مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الاقتصادية والقانونية المجلد (٨) العدد (٥) ٢٠٢٤
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies -Economic and Legal Sciences Series Vol. (8) No. (5) 2024

مساهمة لحل مسائلة البائع المتجول عن طريق خوارزمية امثليه النمل للمسائل متعددة الأهداف.

د.وسيم حبيب بلال*

(تاريخ الإيداع ٣٠/٦/ ٢٠٢٤ – تاريخ النشر ٢٣/٧/ ٢٠٢٤)

□ ملخّص □

تم دراسة إمكانية المساهمة في حل مسألة البائع المتجول(***Traveling Salesman Problem***) ، وهي واحدة من مسائل الامثلية حيث أخذت الكثير من الاهتمام في الوقت الحاضر بسبب تطبيقاتها ذات الطابع اليومي، وهي مسألة من النوع *NP–**hard*** ولا توجد حتى الآن خوارزمية تقدم لنا الحل الأمثل لهذه المسألة بسبب تعقيد الزمن متعدد الحدود، فكل الخوارزميات المستخدمة تعطي حلولاً قريبة من الحل الأمثل.

تم معالجة مسألة البائع المتجول، متعددة الأهداف باستخدام خوارزمية أمثلية مستعمرة النمل بشكل شعاعي مع حل باريتو مثالي الذي يعتمد مجموعة تقريب واردة ومقبولة في حل المسألة بحيث يكون لكل الأهداف نفس الوزن أو القوة، ثم عرض ومناقشة النتائج التطبيقية التي توصلنا إليها من أجل هدفين (أقل زمن وأقل كلفة).

وتوصلت النتائج التطبيقية للخوارزمية المقدمة مقارنة مع نتائج اختبارات قياسية معروفة وموثقة إلى خوارزمية مستعمرة النمل المقدمة تنتج حلول أفضل مقارنة مع خوارزميات وكانت النتائج التي تم الحصول عليها ذات كفاءة عالية.

الكلمات المفتاحية: مسألة البائع المتجول –مسألة البائع الجوال متعددة الأهداف –امثليه النمل –مستعمرات النمل متعددة الاهداف –أمثلية باريتو.

* مدرس – جامعة الاندلس–قسم العلوم الأساسية كلية إدارة المشافي–كلية الهندسة الطبية.

A Contribution To Solving The Traveling Salesman Problem Using An Ant Optimization Algorithm For Multi-Objective Problems

D.Wassim Habib Bilal*

(Received 30/6/2024.Accepted 23/7/2024)

□ABSTRACT □

In this research, we study the possibility of contributing to solving the Traveling Salesman Problem was studied. Which is one of the optimization problems that has received a lot of attention at the present time. This is due to its applications of a daily nature. It is an NP-hard problem and there. This is not yet an algorithm that provides us with an optimal solution to this problem is. This is due to the complexity of polynomial time. All the algorithms used give solutions close to the optimal solution.

We will address the multi-objective traveling salesman problem using a radial ant colony optimization algorithm with a Pareto optimal solution that adopts an admissible incoming approximation set in solving the problem such that all objectives have the same weight or strength, and then present and discuss our applied results for two objectives.

The applied results of the presented algorithm were compared with the results of well-known and documented standard tests show that the presented ant colony algorithm produces better solutions compared to other algorithms. And the results obtained were highly efficient.

Keywords: Traveling Salesman Problem - Multi-Objective Traveling Salesman Problem - Ant Optimization - Multi-Objective Ant Colonies - Pareto Optimization

* Instructor – AL Andalus University - Department of Basic Sciences (Hospital Administration & of Biomedical Engineering) Faculty

١.مقدمة

وصف مسائل الامثلية التوافقية :

