

## التنبؤ بضربات القلب الصناعي باستخدام خوارزميات تعلم الآلة

د. ألفت جولحة\*

لودي بشور\*\*

(تاريخ الإيداع 17 / 3 / 2021. قُبل للنشر في 26 / 9 / 2021)

### □ ملخص □

القلب الصناعي هو جهاز يحل مكان القلب الطبيعي ويستخدم عادة كوسيلة مؤقتة لكسب الوقت أثناء زراعة القلب، أو كوسيلة دائمة في الحالات التي يستعصي فيها عملية زراعة القلب. يتم في هذا البحث تصميم نظام للتنبؤ بعدد ضربات القلب الصناعي اعتماداً على مستوى تشبع الدم بالأكسجين  $spO_2$  ومعدل التنفس Respiratory Rate ومعدل النبض Pulse باستخدام ثلاث خوارزميات لتعلم الآلة وهي: الإنحدار الخطي Linear Regression وإنحدار أشعة الدعم Support Vector Regression والجار الأقرب K-Neighbors Regressor. وتبين أن خوارزمية الجار الأقرب أعطت نسبة خطأ أقل في عدد ضربات القلب الصناعي في الحالات الفيزيولوجية المختلفة التي يمكن أن يمر بها الإنسان.

**الكلمات المفتاحية:** القلب الصناعي، خوارزميات تعلم الآلة، الإنحدار الخطي، إنحدار أشعة الدعم، الجار الأقرب.

---

\*مدرس، قسم هندسة الحاسبات والتحكم الآلي، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية، [oulfatjoli@yahoo.com](mailto:oulfatjoli@yahoo.com).

\*\*طالبة دراسات عليا (ماجستير)، قسم هندسة الحاسبات والتحكم الآلي، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية، [lolobashour@hotmail.com](mailto:lolobashour@hotmail.com).

## Prediction of the Artificial Heart Beat Using Machine Learning Algorithms

Dr. Oulfat Jolaha\*  
Lody Bashour\*\*

(Received 17 / 3 / 2021. Accepted 26 / 9 / 2021)

### □ ABSTRACT □

An artificial heart is a device that replaces the natural heart, and it is usually used as a temporary means for gaining time during heart transplantation, or it is used permanently in cases where it is difficult to do the heart transplantation. In this paper, a system for predicting the heart beat is designed based on blood oxygen saturation level  $SPO_2$ , respiratory rate, and pulse rate using three machine learning algorithms, which are: Linear Regression, Support Vector Regression, and K-Neighbors Regressor. It is found that the K-Neighbors Regressor algorithm gives lower error rate in the number of artificial heartbeats compared with the other algorithms in different physiological conditions that person may experience.

**Keywords:** Artificial heart, Machine Learning algorithms, Linear Regression, Support Vector Regression, K-Neighbors Regressor.

---

\* Assistant Professor, Department of Computers and Automatic Control, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria, [oulfatjoli@yahoo.com](mailto:oulfatjoli@yahoo.com).

\*\*Postgraduate Student (Master), Department of Computers and Automatic Control, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria, [lolobashour@hotmail.com](mailto:lolobashour@hotmail.com).

## مقدمة:

إن أول عملية زراعة قلب صناعي كلي أجريت عام 1969 وكان الهدف من القلب الصناعي هو دعم المريض حتى يتم إيجاد متبرع بقلب إنسان آخر. يستمد القلب الصناعي الطاقة عن طريق الهواء، وهو يحتوي على حجرتي ضخ ومداخلين يميني ويساري، بالإضافة إلى صمام ومفاصل للتحكم باتجاه تدفق الدم ضمن المضخة، كما يتصل القلب الصناعي الكلي بوحدة تغذية [1].

عندما يقوم الإنسان بنشاط فيزيولوجي تتسارع نبضات قلبه ليتم تأمين الكمية اللازمة من الدم لجميع أعضاء الجسم، مما يؤدي إلى الحاجة لتنظيم معدل ضربات القلب الصناعي في الحالات الفيزيولوجية المختلفة التي يمر بها الإنسان [2]. وهذا يمكن تحقيقه من خلال إيجاد نظام قلب صناعي قابل للتدريب بحيث يتلاءم مع حاجة جسم الإنسان ليعطي عدد ضربات قلب أقرب ما يمكن للقلب الطبيعي.

هناك العديد من الدراسات التي اهتمت بمحاكاة أداء القلب والكشف عن الأمراض المتعلقة به. فقد اهتمت الدراسة [3] بتطوير نموذج فعال ثلاثي البعد لقلب الإنسان عن طريق Massive Parallel Computing with GPGPU وإجراء محاكاة حقيقية لأنشطة القلب لكونه يمكن العلماء من تحسين أداء القلب والوقاية من أمراضه. كما تمت محاكاة أصوات القلب باستخدام Microcontroller based Phonocardiogram (PCG) لدعم دراسات الهندسة الطبية في مجال تحليل الإشارات الفيزيولوجية للكشف عن أمراض القلب المختلفة عن طريق محاكاة مختلف الحالات السريرية لأصوات القلب الطبيعية وغير الطبيعية، حيث تفيد أصوات القلب بالكشف عن الوظائف غير الطبيعية للقلب مثل قصور الصمام التاجي وتضيق الأبهر وعيب الحاجز البطيني [4]. كذلك جرى تحسين أداء منظمات القلب وكشف حالات الشذوذ والاضطرابات القلبية الناتجة عن عدم استقرار ضغط الدم باستخدامها تقنية Hydro Electromechanical System (HEMS) مما أدى لتنظيم معدل ضربات القلب غير المنتظمة والتحكم بجهاز القلب والأوعية الدموية [5].

كما تطرقت العديد من الدراسات إلى التنبؤ بنبضات القلب الطبيعي لتشخيص النوبات القلبية، حيث تم التنبؤ بنبض القلب من خلال معرفة نشاط الجسم ومعدل النبض السابق باستخدام الشبكات العصبية الأمامية Feed-Forward Neural Network (FFNN) [6]. وفي الدراسة [7] تم تخمين معدل ضربات القلب بدقة عالية جداً، حيث تم تدريب الشبكة العصبية بخوارزمية الشبكات العصبية الالتفافية Convolutional Neural Network (CNN) على 204 فيديو لأشخاص تتراوح أعمارهم بين 20 إلى 53 يقومون بأربع أنشطة (كلام - تجديف - تمارين على الدراجة الثابتة - تمارين سير).

تم في هذا البحث تطبيق ثلاث خوارزميات لتعلم الآلة من أجل التنبؤ بعدد ضربات القلب الصناعي الصناعي اعتماداً على مستوى تشبع الدم بالأكسجين spo2 ومعدل التنفس Respiratory Rate ومعدل النبض Pulse مع مراعاة الأنشطة الفيزيولوجية المختلفة التي يمكن أن يقوم بها الإنسان.

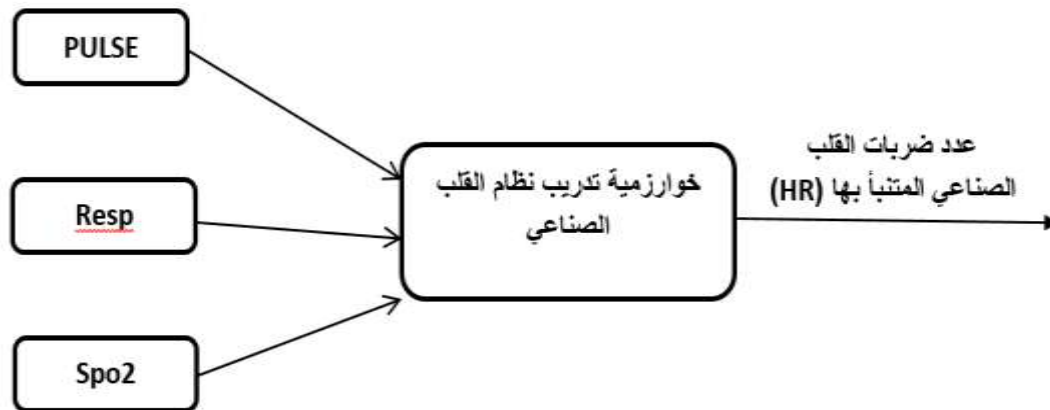
## أهمية البحث وأهدافه:

### هدف البحث

النتيئة بعدد ضربات القلب الصناعي ليكون أقرب بعمله إلى القلب الطبيعي في الحالات الفيزيولوجية المختلفة التي يمر بها الإنسان، باستخدام ثلاث من خوارزميات تعلم الآلة وهي الإنحدار الخطي وإنحدار أشعة الدعم والجار الأقرب. وهذا يمكن الإنسان ذو القلب الصناعي من القيام بالنشاطات اليومية الخفيفة بحيث يتم تأمين كمية الدم اللازمة لعمل أعضاء الجسم.

### طرائق البحث ومواده:

يتم في هذا البحث تدريب نظام القلب الصناعي وفق خوارزميات تعلم الآلة للحصول على معدل ضربات القلب المناسب اعتماداً على مستوى تشبع الدم بالأكسجين ومعدل التنفس ومعدل النبض. ويوضح الشكل (1) المخطط الصندوقي لنظام التنبؤ بعدد ضربات القلب الصناعي المقترح، حيث أن متغيرات الدخل هي معدل النبض Pulse ومعدل التنفس Respiratory Rate ومستوى تشبع الدم بالأكسجين spo2. ويكون خرج النظام هو عدد ضربات القلب بالدقيقة . Heart Rate (HR)



الشكل (1) المخطط الصندوقي لنظام التنبؤ بعدد ضربات القلب الصناعي المقترح

تم تطبيق خوارزميات الإنحدار الخطي وإنحدار أشعة الدعم SVR والجار الأقرب KNN من اجل التنبؤ بعدد ضربات القلب الصناعي.

### 1. خوارزمية الإنحدار الخطي

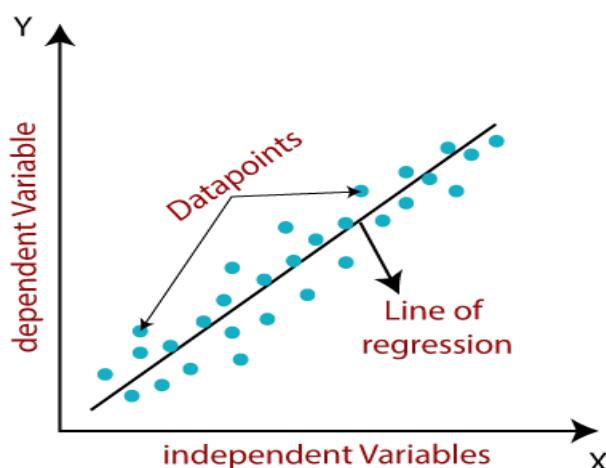
تستخدم خوارزمية الإنحدار الخطي لدراسة قوة ترابط المتغيرات أي دراسة تأثير عدة متغيرات على متغير واحد (متغير الخرج). يعتمد مبدأ عمل هذه الخوارزمية على رسم عينات التدريب ومن ثم إيجاد معادلة خط مستقيم تشمل العدد الأكبر من هذه العينات وفق المعادلة التالية [8]  $Y = w_0 + w_1x$ . حيث  $w_1$  الميل و  $w_2$  نقطة التقاطع مع المحور  $y$ . يتم وفق هذا الخط التنبؤ بعينات الإختبار وأيضا العينات المراد التنبؤ بقيمتها، كما هو موضح في الشكل (2).

