

An Analytical Study of Artificial Intelligence Algorithms Used PID Controller to Control Blood Glucose in Diabetics

Marian Fadllalah Saado

Al- Baath University || Syria

Abstract: Diabetes is a widespread disease in the world today and research is still underway in the field of artificial pancreas, also known as closed- loop insulin therapy, where it is possible to calculate the rate of insulin infusion that will maintain the concentration of glucose in the blood.

In this paper, four different control algorithms have been proposed that adjust the parameters of the artificial pancreas based on the PID controller. These algorithms are the Genetic Algorithm for Controller Tuning (GA_PID), the Annealing Simulation Algorithm (SA_PID), the Bird Flock Algorithm (PSO_PID) and the Bee Algorithm (PSO_PID). ABC_PID). The study was carried out in a hypothetical diabetic patient based on a modified Bergmann model of glucose and insulin regulation. The simulation was carried out under daily food conditions of three meals.

In practical application, the results were promising by regulating blood glucose using the previous algorithms, where the simulated annealing algorithm gave the best time while preserving the permissible values for the concentration of glucose in the blood. This research can be developed by combining two or more algorithms to take advantage of The advantages of each algorithm.

Keywords: Mathematical model of glucose and insulin system, genetic algorithm, bee colony algorithm, simulated annealing algorithm.

دراسة تحليلية لبعض خوارزميات الذكاء الصناعي التي استخدمت مع متحكم PID للتحكم بسكر الدم لدى مرضى السكري

مريان فضل الله سعدو

جامعة البعث || سوريا

المستخلص: مرض السكري هو أحد الامراض واسعة الانتشار في العالم اليوم وأحد أهم طرق علاجه إعطاء جرعات من الأنسولين ومازالت الأبحاث مستمرة في مجال البنكرياس الصناعي، المعروف أيضا باسم علاج الانسولين مغلق الحلقة، حيث يمكن حساب معدل ضخ الأنسولين الذي بدوره يحافظ على تركيز الغلوكوز في الدم.

ونظراً لأهمية هذا النظام وبما أنّ الأبحاث مازالت حتى وقتنا الراهن تعمل على زيادة دقته وسرعة استجابته فإن استخدام خوارزميات الذكاء الصناعي معه ساهم كثيراً في تحسينه، ومن التحديات الكبيرة التي واجهتنا هو أنّ الأبحاث التي استخدمت أحد هذه الخوارزميات للتحسين لم تستخدم نفس المتحكم فهو يختلف من بحث إلى آخر، وبالتالي كان علينا توحيد نظام التحكم والتعديل البرمجي اللازم لنتمكن من المقارنة الصحيحة وإظهار أدق النتائج.

في هذا البحث تم اقتراح أربع خوارزميات تحكم مختلفة تقوم هذه الخوارزميات بضبط بارامترات المتحكم PID مع النموذج الرياضي لنظام الغلوكوز والأنسولين (البنكرياس الصناعي)، هذه الخوارزميات هي الخوارزمية الجينية لضبط المتحكم (GA_PID)، وخوارزمية

محاكاة التلدين (SA_PID)، وخوارزمية سرب الطيور (PSO_PID) وخوارزمية النحل (ABC_PID). نفذت الدراسة من خلال مريض سكري افتراضي على أساس نموذج بيرغمان المعدل لتنظيم الجلوكوز والأنسولين. تمت عملية المحاكاة في شروط طعام يومي من ثلاث وجبات. في التطبيق العملي كانت النتائج واعدة من خلال تنظيم الجلوكوز في الدم باستخدام الخوارزميات السابقة حيث أعطت خوارزمية محاكاة التلدين أفضل زمن مع المحافظة على القيم المسموحة لتركيز الجلوكوز. وفي المستقبل يمكن تطوير هذا البحث والعمل عليه من خلال الدمج بين اثنين من الخوارزميات أو أكثر واستغلال الإيجابيات التي ظهرت معنا في كل خوارزمية. الكلمات المفتاحية: النموذج الرياضي لنظام الجلوكوز والأنسولين، الخوارزمية الجينية، خوارزمية مستعمرة النحل، خوارزمية محاكاة التلدين.

