

التحكم بسكر الدم لدى مرضى السكري باستخدام متحكم PID وخوارزميات المعايرة

م. مريان سعدو اشراف : د. عمار زقزوق

طالبة ماجستير - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة البعث

ملخص البحث:

مرض السكري هو مرض واسع الانتشار في العالم اليوم. يعمل العديد من الباحثين على طرق لتشخيص مرض السكري وعلاجه، ومن الأدوات المستخدمة لهذا الغرض نماذج رياضية لغلوكوز الدم والأنسولين. تم في هذا البحث عرض دراسة تحليلية لبعض خوارزميات الذكاء الصناعي (خوارزميات المعايرة)، والتي استخدمت مع نظام التحكم هذا وساعدت على إيجاد الحل الأمثل، وعرض النتائج التي تم الوصول إليها عند استخدام كل خوارزمية. تم استخدام الخوارزمية الجينية وخوارزمية النحل وخوارزمية محاكاة التلدين وخوارزمية سرب الطيور في تحديد القيم المثلى للمتحكم في النموذج الرياضي لنظام الغلوكوز والأنسولين، مع عرض زمن التنفيذ لكل خوارزمية عن طريق الواجهات الرسومية في بيئة MATLAB وتحديد الخوارزمية الأفضل.

الكلمات المفتاحية: النموذج الرياضي لنظام الغلوكوز والأنسولين، المعايرة، الخوارزمية الجينية، خوارزمية النحل، خوارزمية محاكاة التلدين.

Controlling Blood Glucose in Diabetics using PID Controller and Calibration Algorithms

Eng. Marian Saado

MSc. Student - Mechanical and Electrical Engineering Faculty - Albaath University

Abstract:

Diabetes is a widespread disease in the world today. Many researchers are working on ways to diagnose and treat diabetes. Among the tools used for this purpose are mathematical models of blood glucose and insulin kinetics. In this research, an analytical study of some artificial intelligence algorithms was presented.

In this research, an analytical study was presented for some artificial intelligence algorithms (Calibration Algorithms) that were used with this control system and they helped to find the optimal solution and displayed that were reached when using each algorithm. In this research, we focus of the simulated annealing algorithm, artificial Bee Colony algorithm, particle swarm optimization, genetic algorithm in determining the optimal values for the controller in the proposed mathematical model for the patient. Showing the execution time for each algorithm via graphical interfaces in the MATLAB environment and determining the best algorithm.

Keywords: Mathematical Model of Glucose System, Calibration, Genetic Algorithm, Simulated Annealing Algorithm Artificial Bee Colony.

1- مقدمة:

مرض السكري من الأمراض المنتشرة بشكل كبير وهو مرض يؤدي إلى تلف بعض الأعضاء وحتى الوفاة إذا لم تتم مداراته بشكل صحيح في عصرنا الراهن تطبيقات الذكاء الصناعي تجتاح المجال الطبي بكافة نواحيه، وفي هذا البحث سوف يتم التدقيق في خوارزميات الذكاء الصناعي التي استخدمت لهدف التحكم بنسبة السكر في الدم وتطبيقها من خلال نموذج رياضي باستخدام الماتلاب لاختيار الخوارزمية الأفضل التي يمكن استخدامها مع البنكرياس الصناعي، وسوف يتم استخدام خوارزميات الحل الأمثل (المعايرة) لمعرفة القيم الأفضل لضبط معدل ضخ الأنسولين والمقارنة بين الخوارزميات المستخدمة وتحديد الأفضل.

سيتناول القسم الثاني من هذه المقالة الهدف من هذا البحث، بينما يحوي القسم الثالث أهم الدراسات المرجعية، ويتضمن القسم الرابع دراسة خوارزميات الحل الأمثل (المعايرة) (GA,SA,ABC,PSO) مع النموذج الرياضي المقترح، بينما يعرض القسم الخامس التنفيذ العملي وجدول مقارنة الخوارزميات مع آلية عمل كل منها وفق النموذج المقترح، والقسم السادس يحتوي على أهم الاستنتاجات والتوصيات.

2- الهدف من البحث:

نسعى من خلال الدمج ما بين النموذج الرياضي لمريض السكري مع خوارزميات الذكاء الصناعي إلى تحقيق الأهداف التالية:

- A. دراسة داء السكري كونه من الامراض البيولوجية الواسعة الإنتشار.
- B. استخدام تقنيات الذكاء الصناعي للوصول للقيم المثلى للمتحكم المستخدم في النموذج الرياضي لمريض السكري.

3- الدراسات المرجعية:

- عام 2015 قامت الباحثة شذا شحادة في بحثها (دراسة وتصميم نظام تحكم استدلالي يعتمد على الرواصد في فضاء الحالة). باستخدام طريقة الاستدلال المعتمد على

الرواصد لتخمين المتغيرات القابلة للقياس لنظام الغلوكوز-أنسولين في الجسم البشري الحي ومن ثم إجراء عملية التحكم في فضاء الحالة للحفاظ على مستوى تركيز الغلوكوز عند القيمة المرجعية في الدم.