## 2. خوارزمية إنحدار أشعة الدعم SVR

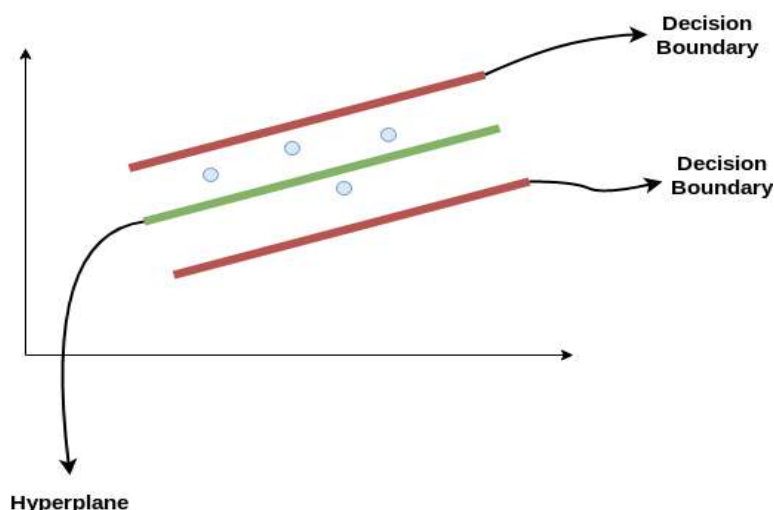
خوارزمية شائعة لتعلم الآلة، تشبه الإنحدار الخطي حيث يتم جمع عينات التدريب ضمن خطين حدود متوازيين Boundary line، تلائم هذه الخوارزمية أفضل خط بين هذين الخطين ضمن قيمة عتبة محددة وفق المعادلة [9]  $Y=wx+b$ ، يسمى هذا المستقيم Hyper plane، وبالتالي يتم تحقيق الشرط [9]  $-a < y-wx+b < a$ ، حيث تقوم الخوارزمية باستخدام النقاط ضمن هذه الحدود للتنبؤ بالعينات، كما هو موضح في الشكل (3).

## 3. خوارزمية الجار الأقرب KNN

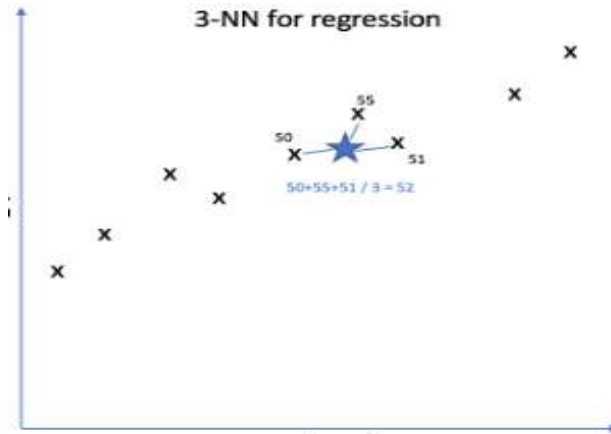
يعتمد مبدأ هذه الخوارزمية على استخدام متوسط قيم النقاط المجاورة للعينة الجديدة المراد التنبؤ بها، كما هو موضح في الشكل (4)، حيث اعتمدت خوارزمية الجار الأقرب على متوسط قيم أقرب ثلاثة جيران للتنبؤ بقيمة العينة الجديدة [10].



الشكل (2) خوارزمية الإنحدار الخطي [8]



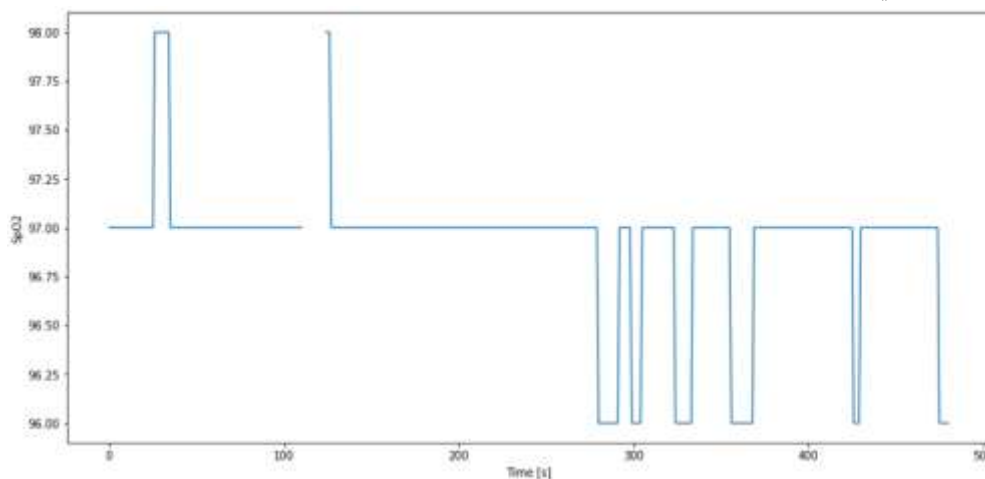
الشكل (3) يوضح خوارزمية دعم انحدار المتجه [9]



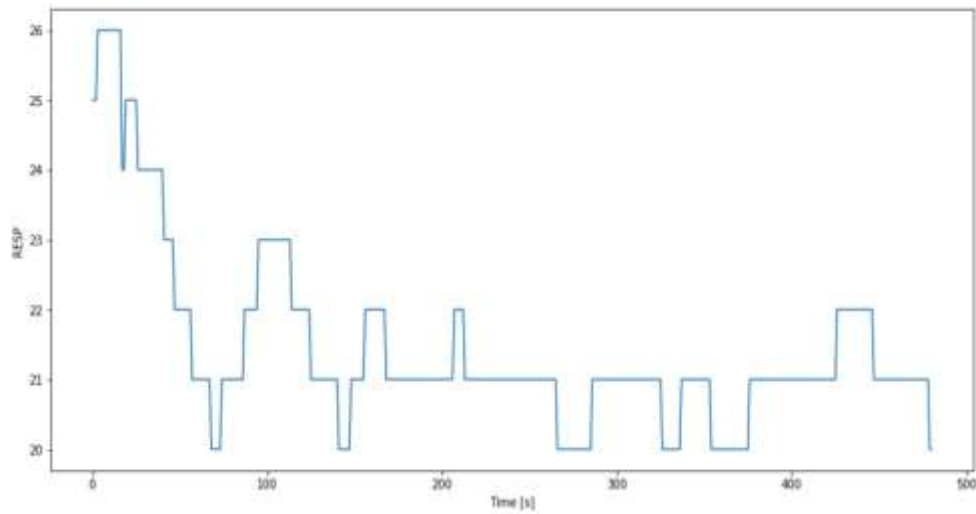
الشكل (4) يوضح خوارزمية الجار الأقرب [10]

### قاعدة البيانات المستخدمة

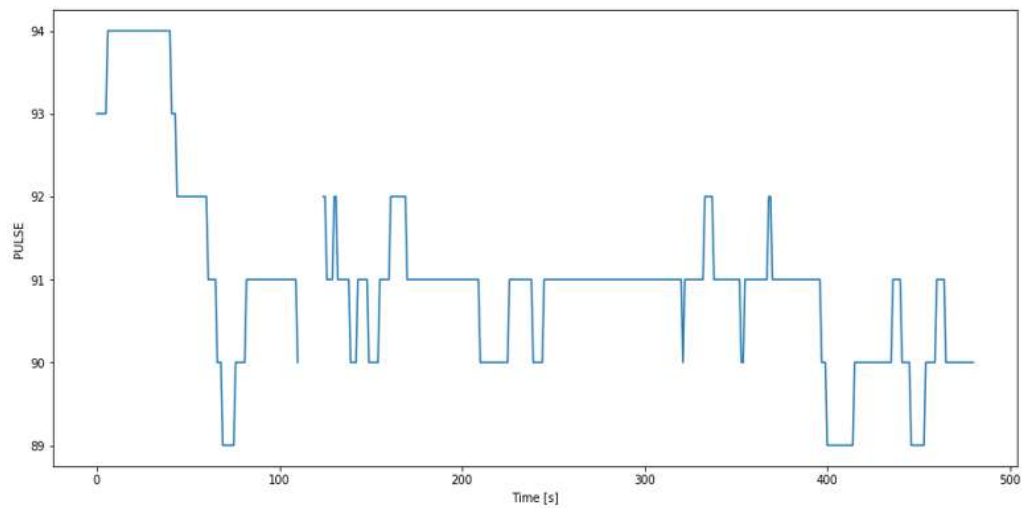
تم استخدام مجموعة البيانات BIDMC PPG and Respiration Dataset [11] التي جمعت في مركز Beth الطبي في الولايات المتحدة الأمريكية في تاريخ 20 حزيران سنة 2018 ونشرت في تاريخ 24 آب سنة 2019. تحتوي قاعدة البيانات على تسجيل لعدد 53 شخص لمدة 8 دقائق لكل شخص، وبالتالي يوجد 480 عينة لكل شخص. إن مداخل نظام التحكم بضربات القلب الصناعي المقترح هي مستوى تشبع الدم بالأكسجين ومعدل التنفس ومعدل النبض الذي ينتج عن النبض الميكانيكي المطبق على الشعيرات الدموية، وخرجه هو عدد ضربات القلب بالدقيقة Heart Rate (HR). عند دراسة العينات الموجودة في قاعدة البيانات تم رسم تلك العينات من أجل التأكد من وجود القراءات على كامل الفترة الزمنية التي تم أخذ القياسات ضمنها وهي 480 ثانية. وجد أن بعض القراءات لبعض الأشخاص أعطت القيمة null مما يؤدي إلى حدوث أخطاء أثناء تدريب النظام المقترح. على سبيل المثال يوضح الشكل (5) والشكل (6) والشكل (7) والشكل (8) إشارة تشبع الدم بالأكسجين وإشارة معدل التنفس وإشارة معدل النبض وإشارة عدد ضربات القلب على التوالي، مأخوذة من قاعدة البيانات المعتمدة لأشخاص مختلفين ويلاحظ فيها فقدان بعض البيانات. تم تعويض النقص في البيانات المفقودة بالقيمة المقاسة السابقة لها مباشرة. [12]



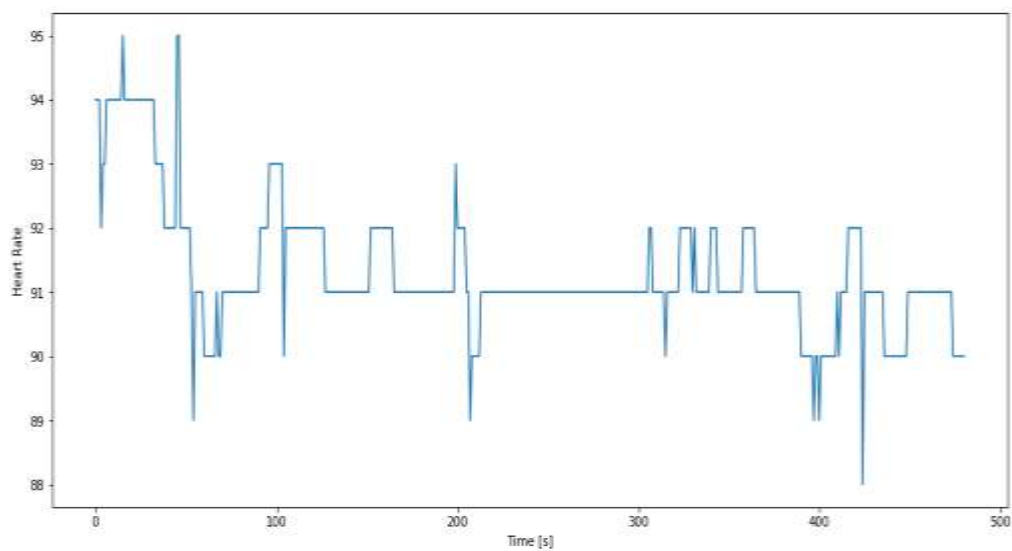
الشكل (5) إشارة spo2



الشكل (6) إشارة Resp



الشكل (7) إشارة Pulse



الشكل (8) إشارة HR

## معايير تقييم الأداء

يتم في هذا البحث تقييم أداء خوارزميات تعلم الآلة المستخدمة من أجل التنبؤ بعدد ضربات القلب الصناعي من خلال تابع متوسط القيمة المطلقة للخطأ (MAE) Mean Absolute Error الذي يُعطى بالعلاقة [13]:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |X_i - X|$$

حيث  $X$ : القيمة الفعلية و  $X_i$ : القيمة المتنبأ بها. وهو يعطي نسبة الخطأ في عدد ضربات القلب الصناعي عن العدد الطبيعي، وتكون الخوارزمية الأفضل هي الخوارزمية التي تعطي أقل قيمة لتابع الخطأ. وكذلك اعتمد متوسط الدقة الذي يعطى بالعلاقة [14]:

$$\text{percent accuracy} = \frac{V_A - V_O}{V_A} \times 100$$

حيث  $V_O$  القيمة المتنبأ بها،  $V_A$  القيمة الفعلية. وتكون الخوارزمية الأفضل هي الخوارزمية التي تعطي أعلى قيمة لتابع الدقة.