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، حيث تم استخدام خوارزميات الحل الأمثل (المعايرة) وتطبيق خوارزمية للمرة الأولى وهي خوارزمية محاكاة التلدين، أما الخوارزميات الثلاث الباقية فقد تم اختيارها لما لها من ميزات كثيرة منها سهولة التطبيق والدقة وقدرتها على إيجاد الحل الأمثل والابتعاد عن الحلول المحلية لمعرفة القيم الأفضل لضبط معدل ضخ الأنسولين.

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 أهم الاستنتاجات والتوصيات.

2- الهدف من البحث:

نسعى من خلال هذا البحث استخدام خوارزميات الذكاء الصناعي للوصول للقيم المثلى للبنكرياس الصناعي القائم على المتحكم PID المستخدم مع النموذج الرياضي لمريض السكري. كما نلاحظ أنّ خوارزمية محاكاة التلدين امتازت بدقتها على أمل الاستفادة منها أو دمجها مع خوارزمية أخرى وتطبيقها مع البنكرياس الصناعي مستقبلاً.

ويمكن 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 حيث سيتمكن الجهاز من المراقبة المستمرة وضبط سكر الدم بطريقة سهلة ودقيقة على مدى حياة المريض.

3- الدراسات المرجعية:

عام 2020 قام الباحثون بالمقارنة بين خوارزميات التحكم المستخدمة مع البنكرياس الصناعي والمتحكم الضبابي والتناسبي التكاملي التفاضلي وغيرها من المتحكمات حيث أثبتوا أنّ المتحكم PID هو الأفضل.

في عام 2015 قامت الباحثة شذا شحادة في بحثها (دراسة وتصميم نظام تحكم استدلاي 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.

- عام 2018 قام الباحثان امير راشد صيبكان 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 الأشخاص.
- استخدام الباحثون مضخة أنسولين لضخ الأنسولين اللازم بشكل مستمر إلى الدم عبر الجلد واستخدام متحكم ضبابي نوع Mamdani واستخدام الخوارزمية الجينية لاختيار المدخل الأفضل إلى نظام التحكم. [1]
- ودراسة 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]
- وتم تصميم جهاز تحكم الحلقة المغلقة لمرضى السكري من النوع الأول للحفاظ على مستوى غلوكوز الدم عند الحد الطبيعي باستخدام متحكم PID وخوارزمية PSO. [4]
- وتم التنبؤ بسكر الدم لدى مرضى السكري من النوع الأول 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 خصيصا لبيانات السلاسل الزمنية. هنا يمكن استخدام الافكار 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]
- وتم 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- الطرق المستخدمة:

في البحث المطروح سوف نقدم عدة خوارزميات مستخدمة في إيجاد الحل الأمثل لبارامترات المتحكم. هذه الخوارزميات هي الخوارزمية الجينية، خوارزمية النحل، خوارزمية محاكاة التلدين، خوارزمية سرب الطيور، تم استخدامها لضبط بارامترات المتحكم المستخدم مع النموذج الرياضي لنظام الغلوكوز والأنسولين (البنكرياس الصناعي) لأنه من الصعب أن نصل إلى هذه البارامترات بشكل يدوي بالإضافة لوجود حدود لا يمكن تجاوزها مثل مستوى الغلوكوز في الدم وكمية الأنسولين المعطاة للمريض من هنا كانت خوارزميات المعايير حلا جيدا.

أما بالنسبة للنموذج الرياضي المستخدم فهو نموذج بيرغمان المعدل.

1-4 خوارزميات الحل الأمثل (المعايرة):

1-1-4 الخوارزمية الجينية (GA):

- هي خوارزمية أمثلة عديدة مستوحاة من الاختيار الطبيعي وعلم الجينات تعتبر هذه الخوارزمية عامة أي يمكن تطبيقها على مجال واسع من المشاكل. [10]
- تتميز الخوارزمية الجينية عن الطرق التقليدية:
- 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:
- 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.

