

بناء مخطط فوريونوي لمجموعة من النقاط باستخدام

خوارزمية الحوت الأمثل

الباحثة: د. سمر الحلبي

مشرف على الأعمال - قسم هندسة البرمجيات ونظم المعلومات

كلية الهندسة المعلوماتية - جامعة البعث

الملخص:

سنعرض في هذه المقالة طريقة جديدة تُستخدم لحل مسألة من أهم المسائل المطروحة في مجال الحوسبة الهندسية (Computational Geometry) تدعى مسألة بناء مخطط فوريونوي لمجموعة من النقاط في المستوى، وتعتبر تطبيقات هذه المسألة عديدة نذكر منها في مجال التخطيط، توزيع الموارد، رباتيك، ...

تهدف هذه الدراسة إلى بناء مخطط فوريونوي لمجموعة نقاط بطريقة جديدة سهلة باستخدام خوارزمية الحوت الأمثل (Whale Optimization Algorithm) وذلك للاستفادة من هذه الخوارزمية وإمكانياتها في مجال التصنيف (Classification).

كما سنوضح في هذا المقالة حياة الحوت في العالم الحقيقي وخوارزمية الحوت الأمثل وتطبيقاتها، من ثم نتائج تطبيق هذه الخوارزمية على مسألتنا (بناء مخطط فوريونوي لمجموعة من النقاط في المستوى)، وبعد ذلك سنقدم دراسة تحليلية لمعرفة مدى فعالية هذه الخوارزمية.

الكلمات المفتاحية: الحوسبة الهندسية، مخطط فوريونوي، خوارزميات الحل الأمثل، خوارزمية الحوت الأمثل.

Construct Voronoi Diagram of a set of points using Whale Optimization Algorithm

Abstract:

In this article, we will propose a new method, which handles one of the most important problems in the “Computational Geometry”, called “Construct Abstract Voronoi Diagram of a set of points in a plan”. This problem has several applications in many domains such as planning, distributed resources, and robotics ...

The goal of this study is to construct Voronoi Diagram in a new easy method. We propose using whale optimization algorithm as it is a powerful in “Classification”.

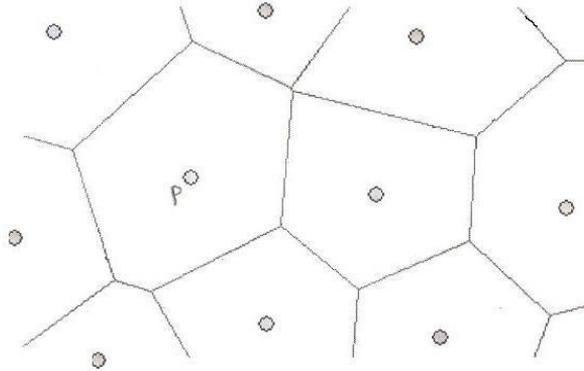
As well as we will explain the whales in nature, whale optimization algorithm (WOA) and its applications, in addition to the results with construct Voronoi Diagram.

Finally we will show the efficiently of this method according to the analyzation.

Keywords: Computational Geometry, Voronoi Diagram, Optimization Algorithm, Metaheuristic Algorithms, Whale Optimization Algorithm (WOA).

1. مقدمة:

تعتبر الحوسبة الهندسية (Computational Geometry) من أحد فروع علوم الحاسوب، حيث تهتم بدراسة خوارزميات لحل مسائل ذات طبيعة هندسية، وتستخدم هذه الخوارزميات في العديد من العلوم مثل بحوث العمليات (Operations Research)، الروبوتيك (Robotics)، البيانيات (Computer Graphic)، ... من أشهر المسائل المدروسة في هذا المجال مسألة مخطط فورونوي (Abstract Voronoi Diagram) [8][9][10]، والتي تعرف بأنها عملية تقسيم المستوي إلى خلايا بواسطة عدد من النقاط (مراكز فورونوي) في المستوي وذلك بالاعتماد على القاعدة الرياضية والتي تدعى قاعدة أقرب جار (The Nearest Neighbor)، فمثلاً في الشكل-1 يمثل (المركز P) المركز الأقرب بالنسبة لنقاط الخلية المتواجدة فيها مقارنة مع نقاط الخلايا الأخرى.



الشكل-1-يمثل مخطط فورونوي لمجموعة من المراكز، بحيث يمثل المركز p خلية

تحتوي النقاط الأقرب إلى P من بقية المراكز

تستخدم مسألة بناء مخطط فورونوي لمجموعة من النقاط في العديد من التطبيقات منها:

- تطبيق الاستفسار عن الجار الأقرب: يُمثل هذا التطبيق إحدى أهم مسائل بنى المعطيات في الحوسبة الهندسية [16] [17]، حيث تعطى مجموعة المعطيات P ونقطة الاستفسار q وعندئذ يحدد الجار الأقرب من المجموعة P إلى q انطلاقاً من الحسابات الأولية لمخطط فورونوي.

- تطبيق مسألة مكتب البريد (The post office problem) [6] : تُعتبر هذه المسألة من أهم المسائل العملية المطروحة والتي طرحت بالشكل التالي، تم افتتاح سلسلة من مكاتب البريد في مدينة ما، ونريد افتتاح فرع جديد في موقع ما من المدينة، لحل هذه المسألة انطلاقاً من دراسة التوزيع السكاني واهتمام السكان بإرسال الرسائل، تم تقسيم المساحة الكلية للمدينة إلى مناطق تتمثل بمناطق فوريونوي حيث أن السكان التي تعيش في نفس المنطقة جميعها تذهب إلى نفس مكتب البريد الممثل بمركز المنطقة وهو المركز الأقرب لهذه المنطقة مقارنة مع المركز الأخرى. (الشكل-2)



الشكل-2-مسألة مكتب البريد

- تخطيط الحركة Motion Planning [13]: تحدد مسار آمن لرجل آلي في محيط يحوي العديد من العوائق.
- مسألة التصميم المعماري [3]: تهدف إلى الاستفادة من القيم الجمالية والتشكيلية لمخططات فوريونوي في ابتكار تصميمات خرفية جديدة.

2. هدف البحث:

يهدف البحث إلى عرض خوارزمية جديدة لبناء مخطط فوريونوي لمجموعة من النقاط مستخدمين إحدى خوارزميات الحل الأمثل والتي تدعى خوارزمية الحوت الأمثل وذلك للاستفادة من ميزاتهما في التصنيف.

كما سيتناول البحث عرض دراسة تحليلية لمعرفة مدى فعالية الخوارزمية المقترحة، ومن ثم مقارنة الخوارزمية المقترحة مع الخوارزمية المقدمة في المرجع [11] من حيث زمن التنفيذ.