## النتائج والمناقشة:

تم تدريب النظام المقترح وفق الخوارزميات الثلاث وهي الإنحدار الخطي وإنحدار أشعة الدعم والجار الأقرب، حيث تم تقسيم العينات إلى 80% عينات تدريب و 20% عينات اختبار. وجد أن خوارزمية الإنحدار الخطي أعطت متوسط دقة 93.069% ومتوسط قيمة مطلقة لتابع الخطأ 1.734 نبضة.

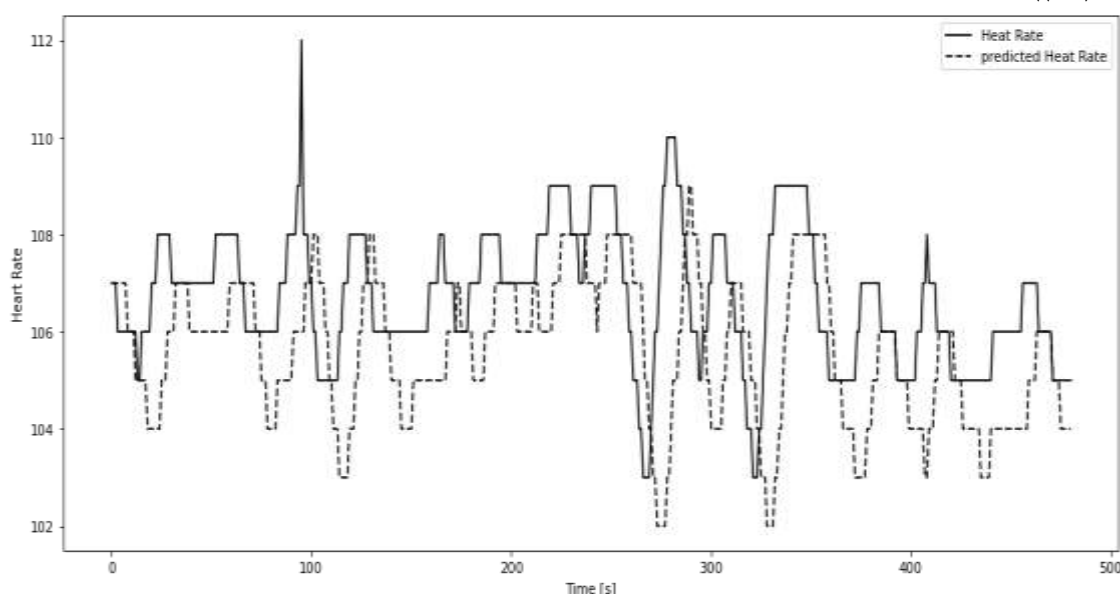
من أجل اختبار خوارزمية الإنحدار الخطي على 20% من عينات الاختبار وهي عشرة عينات اختبار حيث يظهر الشكل (9) مقارنة بين عدد ضربات القلب الفعلي وعدد ضربات القلب المتنبأ بها (اللازم لعمل القلب الصناعي). وجد أن العينة الأولى أعطت متوسط خطأ لإشارة عدد ضربات القلب هو 1.448 نبضة. ونتيجة المقارنة بين عدد ضربات القلب الموضحة في الشكل (10) من أجل العينة الثانية، وجد أن متوسط خطأ لإشارة عدد ضربات القلب 0.848 نبضة. وكذلك الأمر بالنسبة للعينة الثالثة (الشكل (11)) حيث أن متوسط الخطأ لإشارة عدد ضربات القلب 1.05 نبضة، و متوسط الخطأ لإشارة عدد ضربات القلب 1.66 نبضة للعينة الرابعة (الشكل (12))، ومتوسط خطأ 1.502 نبضة لعينة الاختبار الخامسة (الشكل (13))، ومتوسط خطأ 1.464 نبضة لعينة الاختبار السادسة (الشكل (14))، ومتوسط خطأ 1.183 نبضة لعينة الاختبار السابعة (الشكل (15))، ومتوسط خطأ 0.082 نبضة لعينة الاختبار الثامنة (الشكل (16))، ومتوسط خطأ 1.744 نبضة لعينة الاختبار التاسعة (الشكل (17))، ومتوسط خطأ 1.687 نبضة لعينة الاختبار العاشرة (الشكل (18)).

كما وجد أن خوارزمية إنحدار أشعة الدعم أعطت متوسط دقة 94.681% ومتوسط قيمة مطلقة لتابع الخطأ 1.543 نبضة. وأيضاً تم تطبيق خوارزمية إنحدار أشعة الدعم على عينات الاختبار العشر، حيث يظهر الشكل (19) أن هذه الخوارزمية أعطت متوسط خطأ 1.189 نبضة لعينة الاختبار الأولى، ومتوسط خطأ 1.02 نبضة لعينة الاختبار الثانية (الشكل (20))، وأيضاً أعطت الخوارزمية متوسط خطأ 0.96 نبضة لعينة الاختبار الثالثة (الشكل (21))، ومتوسط الخطأ لإشارة عدد ضربات القلب 0.956 نبضة للعينة الرابعة (الشكل (22))، ومتوسط خطأ 1.061 نبضة لعينة الاختبار الخامسة (الشكل (23))، ومتوسط خطأ 1.483 نبضة لعينة الاختبار السادسة (الشكل (24))، ومتوسط خطأ 1.238 نبضة لعينة الاختبار السابعة (الشكل (25))، ومتوسط خطأ 0.743 نبضة لعينة الاختبار الثامنة

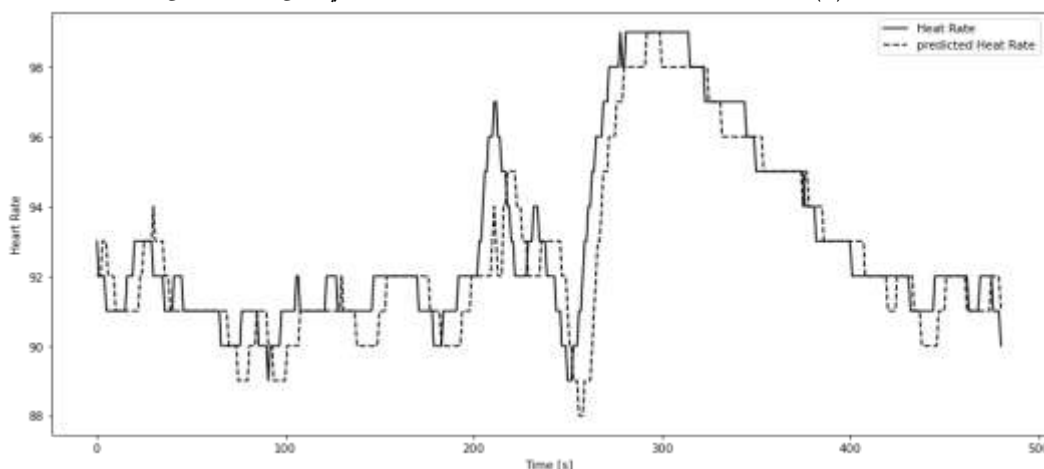


الشكل (26))، ومتوسط خطأ 1.326 نبضة لعينة الاختبار التاسعة الشكل (27))، ومتوسط خطأ 1.57 نبضة لعينة الاختبار العاشرة الشكل (28)).

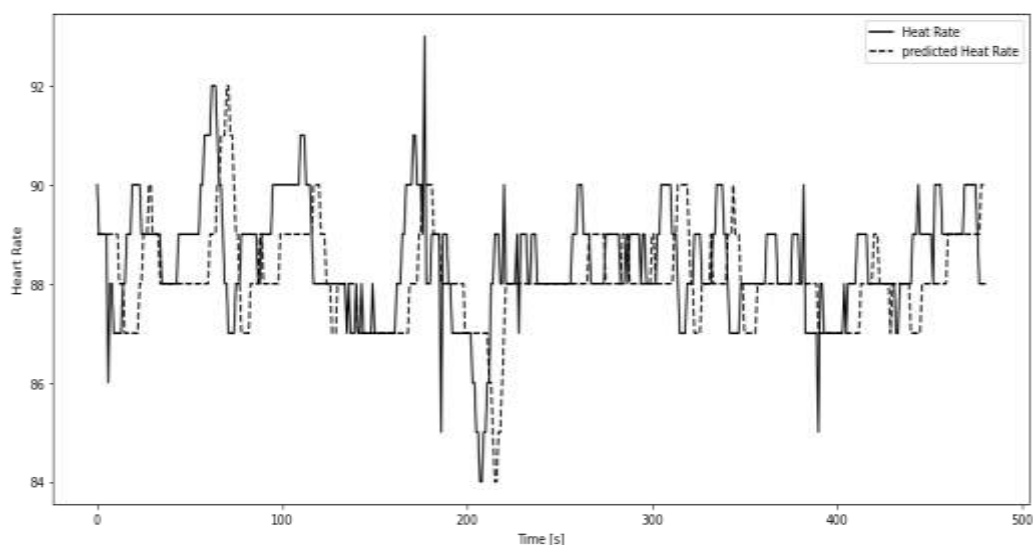
أما بالنسبة لخوارزمية الجار الأقرب أعطت متوسط دقة 96.852% ومتوسط قيمة مطلقة لتابع الخطأ 1.273 نبضة. وعند تطبيق هذه الخوارزمية على عينات الاختبار العشر حصلنا على متوسط خطأ 1.995 نبضة لعينة الاختبار الأولى (الشكل (29))، وأيضاً حصلنا على متوسط خطأ 0.781 نبضة لعينة الاختبار الثانية (الشكل (30))، أما بالنسبة لعينة الاختبار الثالثة حصلنا على متوسط خطأ 0.542 نبضة (الشكل (31))، ومتوسط الخطأ لإشارة عدد ضربات القلب 0.819 نبضة للعينة الرابعة (الشكل (32))، ومتوسط خطأ 0.967 نبضة لعينة الاختبار الخامسة الشكل (33))، ومتوسط خطأ 1.254 نبضة لعينة الاختبار السادسة الشكل (34))، ومتوسط خطأ 1.071 نبضة لعينة الاختبار السابعة الشكل (35))، ومتوسط خطأ 0.765 نبضة لعينة الاختبار الثامنة الشكل (36))، ومتوسط خطأ 1.446 نبضة لعينة الاختبار التاسعة الشكل (37))، ومتوسط خطأ 1.612 نبضة لعينة الاختبار العاشرة الشكل (38)).