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

- هي طريقة لحل مشاكل إيجاد 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]

3-1-4 خوارزمية النحل (ABC):

- خوارزمية مستوحاة من سلوك النحل في البحث عن الطعام 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 [11].

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.

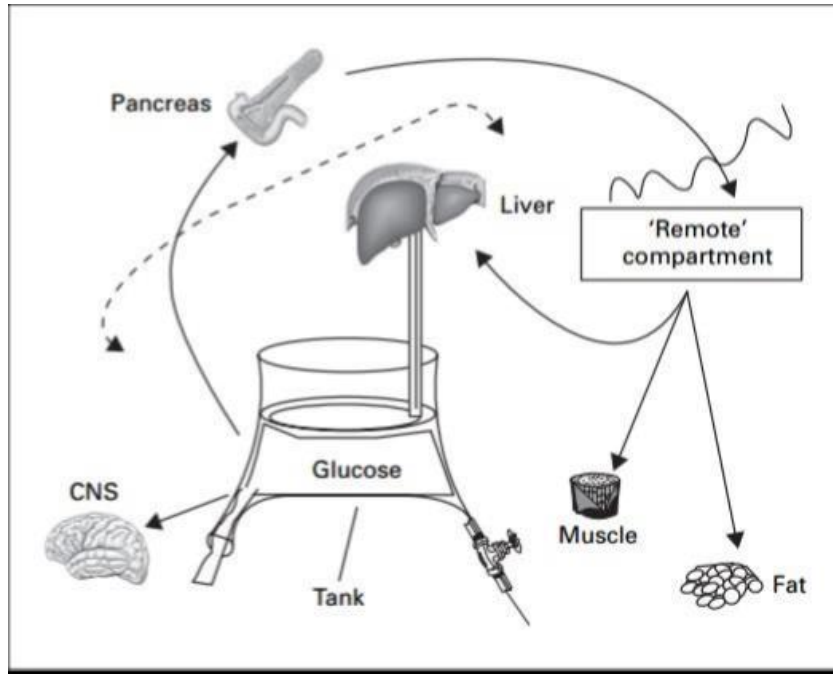
تبدأ الخوارزمية بمجموعة أولية من الحلول العشوائية تسمى الطيور. تتوافق الطيور مع الكروموسومات في GA، كل جسيم له موقع وسرعة بمثابة حل مرشح للمشكلة يتم الاحتفاظ بأفضل وضع سابق، أفضل جسيم من بين جميع الجزيئات في المجتمع هو أفضل قيمة إجمالي. [9]

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.



الشكل(1): نموذج بيرغمان الأصغري. [4]

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 والحقق عدة مرات في اليوم للمساعدة في التحكم بمستوى الغلوكوز. مريض سكر الدم يحتاج إلى مراقبة مستمرة لأنه على المدى الطويل وإذا حدث إهمال يمكن أن يصاب بالعمى أو بعض مشاكل القلب والأوعية الدموية، كما يمكن أن يسبب ارتفاع السكر في الدم مشاكل أخرى مثل غيبوبة السكري أو الإغماء.

بسبب هذه المشاكل، توصل المهندسون إلى مزيد من التكنولوجيا المتقدمة للتحكم بالغلوكوز 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 اقتراح النموذج الأصغر ليبرغمان مع بعض التعديلات والإضافات. ويشار إلى هذا النموذج المعدل بالنموذج الأساسي ويتم تمثيله بالمعادلات التفاضلية التالية:

$$\frac{dG(t)}{dt} = -(p_1 + X(t))G(t) + p_1G_b + D(t) G(0) = G_0$$

$$\frac{dX(t)}{dt} = -p_2X(t) + p_3(I(t) - I_b) X(0) = X_0$$

$$\frac{dI(t)}{d(t)} = -p_4I(t) + \frac{U(t)}{V_I} I(0) = I_0$$

$$\frac{dD(t)}{d(t)} = -drate. D(t) D(0) = D_0$$

$$\frac{dG_{sc}(t)}{d(t)} = \frac{G(t) - G_{sc}(t)}{5} - R_{utln} G_{sc}(0) = G(0) - 5. R_{utln}$$

