكات الانتشار العكسي للخطأ (Artificial Neural Network of Error Back Propagation) حيث تُقارن المخرجات الحقيقية للشبكة مع المخرجات المطلوبة (الهدف)، للحصول على الخطأ، فتقوم الشبكة بنشر هذا الخطأ من طبقة المخرجات مروراً بالطبقة (الطبقات) الخفية باتجاه طبقة المدخلات؛ أي بآلية معكوسة لما يحدث في مرحلة حساب المخرجات، كما تعتبر خوارزمية الانتشار الخلفي للخطأ هي الخوارزمية الأكثر أهمية في مجال التوقع الرقمي.



الشكل 2: بنية الشبكة العصبونية الاصطناعية الخاصة بالمرضى الخاضع للدراسة.

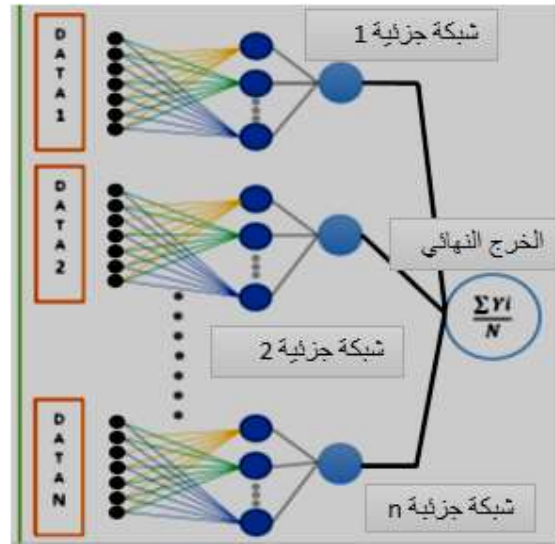
الجدول 2: قيم MSE للبنية المختلفة للشبكة العصبونية المصممة لأحد مرضى الدراسة.

	Number of epochs				
		1000 epoch	5000 epochs	10000 epochs	20000 epochs
Number of neurons in hidden layer	7 Hidden	12.8	12.7	12.6	12.9
	8 Hidden	12.8	12.7	12.8	12.89
	9 Hidden	12.95	13.04	12.90	13.02
	10 Hidden	12.68	12.90	12.92	12.77
	11 Hidden	13.01	12.97	12.95	12.73
	12 Hidden	13.02	13.25	12.88	13.11
	13 Hidden	13.002	13.16	12.09	13.03
	14 Hidden	13.04	13.30	12.94	12.81
	15 Hidden	13.25	12.88	13.16	12.85
	16 Hidden	13.16	13.20	13.28	12.98
	17 Hidden	12.93	13.16	13.33	13.25
	18 Hidden	12.98	13.45	14.01	13.38
	19 Hidden	13.24	13.15	13.31	13.32
	20 idden	13.05	13.30	13.11	13.05

الخرج النهائي للنظام الذكي المصمم هو المتوسط الحسابي لمخارج الشبكات الجزئية.

كما يبين الشكل (4) منحنى الضغط الشرياني المتوقع من الشبكة الهرمية المصممة لأحد مرضى الدراسة ومقارنته بالمنحنى الحقيقي.

تأخذ البنية الأفضل الناتجة عن التدريب وهي شبكة عصبونية بطبقة خفية واحدة تحتوي 17 عصبونات وتحتاج لـ 20000 خطوة تدريب، ونجعلها بنية جزئية في شبكة هرمية مصممة بعدد متغير من الشبكات الجزئية، حيث يتم تغيير عدد الشبكات الجزئية من 1 إلى 10 شبكات جزئية كما في الشكل (3)، وتقسيم البيانات عليها بشكل هرمي للحصول على أفضل بنية هرمية وفق تابع الأداء الأفضل في الجدول (3).