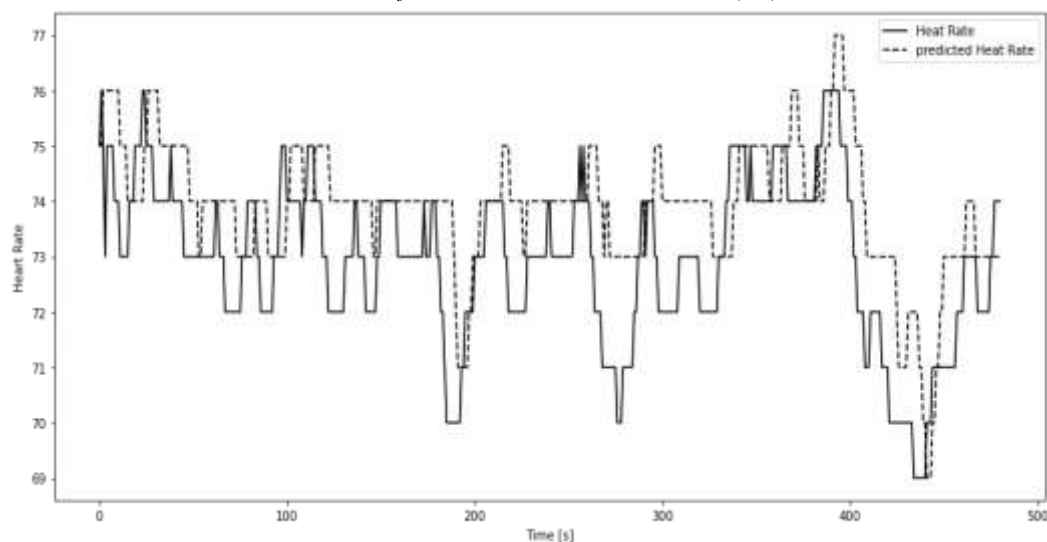
الشكل (9) عدد ضربات القلب عند تطبيق خوارزمية الانحدار الخطي على العينة الأولى



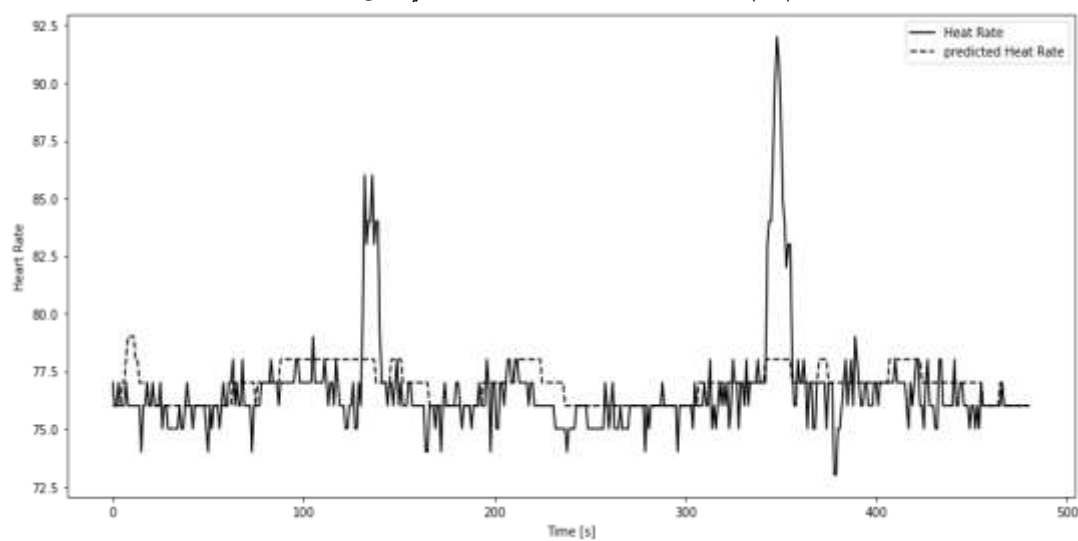
الشكل (10) نتيجة اختبار خوارزمية الانحدار الخطي على العينة الثانية



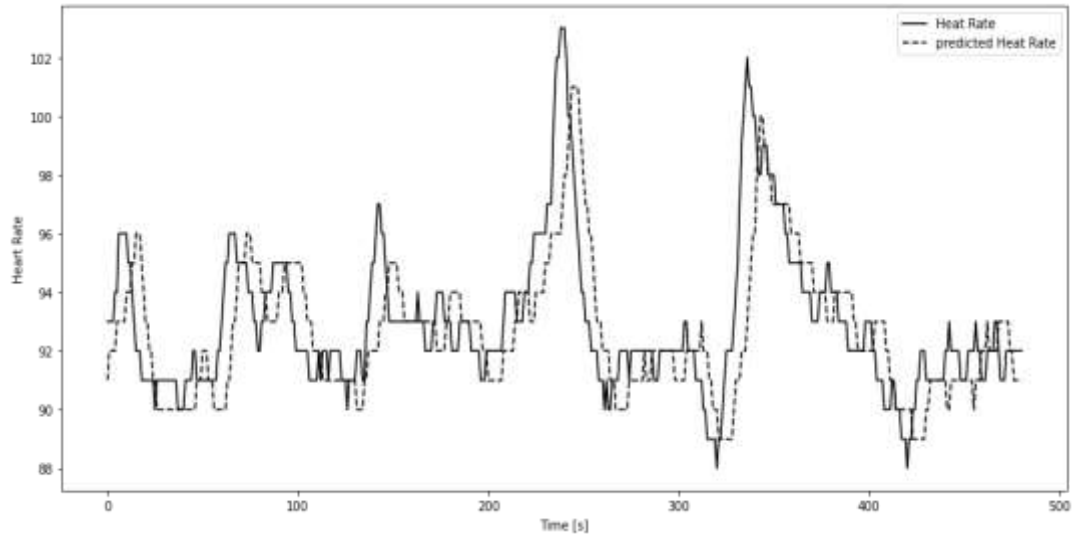
الشكل (11) نتيجة اختبار خوارزمية الانحدار الخطي على العينة الثالثة



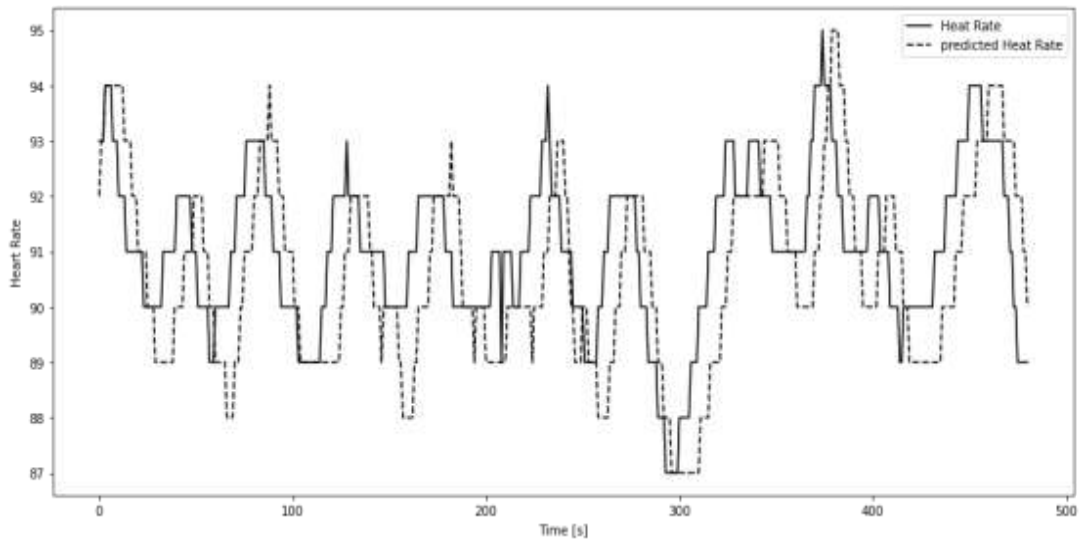
الشكل (12) نتيجة اختبار خوارزمية الانحدار الخطي على العينة الرابعة



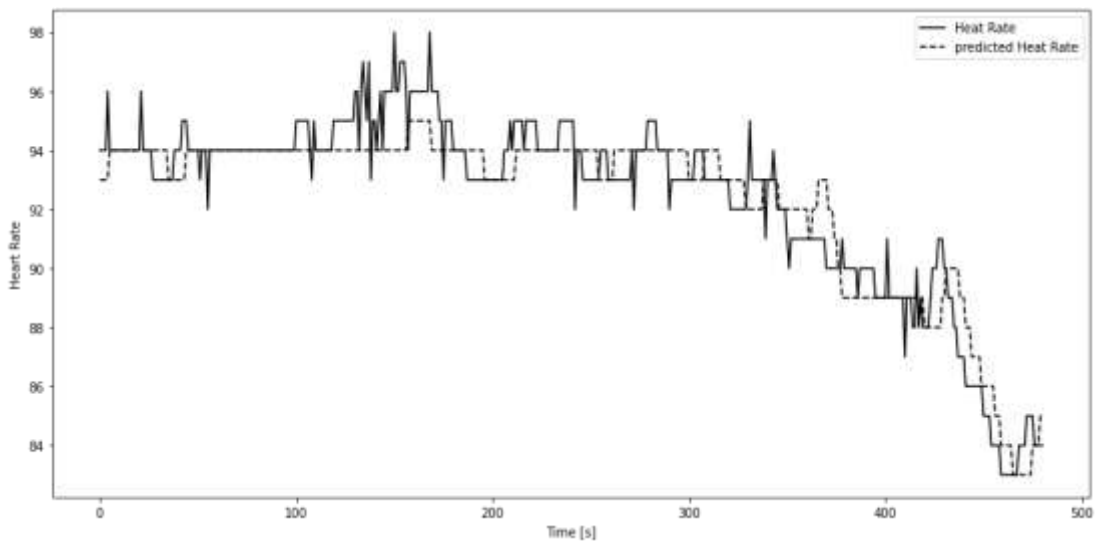
الشكل (13) نتيجة اختبار خوارزمية الانحدار الخطي على العينة الخامسة



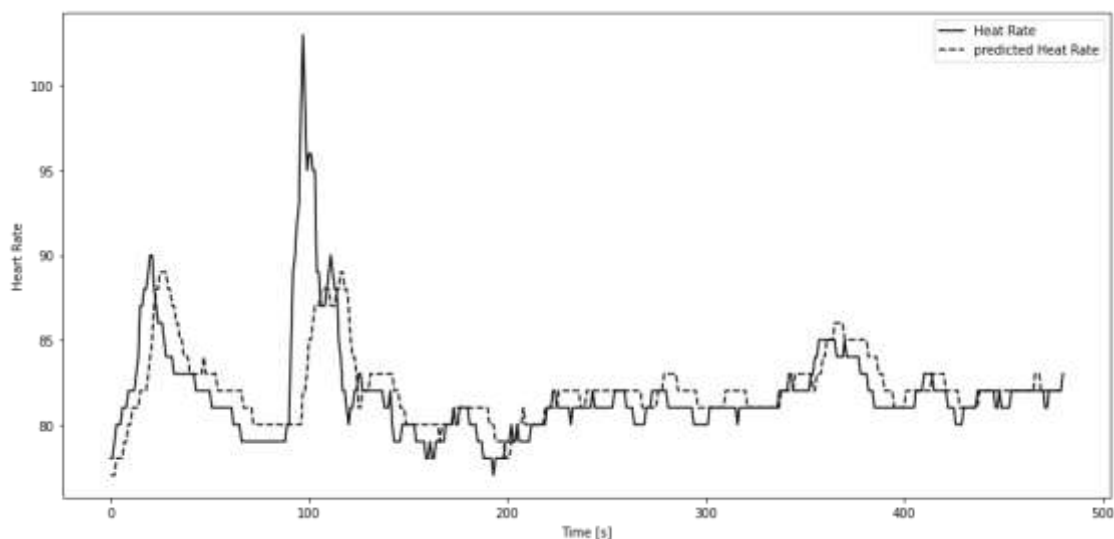
الشكل (14) نتيجة اختبار خوارزمية الانحدار الخطي على العينة السادسة



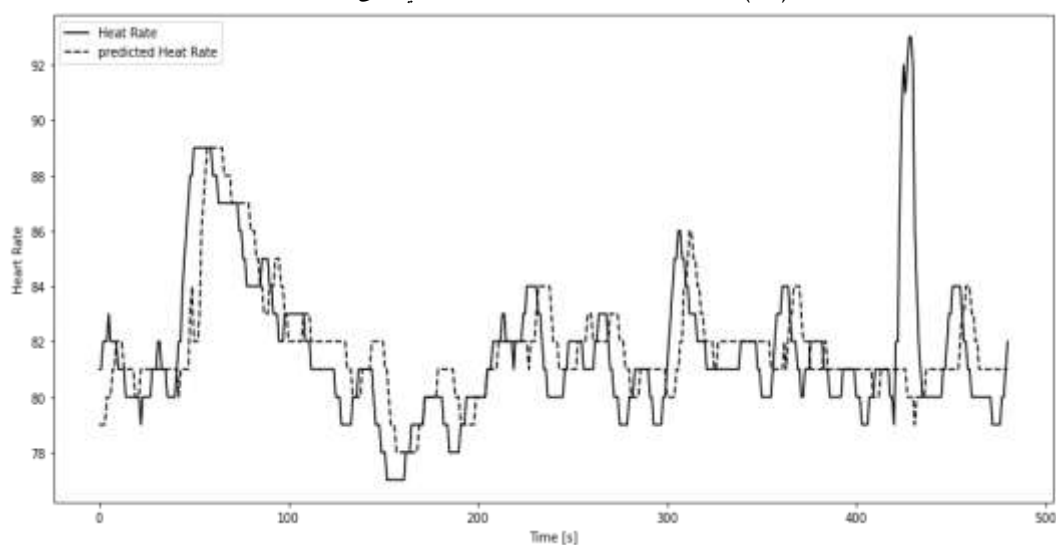
الشكل (15) نتيجة اختبار خوارزمية الانحدار الخطي على العينة السابعة