إن فئة مسائل الامثلية التوافقية (CO)*Combinatorial Optimization* *مهمة* و تهم الباحثين في علوم الحاسب وبحوث العمليات (OR)، وتنبع أهميتها من حقيقة أن العديد من التطبيقات ذات الطابع اليومي يمكن أن تصاغ في إطارها ويمكن وصفها باستخدام نماذج رياضية معروفة و تمثيلها ببيان موزون[١] $G = (V, E)$ مع أوزان موجبة ، و تتطلب البحث عن عنصر هو أفضل حل من بين عدد كبير من حلول مرشحة منفصلة في مجموعة محدودة ، ولكن هذه المجموعة كبيرة جدا ليتم تعدادها وهي تعطى ضمنا من خلال تركيبها التوافقي، وعادة ما يكون هذا العنصر عددا صحيحا أو مجموعة فرعية أو عملية تبديل أو بنية بيان، ويمكن تعريف الأمثلية التوافقية من خلال الثلاثية P (S، f، Ω) حيث المجموعة S فضاء بحث محدود ، ويمثل مجموعة من الحلول الممكنة ، وكل عنصر s من عناصر المجموعة S يمكن أن ينظر إليه على أنه حل مرشح ، و تابع الهدف $f: S \rightarrow R$ تقيّم قيمة كل حل $s \in S$ ، واعتمادا على خصائص المجموعة S، يمكن لفضاء البحث من تحديد العلاقات بين الحلول، ويمكن تحديد الهدف من مسألة الامثلية التوافقية على النحو الآتي : العثور على الحل $s^* \in S$ الذي يقوم بتعظيم التابع f أو تخفيضه . و Ω هي مجموعة القيود التي يجب تحقيقها للحصول على حلول ممكنة و إيجاد حل مثالي كلي منها ، و تنبع أهمية مشاكل الأمثلية التوافقية من حقيقة ، أن تابع الهدف والقيود ذات طبيعة مختلفة في العديد من المشاكل ذات الطابع اليومي ، و التابع f يمكّننا من تصنيف مسائل الأمثلية التوافقية إلى فئتين مختلفتين [15,4,3,2,1] .

مسائل التحسين المستمر : وتمثل الفئة الأولى من مسائل الامثلية التوافقية و تتكون من مسائل مع المتغيرات المستمرة تلك التي يتم ترميز حلولها بمتغيرات حقيقية.

مسائل التحسين المنفصل : وتمثل الفئة الثانية من مسائل الامثلية التوافقية في حالة المتغيرات المنفصلة و نحن نتعامل مع التحسين المنفصل وتلك التي يتم ترميز حلولها بمتغيرات منفصلة .

إن معظم التطبيقات ذات الطابع اليومي لديهم مسائل ذات طبيعة منفصلة ، و نحن نتعامل مع التحسين المنفصل ، ومن الأمثلة الكلاسيكية لمسائل CO ، مسألة حساب أقصر مسار في مسألة البائع المتجول.[6, ١٥] .

مشكلة البحث:

سنعالج مسألة البائع المتجول من أجل بائع جوال واحد ولعدة أهداف هي:

١- أقصر مسافة .

٢- أقل زمن .

١- أقل كلفة .

تم اختيار هدفين (أقل زمن &أقل كلفة) .

---

[١] نقول إن البيان غير الموجه $G = (V, E)$ موزون إذا كان لكل ضلع قيمة عددية مرتبطة به تسمى عادة الوزن ، وأوزان الأضلاع أعداد صحيحة غير سالبة والتابع $W: E \rightarrow \mathbb{N}$ يسمى تابع الوزن ، وفي التطبيقات قد يكون الوزن مقياسا لطول الطريق ، التكاليف ، واستطاعة الطريق والطاقة المطلوبة للتحرك بين العقد على طول الطريق ، وفقاً للمشكلة المطروحة ، مع العلم أن البيان الموزون هو الثنائية (G, W) .

اعتمادا على أمثلية باريتو.

أهمية البحث وأهدافه:

تعود أهميته إلى أنه مسألة البائع المتجول **من الناحية النظرية:** من أول المسائل NP–hard، وحلها هو المفتاح الأساس لحل الكثير من مسائل الأمثلية في المجال الاقتصادي كما وتشكل حافزاً للشركات ومراكز الأبحاث لإيجاد أفضل الطرق لحل مسألة البائع المتجول TSP وتحسين كفاءة وسائط النقل والتوزيع. ومن الناحية العملية: أن العديد من التطبيقات المباشرة أو غير المباشرة للمسائل المختلفة مثل النقل وتخطيط الإنتاج، ومشاكل التوجيه، ونقل السلع من المستودعات إلى الزبائن والتي تستعمل طرق حل مُثلى، تعتبر مسألة البائع المتجول كمسألة صميمية كونها تعد امتداداً لدراسات سابقة كما وتلعب دوراً هاماً في عملية اتخاذ القرارات الاستراتيجية.