بارامترات النموذج الرياضي موضحة بالجدول (1):

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
$Drate$	[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 المتحكم (PID):

في العديد من العمليات، خاصة الصناعية، تُستخدم أجهزة التحكم للحفاظ على الحالة المستقرة. يمكن أن تكون العملية خزانًا مملوءًا بالماء، حيث نريد إبقاء الماء عند مستوى معين. واحدة من وحدات التحكم الأكثر استخداماً هي وحدة تحكم PID.

$$U(t) = K_c \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int^t e(\tau) d(\tau) + T_d + \frac{de(t)}{d(t)} \right]$$

يعتمد هذا المتحكم على الخطأ:

$$e = u_c - y$$

حيث u_c هي نقطة مضبوطة مسبقاً، و y هي القيمة المقاسة.

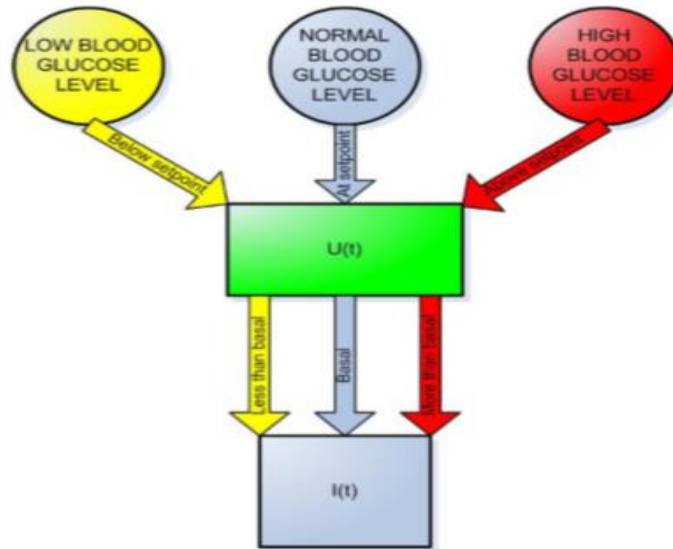
تتكون وحدة التحكم من ثلاثة عناصر تحكم. P هو الجزء المناسب، I ، الجزء المتكامل، و D الجزء التفاضلي.

تابع النقل للمتحكم:

$$L(S) = K_c \left(1 + \frac{1}{T_i S} + \frac{T_d S}{1 + \frac{T_d S}{N}} \right)$$

الهدف من وحدة التحكم، هو العمل على تحديد معدل ضخ الأنسولين، للقيام بذلك تحتاج إلى ضبط البارامترات T_d و T_i و K_c . هناك عدة طرق يمكنك استخدامها لضبط وحدة تحكم PID. الضبط التجريبي، حيث نقوم بضبط البارامترات وفقاً للخروج حتى نصل إلى نتيجة جيدة، أو الضبط عن طريق الخوارزميات. قبل ضبط المتحكم، يجب أن نعلم ما هو الحد الأقصى والحد الأدنى لمستوى الغلوكوز المسموح به.

يوضح الشكل (2) كيفية عمل وحدة تحكم PID



الشكل (2): عمل وحدة تحكم PID

حيث الخط الأصفر يدل على أن تركيز الغلوكوز أقل من التركيز الأساسي أي تركيزه أقل من ال set point. الخط الأزرق يدل على التركيز الأساسي للغلوكوز أي مطابق لل setpoint. الخط الأحمر يدل على أن تركيز الغلوكوز أكبر من التركيز الأساسي أي تركيزه أعلى من ال setpoint وعلى هذا الأساس سيتم تحديد كمية الأنسولين التي سيتم إعطاؤها.

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

هدفنا الرئيسي أثناء تصميم وحدة التحكم (PID) هو تقليل الخطأ في هذه الوحدة بالاعتماد على النموذج الرياضي لمريض السكري. يمكن استخدام العديد من توابع التقييم أو الهدف لتحسين المجال الزمني لوحدة التحكم (PID) في هذا البحث سوف يتم استخدام متوسط الخطأ التربيعي.