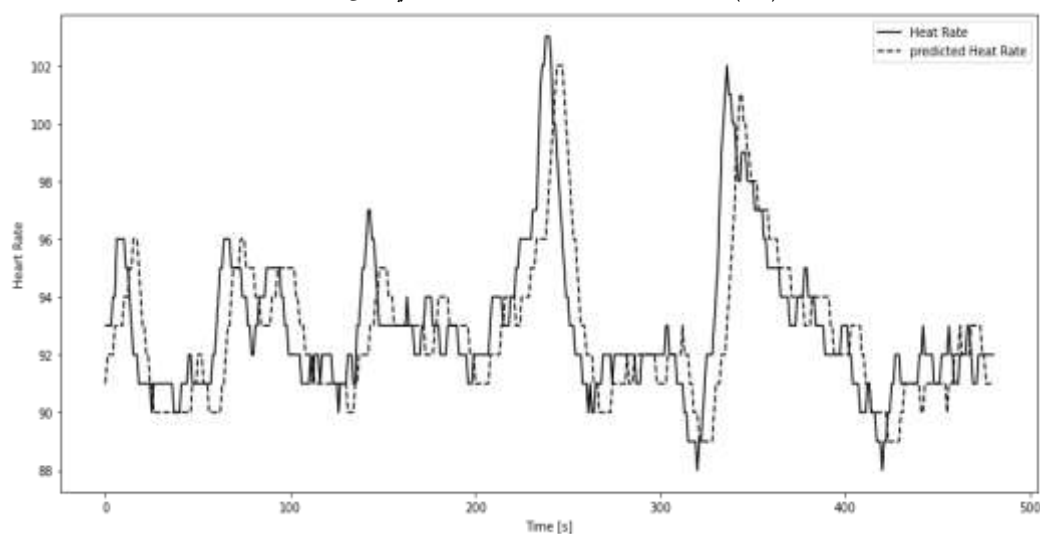
الشكل (16) نتيجة اختبار خوارزمية الانحدار الخطي على العينة الثامنة



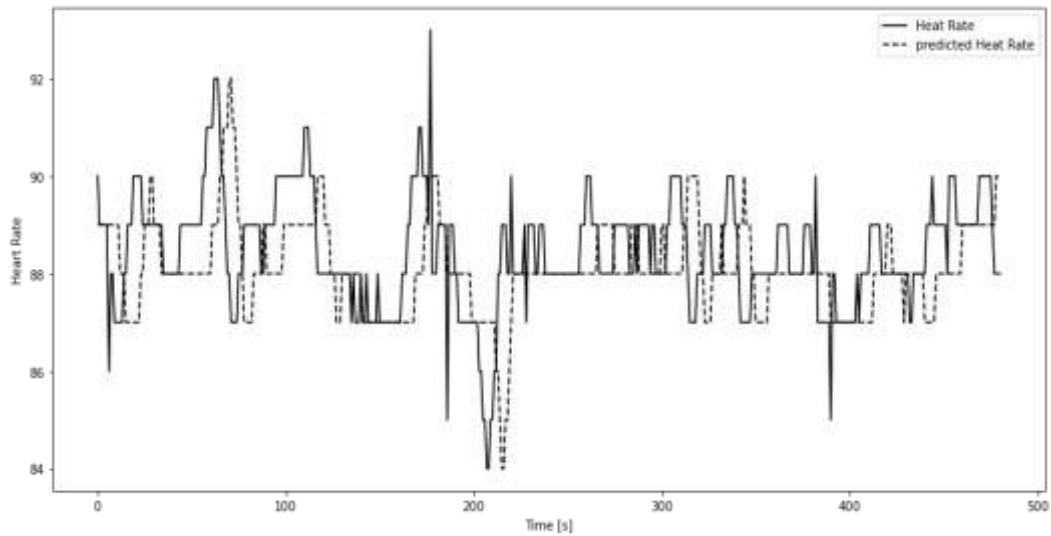
الشكل (17) نتيجة اختبار خوارزمية الانحدار الخطي على العينة التاسعة



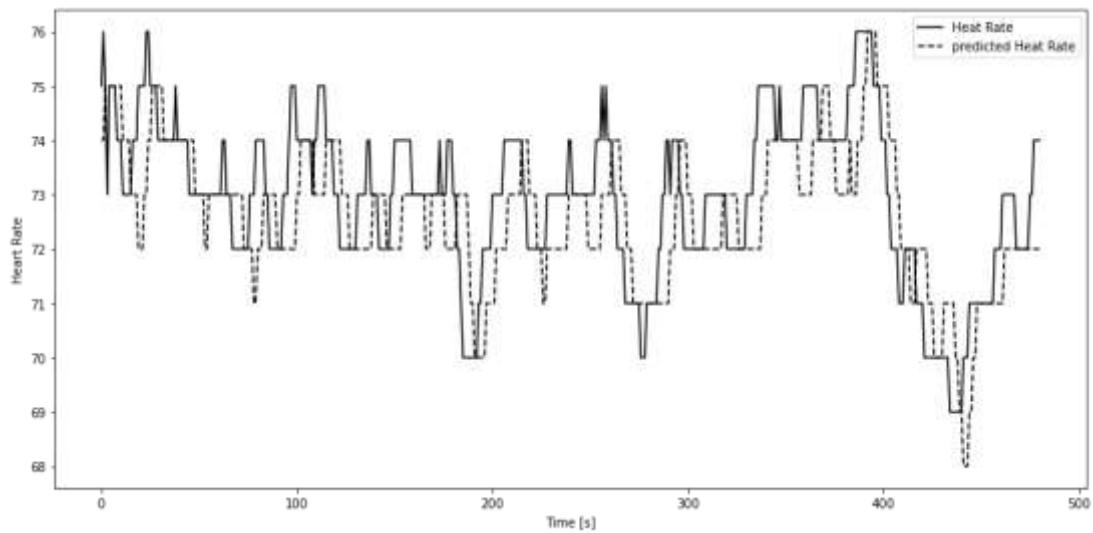
الشكل (18) نتيجة اختبار خوارزمية الانحدار الخطي على العينة العاشرة



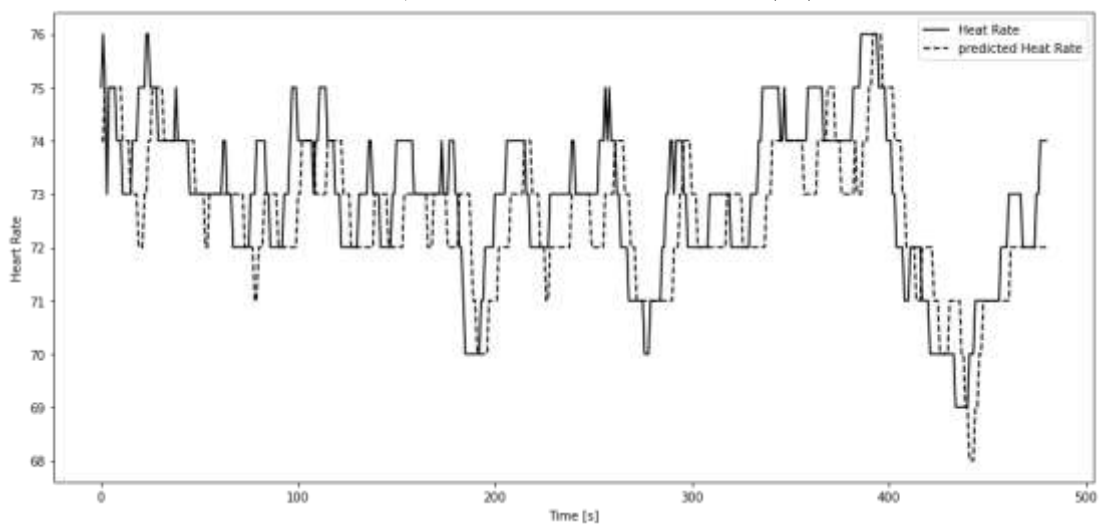
الشكل (19) نتيجة اختبار خوارزمية انحدار أشعة الدعم على العينة الأولى



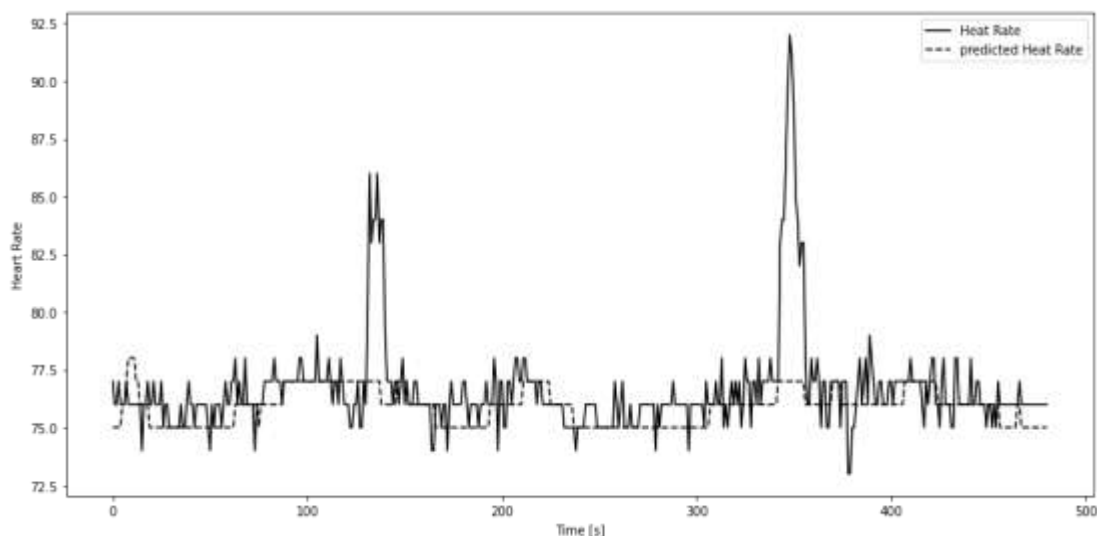
الشكل (20) نتيجة اختبار خوارزمية انحدار أشعة الدعم على العينة الثانية



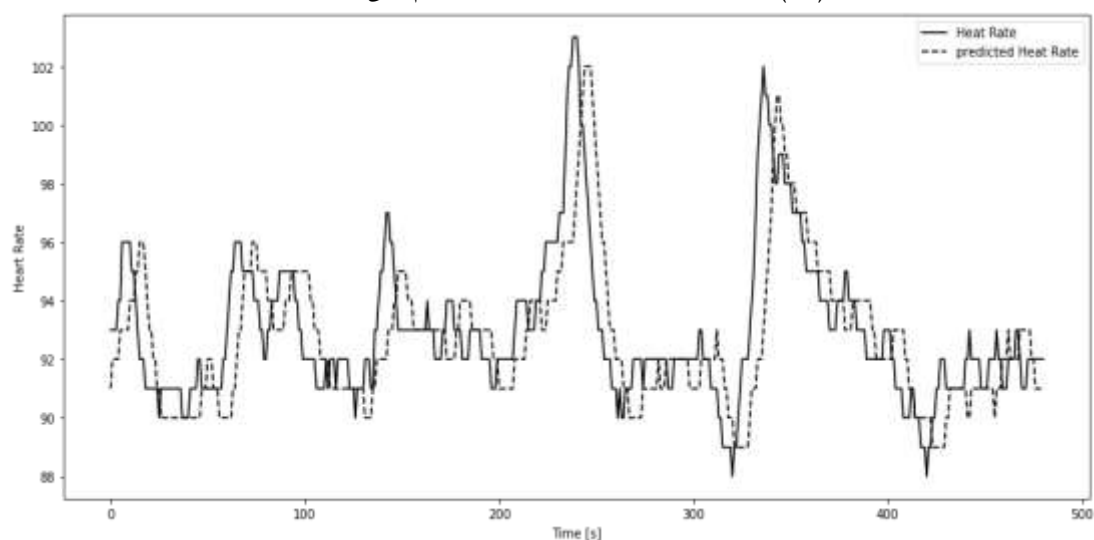
الشكل (21) نتيجة اختبار خوارزمية انحدار أشعة الدعم على العينة الثالثة