3. تعريف مخطط فوريونوي لمجموعة من النقاط بشكل رياضي: [6]

يمثل مخطط فوريونوي لمجموعة من النقاط N في المستوي عملية تقسيم المستوي إلى N خلية مضلعة تحوي كل منها إحدى نقاط المجموعة N ، وتحقق كل نقطة قاعدة أقرب جار بالنسبة لنقاط الخلية المنتمية لها مقارنة مع باقي نقاط المجموعة N ، أي من أجل، فإن كل خلية $V(p_i)$ من خلايا مخطط فوريونوي للمراكز p_i تعرف بالعلاقة التالية:

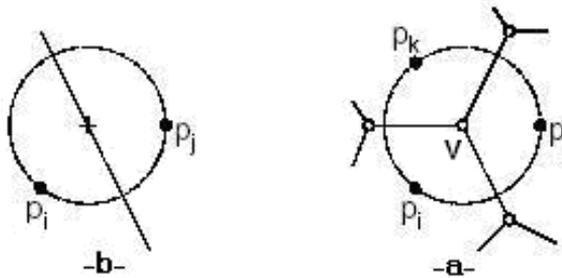
$$V(p_i) = \{x : \|x - P_i\| \leq \|x - P_j\|, i \neq j \text{ for } i, j \in I_n\}$$

حيث إن:

$$\|x - P_i\| \text{ تمثل المسافة بين النقطة } x \text{ والمركز } P_i, 2 \leq n \leq N$$

نلاحظ من خلال هذا التعريف أن مخطط فوريونوي يمثل بيان رؤوسه هي مراكز خلايا المخطط وحوافه حواف هذه الخلايا، بالإضافة إلى أن المخطط يحقق الخواص التالية:

- يمثل كل رأس v من مخطط فوريونوي لمجموعة النقاط P مركز دائرة تمر من خلال النقاط الثلاث الأقرب لـ v ، ولا تحوي أي مركز ضمنها. (الشكل-3-3-a-)
- إذا كانت p_i المركز الأقرب لـ p_j فإن الخليتين $V(p_i)$ و $V(p_j)$ متجاورتين ويتشاركان بحافة. (الشكل-3-3-b-)



الشكل-3-3-a- يوضح تعريف كل رأس من رؤوس مخطط فوريونوي

-b- يوضح تعريف الضلع في مخطط فوريونوي

4. بعض الدراسات السابقة لبناء مخطط فورونوي لمجموعة من النقاط:

قدم العالمان Shamos, Hoey [16] خوارزمية تعتمد مبدأ فرق تسد (Dived and conquer algorithm) لبناء مخطط فورونوي لمجموعة النقاط n بزمن $O(n \log n)$ وذلك من خلال تقسيم مجموعة النقاط إلى مجموعتين جزئيتين متساويتين A و B بواسطة مستقيم شاقولي، ثم حساب مخطط فورونوي معتمداً مفهوم العودية لكل من المجموعتين الجزئيتين A و B ، ومن ثم دمج مخططي فورونوي الجزئيين لنحصل على مخطط فورونوي النهائي .

قدم العالم Fortune [6] خوارزمية لبناء مخطط فورونوي لمجموعة من النقاط تعتمد مبدأ مسح المستوى بواسطة مستقيم أفقي من الأعلى إلى الأسفل وتدعى هذه الخوارزمية بخوارزمية مسح المستقيم (A sweep line algorithm) وبزمن تنفيذ $O(n \log n)$ بينما المرجع [10] تم إيجاد خوارزمية ديناميكية عشوائية لبناء مخطط فورونوي لمجموعة من النقاط مستخدماً البنية (Influence Directed Acyclic Graph) I-DAG، وذلك بزمن تعديل وسطي $O(\log n)$ ، وبحجم ذاكرة وسطي $O(n)$ لمجموعة من النقاط n وبزمن تنفيذ $O(n \log n)$.

المرجع [11] تم استخدام خوارزمية النحل لبناء مخطط فورونوي لمجموعة من النقاط، مع دراسة تحليلية لزمن تنفيذ الخوارزمية المقترحة.

سنقدم في هذه المقالة خوارزمية جديدة لبناء مخطط فورونوي لمجموعة من النقاط في المستوى بالاعتماد على خوارزمية الحل الأمثل والتي تدعى خوارزمية الحوت الأمثل.

5. خوارزميات الحل الأمثل (Optimization Algorithms): [4] [14]

أصبحت خوارزميات الحل الأمثل أكثر رواجاً في التطبيقات الهندسية وذلك لاعتمادها على مفاهيم بسيطة نوعاً ما وسهولة التنفيذ، بالإضافة إلى استخدامها في مجموعة واسعة من المسائل في مختلف التخصصات.

تحل هذه الخوارزميات المستوحاة من الطبيعة مسائل تتطلب حل أمثلي من خلال محاكاة الظواهر البيولوجية أو الفيزيائية، ويمكن تجميع هذه الخوارزميات في أربع فئات رئيسية:

1. الخوارزميات المعتمدة على التطور (evolution-based algorithm).
2. الخوارزميات المعتمدة على الفيزياء (physics-based algorithm).

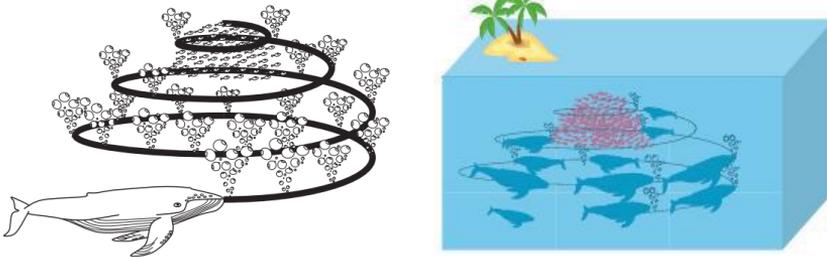
3. الخوارزميات المعتمدة على المجموعات (swarm-based algorithm) .
4. الخوارزميات المعتمدة على التصرف البشري (human-based algorithm) .
6. خوارزمية الحوت الأمثل (Whale Optimization Algorithm(WOA)) :
تدرج خوارزمية الحوت الأمثل ضمن فئة الخوارزميات المعتمدة على المجموعات وهي خوارزمية جديدة مقترحة من قبل Mirjalili و Lewis في عام 2016 وتحاكي سلوك الحيتان الحدباء في بحثها عن الطعام والصيد.

6-1- حياة الحوت في عالمنا الحقيقي: [15]

تعد الحيتان أكبر الثدييات حجماً، حيث يمكن أن يصل الحوت إلى 30 م بالطول و180طن بالوزن .

تعتبر الحيتان حيوانات ذكية للغاية مع العاطفة التي تمتلكها، حيث تمتلك خلايا شائعة في مناطق معينة من أدمغتها مماثلة لتلك الموجودة في خلايا الإنسان التي تسمى خلايا المغزل وهي خلايا مسؤولة عن الحكم، العواطف، والسلوكيات الاجتماعية عند البشر. الحيتان لها ضعف هذا العدد من الخلايا من الإنسان البالغ الذي هو السبب الرئيسي في ذكائهم .وقد ثبت أن الحوت يمكن أن يفكر، يتعلم، ويحكم، يتواصل، وتصبح عاطفية كما هو حال الإنسان، ولكن طبعاً مع مستوى أقل بكثير من الذكاء . من أكبر أنواع الحيتان هو الحوت الأحدب، يعتمد الحوت الأحدب على طريقة صيد خاصة تدعى بطريقة التغذية باستخدام شبكة الفقاعات.