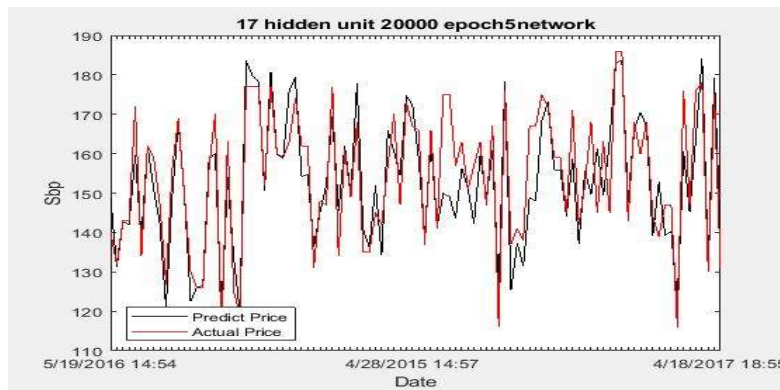
الشكل 3: بنية الشبكة العصبونية الهرمية الديناميكية.

الجدول 3: قيم MSE لبنية الشبكة الهرمية المتغيرة بعدد الشبكات الجزئية لأحد مرضى الدراسة.

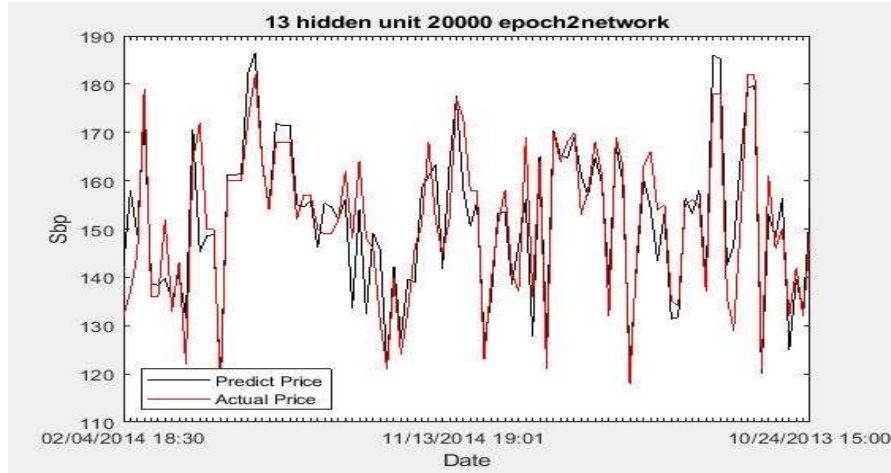
12 hidden, 20000 epochs' / number of networks										
Number	1	2	3	4	5	6	7	128	9	10
MSE	9.991	9.62	10.006	9.66	9.602	9.73	9.728	.725	9.82	9.766

وكانت البنية الهرمية الأفضل هي ذات شبكتين جزئيتين وتتكون كل شبكة من 13 عصبون ويتم تدريبها 20000 مرة وكان تابع MSE حوالي 8% أي أن البنية المصممة حققت أفضل أداء والشكل (5) يبين خرج الشبكة المتوقع والخرج الحقيقي للبنية المصممة.

نصمم الشبكة العصبونية الاصطناعية ذات البنية الهرمية المكونة من عدة شبكات جزئية، ولكن سيتم اعتماد بنية الشبكة الجزئية من خلال تغيير عدد عصبونات الطبقة الخفية وعدد خطوات التدريب لكل الشبكات الجزئية معاً، وذلك للحصول على أفضل بنية للشبكة الجزئية ومن ثم اختيار أفضل عدد للشبكات الجزئية بناء على أفضل أداء وأقل زمن تدريب.

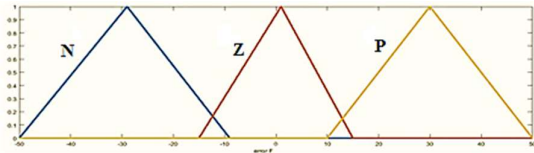


الشكل 4: منحنيات خرج الشبكة الهرمية المتوقعة والخرج الحقيقي لأحد المرضى.