- في عام 2018 قام الباحثان امير راشد صبكان وأمجد عبود عبد الجليل في بحثهم (نموذج رياضي للكشف عن داء السكر في الدم)، باستخدام النماذج الرياضية التي تساعد على تحديد وتشخيص الأشخاص المصابين بداء السكري من خلال توصيف المعادلات الرياضية في تحديد نسبة الغلوكوز في الدم وكذلك جرعة الأنسولين التي يحتاجها هؤلاء الأشخاص.

- كما استخدام الباحثون مضخة أنسولين لضخ الأنسولين اللازم بشكل مستمر إلى الدم عبر الجلد وتم استخدام متحكم ضبابي نوع Mamdani واستخدام الخوارزمية الجينية لاختيار المدخل الأفضل إلى نظام التحكم [1].

وقاموا بدراسة البنكرياس الصناعي وتطبيق خوارزميات التحكم الثلاث المعتمدة على PID, FLC, MPC لكن دون التطرق لأي نوع من خوارزميات الذكاء الصناعي الممكن استخدامها مع هذا النظام [2].

- بالإضافة إلى استخدام نظام الحلقة المغلقة الذي يعتمد على المتحكم الضبابي نوع Mamdani للوصول لمستوى سكر الدم لدى الشخص السليم بالاعتماد على وحدة التحكم المقترحة، وخوارزمية التحسين ABC [3].

- تم تصميم جهاز تحكم الحلقة المغلقة لمرضى السكري من النوع الأول للحفاظ على مستوى غلوكوز الدم عند الحد الطبيعي باستخدام متحكم PD وخوارزمية PSO [4].

- أيضاً التنبؤ بسكر الدم لدى مرضى السكري من النوع الاول وتوقع نسبة السكر بشكل دقيق لخدمة الأجهزة الجديدة القابلة للارتداء والتي تتطلب المزيد من المعلومات الدقيقة. تستخدم هذه الدراسة خوارزمية تحديد المدخلات المتسلسلة (SISAL) والتي تم إعدادها خصيصاً لبيانات السلاسل الزمنية. هنا يمكن استخدام الأفكار كاستراتيجيات لاختيار البيانات والتنبؤ بسكر الدم والعمل على توفر القوة الحسابية والسرعة المطلوبة والدقة

المطلوبة. مع العلم أن التنبؤ بسكر الدم هو الخطوة الأولى نحو البنكرياس الصناعي [5].

- تم اقتراح نظام لعلاج مرض السكري من النوع الثاني حيث تم تقديم علاج لمرض السكري من النوع الثاني بالاعتماد على الخوارزميات الجينية (GA)، وإنشاء مجموعة من الكروموسومات التي يتكون كل منها من شجرة القرار الثنائية وقد أثبت هذا النظام كفاءته بنسبة جيدة وتمكن من مساعدة الأطباء في العثور على علاج لمرض السكري من خلال الاختبارات لتحديد العلاج المناسب [6].

4- الطرائق المستخدمة:

في البحث المطروح سوف نقدم خوارزميات عدة مستخدمة في إيجاد الحل الأمثل لبارامترات المتحكم، وهذه الخوارزميات هي الخوارزمية الجينية، خوارزمية النحل، خوارزمية محاكاة التلدين، خوارزمية سرب الطيور. أما بالنسبة للنموذج الرياضي المستخدم فهو النموذج الأصغري لبييرغمان.

4-1 خوارزميات الحل الأمثل (المعايرة):

4-1-1 الخوارزمية الجينية (GA):

هي خوارزمية أمثلة عديدة مستوحاة من الاختيار الطبيعي وعلم الجينات، وتعتبر هذه الخوارزمية عامة أي يمكن تطبيقها على مجال واسع من المشكلات.

تتميز الخوارزمية الجينية عن الطرائق التقليدية بالآتي:

1. تتعامل مع البارامتر ككود وليس مع البارامتر نفسه.
2. تبحث عن مجموعة نقاط وليس عن نقطة واحدة.
3. تستخدم في إيجاد حلولها على توابع أهداف موضوعية وليس على معلومات إضافية.

من فوائد الخوارزمية الجينية مايلي:

1. لا داعي لمعرفة قواعد المشكلة لأنها تتعامل مع قواعد داخلية خاصة بها.

2. المقترحات السلبية لا تؤثر على الحل النهائي بشكل سلبي لأنها ببساطة يتم تجاهلها.
3. لها القدرة على التعامل مع المشاكل المتعددة لإيجاد حلول مثالية.

4-1-2 خوارزمية محاكاة التلدين (Simulated Annealing):

هي طريقة لحل مشاكل ايجاد الحل الأمثل المقيدة وغير المقيدة، هذه الطريقة تحاكي العملية الفيزيائية لتسخين المعادن وبعدها تخفيض درجة حرارتها ببطء من أجل تقليل العيوب، وبالتالي تقليل ضياعات النظام. تعمل الخوارزمية حتى تصبح قيمة التغير المتوسط في تابع الهدف أقل من قيمة التابع (tolerance function). تتوقف الخوارزمية عندما تصبح أفضل قيمة لتابع الهدف أقل أو تساوي قيمة الهدف (Objective Limit). تتوقف الخوارزمية عندما يتجاوز عدد التكرارات العدد الأعظمي من التكرارات (maximum number of iterations)[8] .