تفضل الحيتان الحدباء اصطياد الأسماك الصغيرة بالقرب من السطح، ويتم ذلك من خلال خلق فقاعات مميزة على طول دائرة أو مسار على شكل "9" كما في الشكل-4-



الشكل-4- سلوك تغذية الحوت الأحدب باستخدام شبكة الفقاعات

تغوص الحيتان الحدباء في عمق 12 متر تقريباً ثم تبدأ في تكوين فقاعات على شكل حلزوني حول الفريسة والسباحة نحو السطح. تتضمن المناورة اللاحقة ثلاث مراحل مختلفة هي: حلقة المرجان، حلقة الذيل، وحلقة الالتقاط. تجدر الإشارة هنا إلى أن شبكة الفقاعات فريدة من نوعها وهذا السلوك لا يمكن ملاحظته إلا في الحيتان الحدباء.

6-2- النموذج الرياضي لخوارزمية الحوت الأمثل: [2] [1]

يقسم النموذج الرياضي لخوارزمية الحوت الأمثل إلى ثلاث مراحل:

1- تطويق الفريسة (Encircling prey):

يستطيع الحوت الأحذب التعرف على موقع الفريسة وتطويقها، ويتم تعريف هذا السلوك بالمعادلتين التاليتين (1) و (2)

$$\vec{D} = \left| \vec{C} \cdot \vec{X}^*(t) - \vec{X}(t) \right| \dots\dots\dots(1)$$

$$\vec{X}(t+1) = \vec{X}^*(t) - \vec{A} \cdot \vec{D} \dots\dots\dots(2)$$

حيث إن:

t تشير إلى التكرار الحالي، \vec{X}^* هي شعاع الموقع لأفضل حل تم الحصول عليه إلى الآن، \vec{X} هي شعاع الموقع، \vec{A} و \vec{C} شعاعين للمعاملات، نستخدم القيمة المطلقة وعملية (.) الجداء عنصر إلى عنصر، و من الجدير بالذكر هنا أنه يجب أن يتم تحديث قيمة X^* في كل تكرار إذا تم إيجاد حل أفضل.

يمكن حساب كلاً من \vec{A} و \vec{C} وفقاً للمعادلتين التاليتين (3) و (4)

$$\vec{A} = 2\vec{a} \cdot \vec{r} - \vec{a} \dots\dots\dots(3)$$

$$\vec{C} = 2 \cdot \vec{r} \dots\dots\dots(4)$$

حيث إن:

قيمة a تتناقص خطياً من القيمة 2 إلى القيمة 0 عبر التكرارات (في كلاً من مرحلتي الاستغلال والاكتشاف)، أما قيمة r فهي شعاع عشوائي ضمن المجال

[0,1]

2- طريقة الهجوم باستخدام شبكة الفقاعات

(مرحلة الاستغلال (Bubble –net method attacking):

لتمثيل النموذج الرياضي لسلوك الهجوم بالفقاعات للحوت تم تقديم تقنيتين كما يلي:

• تقنية تقليص الدوائر (Shrinking encircling mechanism):

يتم تحقيق هذا السلوك عن طريق تناقص قيمة \vec{a} في المعادلة (3)، وأن \vec{a} تحسب بالمعادلة (5):

$$a = 2 - t \frac{2}{MaxIter} \dots\dots\dots(5)$$

حيث إن:

t تشير إلى التكرار الحالي، MaxIter يمثل أكبر عدد مسموح به من التكرارات.

• تقنية تحديث المواقع بشكل حلزوني (Spiral updating position):

يتم تحقيق الشكل "9" أو الشكل الحلزون من خلال المعادلة (6) و (7)

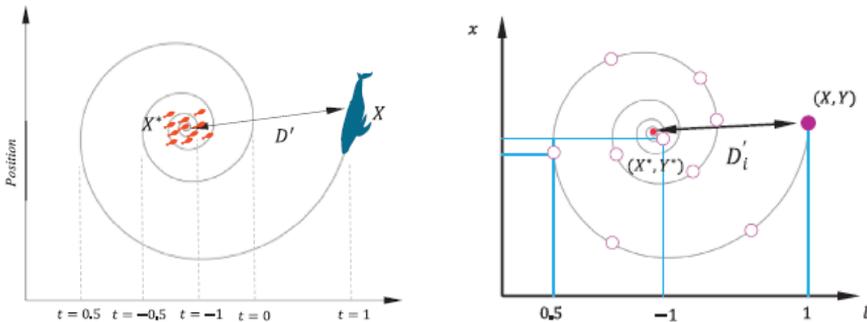
$$\vec{X}(t + 1) = \vec{D} \cdot e^{bl} \cdot \cos(2\pi l) + \vec{X}^*(t) \dots\dots\dots(6)$$

حيث إن:

$$\vec{D} = |\vec{X}^*(t) - \vec{X}(t)| \dots\dots\dots(7)$$

ويشير \vec{D} للمسافة الفاصلة بين i من الحيتان والفريسة (أي أفضل حل تم الحصول عليه حتى الآن).

أما بالنسبة إلى b فهي ثابت لتعريف الشكل الحلزوني اللوغاريتمي، ا قيمة عشوائية تقع ضمن المجال [-1,1]. ويوضح الشكل-5- الموقع المحدد حلزونياً.



الشكل-5- يوضح الموقع المحدد حلزونياً

لاحظ أن الحيتان الحدباء تسبح حول الفريسة وفقاً لدوائر متقلصة وبمسار حلزوني في آن معاً، بالتالي من أجل نمذجة هذا السلوك رياضياً سوف نفترض أن هناك احتمال % 50 ليتم الاختيار بين تقنيتي المسار الحلزوني أو تقليص الدوائر وذلك لتحديث مواقع الحيتان، كما هو موضح في المعادلة (8)

$$\vec{X}(t + 1) = \begin{cases} \vec{X}^*(t) - \vec{A} \cdot \vec{D} & \text{if } p < 0.5 \\ \vec{D} \cdot e^{bl} \cdot \cos(2\pi l) + \vec{X}^*(t) & \text{if } p \geq 0.5 \end{cases} \dots\dots(8)$$

حيث إن p هو احتمال يقع ضمن المجال [0,1]

3- البحث عن الفريسة (مرحلة الاستكشاف Search for prey):

في الواقع، آلية البحث المستخدمة عند الحيتان الحدباء هي عملية عشوائية وفقاً لمواقعهم نسبة إلى بعضهم البعض، ولذلك نعلم على قيم عشوائية للشعاع \vec{A} تكون أكبر من 1 أو أصغر -1 لإجبار العنصر الباحث أن يتحرك بعيداً عن الحوت المرجعي، على عكس مرحلة الاستغلال نقوم بتحديث مواقع الحيتان، في مرحلة الاستكشاف وفقاً لاختيار عشوائي عوضاً عن تحديث المواقع وفقاً للحوت الأفضل أي يمكننا القول إذا كانت قيمة $|\vec{A}| > 1$ هذا يعني أننا في مرحلة استكشاف