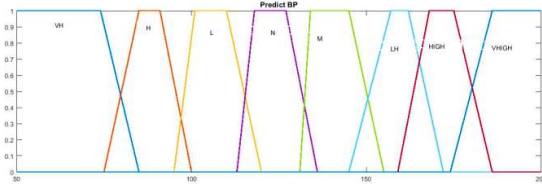
الشكل 5: منحنيات خرج الشبكة الهرمية الديناميكية المتوقعة والخرج الحقيقي لأحد المرضى.

• إشارة الخطأ بين القيم الحقيقية الآتية والقيم المستقبلية المتوقعة لضغط الدم الشرياني  $error F$ : يعبر هذا المدخل عن السلوك المتوقع لقيمة ضغط الدم الشرياني وبالتالي احتمال زيادته أو نقصانه في المستقبل، حيث يتم الحصول على القيم الحقيقية من مقياس ضغط الدم الشرياني الموجود في جهاز الغسيل الكلوي، أما القيم المستقبلية المتوقعة يتم الحصول عليها بواسطة النظام الذكي المصمم، ولها القيم اللغوية في الجدول (4)، ودالات الانتماء في الشكل (8).



الشكل 8: دالات الانتماء للدخل  $error F$ .

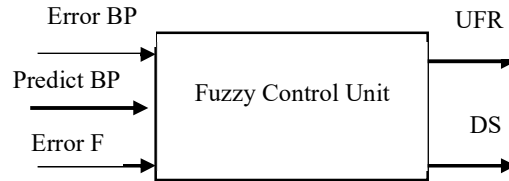
• القيم المستقبلية المتوقعة لضغط الدم الشرياني (Predict BP) والتي يتم الحصول عليها بواسطة النظام الذكي ولها القيم اللغوية كما في الجدول (4) ودالات الانتماء في الشكل (9).



الشكل 9: دالات الانتماء للدخل Predict BP.

## 2. بنية المتحكم الضبابي

يتولى المتحكم الضبابي المصمم في البحث عملية ضبط ضغط الدم الشرياني للمريض خلال فترة الجلسة لمنع حدوث Hypotension، وذلك من خلال تعديل قيم بارامترات تشغيل جهاز الغسيل الكلوي بشكل مستمر بمنهجية تعتمد على السلوك المتوقع من النظام الذكي والحالة الآتية له. يبين الشكل (6) مداخل ومخارج المتحكم الرئيسية.

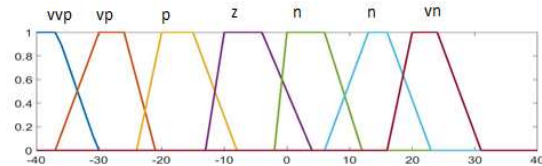


الشكل 6: مداخل ومخارج وحدة التحكم الضبابية.

### 3.1 المداخل:

تم تحديد القيم الضبابية بناءً على دراسة البيانات وتأثيرها على الحالة السريرية للمريض.

• إشارة الخطأ ( $BP error$ ): وهي الخطأ بين القيمة المرجعية لضغط الدم الشرياني (التي تضمن استقرار حالة المريض) والقيمة الحالية الموافقة، حيث تم اعتماد القيم اللغوية الموضحة في الجدول (5)، ودالات الانتماء في الشكل (7).



الشكل 7: دالات الانتماء للدخل  $error BP$ .