ويهدف هذا البحث إلى المساهمة في حل مسألة البائع المتجول المتعددة الاهداف باستخدام أمثلية باريتو.

طرائق البحث ومواده:

اعتمدت طرائق البحث على الاطلاع على العديد من المراجع العلمية والبحوث النظرية المنشورة والاستفادة من نشرات الأبحاث والكتب العلمية والمصادر البرمجية المفتوحة من الإنترنت. [11].

النتائج والمناقشة:

١–وصف مسألة البائع المتجول:

إن مسألة البائع المتجول (TSP) هي المسألة التي تواجه البائع الذي يريد البحث عن أقصر جولة ممكنة من خلال مجموعة محدّدة من المدن ابتداءً من مدينته ثم يسافر إلى كل المدن ويعود إلى المدينة التي انطلق منها ، كل مدينة يجب أن تزار بالضبط مرة واحدة ولا تترك أي مدينة دون زيارة ، و الهدف الوحيد المراد تحقيقه هو زيارة سلسلة من المدن التي تبدأ وتنتهي بالمدينة التي بدء منها، **بأقصر جولة أو إتمام الجولة بأقل كلفة** ، و مسألة البائع المتجول يمكن أن تكون ممثلة **ببيان كامل موزون** $G = (V, E)$ حيث $n = |V|$ مجموعة عقد و E مجموعة الاضلاع التي تصل بين العقد بالكامل و $d = (d_{ij})$ مصفوفة المسافة و $C = (c_{ij})$ مصفوفة كلفة وكلاهما مرتبط بـ E، حيث أن مسألة البائع المتجول هي محاولة العثور على دورة هاملتون[٢] ذات تكلفة دنيا في البيان الموزون والهدف من ذلك هو تحديد مجموعة من التباديل $v_1, \ldots v_n$ التي توجد جولة ذات الطول الأقل ما يمكن من زيارة كل العقد كما توضح المعادلة $(1-1)$ [1] .

$$\min \to d(v) = \sum_{i=1}^{n-1} d(v_i, v_{i+1}) + d(v_n, v_1) \qquad (1-1)$$

[٢] هي دورة البيان يتم زيارة كل عقدة مرة واحدة فقط و البيان $G = (V, E)$ معطى حيث $n = |V|$ و مجموعة الاضلاع $p = \{v_1, v_2, v_3, \ldots v_{k-1}, v_k\}$ والطريق يكون من v_1 إلى v_k . إذا كان $v_i \neq v_j$ من أجل $i \neq j$ عندما يكون $v_1 \to v_k$ طريق .

و الجولة $C = \{v_1, v_2, v_3, \ldots v_{k-1}, v_k, v_1\}$ تسمى دورة هاملتون (أي مسار مغلق $v_1 \to v_k$ لزيارة كل عقدة مرة واحدة فقط من G) .

و تعّدُ مسألة البائع المتجول إحدى المسائل الكلاسيكية في الرياضيات و علوم الحاسوب ، وقد درست من قبل عالم الرياضيات الايرلندي Sir William Rowan Hamilton[٣] في عام(١٨٥٧) التي حلها كلعبة تسمى (Icosian Game) والهدف من ذلك هو العثور على طريق لزيارة ٢٠ موقعاً ، دون الحاجة إلى زيارة أي موقع أكثر من مرة واحدة وفي (١٩٣٠) أول دراسة عرفت المسألة تمت من قبل علماء الرياضيات في فيينا وهارفارد وكان أبرزهم Karl Menger[٤] ، وكذلك(١٩٥٠) أوائل الخمسينات بدأ الظهور في الصحف العلمية طرق لحل مسألة البائع المتجول (TSP) و في الخمسينات والستينات ظهرت مساهمات بارزة من قبل العلماء George Dantzig و Delbert[٥] Ray Fulkerson و Selmer M. Johnson وهي التعبير عن المسألة كبرنامج خطي لعدد صحيح ،وفي(١٩٥٤) نشر العلماء G. Dantzig, R. Fulkerson, and S. Johnson وصفاً لطريقة حل مسالة البائع المتجول باستخدام 49 مدينة ، وفي (١٩٧٢) صنف العالم Richard M.Karp دورة هاملتون NP–complete وفسر علمياً الصعوبة الحسابية لإيجاد الجولات المثالية ، وفي (١٩٧٧) حل العالم M. Grötschel مسألة البائع المتجول باستخدام ١٢٠ مدينة حول ألمانيا، وفي