ونقوم بعملية بحث عام يمكن توضيحها رياضياً كما في المعادلتين (9) و (10)

$$\vec{D} = |\vec{C} \cdot \vec{X}_{rand} - \vec{X}| \dots\dots\dots(9)$$

$$\vec{X}(t + 1) = \vec{X}_{rand} - \vec{A} \cdot \vec{D} \dots\dots\dots(10)$$

حيث إن:

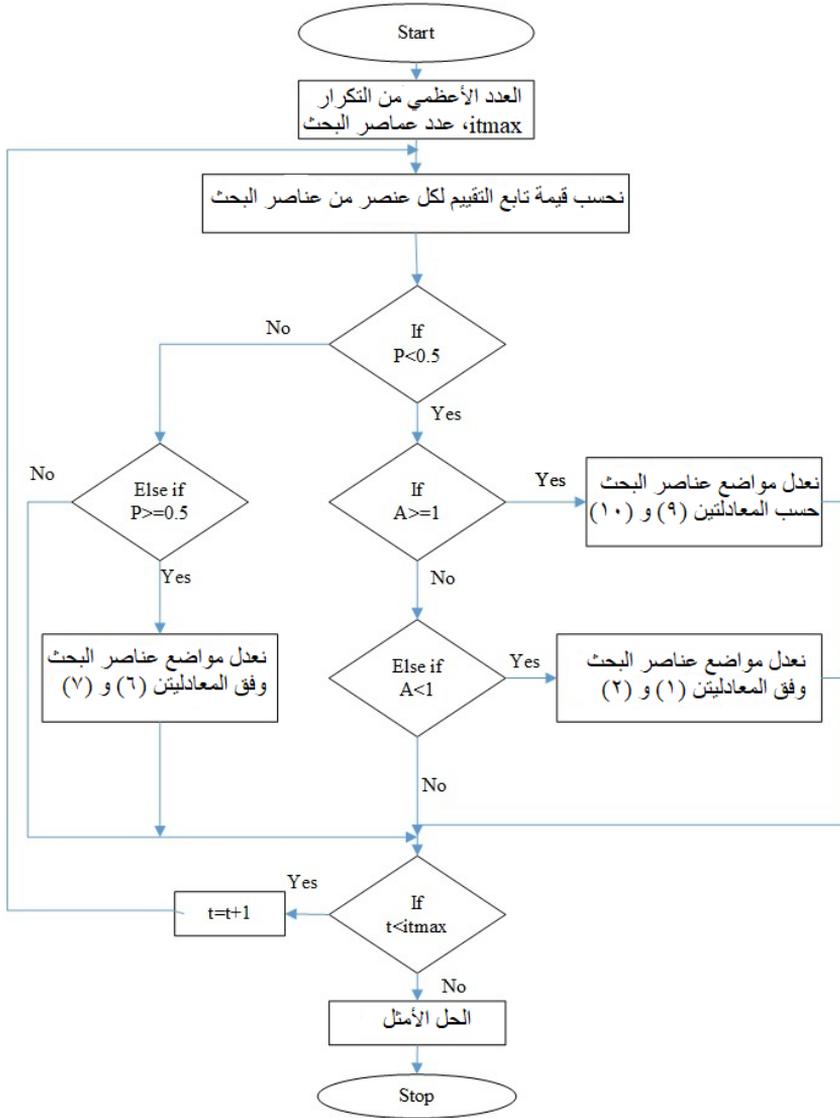
\vec{X}_{rand} شعاع موقع عشوائي (حوت عشوائي) يتم اختياره من مجموعة الحيتان الحالية.

وبالتالي يمكن أن نلخص مبدأ عمل خوارزمية الحوت الأمثل (WOA) بأنها تبدأ بمجموعة من الحلول العشوائية، وفي كل تكرار تقوم عناصر البحث بتحديث مواقعهم اعتماداً على عنصر بحث تم اختياره عشوائياً أو حسب أفضل حل تم الحصول عليه

حتى الآن. تتناقص قيمة الوسيط a من 2 إلى 0 من أجل عمليتي الاستكشاف والاستغلال على التوالي.

يتم اختيار عنصر بحث عشوائي عندما تكون قيمة $|\vec{A}| > 1$ بينما يتم اختيار العنصر الأفضل عندما تكون $|\vec{A}| < 1$ من أجل تحديث مواقع بقية عناصر البحث. بالاعتماد على قيمة الاحتمال p تبادل الخوارزمية بين حركة تقليص الدوائر والحركة الحلزونية، وتنتهي الخوارزمية عند الوصول إلى معايير الإنهاء.

6-3-المخطط التدفقي (Flow Chart) لخوارزمية الحوت الأمثل:



6-4- تطبيقات خوارزمية الحوت الأمثل:

تستخدم خوارزمية الحوت الأمثل في العديد من المجالات الهندسية كنظم التحكم، معالجة اللغات الطبيعية، الشبكات العصبونية، معالجة الصور، ... من بعض التطبيقات الهامة في المجال الهندسي:

- تخطيط مسار أمثل متعدد الأغراض لرجل آلي. [7]
- تدريب الشبكات العصبونية. [12]

• مسألة التدفق الأمثل للطاقة. [5]

7. سبب استخدام خوارزمية الحوت الأمثل في بناء مخطط فورونوي لمجموعة من النقاط:

يمكن تعريف مسألة بناء مخطط فورونوي لمجموعة من النقاط في المستوي على أنها عملية تصنيف مجموعة من النقاط في المستوي إلى مجموعة مراكز فورونوي، وبما أنه من أهم مجالات استخدام خوارزمية الحوت الأمثل هو التصنيف (classification)، فقد كانت هذه الخوارزمية حلاً لمسألتنا.

8. خوارزمية الحوت الأمثل المقترحة لبناء مخطط فورونوي:

تتألف خطوات خوارزمية الحوت الأمثل المقترحة لبناء مخطط فورونوي لمجموعة من النقاط في المستوي من:
الخطوة الأولى: تحديد إحداثيات مراكز فورونوي وعدد الحيتان المستكشفة في المنطقة المدروسة.

الخطوة الثانية: تطبيق خوارزمية الحوت الأمثل على القيم المحددة في الخطوة السابقة.

• الخطوة الأولى:

تحديد إحداثيات مراكز فورونوي وعدد الحيتان المستكشفة في المنطقة المدروسة: سنقتصر في دراستنا على بناء مخطط فورونوي لمنطقة محددة بمستطيل أبعاده 600×900 بكسل.

يتم تحديد مراكز فورونوي من خلال إدخال إحداثياتها (y, x) إلى المسألة، وقد تم اختيار خمسة مراكز بشكل عشوائي لإجراء الدراسة عليها. من ثم يتم إدخال عدد الحيتان المستكشفة.