الجدول 4: القيم اللغوية لمتغيرات الدخل

Variable	linguistic value	Symbol
error BP	very very Positive	Vvp
	very positive	vp
	positive	p
	zero	z
	negative	n
	very negative	vn
	very very negative.	vvn
error F	Negative	N
	Zero	Z
	Positive	P
Predict BP	very hypotension	VH
	Hypotension	H
	Low	L
	Normal	N
	Medium	M
	Low High	LH
	High	High
	Vhigh	Vhigh

## 3.2 المخارج

- يقوم المتحكم الضبابي بتتبع حالة المريض الأنفية وسلوكه المستقبلي المتوقع خلال جلسة الغسيل الكلوي وذلك لضبط معدل الترشيح الفائق وتركيز الصوديوم في الديال وبالتالي مخارج المتحكم الضبابي هي:
- معدل الترشيح الفائق.
- تركيز الصوديوم في محلول الديال
- نفترض القيم اللغوية للخروج كما في الجدول (5).

الجدول 5: القيم اللغوية للخروج UFR.

Symbol	linguistic value	Variable
Vlow	very low	UFR
Low	low	
Inc	inc	
Good	good	
High	high	
Vhigh	very high	

Small	Small	DSC
Little	Little	
normal	Normal	
High	High	

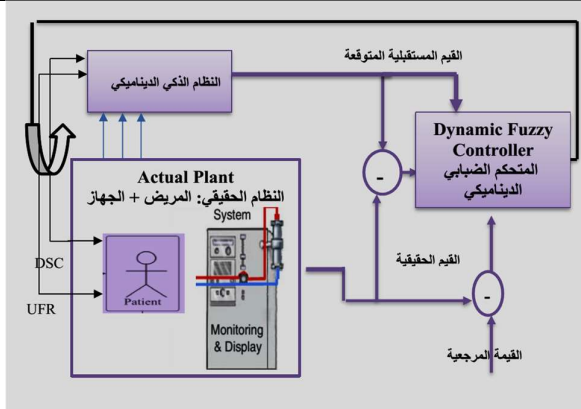
### 3.3 قاعدة المعرفة:

السلوك الفيزيولوجي الصحيح لعلاقة المداخل مع المخرج، حيث قمنا بكتابة 85 قاعدة تشمل جميع الحالات الممكنة بين الجدول (6) عينة من القواعد التي تمت كتابتها:

بالاعتماد على الخبرة الطبية والسلوك الطبيعي والفيزيولوجي لتغير ضغط الدم الشرياني سنقوم بكتابة قاعدة المعرفة المكونة من القواعد التي تمثل

الجدول 6: علاقة الخرج DSC بالدخلين BP و errorF.

ErrorBP	VVP	VP	P	Z	N	VN	VVN
ErrorF							
P	small	small	Small	Little	normal	High	High
Z	small	little	Little	Normal	normal	Vhigh	High
N	small	little	Little	High	High	High	High



الشكل 10: المخطط التوضيحي للجملة المكونة من المريض والحاسب والجهاز.

سنقوم بتمثيل الجملة باستخدام مكتبة الشبكات العصبونية (Artificial Neural Network) في برنامج MATLAB والمنطق الضبابي (Fuzzy Logic). ومن ثم سنقوم باختبار النظام المصمم وفق حالتين:

الحالة الأولى (A): إجراء جلسة العلاج التقليدي بدون وجود متحكم (A).

الحالة الثانية (B): إجراء جلسة العلاج بالاعتماد على بارامترات التشغيل التي يعطيها المتحكم الضبابي والنظام الذكي المصممين في البحث.

تم إجراء جلسات العلاج واقعياً بإشراف طبيب مختص على مجموعة من المرضى باستخدام جهاز غسيل الكلوية من نوع (Fresenius 4008s) في مركز غسيل الكلوية. تم اختيار عدد من المرضى يعانون من مشكلة انخفاض ضغط الدم الشرياني ونراقب قيم ضغط الدم الشرياني خلال الجلسة.