(١٩٩١) نشر الباحث Gerhard Reinelt مجموعة من الحالات القياسية لتقدير درجة التعقيد ، التي اعتمدت من قبل الكثير من مجموعات البحث من أجل المقارنة .

٢–تصنيف مسألة البائع المتجول:

برهن العالم (Richard M.Karp[٦],1972) أن مسألة البائع المتجول هي من المقياس الكبير (Large Scale) أي NP–hard وبالتالي لا توجد خوارزميات فعّالة لحلها حتى الآن ، و حتى الحواسيب ذوات الإمكانات العالية قد لا تكون قادرة على حلها لأن عدد العمليات الحسابية اللازمة كبيرة جداً ، ولمعالجة مشكلتنا سنستخدم طرائق تعطي حلولاً تقريبية لأن الطرائق التقليدية المضبوطة تعد غير فعالة ، علماً أنه لا توجد طريقة معروفة ذات كفاءة عالية لإيجاد الحل الأمثل الوحيد[2] .

3–المدخلات:

ليكن لدينا$G = (V; E)$ بيان موجه أو غير موجه حيث أن V مجموعة عقد ، E مجموعة الأضلاع التي تصل بين العقد بالكامل و$c = (c_{ij})$ مصفوفة كلفة وكلاهما مرتبط بـ E .

و x_{ij} متغير يقابل الضلع التي توصل العقدة i مع العقدة j و c_{ij} الوزن الذي يمثل طول هذه الضلع، والبائع المتجول الذي تتمثل مهمته في العثور على دورة هاملتون مع الحد الأدنى من الوزن الكلي .

4–الفرضيات:

سننطلق من فرضيات المسألة الاساسية:

١–يبدأ البائع المتجول من مركز الانطلاق الرئيسي إلى جميع النقاط الفرعية وكل نقطة ستتم زيارته لمرة واحدة فقط ثم يعود البائع المتجول إلى النقطة الذي بدأ منه.

---

٣ عالم فيزيائي و رياضي ايرلندي ولد ٤ اب ١٨٠٥ ، توفي ٢ أيلول ١٨٦٥ ، درس في دبلن ، وأصبح عام ١٨٢٧ قبل نهاية دراسته أستاذا في علم الفلك .

٤ عالم رياضيات– ولد ١٣ كانون الثاني ١٩٠٢ وتوفي ٥ تشرين الاول ١٩٨٥ ، من أوائل العلماء الذين عرفوا مشكلة البائع المتجول .

٥ عالم الرياضيات ، ولد ١٤ أب ١٩٢٤ توفي ١٠ كانون ثاني ١٩٧٦ ، شارك في وضع خوارزمية Ford–Fulkerson ، واحدة من أكثر الخوارزميات المعروفة لحل مشكلة التدفق الأقصى في الشبكات.

٦ ولد في ٣ كانون الثاني١٩٣٥ ، عالم كمبيوتر في جامعة كاليفورنيا، له مساهمات بارزة في نظرية الخوارزميات ، حاصل على عدة جوائز علمية ،منها وسام Benjamin Franklin في الحاسب الآلي والعلوم المعرفية في عام ٢٠٠٤، وجائزة Kyoto عام ٢٠٠٨.