• الخطوة الثانية:

تطبيق خوارزمية الحوت الأمثل على القيم المحددة في الخطوة الأولى كما يلي:
1. تقوم الحيتان المستكشفة بالانتشار والبحث عن حلول للمسألة، ثم يتم تقييم هذه الحلول حسب تابع التقييم المقترح والذي يتمثل في مسألتنا بمجموع الأبعاد ما بين موقع كل حوت ومراكز فورونوي المحددة في الخطوة الأولى.
2. من أجل كل حوت من الحيتان المستكشفة ننفذ الخطوات التالية:

a. يتم تحديد قيم الشعاعين A ، C حسب المعادلتين (3) و (4) ، ويتم اختيار

قيمة عشوائية للمتحول p ونناقش حالتين:

i. إذا كانت قيمة p أكبر من 0.5، في هذه الحالة نناقش وضع الحوت من

خلال القيمة المطلقة للشعاع A :

• إذا القيمة المطلقة لـ A أكبر أو تساوي 1:

في هذه الحالة نكون في مرحلة الاكتشاف لذلك نقوم بالبحث عن

حوت بشكل عشوائي وفق المعادلتين (9) و (10).

• أما إذا القيمة المطلقة لـ A أصغر من 1:

في هذه الحالة نكون في مرحلة الاستغلال ونقوم بتعديل موقع الحوت

إلى الموقع الأفضل التي تم الحصول عليه في هذه المرحلة وفق

المعادلتين (1) و (2).

ii. إذا كانت قيمة p أصغر من 0.5:

• في هذه الحالة نكون في مرحلة الاستغلال ونقوم بتعديل موقع

الحوت إلى الموقع الأفضل التي تم الحصول عليه في هذه المرحلة

وفق المعادلتين (6) و (7).

b. نعيد تقييم الموقع الجديد التي تم الحصول عليه في هذه المرحلة وفق تابع

التقييم المقترح والمتمثل بحسب مجموع الأبعاد بين موقع الحوت ومراكز

فورونوي.

c. نقارن بين التقييم الجديد والتقييم السابق، ونختار الأصغر بينهما.

d. يثبت الحوت الموقع ذو التقييم الأصغر حسب نتائج البحث السابقة ويعتبر

هذا الموقع هو الموقع الأفضل له في هذه المرحلة (أي الموقع الذي يمتلك

أصغر مجموع أبعاد بين الحوت ومراكز فورونوي).

3. نعيد العمليات السابقة اعتباراً من الخطوة 2 عدداً محدداً من الدورات.

9. الشيفرة الرمزية (pseudo code) لخوارزمية الحوت الأمثل المقترحة:

1: Initialize each search agent (whale) to contain k randomly
Voronoi centers

```
2: for each search agent i do
3:   fitness1(i)=Calculate distance sum between position search
      agent X(i) and Voronoi centers.
4:end for
5: while t < Iteration do
6:   for each search agent i do
7:     update a, A, C and p
8:     if p > 0.5 then
9:       if |A| < 1 then
10:        update search agent by equation (1) and (2)
11:       else if |A| > 1 then
12:        select random search agent, and update current
          search agent by equation (9) and (10)
13:       end if
14:     else if p < 0.5 then
15:       update the position of current search agent by equation
          (6) and (7)
16:     end if
17: fitness2(i)=Calculate distance sum between new position
      search agent new_X(i) and Voronoi centers.
18: if fitness2(i) < fitness1(i) then
19:   X(i)=new_X(i).
20: end for
21: t = t + 1
22: end while
23: return X
```

10. مواد وطرق البحث:

قمنا بتطبيق الخوارزمية المقترحة على عينات عشوائية من مراكز فوريونوي وقمنا بدراسة مدى فعالية الخوارزمية في حال تغير كل من عدد الحيتان، عدد دورات تطبيق الخوارزمية، عدد مراكز فوريونوي. كما قمنا بمقارنة أداء الخوارزمية المقترحة من حيث زمن التنفيذ مع أحد المراجع.

11. اختبار خوارزمية الحوت الأمثل المقترحة لبناء مخطط فوريونوي:

سنقوم بالتحقق من فعالية الخوارزمية المقترحة لبناء مخطط فوريونوي من أجل مجموعة من الإحداثيات العشوائية لمراكز فوريونوي وذلك باستخدام حاسب ذو مواصفات (معالج (1.80GHz)، سرعة (1.99GHz)، ذاكرة (8GB))، وتم تحقيق خطوات الخوارزمية المقترحة في بيئة Matlab(R2010b).

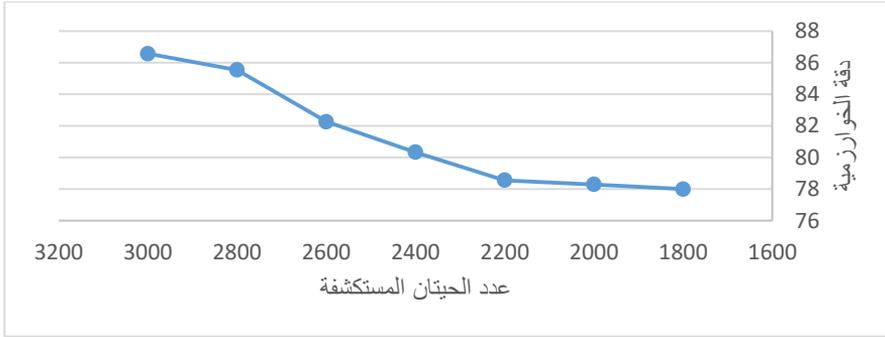
- تم اختيار قيم عشوائية لإحداثيات مراكز فوريونوي الخمسة لتطبيق الخوارزمية المقترحة عليها.
- ثم تمت دراسة مدى تأثير دقة الخوارزمية المقترحة (النسبة المئوية لعدد الحيتان التي وصلت إلى مركز فوريونوي الأقرب لها) من أجل مراكز فوريونوي الخمسة التي تم تحديدهم سابقاً بتغيير عدد الحيتان وكذلك تأثيرها بتغيير عدد دورات تنفيذ الخوارزمية المقترحة، كما تمت دراسة مدى تأثير دقة الخوارزمية بتغيير عدد مراكز فوريونوي.

11-1-دراسة تأثير عدد الحيتان المستكشفة على دقة الخوارزمية المقترحة:

سنقوم بدراسة مدى تأثير تغيير عدد الحيتان المستكشفة على دقة الخوارزمية المقترحة وذلك من أجل عدد دورات 500(العدد الأعظمي للدورات التي تمكنا من تنفيذها على الحاسب الذي تم التجريب عليه) وسنوضح ذلك بالجدول -1- والشكل -6-.