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

حيث Y_i هي القيمة الحقيقية.

و Y_i^{\wedge} هي القيمة المقاسة.

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

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

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 للتحكم نفسه أما الثاني ليس له علاقة بالتحكم عندما تصل النسبة المئوية للخطأ إلى أدنى قيمة تتوقف الخوارزمية ويتم تثبيت قيم المتحكم.

6- التطبيق العملي:

عند محاكاة نظام الغلوكوز والأنسولين بعد تطبيق خوارزميات الذكاء الصناعي المختارة.

وتحديد بارامترات المتحكم ($T_d T_i K_c$) بالشكل الأمثل.

حيث 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 التالي 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	30	Maximum Iteration	30	Maximum Cycle	30	Maximum Iteration	30
Population Size	1000	Size of the swarm	1000	Size of the colony	1000	Initial Temperature	100

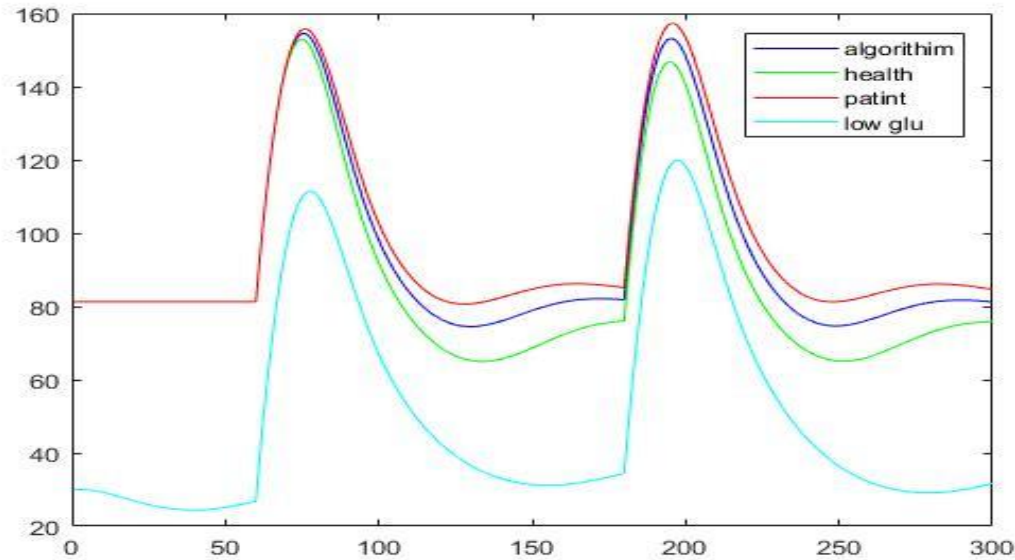
مقارنة النتائج:

تم مقارنة أداء الخوارزميات المذكورة على نظام الغلوكوز والأنسولين، وتم توضيح النتائج عن طريق الجداول والرسوم البيانية التالية.

نتائج المحاكاة باستخدام خوارزمية محاكاة التلدين:

الجدول (3): مقارنة بين القيم الصغرى والعظمى لغلوكوز 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	72.08	154.35



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

نلاحظ تحسن نسبة الغلوكوز للمريض الافتراضي بعد تطبيق خوارزمية محاكاة التلدين بنسبة 22.6%.

اللون يعبر عن المريض الافتراضي.

اللون الأخضر يعبر عن الشخص السليم.

اللون الأزرق يعبر عن المريض الافتراضي بعد تطبيق خوارزمية محاكاة التلدين.