4-1-3 خوارزمية النحل (ABC):

خوارزمية مستوحاة من سلوك النحل في البحث عن الطعام، إذ يعمل النحل بشكل تعاوني لجمع أكبر كمية من الطعام، يتم تنفيذ هذه العملية بشكل غريزي بدون آلية تحكم مركزية. يتم تصنيف النحل إلى مجموعات:

- النحل الكشاف بمهمة إيجاد مصدر غذاء جديد.
- النحل العامل يأخذ معلومات من النحل الكشاف حول جودة موقع الغذاء ويقوم هذا النوع بمجموعة تجارب ويختار مصدر الغذاء الأفضل.

4-1-4 خوارزمية سرب الطيور (PSO):

عبارة عن خوارزمية حديثة مستوحاة من السلوكيات في الطبيعة مثل تدفق الطيور، على

عكس الخوارزمية الجينية لا يوجد بها طفرات وهي أقل عرضة للوقوع في شرك الحدود الدنيا المحلية ولها كفاءة حسابية جيدة. تبدأ الخوارزمية بمجموعة أولية من الحلول العشوائية تسمى الطيور. تتوافق الطيور مع الكروموسومات في GA، كل جسيم له موقع وسرعة بمثابة حل مرشح للمشكلة يتم الاحتفاظ بأفضل وضع سابق، أفضل جسيم من بين جميع الجسيمات في المجتمع هو أفضل قيمة إجمالية [9].

5- نموذج بيرغمان المستخدم:

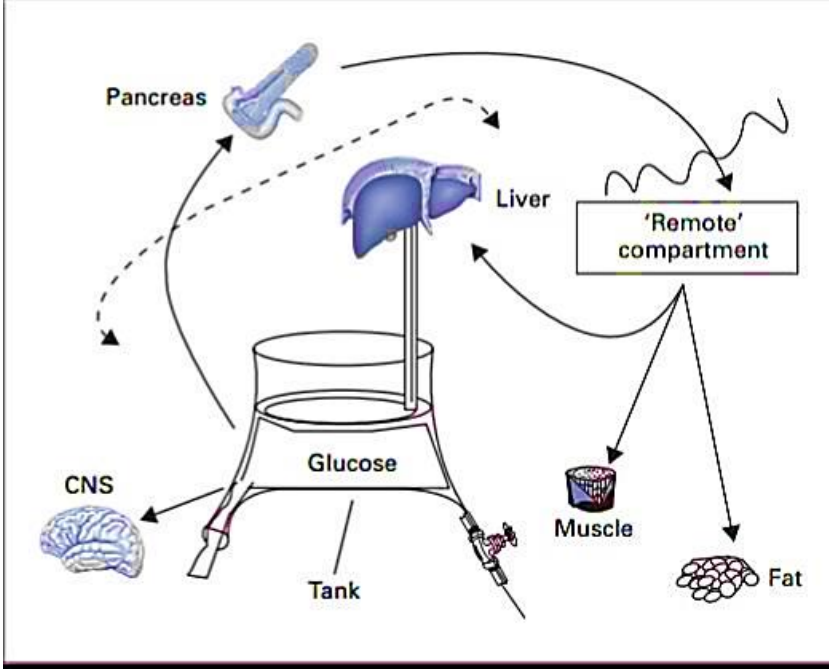
يوصف نموذج بيرغمان البسيط الحيز الذي يتضمن التركيز الأساسي للأنسولين. ومستوى الغلوكوز في الجسم.

وهو يتألف من نموذجين بسيطين:

الأول يصف حركية الغلوكوز أي كيفية تفاعل الغلوكوز مع الأنسولين في الدم، بينما الثاني يصف حركية الأنسولين أي كيفية تفاعل تركيز الأنسولين مع غلوكوز الدم عن طريق أخذ بيانات الأنسولين والغلوكوز كمدخلات. يرتفع مستوى الغلوكوز بعد تناول الطعام ويتم تحديد هذا المستوى من خلال الموازنة بين معدل الاستهلاك ومعدل الإنتاج. وبشكل أكثر تحديداً يتم تمثيل إفرازات البنكرياس من الأنسولين الذي بدوره يقوم بتنظيم الغلوكوز في الدم.

المشكلة الرئيسية لمريض السكري هي أنه ليس لديه القدرة على إنتاج الأنسولين وخاصة مريض السكري من النوع الأول، لذلك يتعين علينا المراقبة والحقن مرات عدة في اليوم للمساعدة في التحكم بمستوى الغلوكوز لديه.