عدد الحيتان	عدد الدورات	دقة الخوارزمية المقترحة
1800	500	78 %
2000	500	78.3 %
2200	500	78.56 %
2400	500	80.33 %
2600	500	82.26 %
2800	500	85.53 %
3000	500	86.566 %

الجدول -1- يوضح دقة الخوارزمية المقترحة من أجل عدد حيتان متغير



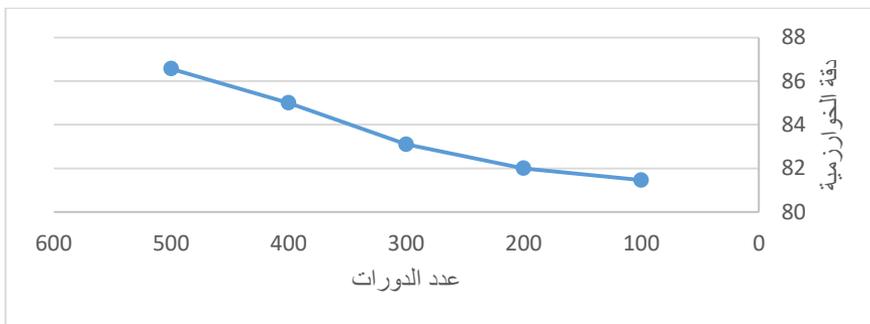
الشكل 6- يوضح المخطط البياني تغير دقة الخوارزمية مع تغير عدد الحيتان

10-2-دراسة تأثير تغير عدد دورات الخوارزمية على دقة الخوارزمية المقترحة:

لاحظنا من دراسة تأثير تغير عدد الحيتان على دقة الخوارزمية المقترحة أن أفضل حالة كانت عند عدد حيتان 3000 لذلك سندرس مدى تأثير هذا العدد من الحيتان بعدد دورات تطبيق الخوارزمية المقترحة، وسنوضح ذلك بالجدول 2- والشكل 7-

دقة الخوارزمية المقترحة	عدد الدورات	عدد الحيتان
81.466 %	100	3000
82 %	200	3000
83.1 %	300	3000
85 %	400	3000
86.566 %	500	3000

الجدول 2- يوضح دقة الخوارزمية المقترحة مع عدد متغير من دورات تطبيقها



الشكل 7- يوضح المخطط البياني دقة الخوارزمية المقترحة مع تغير عدد الدورات

نلاحظ من الدراسة السابقة لنتائج دقة الخوارزمية المقترحة من أجل تغيرات عدد الحيتان وعدد دورات تطبيق الخوارزمية وذلك حسب إمكانيات الجهاز المستخدم لتطبيق

الخوارزمية أن أفضل دقة وصلت لها الخوارزمية المقترحة هي % 86.566 من أجل عدد حيتان 3000 وعدد دورات تطبيق 500.

10-3-دراسة تأثير عدد مراكز فوريونوي على دقة الخوارزمية المقترحة:

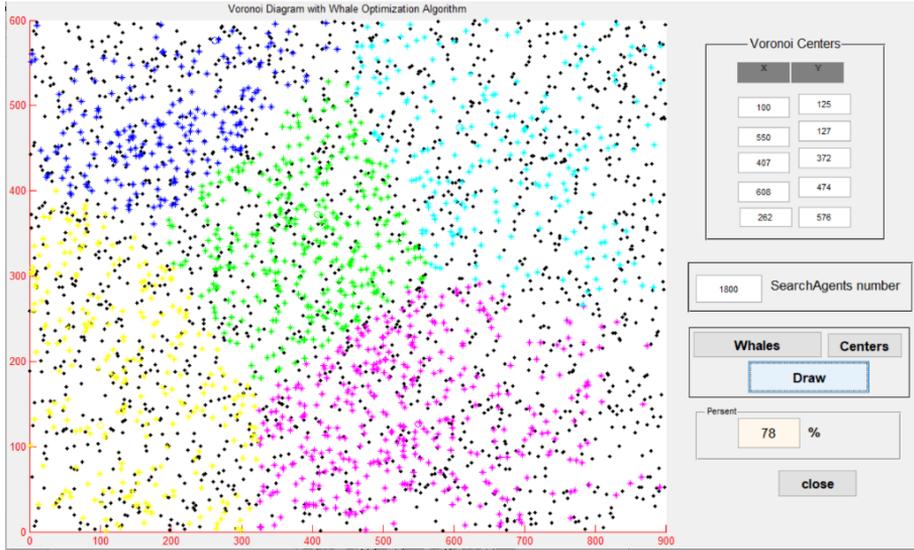
سنقوم بدراسة مدى تأثير تغيير عدد مراكز فوريونوي على دقة الخوارزمية المقترحة وذلك من أجل عدد دورات 500(العدد الأعظمي للدورات التي تمكنا من تنفيذها على الحاسب الذي تم تجريب تنفيذ الخوارزمية المقترحة عليه) وعدد حيتان 3000، وسنوضح ذلك بالجدول -3-.

عدد الحيتان	عدد الدورات	عدد مراكز فوريونوي	دقة الخوارزمية المقترحة
3000	500	5	86.5 %
3000	500	10	86.3 %
3000	500	15	82.1%
3000	500	20	81.36 %

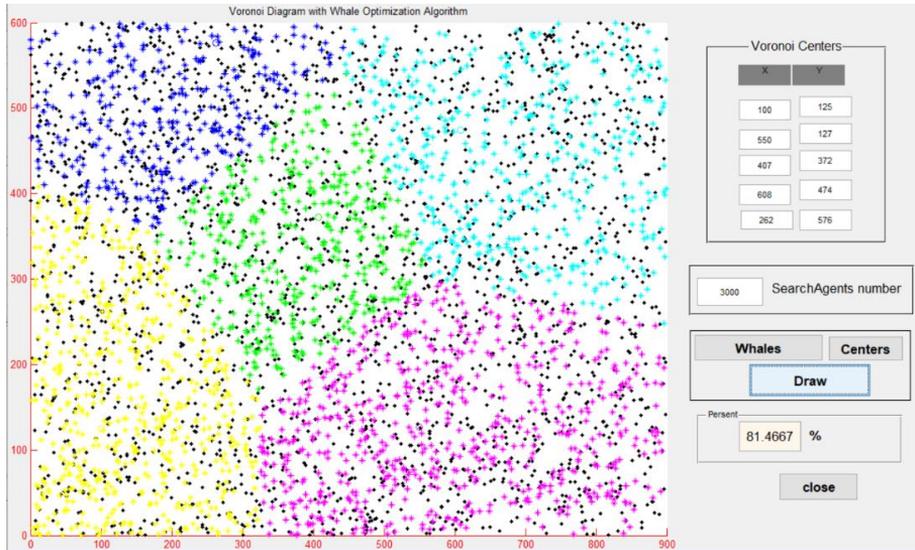
الجدول-3-يوضح دقة الخوارزمية المقترحة من أجل عدد فوريونوي متغير

نلاحظ من الدراسة السابقة لنتائج دقة الخوارزمية المقترحة من أجل تغيير عدد مراكز فوريونوي أنه في حالة عدد المراكز (5 أو 10) حافظت الخوارزمية المقترحة على دقة %86 وذلك من أجل عدد دورات 500، لكن في حالة تزايد عدد المراكز إلى أعلى من 10 فقد تناقصت الدقة إلى أقل من %86 مما يؤكد على ضرورة زيادة عدد دورات تطبيق الخوارزمية لزيادة دقة الخوارزمية.