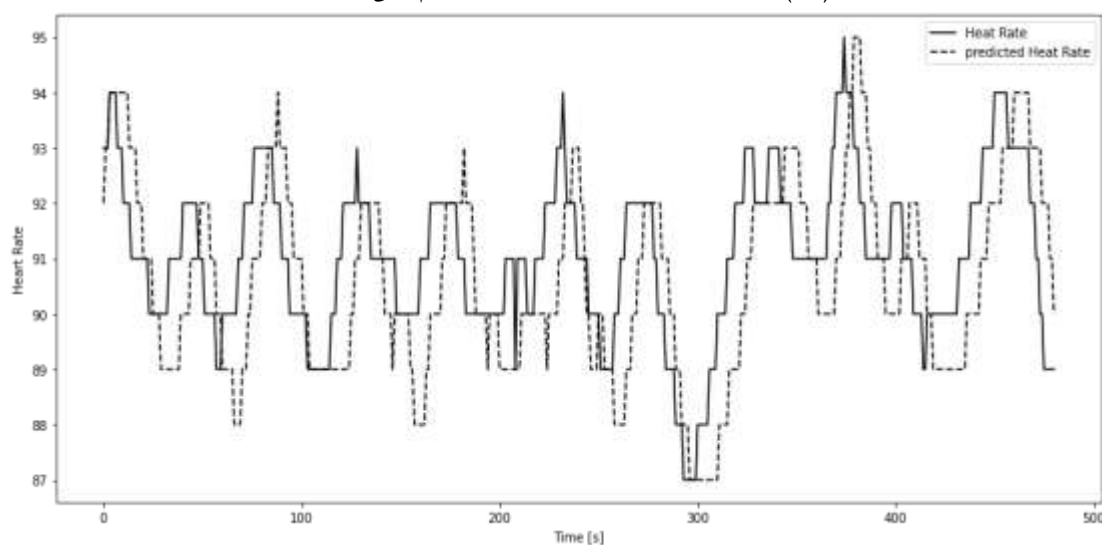
الشكل (22) نتيجة اختبار خوارزمية انحدار أشعة الدعم على العينة الرابعة



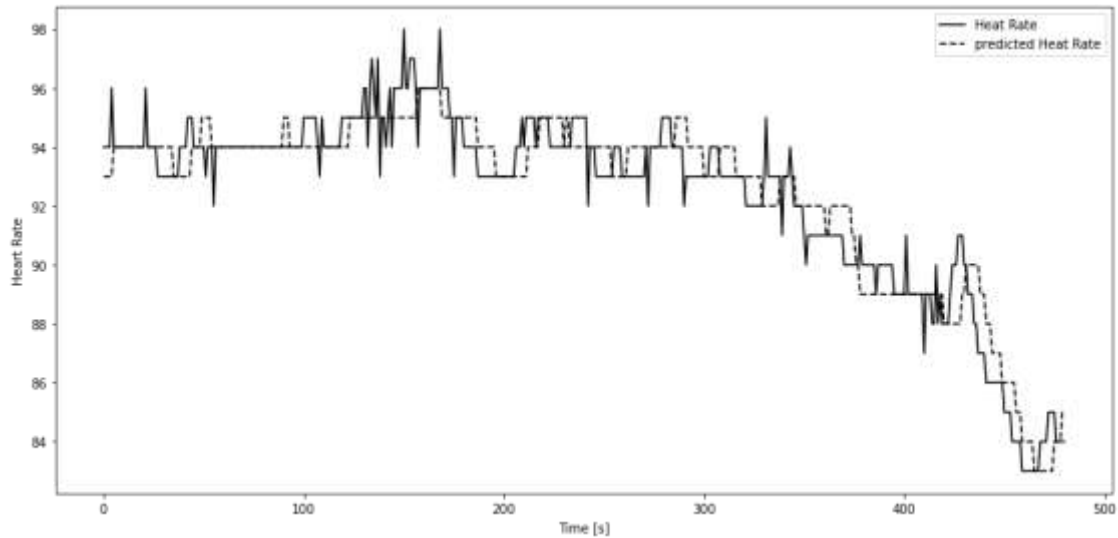
الشكل (23) نتيجة اختبار خوارزمية انحدار أشعة الدعم على العينة الخامسة



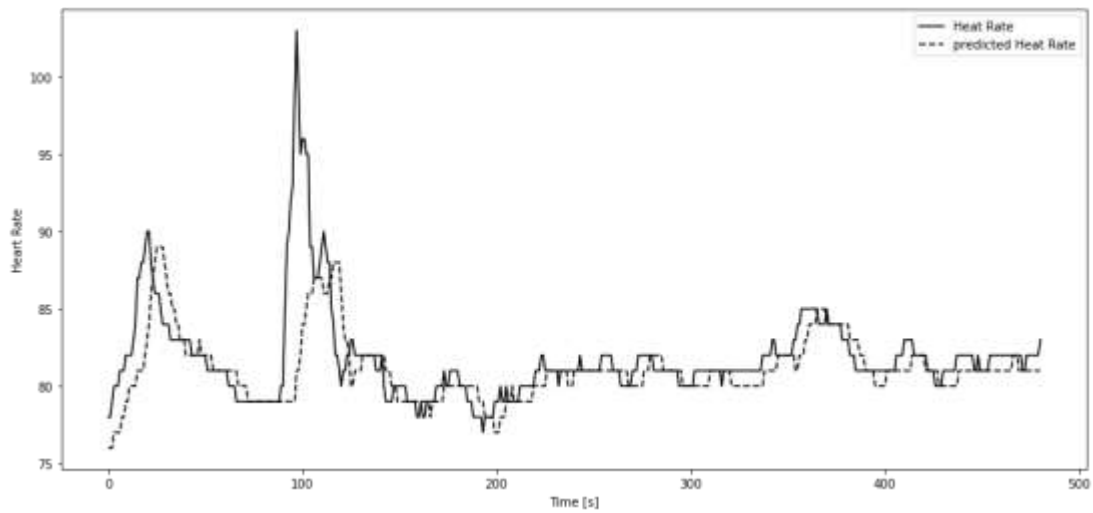
الشكل (24) نتيجة اختبار خوارزمية انحدار أشعة الدعم على العينة السادسة



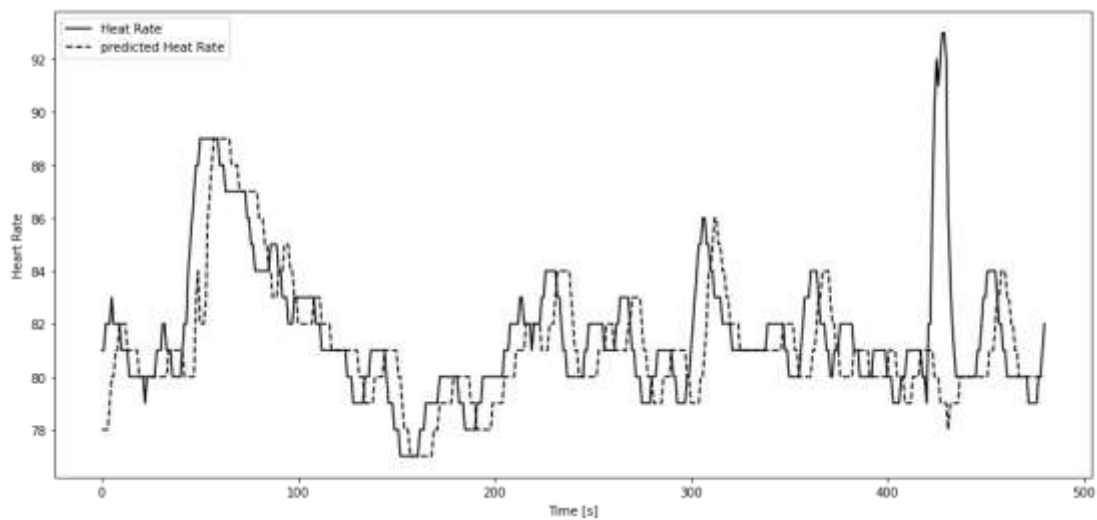
الشكل (25) نتيجة اختبار خوارزمية انحدار أشعة الدعم على العينة السابعة



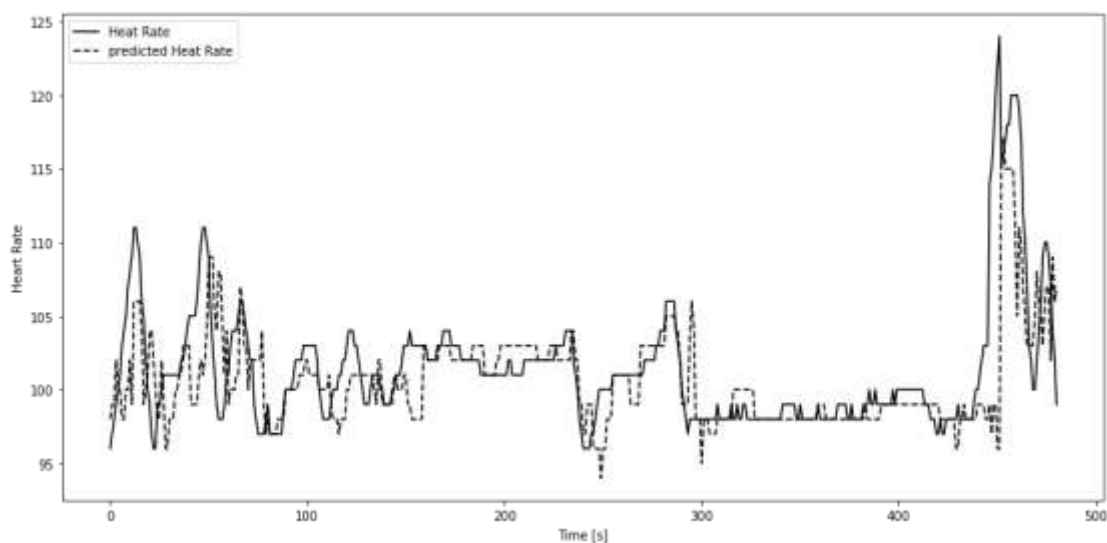
الشكل (26) نتيجة اختبار خوارزمية انحدار أشعة الدعم على العينة الثامنة



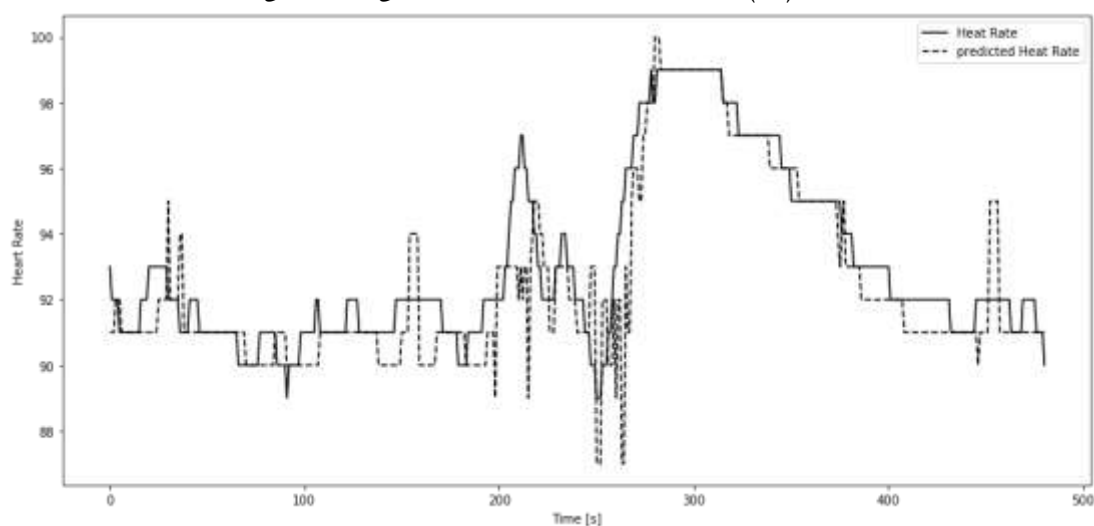
الشكل (27) نتيجة اختبار خوارزمية انحدار أشعة الدعم على العينة التاسعة