الحالة (A): بالاعتماد على الطريقة التقليدية للعلاج التي لا تعتمد على أي عملية تحكم ارتجاعي، يتم إعطاء قيم بارامترات التشغيل مباشرة للجهاز فتلاحظ حدوث انخفاض بضغط الدم للمرضى الخاضعين للدراسة خلال

### 3. النظام المصمم:

تتألف الجملة المدروسة الموضحة في المخطط التفصيلي المبين في الشكل (10) من:

**جهاز الحاسوب:** يمثل النظام الذكي الذي يتولى التنبؤ بقيمة ضغط الدم الشرياني، وذلك بالاعتماد على قيم المدخلات التي تطبق على النظام الذكي وعلى جهاز الغسيل الكلوي بأن واحد.

**جهاز غسيل الكلوية:** يتم وصل المريض مع جهاز الغسيل الكلوي وتطبيق معدل الترشيح الفائق UFR وتركيز الصوديوم في الديال DSC لمرة واحدة فقط من قبل المختص، فيقوم المتحكم الضبابي بالاعتماد على قيم المدخلات وتغيراتها بإعطاء قيم كل من UFR و DSC للحفاظ على استقرار ضغط الدم الشرياني خلال الجلسة ضمن الحدود المسموحة، ومنع حدوث انخفاض ضغط الدم الشرياني Hypotension.

**المريض:** يتم وصل المريض مع جهاز غسيل الكلوية، إذ نحصل على القيم الحقيقية لضغط الدم الشرياني من المريض مباشرة بواسطة مقياس ضغط الدم الشرياني الإلكتروني، ونسجل هذه القيم ليتم مقارنتها خلال الجلسة مع القيمة المرجعية المطلوب الحفاظ عليها طول فترة الجلسة، حيث يتم إعطاء قيمة الخطأ errorBP كدخل للمتحكم الضبابي.



المتحكم الضبابي ميزة التعديل المسبق لقيم إشارات التحكم وهي UFR و DSC ما يضمن عدم حدوث نوبات انخفاض الضغط الحاد.

#### 4. الاستنتاجات والتوصيات

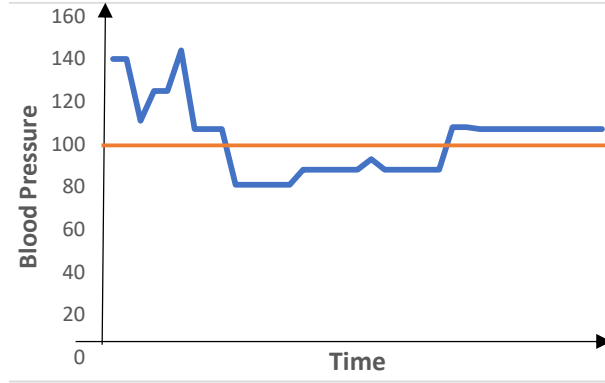
##### 4.1 الاستنتاجات

- زاد تواتر حالات انخفاض ضغط الدم تدريجياً في نهاية العلاج بالاعتماد على العلاج التقليدي حيث هناك انخفاض كبير في ساعات العلاج الثالث والرابع.
- أعطى النظام الذكي المصمم قدرة على توقع السلوك المستقبلي للحالة السريرية المستقبلية للمريض خلال الجلسة مما يعطي إمكانية اتخاذ القرار بشكل أكثر دقة.
- حققت وحدة التحكم المصممة في البحث والمعتمدة على البارامترات المتوقعة من النظام الذكي استقرار جيد لحالة المريض خلال الجلسة.

##### 4.2 التوصيات

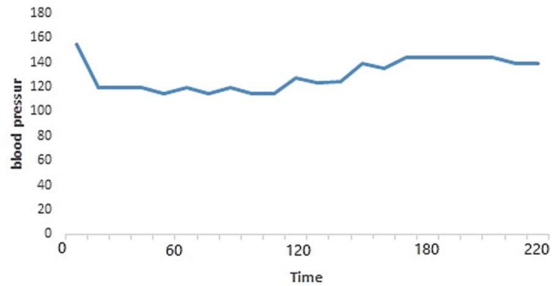
- دراسة أثر الحالات المرضية المزمنة التي يعاني منها مريض الفشل الكلوي على استقرار الضغط الشرياني وعلى عملية الغسيل الكلوي وعلى عملية التوقع.
- دراسة إمكانية التعديل البرمجي على البرمجيات الخاصة بتشغيل جهاز الغسيل الكلوي.