توضح الأشكال التالية نتائج تطبيق الخوارزمية المقترحة في عدة حالات:

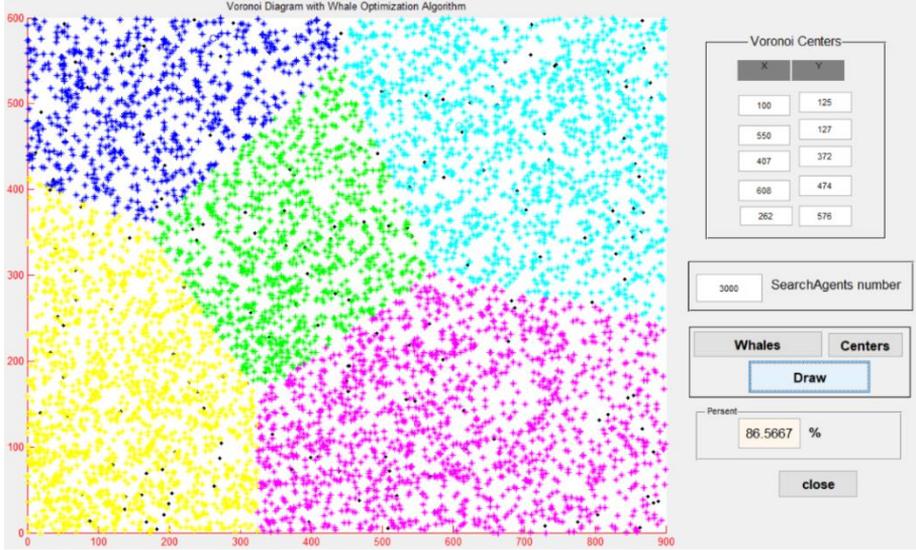


الشكل-8-يوضح ناتج تنفيذ الخوارزمية المقترحة لرسم مخطط فورونوي من أجل 1800 حوت وعدد دورات 500 (دقة الخوارزمية 78%)

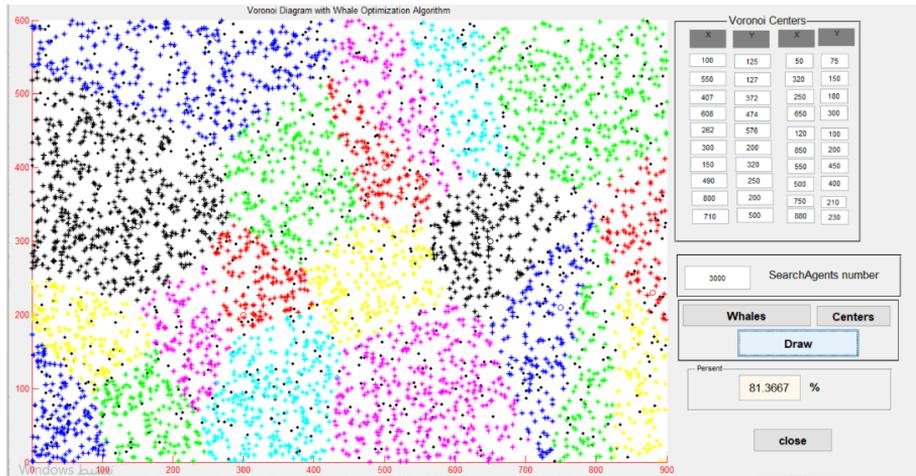


الشكل-9-يوضح ناتج تنفيذ الخوارزمية المقترحة لرسم مخطط فورونوي من أجل 3000 حوت وعدد دورات 100 (دقة الخوارزمية 81.466%)

بناء مخطط فورونوي لمجموعة من النقاط باستخدام خوارزمية الحوت الأمثل



الشكل-10- يوضح ناتج تنفيذ الخوارزمية المقترحة لرسم مخطط فورونوي من أجل 3000 حوت وعدد دورات 500 (دقة الخوارزمية 86.566%)



الشكل-11- يوضح ناتج تنفيذ الخوارزمية المقترحة لرسم مخطط فورونوي من أجل 3000 حوت وعدد دورات 500 وعدد مراكز فورونوي 20 (دقة الخوارزمية 81.366%)

12. مقارنة بين الخوارزمية المقترحة وخوارزمية المرجع [11]:

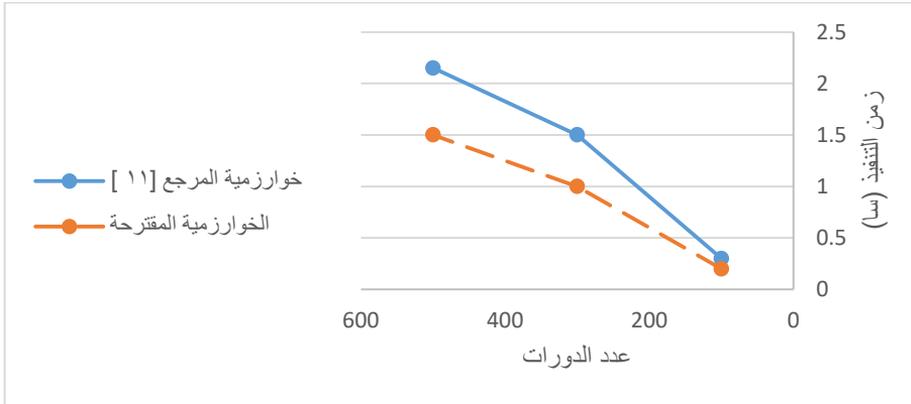
في المرجع [11] قد تم تطبيق خوارزمية النحل لحل مسألة مخطط فورونوي من أجل مجموعة من المراكز وتمت دراسة تغير زمن تنفيذ الخوارزمية بتغير عدد دورات تطبيق

الخوارزمية وعدد النحلات المستكشفة، لذلك سوف نقارن ما بين خوارزمية المرجع [11] وخوارزمتنا المقترحة من حيث زمن التنفيذ.

يبين (الجدول-4) (الشكل-12) مقارنة ما بين زمن تنفيذ خوارزمية المرجع [11] وزمن تنفيذ الخوارزمية المقترحة وذلك من أجل عدد دورات متغير وعدد حيتان مساوي لعدد النحلات ومن أجل خمس مراكز عشوائية لمخطط فوريوني.

عدد الحيتان	عدد النحلات	عدد الدورات	زمن تنفيذ خوارزمية المرجع [11] (سا)	زمن تنفيذ الخوارزمية المقترحة (سا)
500	500	100	0.30	0.20
500	500	300	1.5	1
500	500	500	2.15	1.5

الجدول-4- يوضح زمن تنفيذ كل من الخوارزمية المقترحة وخوارزمية المرجع [11] مع عدد متغير من دورات تطبيق كلا الخوارزميتين



الشكل-12- يوضح زمن تنفيذ كل من الخوارزمية المقترحة وخوارزمية المرجع [11]

مع عدد متغير من دورات تطبيق كلا الخوارزميتين

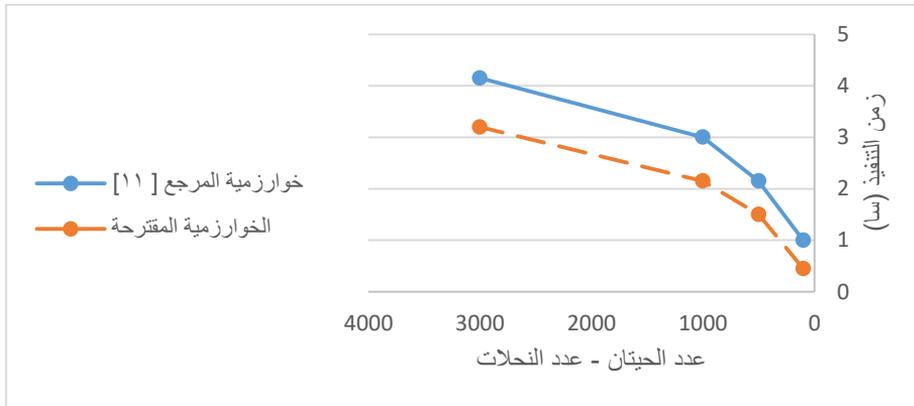
نلاحظ من الشكل-12- أن زمن تنفيذ الخوارزمية المقترحة أقل من زمن تنفيذ خوارزمية المرجع بالنسبة لنفس عدد الدورات.