مريض سكر الدم يحتاج إلى مراقبة مستمرة لأنه على المدى الطويل وإذا حدث إهمال يمكن أن يصاب بالعمى أو بعض مشكلات القلب والأوعية الدموية، كما يمكن أن يسبب ارتفاع السكر في الدم مشكلات أخرى مثل غيبوبة السكري أو الإغماء.



الشكل (1): نموذج بيرغمان الأصغري. [4]

بسبب هذه المشاكل، توصل المهندسون إلى مزيد من التكنولوجيا المتقدمة للتحكم بالجلوكوز في نظام الحلقة المغلقة، حيث تحتوي التكنولوجيا الحالية على مضخة خارجية مع خزان يحتوي على الأنسولين ويحقن الأنسولين بشكل مستمر اعتماداً على قراءات الجهاز، هذه التقنية مناسبة للمريض الذي يرغب في حقن الأنسولين عدة مرات في اليوم. والعمل مستمر لتطوير مستشعر الجلوكوز ومضخة الأنسولين القابلة للزرع.

يقوم هذا المستشعر بقياس مستوى الجلوكوز وإرساله إلى وحدة التحكم التي تكون في حجم ساعة المعصم، وحدة التحكم ترسل إشارة إلى مضخة حقن الأنسولين، تعمل هذه الحلقة المغلقة كبنكرياس صناعي لمريض السكري.

يتم اقتتران النموذج الأصغري لبيرغمان مع بعض التعديلات والإضافات. ويشار إلى هذا النموذج المعدل بالنموذج الأساسي ويتم تمثيله بالمعادلات التفاضلية الآتية:

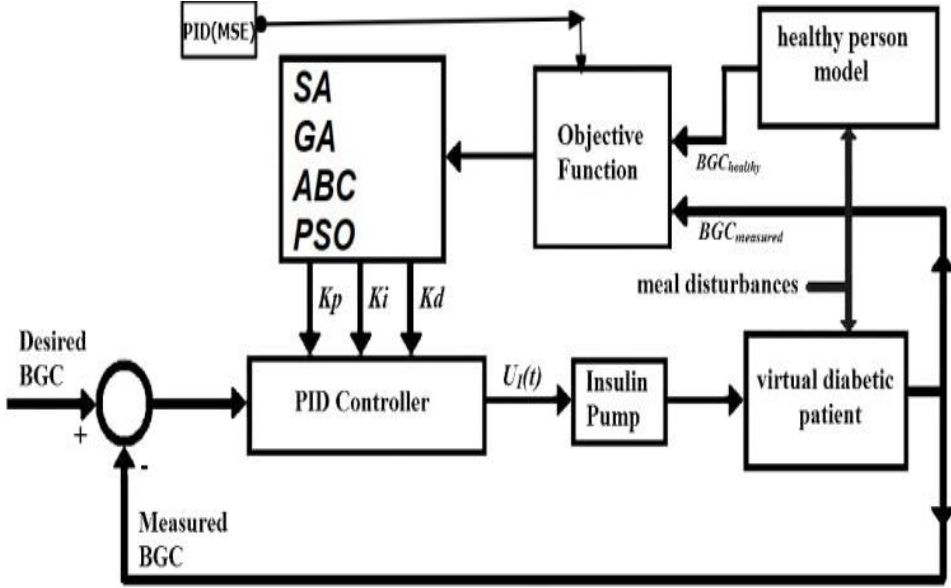
$$\begin{aligned} \frac{dG(t)}{dt} &= -(p_1 + X(t))G(t) + p_1 G_b + D(t) & G(0) &= G_0 \\ \frac{dX(t)}{dt} &= -p_2 X(t) + p_3 (I(t) - I_b) & X(0) &= X_0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{dI(t)}{d(t)} &= -p_4 I(t) + \frac{U(t)}{V_I} & I(0) &= I_0 \\ \frac{dD(t)}{d(t)} &= -d \text{rate} \cdot D(t) & D(0) &= D_0 \\ \frac{dG_{sc}(t)}{d(t)} &= \frac{G(t) - G_{sc}(t)}{5} - R_{utln} & G_{sc}(0) & \\ &= G(0) - 5 \cdot R_{utln} & & \end{aligned}$$

الجدول (1): بارامترات النموذج الرياضي الأساسي.

الرمز	الواحدة	الوصف
$G(t)$	[mg/dL]	تركيز الجلوكوز في الدم
$X(t)$	[1/min]	تأثير الأنسولين النشط
$I(t)$	[mU/L]	تركيز الأنسولين في الدم
$D(t)$	[mg/dL/min]	وظيفة اضطراب الوجبة
$G_{sc}(t)$	[mg/dL]	تركيز الجلوكوز تحت الجلد
$U(t)$	[mu/min]	الأنسولين الخارجي
G_b	[mg/dL]	تركيز جلوكوز الدم القاعدي
I_b	[mU/L]	تركيز الأنسولين القاعدي
V_I	[L]	حجم تجمع توزيع الأنسولين
p_1	[1/min]	معدل تصفية الجلوكوز بشكل مستقل عن الأنسولين
p_2	[1/min]	معدل تصفية الأنسولين النشط
p_3	[L/(min ² mU)]	زيادة في قدرة الامتصاص ناتجة عن الأنسولين
p_4	[1/min]	معدل استهلاك الأنسولين في الدم
D_{rate}	[1/min]	معدل الاستهلاك لاضطراب الوجبة
R_{utln}	[1/min]	معدل الاستخدام (الفرق بين التركيزين تركيز الجلوكوز في الدم وتركيز الجلوكوز تحت الجلد في الحالة المستقرة)

5-1 المخطط الصندوقي للخوارزميات مع المتحكم PID:



الشكل (2): المخطط الصندوقي للخوارزميات مع المتحكم.