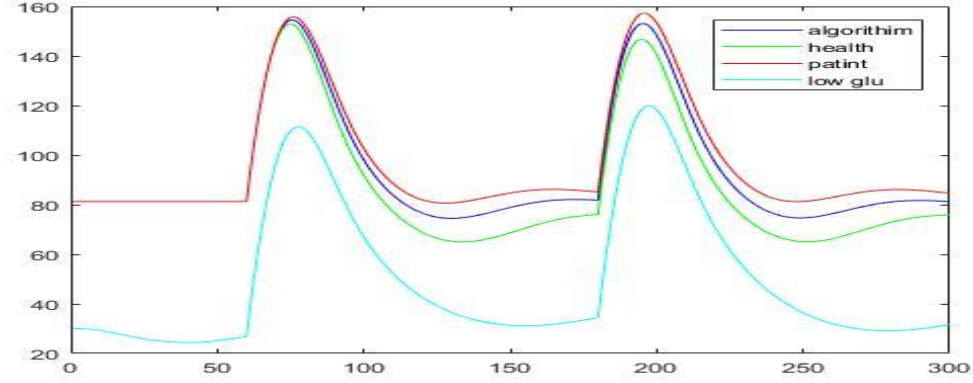
اللون الأزرق الفاتح يعبر عن محاكاة حالة نقص السكر.

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

	minimum BGC (mg/dL)	maximum BGC (mg/dL)
Patient- PID	80.6431	157.3126
PSO- PID	74.02	155.71



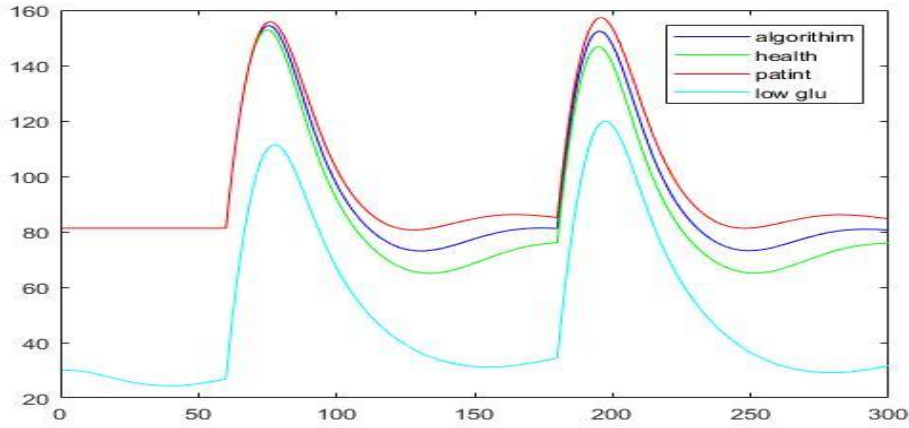
الشكل (4): المحاكاة عند استخدام خوارزمية سرب الطيور.

نلاحظ تحسن نسبة الغلوكوز للمريض الافتراضي بعد تطبيق خوارزمية سرب الطيور بنسبة 20.9%. اللون يعبر عن المريض الافتراضي. اللون الأخضر يعبر عن الشخص السليم. اللون الأزرق يعبر عن المريض الافتراضي بعد تطبيق خوارزمية سرب الطيور. اللون الأزرق الفاتح يعبر عن محاكاة حالة نقص السكر.

نتائج المحاكاة باستخدام الخوارزمية الجينية:

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

	Minim um BGC (mg/dL)	maximum BGC (mg/dL)
Healthy person	64.9600	152.9458
Patient- PID	80.6431	157.3126
GA- PID	73.02	154.31



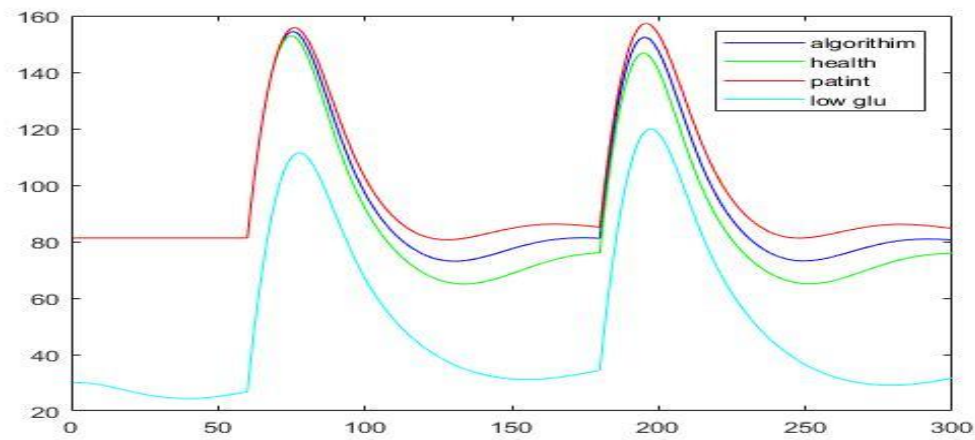
الشكل (5) المحاكاة بعد تطبيق الخوارزمية الجينية.