بناء مخطط فورونوي لمجموعة من النقاط باستخدام خوارزمية الحوت الأمثل

يبين (الجدول-5-5) (الشكل-13-13) مقارنة ما بين زمن تنفيذ خوارزمية المرجع [11] وزمن تنفيذ الخوارزمية المقترحة وذلك من أجل عدد دورات لكلا الخوارزميتين 500 وعدد حيتان وعدد نحلات متغير ومن أجل خمس مراكز عشوائية لمخطط فورونوي.

عدد الحيتان	عدد النحلات	عدد الدورات	زمن تنفيذ خوارزمية المرجع [11] (سا)	زمن تنفيذ الخوارزمية المقترحة (سا)
100	100	500	1	0.45
500	500	500	2.15	1.5
1000	1000	500	3	2.15
3000	3000	500	4.15	3.20

الجدول-5-5-يوضح زمن تنفيذ كل من الخوارزمية المقترحة وخوارزمية المرجع [11] مع عدد متغير من الحيتان والنحلات



الشكل-13-13-يوضح زمن تنفيذ كل من الخوارزمية المقترحة وخوارزمية المرجع [11] مع عدد متغير للحيتان والنحلات

نلاحظ من الشكل-13-13-أن زمن تنفيذ الخوارزمية المقترحة أقل من زمن تنفيذ خوارزمية المرجع بالنسبة لعدد حيتان مساوي لعدد النحلات.

13. الخاتمة:

لقد عرضنا خلال هذه المقالة مفهوم مخطط فورونوي لمجموعة من النقاط في المستوى وحياء الحوت في العالم الحقيقي وكذلك خوارزمية الحوت الأمثل وتطبيقاتها ومن ثم دراسة لبناء مخطط فورونوي بطريقة جديدة تتميز بالسهولة مستخدمين خوارزمية الحوت الأمثل ومستفيدين من ميزاتها في التصنيف، ومن ثم قدمنا دراسة تحليلية لمعرفة مدى فعالية الخوارزمية المقترحة وذلك من أجل خمس مراكز فورونوي فقد وصلنا إلى دقة 86.5 من أجل عدد دورات أعظمي للخوارزمية 500 وعدد حيتان مستكشفة 3000 وذلك حسب مواصفات الجهاز الذي تتم عليه الدراسة.

كما قمنا بمقارنة الخوارزمية المقترحة مع الخوارزمية المقدمة في المرجع [11] من حيث زمن التنفيذ وقد توصلنا إلى أن الخوارزمية المقترحة تتطلب زمناً أقل من خوارزمية المقارنة في حال تم تغيير عدد دورات تطبيق الخوارزمية وفي حال تغيير عدد الحيتان المستكشفة.

يمكن تعميم الدراسة السابقة واستخدام خوارزميات الحل الأمثل لحل مسائل هندسية أخرى كمخطط الرؤية، تقسيمات دولوني وغيرها.

14. المراجع:

- [1]. Azar A. T., Hassanien A. E., Houssein E., Amin M. , and Hussien A., – 2019, New binary whale optimization algorithm for discrete optimization problems, Engineering Optimization Published online: 26 Jun 2019.
- [2]. Adhirai S., Mahapatra R. P., Singh P.,– 2018, The Whale Optimization Algorithm and Its Implementation in MATLAB, International Journal of Computer and Information Engineering, Vol. 12, No. 10.
- [3]. Abd ALAzez D.,–2017, The effect of voronoi diagrams on the construction of the ceramic figure ،Architecture ، Arts and

Humanistic Science Magazine, Vo. 29, No. 5687, pp. 1-15.(in Arabic المرجع)

- [4]. Bozorg-Haddad O., Solgi M., A. Loáiciga H.,- 2017, Meta-heuristic and Evolutionary Algorithms for Engineering Optimization, Wiley, ISBN: 978-1-119-38699-5.
- [5]. Bentouati B., Chaib L., and Chettih S.,- 2016, A hybrid whale algorithm and pattern search technique for optimal power flow problem, Modelling, Identification and Control (ICMIC), 2016 8th International Conference on. IEEE.
- [6]. De Berg M., Van Kreveld M., Overmars M., and Schwarzkopf O., - 2000, Computational Geometry: Algorithms and Applications, Springer-Verlag, second edition.
- [7]. Dao, Thi-Kien, Tien-Szu Pan, and Jeng-Shyang Pan,- 2016, A multi-objective optimal mobile robot path planning based on whale optimization algorithm, Signal Processing (ICSP), 2016 IEEE 13th International Conference on IEEE.
- [8]. Held M., - 2009, Lorentz Center, Leiden, Software for and Applications of Voronoi Diagrams in Science and Engineering, the Netherlands, 16-20 November.
- [9]. Halabi S., ALatasi Y., -2006, Construct Abstract Voronoi Diagram of a set of points using neural networks, Albaath university journal, Vo.28.

- [10]. Halabi S., – 2005, Dynamic algorithm to construct Abstract Voronoi Diagram of a set of points, Albaath university journal, Vo.1.
- [11]. Halabi S., ALatasi Y., –2010, Construct Abstract Voronoi Diagram of a set of points using Bees Algorithm, Albaath university journal, Vo.32.
- [12]. Ibrahim A., Faris H., and Mirjalili S., –2016, Optimizing connection weights in neural networks using the whale optimization algorithm, Soft Computing,.
- [13]. McAllister M., Kirkpatrick D., and Snoeyink J.,– 1996, A Compact Piecewise–Linear Voronoi Diagram for Convex Sites in the Plane, Discrete Comput. Geom., Vo.15, p.p 73–105.
- [14]. Mirjalili S., Lewis A., – 2016, the whale optimization algorithm, Advances in Engineering Software, Vo. 95, pp. 51–67.
- [15]. Mafarja. M. M., Mirjalili S., –2017, Hybrid Whale Optimization Algorithm with simulated annealing for feature selection, Neurocomputing, Vo.260, pp.302–312.
- [16]. Okabe A., Boots B., Sugihara K., and Nok Chiu S.,–2000, Spatial Tessellations: Concepts and Applications of Voronoi Diagrams, Probability and Statistics. Wiley, NYC, 2nd edition.
- [17]. Sack J. R., Urrutia J., –2000, Handbook of Computational Geometry, Elsevier Science B. V.