5-2 اختيار تابع التقييم أو الهدف (objective function):

هدفنا الرئيس أثناء تصميم وحدة التحكم (PID) هو تقليل الخطأ في هذه الوحدة بالاعتماد على النموذج الرياضي لمرضى السكري.

يمكن استخدام العديد من توابع التقييم أو الهدف لتحسين المجال الزمني لوحدة التحكم (PID) في هذا البحث سوف يتم استخدام متوسط الخطأ التربيعي.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$$

حيث Y_i هي القيمة الحقيقية.

و \hat{Y}_i هي القيمة المقاسة.

وهذا يحقق نتائج جيدة رياضياً للمتحكم، لكن فيزيائياً نحن بحاجة لتابع تقييم إضافي من أجل إعطاء أفضل قيمة لبارامترات المتحكم من خلال مقارنة تركيز الجلوكوز بين المريض الافتراضي وشخص سليم، وهو متوسط الانحراف المؤني:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=0}^n \left| \frac{G_h - G_{measured}}{G_h} \right|$$

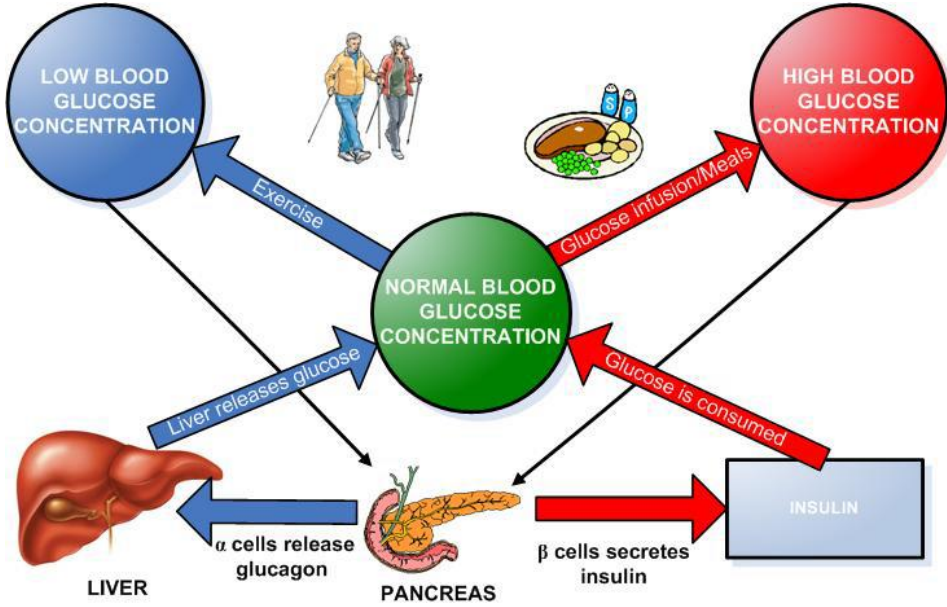
حيث G_h تركيز الغلوكوز للشخص السليم.

و $G_{measured}$ تركيز الغلوكوز للشخص المصاب بالسكري (المريض الافتراضي). والفرق بين الاثنين هو أنه الأول يحسب الخطأ للمتحكم نفسه أما الثاني فليس له علاقة بالمتحكم عندما تصل النسبة المئوية للخطأ إلى أدنى قيمة تتوقف الخوارزمية ويتم تثبيت قيم المتحكم.

6- نظام الغلوكوز والأنسولين في الدم:

يعد نظام الغلوكوز والأنسولين مثالاً على النظام الفسيولوجي ذي الحلقة المغلقة. عند الشخص السليم عادة ما يكون تركيز الغلوكوز في الدم عنده 70-110 ملغ/دسليتر. يساعدنا نظام الغلوكوز والأنسولين في الحفاظ على هذه الحالة المستقرة. في الشل التالي يتم وصف بسيط لنظام الغلوكوز والأنسولين. الشخص السليم في المنطقة الخضراء، إذ يكون تركيز الغلوكوز في الدم طبيعياً إذا تناول الشخص بعد ذلك غلوكوز إضافياً، على سبيل المثال عن طريق إحدى الوجبات، فإن الشخص ينتقل إلى المنطقة الحمراء، مع ارتفاع تركيز الغلوكوز في الدم.