نلاحظ تحسن نسبة الغلوكوز للمريض الافتراضي بعد تطبيق الخوارزمية الجينية بنسبة 21.7%.
 اللون يعبر عن المريض الافتراضي.
 اللون الأخضر يعبر عن الشخص السليم.
 اللون الأزرق يعبر عن المريض الافتراضي بعد تطبيق الخوارزمية الجينية.
 اللون الأزرق الفاتح يعبر عن محاكاة حالة نقص السكر.

نتائج المحاكاة باستخدام خوارزمية النحل:

الجدول (6) مقارنة بين القيم الصغرى والعظمى لغلوكوز 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	73.05	155.31



الشكل (6): المحاكاة بعد تطبيق خوارزمية النحل.

نلاحظ تحسن نسبة الغلوكوز للمريض الافتراضي بعد تطبيق خوارزمية النحل بنسبة 21.72%.

اللون يعبر عن المريض الافتراضي.
 اللون الأخضر يعبر عن الشخص السليم.
 اللون الأزرق يعبر عن المريض الافتراضي بعد تطبيق خوارزمية النحل.
 اللون الأزرق الفاتح يعبر عن محاكاة حالة نقص السكر.
 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	68.73	296.48
PSO- PID	62.84	295.01
ABC- PID	65.51	278.34
SA- PID	64.27	269.31

نلاحظ تفوق خوارزمية محاكاة التلدين (SA) في المحافظة على القيم الصغرى والعظمى لتركيز الغلوكوز في الدم يليها خوارزمية النحل (ABC) ثم خوارزمية سرب الطيور (PSO) وأخيرا الخوارزمية الجينية (GA).
 ولكن لا بد لنا أن نلاحظ أن خوارزمية سرب الطيور حافظت على القيمة الصغرى الأفضل ولكنها تفوقت بشكل واضح عند ارتفاع سكر الدم وبنسبة أكبر.
 الجدول (8) الزمن اللازم لكل خوارزمية لتنفيذ المهمة المطلوبة:

PSO	GA	SA	ABC	Iteration
6.6 sec	16.8sec	0.7sec	13.2sec	10
360 sec	828.2 sec	21.75 sec	389.8 sec	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، 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 الغلوكوز في الدم.
- 3- وفقا للنموذج المقترح تبين بأن خوارزمية SA أسرع من حيث زمن التنفيذ من خوارزمية GA, ABC, PSO.

8-الدراسات المستقبلية:

يمكن تطوير هذا البحث والعمل عليه من خلال الدمج بين اثنين من الخوارزميات أو أكثر للاستفادة من الإيجابيات في كل خوارزمية. فالخوارزميات تساعد على 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 حيث سيتمكن الجهاز من المراقبة المستمرة وضبط سكر الدم بطريقة سهلة ودقيقة مدى حياة المريض.

9-الخاتمة.

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

10-المراجع.

- [1]Basher, A. S. (2017). design fuzzy control system for blood glucose level for type- 1 diabetes melitus 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 optimisation 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. Aguirre, 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.
- [10] K.F. Man, et al, "Genetic algorithms: concepts and applications," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 43, no. 5, pp. 519- 534, 1996.
- [11] D. Karaboga, "Artificial bee colony algorithm," *Scholarpedia*, vol. 5, no. 3, pp. 6915, 2010.