الجلسة بشكل حاد، حيث انخفض ضغط الدم الشرياني للمريض بمقدار 20 mmHg خلال الساعة الثانية من الجلسة، وتم علاج المريض من خلال تسريب سيروم مالح من قبل الطبيب المختص لمدة ربع ساعة، وإعادة استئناف الجلسة ليستقر الضغط على 90 mmHg لفترة طويلة أي أن الضغط يبقى منخفضاً مع ارتفاع بطيء، حيث لاحظنا خلال الجلسة تعب المريض وتعريضه للخطر وكان منحني ضغط الدم الشرياني في الشكل (11).



الشكل 11: ضغط الدم الشرياني خلال الجلسة بدون استخدام المتحكم.

الحالة (B): عند إجراء جلسة العلاج المعتمدة على المتحكم الضبابي والنظام الذكي نلاحظ أن قيم ضغط الدم الشرياني لم تنخفض عن القيمة 100 mmHg واستقر ضغط الدم الشرياني بشكل أفضل بدون أي تجاوزات عن الحدود المسموحة، ولم تسجل خلال الجلسة أي حالة انخفاض لضغط الدم الشرياني وهذا ما يجعل حالة المريض مستقرة بشكل أفضل دون تعرضه لأي اختلاجات ناتجة عن انخفاض ضغط الدم الشرياني كما في الشكل (12).



الشكل 12: ضغط الدم الشرياني نتيجة تطبيق خطة العلاج المعتمدة على المتحكم الضبابي والنظام الذكي على أحد مرضى الدراسة.

نلاحظ أن ضغط الدم بدأ بالانخفاض في الحالتين (A)، (B)، ولكن المتحكم الضبابي الذي يعتمد على القيم المتوقعة من النظام الذكي في الحالة (B) لم يعان من مشكلة انخفاض ضغط الدم الشرياني، والتي تؤدي إلى حدوث انذار من قبل الجهاز يستدعي توقف عملية الغسيل الكلوي وفصل المريض عن الجلسة ويتطلب التدخل الطبي العلاجي، بينما نلاحظ حدوث انخفاض بقيمة الضغط عن الحد الأدنى المسموح به عند استخدام الطريقة التقليدية للعلاج بدون عملية تحكم.

أي إن القيم المتوقعة من النظام الذكي كان لها دور فعال في رصد السلوك المستقبلي لضغط الدم الشرياني للمريض خلال الجلسة وهذا بحد ذاته أعطى