مع ارتفاع تركيز الغلوكوز في الدم. وعندما يحدث هذا يتم إرسال إشارة إلى البنكرياس، حيث تتفاعل الخلايا نوع بيتا عن طريق إفرازها هرمون الأنسولين. يزيد هذا الأنسولين من امتصاص الخلايا للغلوكوز، وذلك يعيد الشخص إلى المنطقة الخضراء. إذا كان غلوكوز الدم التركيز أقل من المستوى الطبيعي، يكون الشخص في المنطقة الزرقاء. هذا وصف بسيط للغاية لنظام أكثر تعقيداً. لكن هذه هي الطريقة المبسطة لشرح التمثيل الغذائي، والذي سيتم تقديمه في نموذج رياضي في هذه الأطروحة.



الشكل (3): نموذج الغلوكوز والأنسولين.

7- التطبيق العملي:

تمت محاكاة نظام الغلوكوز والأنسولين بعد تطبيق خوارزميات الذكاء الصناعي المختارة، وتحديد بارامترات المتحكم $(T_d \quad T_i \quad K_c)$ بالشكل الأمثل، إذ تم استخدام كل من الخوارزمية الجينية وخوارزمية النحل وخوارزمية محاكاة التلدين وخوارزمية سرب الطيور في إيجاد القيم الأفضل لبارامترات المتحكم وفق النموذج المقترح لنظام الغلوكوز والأنسولين.

يوضح الجدول (2) القيم المختلفة لبارامترات الخوارزميات الأربعة.

الجدول (2): القيم المختلفة لبارامترات الخوارزميات المستخدمة.

GA		PSO		ABC		SA	
Parameters	Value	Parameters	Value	Parameters	Value	Parameters	Value
Generation Size	100	Maximum Iteration	60	Maximum Cycle	60	Maximum Iteration	60

Population Size	1000	Size of the swarm	1000	Size of the colony	1000	Initial Temperature	1000
Selection Method	Roulette Wheel	Inertia weight	[0.9-0.4]	Selection Method	Roulette Wheel	-	-

مقارنة النتائج:

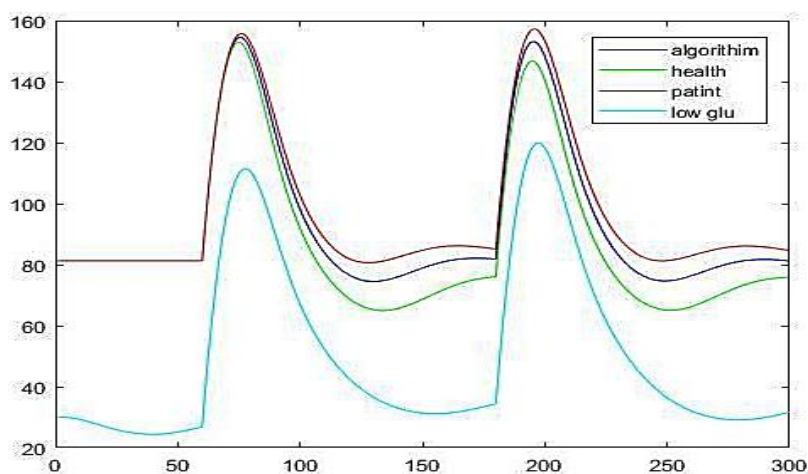
تمت مقارنة أداء الخوارزميات المذكورة على نظام الجلوكوز والأنسولين، وتوضيح النتائج عن طريق الجداول والرسوم البيانية الآتية.

نتائج المحاكاة باستخدام خوارزمية محاكاة التلدين:

الجدول (3): مقارنة بين القيم الصغرى والعظمى لجلوكوز الدم عند استخدام

خوارزمية محاكاة التلدين.

	minimum BGC (mg/dL)	maximum BGC (mg/dL)
Healthy person	64.9600	152.9458
Patient-PID	80.6431	157.3126
SA-PID	72.28	155.59

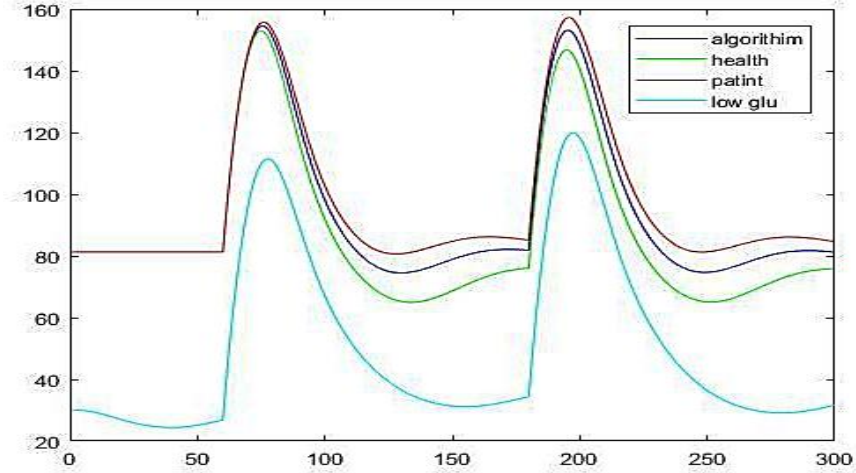


الشكل (3): المحاكاة عند استخدام خوارزمية محاكاة التلدين.