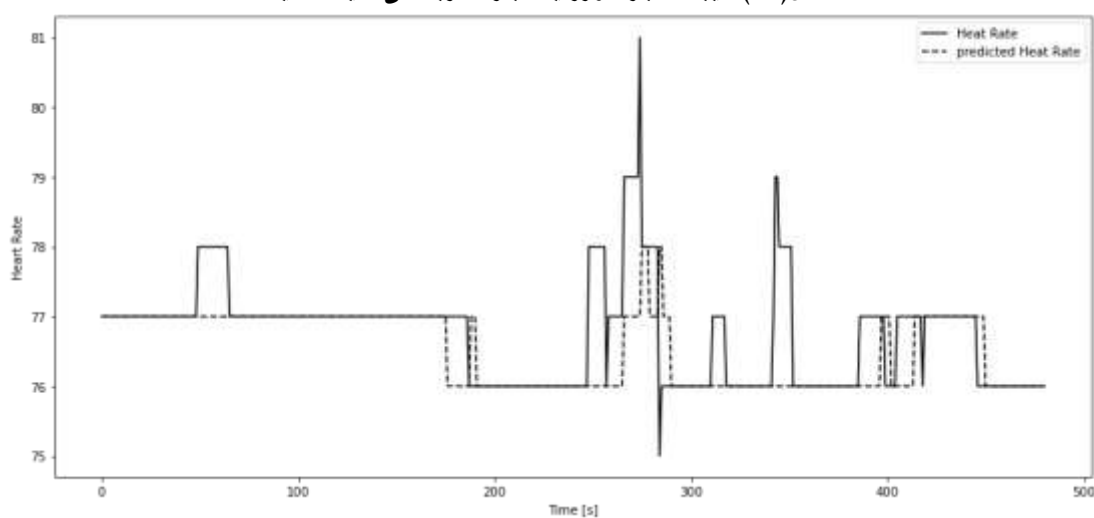
الشكل (28) نتيجة اختبار خوارزمية انحدار أشعة الدعم على العينة العاشرة



الشكل (29) نتيجة اختبار خوارزمية الجار الأقرب على العينة الأولى

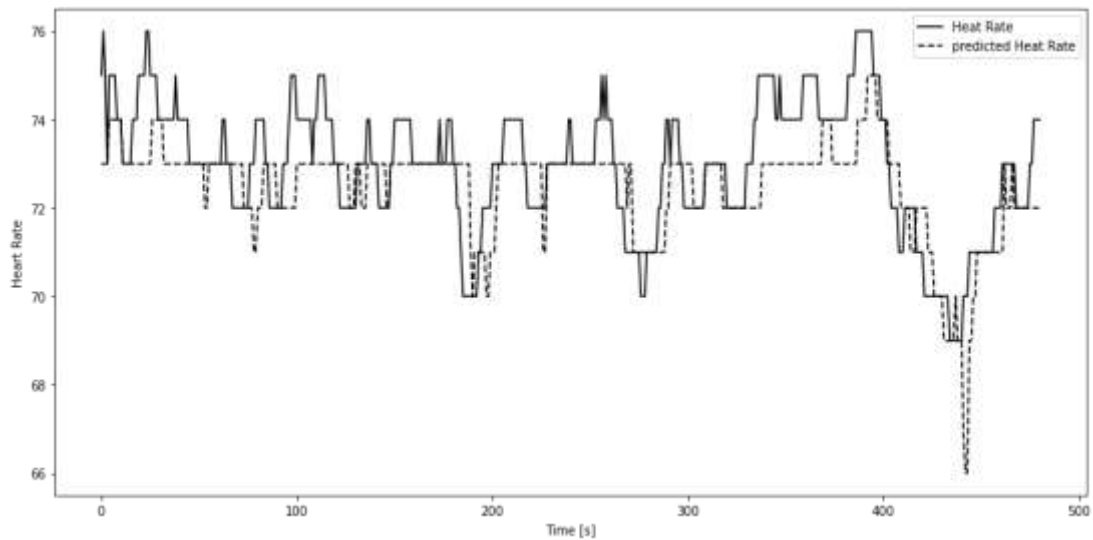


الشكل (30) نتيجة اختبار خوارزمية الجار الأقرب على العينة الثانية

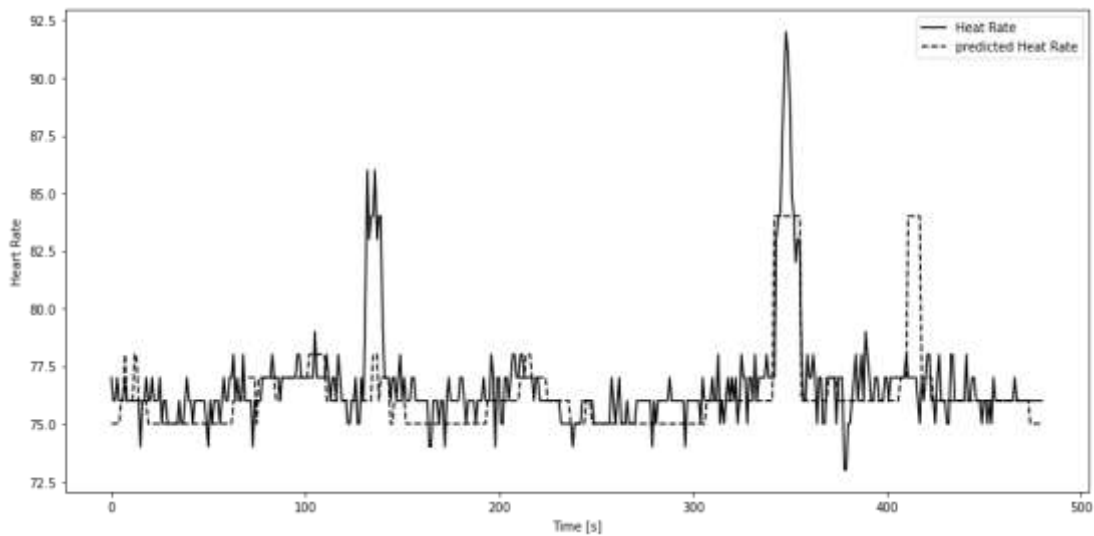


الشكل (31) نتيجة اختبار خوارزمية الجار الأقرب على العينة الثالثة

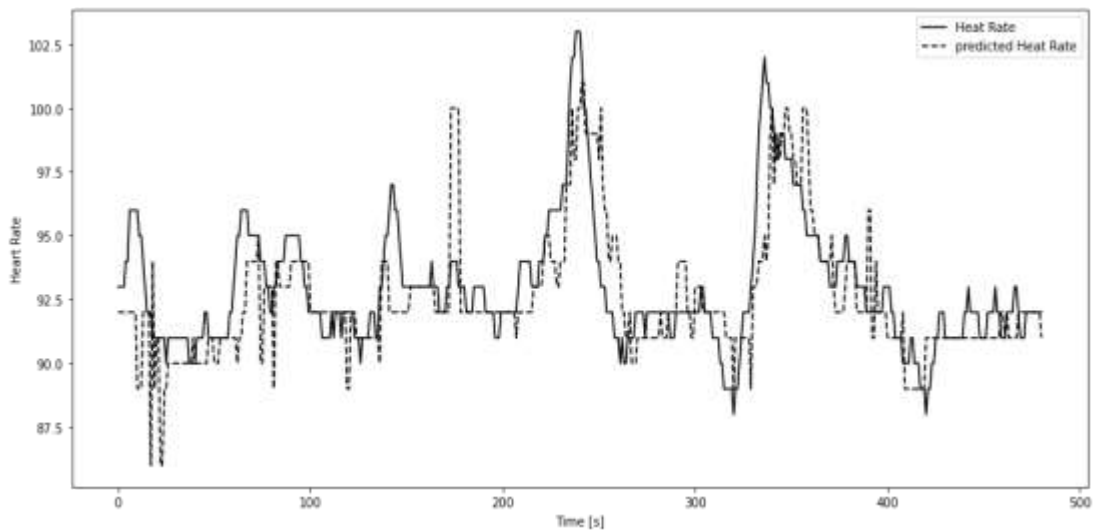




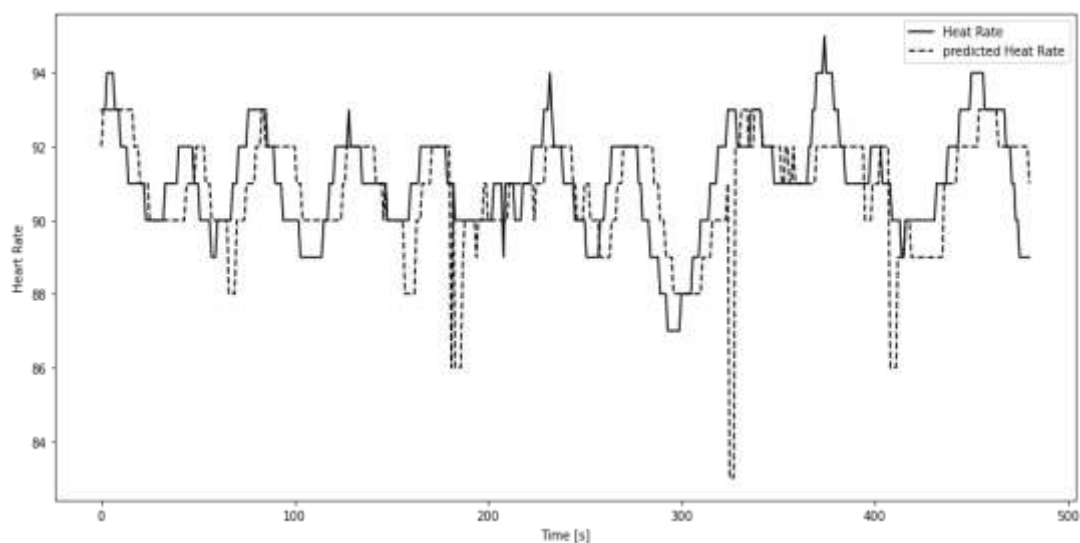
الشكل (32) نتيجة اختبار خوارزمية الجار الأقرب على العينة الرابعة



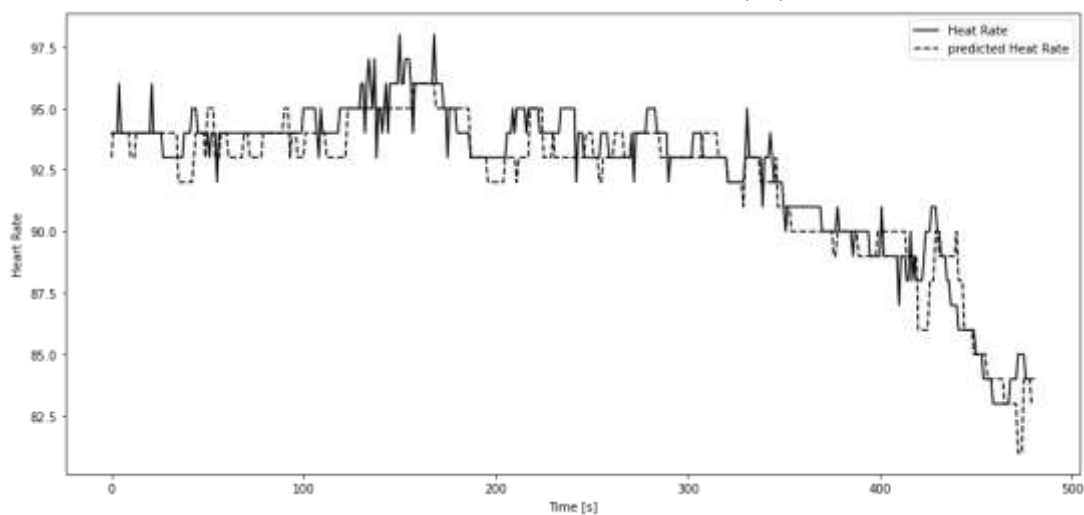
الشكل (33) نتيجة اختبار خوارزمية الجار الأقرب على العينة الخامسة