## المصادر

- dietary protein intake and hypotension risk in hemodialysis patients. *Nephrol Dial Transplant* vol (19), 1204–1211.
- [7] Lin, CH, J, Chen, CH, Y, Wu, P, CH, Pan, CH, F 2018. Intelligent system to predict intradialytic hypotension in chronic hemodialysis. *Journal of the Formosan Medical Association*. Vol (117), 888-893.
- [8] Luyckx, V, Perico, N, Somaschini, M 2017. A developmental approach to the prevention of hypertension and kidney disease. *Science direct* vol (390), 424-428.
- [9] Majidi, U, Amerian, M, Abbasi, A, Khosravi, F, Ebrahimi, H 2019. The Impact of the Gradual Reduction of Dialysate Sodium on Occurrence of the Hypotension and Plasma Sodium Level in Hemodialysis Patients. *International Journal of Health Studies*. Vol (5), 6-10.
- [10] Reeves, B, P and McCausland, F, R 2018. Mechanisms, Clinical Implications, and Treatment of Intradialytic Hypotension. *Clinical journal of the American Society of Nephrology*, vol (13), 1297–1303.
- [11] Tugmana, M, Narendra, J, Qiefeng Li 2019. Ultrafiltration profiled hemodialysis to reduce dialysis-related cardiovascular stress: Study protocol for a randomized controlled trial. *Elsevier* vol (15).
- [1] Azar, A, T 2013. *Modeling and Control of Dialysis Systems* volume1. Springer Heidelberg New York Dordrecht London, 784P.
- [2] Bullen, A, Rifkin, D, Trzebinska, D 2019. Individualized Cool Dialysate as an Effective Therapy for Intradialytic Hypotension and Hemodialysis Patients' Perception. *Wiley Online Library*, vol (23), 145-152.
- [3] Chang, Y. M. & Shiao, C. C. 2016. Heart rate variability is an indicator for intradialytic hypotension among chronic hemodialysis patients. *Clinical and experimental nephrology*, vol (20), 650–659.
- [4] Hickstein, H, Stange, J, Roehrer, O, Korth, S, Schmidt, R, 2009. Clinical Application of Fuzzy-Controlled Blood Pressure Stabilization in Patients Prone to Hypotension During Hemodialysis. *Wiley Online Library*. Vol (32), 58-64.
- [5] Larkin, J, Reviriego-Mendoza, M, Usvyat, L, Kotanko, P, Maddux, F 2017. To cool, or too cool: Is reducing dialysate temperature the optimal approach to preventing intradialytic hypotension? *Wiley Online Library*. Vol (30), 501-508.
- [6] Luca Gabutti, Dario Vadilonga, Giorgio Mombelli, et al. 2004- Artificial neural networks improve the prediction of Kt/V, follow-up

## Fuzzy Controller Depends on a Dynamic Intelligent System in order to Prevent the Hypotension during the Dialysis.

Shaza shehada<sup>1,\*</sup>, Joumana Diab<sup>2</sup>, Ahmad Ahmad<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Department of Automatic Control and Computers Engineering, Electrical and Mechanical Engineering, AL Baath University, Syria

<sup>2,1</sup> Faculty of Biomedical Engineering, Al Andalus University for Medical Sciences, Al-Qadmous, Tartous, Syria, ggomana@gmail.com.

<sup>2,2</sup> Department of Automatic Control and Computers Engineering, Electrical and Mechanical Engineering, Al Baath University, Homs, Syria

<sup>3</sup> Faculty of Biomedical Engineering, Al Andalus University for Medical Sciences, Al-Qadmous, Tartous, Syria, ahmad1@free.fr

\*Corresponding author: Shaza shahada, shaza\_321@hotmail.com

Published online: 31 March 2021

**Abstract:** Prevention of the complication of the dialysis is the essential to ensure the stability of the patient's condition. Hypotension is the most dangerous complication on the patient. In this study, a system to prevent the hypotension was studied by using the fuzzy controller and machine learning algorithms, these algorithms are responsible of designing a dynamic intelligent system, which predicts the future behavior of patient during dialysis. Hypotension is a major risk factor for increased mortality during dialysis, where the prevalence of hypotension is high among the patients whom undergoing conventional dialysis sessions. The slow response of the conventional dialysis machine that depends on the present value of arterial blood pressure is the essential reason of hypotension, and it is difficult to predict the change of arterial blood clinically. So, it is imperative to have an expectation of future values of blood pressure by using artificial intelligence to prevent hypotension. In this research, an intelligent system which depends on artificial neural networks and fuzzy controller were designed. The intelligent system predicts the future value of blood, and fuzzy controller uses this value to solve the slow response problem. The proposed system decreased the hypotension and total treatment time, and improved the stability of blood pressure.

**Keywords**— Dialysis, Hypotension, Fuzzy Controller, Neural network.