نتائج المحاكاة باستخدام خوارزمية سرب الطيور:

الجدول (4): مقارنة بين القيم الصغرى والقيم العظمى لغلوكوز الدم عند تطبيق خوارزمية سرب الطيور.

	minimum BGC (mg/dL)	maximum BGC (mg/dL)
Healthy person	64.9600	152.9458
Patient-PID	80.6431	157.3126
PSO-PID	73.97	156.13

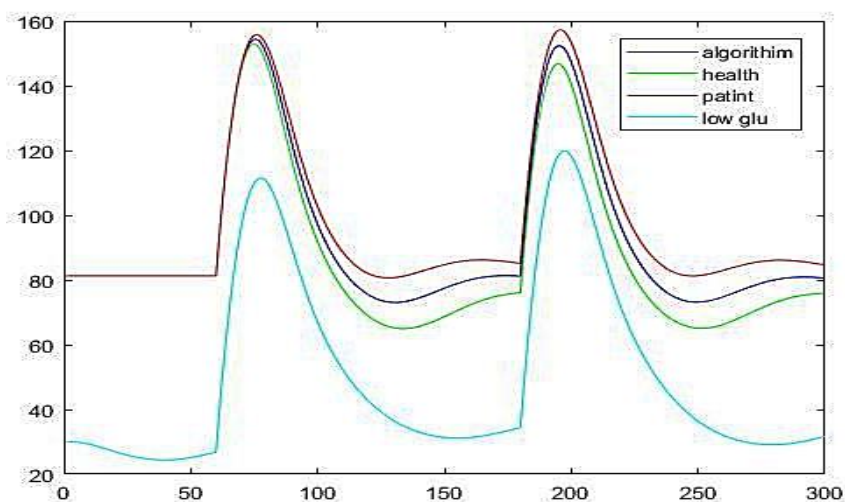


الشكل (4): المحاكاة عند استخدام خوارزمية سرب الطيور.

نتائج المحاكاة باستخدام الخوارزمية الجينية:

الجدول (5): مقارنة بين القيم الصغرى والعظمى لغلوكوز الدم عند تطبيق الخوارزمية الجينية.

	Minimum BGC (mg/dL)	maximum BGC (mg/dL)
Healthy person	64.9600	152.9458
Patient-PID	80.6431	157.3126
GA-PID	74.72	156.13

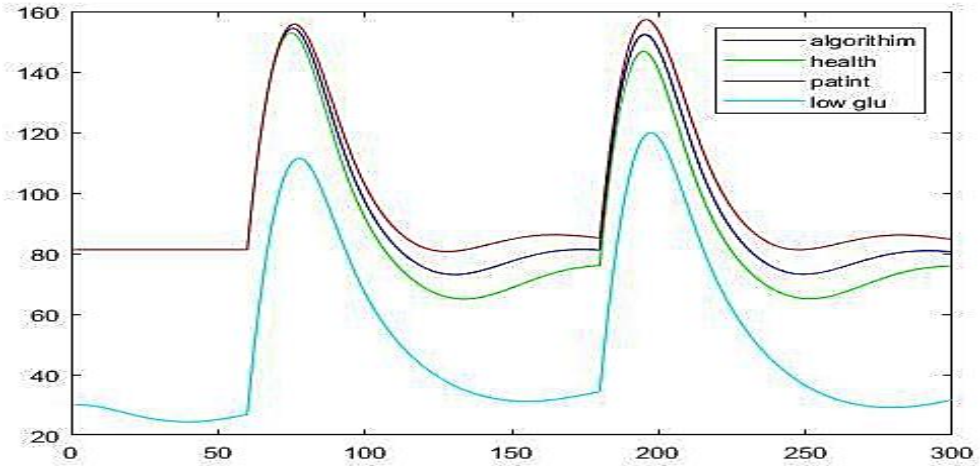


الشكل (5): المحاكاة بعد تطبيق الخوارزمية الجينية.

نتائج المحاكاة باستخدام خوارزمية النحل:

الجدول (6): مقارنة بين القيم الصغرى والعظمى للغلوكوز الدم عند تطبيق خوارزمية النحل.

	minimum BGC (mg/dL)	maximum BGC (mg/dL)
Healthy person	64.9600	152.9458
Patient-PID	80.6431	157.3126
ABC-PID	72.32	155.65



الشكل (6): المحاكاة بعد تطبيق خوارزمية النحل.

يبين الجدول (7) مقارنة بين القيم العظمى والصغرى للغلوكوز لشخص سليم مع شخص مصاب بمرض السكري ومقارنتهم مع نتائج الخوارزميات المستخدمة في هذا البحث.