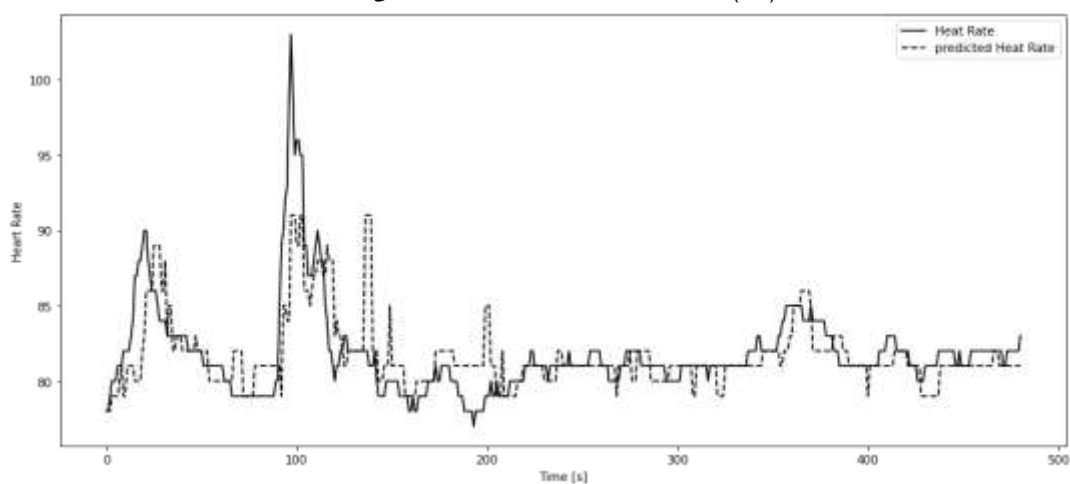
الشكل (34) نتيجة اختبار خوارزمية الجار الأقرب على العينة السادسة



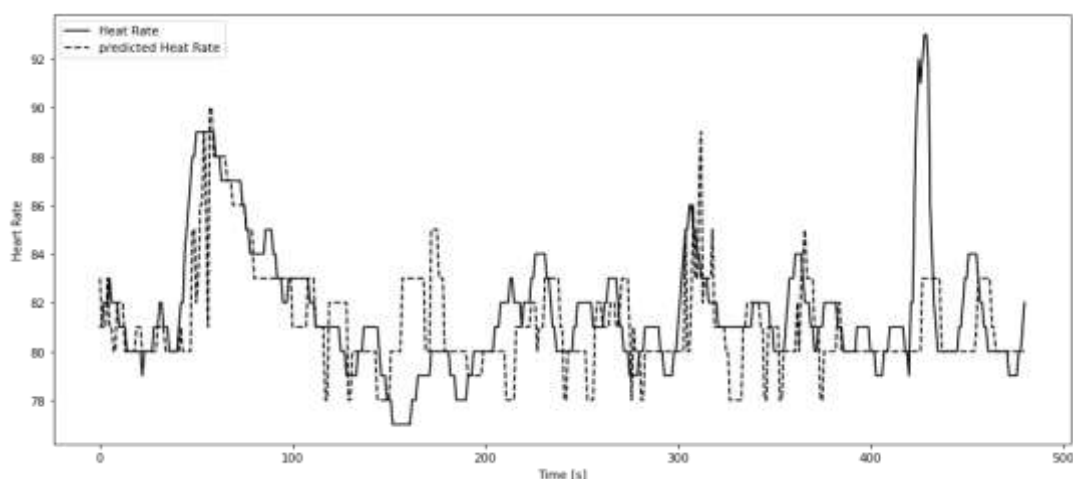
الشكل (35) نتيجة اختبار خوارزمية الجار الأقرب على العينة السابعة



الشكل (36) نتيجة اختبار خوارزمية الجار الأقرب على العينة الثامنة



الشكل (37) نتيجة اختبار خوارزمية الجار الأقرب على العينة التاسعة



الشكل (38) نتيجة اختبار خوارزمية الجار الأقرب على العينة العاشرة

يبين الجدول (1) متوسط القيمة المطلقة لتابع الخطأ في عدد ضربات القلب الصناعي المتنبأ بها من أجل عينات الاختبار لعشرة أشخاص من مجموعة البيانات المعتمدة.

الجدول (1) متوسط القيمة المطلقة لتابع الخطأ في عدد ضربات القلب الصناعي المتنبأ بها من أجل عينات الاختبار الثلاث.

متوسط القيمة المطلقة لتابع الخطأ في عدد ضربات القلب الصناعي المتنبأ بها										الخوارزمية
العينة الأولى	العينة الثانية	العينة الثالثة	العينة الرابعة	العينة الخامسة	العينة السادسة	العينة السابعة	العينة الثامنة	العينة التاسعة	العينة العاشرة	
[نبضة]	[نبضة]	[نبضة]	[نبضة]	[نبضة]	[نبضة]	[نبضة]	[نبضة]	[نبضة]	[نبضة]	
1.448	0.848	1.05	1.66	1.502	1.464	1.183	0.082	1.744	1.687	الإنحدار الخطي
1.189	1.02	0.96	0.956	1.061	1.483	1.238	0.743	1.326	1.57	إنحدار أشعة الدعم
1.995	0.781	0.542	0.819	0.967	1.254	1.071	0.765	1.446	1.612	الجار الأقرب

تم في هذا البحث تدريب نظام القلب الصناعي وفق خوارزميات تعلم الآلة المذكورة سابقاً، وتم الحصول على النتائج المبينة في الجدول (2).

الجدول (2) مقارنة أداء خوارزميات تعلم الآلة المدروسة على ضربات القلب الصناعي.

الخوارزمية	متوسط الدقة [%]	متوسط القيمة المطلقة لتابع الخطأ [نبضة]
الإنحدار الخطي	93.069	1.734
إنحدار أشعة الدعم	94.681	1.543
الجار الأقرب	96.852	1.273

يلاحظ من الجدول (2) أن خوارزمية الجار الأقرب أعطت أقل قيمة لمتوسط القيمة المطلقة لتابع الخطأ وهي 1.273 نبضة وتعتبر قيمة جيدة مقارنة مع الدراسة المرجعية [15] التي تنبأت بمعدل ضربات القلب الطبيعي عبر الانترنت باستخدام جهاز يمكن ارتداؤه في المعصم حيث أعطت متوسط القيمة المطلقة لتابع الخطأ 2.89 نبضة.

### الاستنتاجات والتوصيات:

- استخدم في هذا البحث ثلاث خوارزميات من خوارزميات تعلم الآلة وهي خوارزمية الإنحدار الخطي، خوارزمية إنحدار أشعة الدعم، خوارزمية الجار الأقرب من أجل التنبؤ بضربات القلب الصناعي وتم التوصل إلى الآتي:
- أعطى استخدام خوارزمية الإنحدار الخطي في تدريب القلب الصناعي متوسط دقة في عدد ضربات القلب الصناعي المنتبأ بها قيمته 93.069%، ومتوسط قيمة مطلقة لتابع الخطأ قيمته 1.734 نبضة.
- أدى استخدام خوارزمية إنحدار أشعة الدعم في تدريب القلب الصناعي إلى الحصول على متوسط دقة في عدد ضربات القلب الصناعي المنتبأ بها قيمته 94.681%، ومتوسط قيمة مطلقة لتابع الخطأ قيمته 1.543 نبضة.
- إن استخدام خوارزمية الجار الأقرب في تدريب القلب الصناعي أعطى متوسط دقة في عدد ضربات القلب الصناعي المنتبأ بها قيمته 96.852%، ومتوسط قيمة مطلقة لتابع الخطأ قيمته 1.273 نبضة.
- وجد أن خوارزمية الجار الأقرب أعطت أعلى متوسط دقة للتنبؤ بعدد ضربات القلب الصناعي وقيمتها 96.852% وأقل قيمة لمتوسط القيمة المطلقة لتابع الخطأ وهي 1.273 نبضة بالمقارنة مع خوارزميات تعلم الآلة الأخرى المستخدمة في هذا البحث.
- تم في هذه الدراسة اقتراح نظام للتنبؤ بعدد ضربات القلب الصناعي بالاعتماد على مستوى تشبع الدم بالأكسجين ومعدل التنفس ومعدل النبض، وهذا النظام يمكن تطبيقه عملياً في حالة أن تلك القياسات متوافرة بشكل آني وذلك عند استخدام القلب الصناعي لفترة مؤقتة عند إجراء النشاطات الروتينية الخفيفة.
- تعتبر هذه الدراسة فريدة لكون الأنظمة المتوافرة تنبأت بضربات القلب الطبيعي وليس القلب الصناعي، كما أمكن الوصول إلى قيمة متوسط القيمة المطلقة لتابع الخطأ أقل من تلك الأنظمة التي تنبأت بضربات القلب الطبيعي [15].
- يمكن العمل مستقبلاً على التنبؤ بضربات القلب الصناعي مع أخذ المزيد من العلامات الحيوية للجسم مثل ضغط الدم.
- يمكن العمل مستقبلاً على ربط النظام لمراقبة العلامات الحيوية للجسم عن طريق شبكة إنترنت الأشياء.

### References:

- [1] <<https://www.mayoclinic.org/ar/tests-procedures/heart-transplant/about/pac-20384750>> (Online; accessed January 2, 2020).
- [2] <<https://www.bumrungrad.com/ar/conditions/arrhythmia-irregular-heart-beat>> (Online; accessed April 28, 2020).
- [3] DI,Y; DONGPING,D; HUI,Y and YICHENG,T. *Parallel Computing Simulation of Electrical Excitation and Conduction in the 3D Human Heart*. Proceedings of IEEE Engineering in Medicine and Biology Society Conference, Boston, MA, 2014.
- [4] KARAR, M . *Practical Microcontroller-Based Simulator of Graphical Heart Sounds with Disorders*. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society Conference, Alexandria, Egypt, 2017.

- [5] AABID.M; ELAKKARY.A and SEFIANI.N. *Stabilization of Human Heart Using PID Controller*. Journal of Theoretical and Applied Information Technology. Vol.92, No.1, 15th October 2016, p.543- 554.
- [6] Yuchi.M. *Heart Rate Prediction Based on Physical Activity using Feedforward Neural Network*. International Conference on Convergence and Hybrid Information Technology, 2008.
- [7] Špetlík.R; ČECH.V; JAN.C and MATAS.J. *Visual Heart Rate Estimation with Convolutional Neural Network*. ŠPETLÍK, FRANC, ČECH, 2017.
- [8] <<http://www.stat.yale.edu/Courses/1997-98/101/linreg.htm>> (Online; accessed July 6, 2020).
- [9] SETHI.A. *Support Vector Regression Tutorial for Machine Learning*. Journal of Dalian Maritime University, Vol.24, 2020, 17-23.
- [10] Singh. A, *A practical introduction to k-nearest neighbors algorithm for regression*, Journal of Dalian Maritime University, Vol.23, 2018, 11-19.
- [11] PIMENTEL.F. *Towards a Robust Estimation of Respiratory Rate from Pulse Oximeters*. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 64(8), pp.1914-1923, 2019.
- [12] <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3668100/>> (Online; accessed August 9, 2021).
- [13] <<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/mean-absolute-error>> (Online; accessed August 9, 2020).
- [14] [https://phys.libretexts.org/Bookshelves/College\\_Physics/Book%3A\\_College\\_Physics\\_\(OpenStax\)/01%3A\\_The\\_Nature\\_of\\_Science\\_and\\_Physics/1.03%3A\\_Accuracy\\_Precision\\_and\\_Significant\\_Figures](https://phys.libretexts.org/Bookshelves/College_Physics/Book%3A_College_Physics_(OpenStax)/01%3A_The_Nature_of_Science_and_Physics/1.03%3A_Accuracy_Precision_and_Significant_Figures)> (Online; accessed July 9, 2020).
- [15] MCCONVILLE.R; ARCHER.G; CRADDOCK.L, HORST.H; PIECHOCKI.R; POPE.J and SANTOS-RODRIGUEZ.R. *Online Heart Rate Prediction using Acceleration from a Wrist Worn Wearable*. arXiv:1807.04667v1 [stat.AP] 25 Jun 2018.