الجدول (7) مقارنة بين الخوارزميات.

	minimum BGC (mg/dL)	maximum BGC (mg/dL)
Healthy person	60	180
Patient	115.46	313.02
GA-PID	74.72	156.13
PSO-PID	73.97	156.01
ABC-PID	72.32	155.65
SA-PID	72.28	155.59

نلاحظ تفوق خوارزمية محاكاة التلدين (SA) في المحافظة على القيم الصغرى والعظمى لتركيز الجلوكوز في الدم يليها خوارزمية النحل (ABC)، ثم خوارزمية سرب الطيور (PSO)، وأخيرا الخوارزمية الجينية (GA).

الجدول (8): الزمن اللازم لكل خوارزمية لتنفيذ المهمة المطلوبة.

PSO	GA	SA	ABC	Iteration
25.3sec	52.5sec	8.75sec	37.6sec	100

نلاحظ من الجدول (8) أن خوارزمية محاكاة التلدين (SA) هي الأسرع من حيث زمن التنفيذ.

7- الاستنتاجات والتوصيات:

- 1- تسهل هذه الدراسة التحليلية استخدام خوارزميات الذكاء الصناعي مع وحدة التحكم PID والنموذج الرياضي لمريض السكري، ويكون عمل الباحثين في اختيار الخوارزمية الأنسب، أو الدمج بين خوارزميتين بهدف التحسين من خلال ميزات كل خوارزمية.
- 2- تمتاز خوارزمية محاكاة التلدين (SA) وخوارزمية النحل (ABC) في المحافظة على القيم الصغرى والعظمى لتركيز الجلوكوز في الدم.
- 3- إن خوارزمية SA أسرع من خوارزمية GA و ABC و PSO.

8- الخاتمة:

قمنا في هذا البحث بضبط بارامترات المتحكم المستخدم مع النموذج الرياضي لمرضى السكري، وذلك من خلال الاستفادة من خصائص خوارزميات الذكاء الصناعي (المعايرة) لتوليد متحكم يمتلك أهم خصائص الاستقرار، وذلك وفقاً لكل خوارزمية من الخوارزميات المستخدمة (ABC, PSO, SA, GA) وحساب الزمن اللازم لكل منها أثناء المحاكاة.

9- الآفاق المستقبلية:

يمكن تطوير هذا البحث والعمل عليه من خلال الدمج بين اثنتين من الخوارزميات أو أكثر للاستفادة من الإيجابيات في كل خوارزمية. فالخوارزميات تساعد في الحصول على أصغر نسبة للخطأ عن طريق ضبط المتحكم، وبالتالي تحسين النظام ككل والحصول على نتائج أكثر دقة وموثوقية. كما نلاحظ خوارزمية محاكاة التلدين التي طبقناها لأول مرة على هذا النظام امتازت بدقتها، على أمل الاستفادة منها أو دمجها مع خوارزمية أخرى وتطبيقها مع البنكرياس الصناعي مستقبلاً. كما يمكن التركيز على نقاط أخرى لتحسينها في النظام سواء في المتحكمات أو مضخة الأنسولين، على أمل انتشار الجهاز وتطبيقه في وقت ليس ببعيد وحصول مريض السكري على حياة طبيعية دون الخوف من مضاعفات هذا المرض، إذ سيتمكن الجهاز من المراقبة المستمرة وضبط سكر الدم بطريقة سهلة ودقيقة مدى حياة المريض.

10- المراجع:

- [1] Basher, A. S. (2017). design fuzzy control system for blood glucose level for type-1 diabetes mellitus patients using GA a simulation study.
- [2] Mehmood, S., Ahmad, I., Arif, H., Ammara, U. E., & Majeed, A. (2020). Artificial Pancreas Control Strategies Used for Type 1 Diabetes Control and Treatment: A Comprehensive Analysis. *Applied System Innovation*, 3(3), 31.
- [3] Soylu, S., & DANIŞMAN, K. (2018). Blood glucose control using an ABC algorithm-based fuzzy-PID controller. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 26(1), 172-183.
- [4] Malik, S. F. J. M. (2018). Particle swarm optimization based blood glucose control in type1 diabetes (Doctoral dissertation, Kauno technologijos universitetas).
- [5] Rodríguez-Rodríguez, I., Rodríguez, J. V., González-Vidal, A., & Zamora, M. Á. (2019). Feature Selection for Blood Glucose Level Prediction in Type 1 Diabetes Mellitus by Using the Sequential Input Selection Algorithm (SISAL). *Symmetry*, 11(9), 1164.
- [6] Al Switi, M., Alshraideh, B., Alshraideh, A., Massad, A., & Alshraideh, M. (2019). Treatment of Diabetes Type II Using Genetic Algorithm.
- [7] F. Aguiree, et al., *IDF Diabetes Atlas: sixth edition*. Switzerland: International Diabetes Federation, 2013.
- [8] Varty, Z. (2017). Simulated annealing overview.
- [9] Wang, D., Tan, D., & Liu, L. (2018). Particle swarm optimization algorithm: an overview. *Soft Computing*, 22(2), 387-408.