٢-يستخدم البائع المتجول وسائل نقل مختلفة لأداء مهمته (سيارة خاصة، نقل عمومي، دراجة هوائية ..).
٣-كلفة الانتقال ذهاباً واياباً بين مركز وآخر هي نفسها وبالتالي مسألة البائع المتجول المتناظرة STSP .
وباستخدام بعض الطرق التي تكون مأجورة وغير متساوية الكلفة، وتسليم طلبات ضمن زمن محدد.

٥.النمل الحقيقي :

من المشاهد الأكثر إثارة للاهتمام في الطبيعة هو أن نرى النمل يسافر من الوكر إلى مصدر الغذاء ويعود إلى الوكر من جديد، وكل نملة في خط واحد. السؤال الذي يخطر في البال رغم أن النمل حشرات عمياء و قليلة الذكاء هو كيف تمكنت مستعمرة النمل من العثور على أقصر طريق بين مصدر الغذاء والوكر ؟

بينت الدراسات أن النمل عندما ينتقل يترك فورمون و هو عبارة عن مادة كيميائية سريعة التبخر، يستعملها النمل لتبادل المعلومات، و يميل النمل إلى اتباع الطريق الذي يكون فيه تركيز الفورمون أعلى، و النمل الذي يجد الطريق الأقصر يعود أولاً إلى الوكر، و يترك فورمون أكثر على الطريق لذا يميل باقي النمل إلى اتباع هذا الطريق لأنه الأقصر حيث تركيز الفورمون عليه أعلى يتجدد الفورمون بشكل أسرع على هذا الطريق مقارنة مع الطرق الطويلة الأخرى [12].

٦. النمل الاصطناعي[٧]:

أن سلوك النمل الاصطناعي مستوحى من سلوك النمل الحقيقي ، و اختيار الطرق يعتمد على أثار الفورمون الموضوع سابقاً من قبل المستعمرة ، مع ملاحظة أن الفورمون يخفض تدريجياً بالتبخر ، وهذا الاتصال غير المباشر يهدف إلى إعطاء معلومات عن نوعية مكونات الطريق من أجل جذب النمل في التكرار التالي نحو المناطق المقابلة من فضاء البحث ، وللنمل الاصطناعي أيضاً ميزات لا يملكها نظيره الطبيعي ، لأنه يملك ذاكرة عن أعماله السابقة ، ويتم تطبيق بعض الإجراءات الخفية مثل البحث المحلي من أجل تحسين نوعية الطرق المحسوبة ، و في كثير من الحالات يتم تحديث الفورمون فقط بعد أن يبنى الطريق الكامل وكمية الفورمون المودعة تدل على نوعيته . وأخيراً فإن احتمال اختيار نملة اصطناعية لطريق ما غالباً ما يعتمد ليس فقط على الفورمون لكن على الأساليب البحثية المحلية لمسألة محددة [38] .

إن النمل الاصطناعي هو وسيلة للانتقال من عقدة إلى عقدة على البيان لمسألة البائع المتجول. يختار النمل عقدة ليتحرك باتجاه أخرى مستخدماً تابع احتمالي، يجمع بين الأثر الذي وُضع على الطريق والقيمة الإرشادية التي تمثل معلومات مسبقة عن مسألة مماثلة، ويفضل النمل الاصطناعي باحتمالية عالية الطرق التي عليها الكثير من الفورمون والقريبة فيما بينها [14] .

٧.تعريف مسألة الأمثلية المتعددة الأهداف:

إن التابع الذي يقدر وزن الحلول يدعى تابع الهدف، رياضياً يمكن تعريف هذه التابع على النحو التالي [20,19,15] :

$$W: F \longrightarrow \theta$$
$$X \longmapsto W(X) = (w_1(X), w_2(X) \dots \dots . w_{\mathrm{m}}(X))$$

[٧] وهو نمل صناعي مزوّد بذاكرة محدودة ، تساعده لتنفيذ عدد من السلوكيات المفيدة التي تسمح له ببناء حلول بكفاءة لأكثر المسائل تعقيدا .

$$\theta \subset R^{\mathrm{m}}$$

حيث أن F مجموعة الحلول العملية ، و θ فضاء تابع الهدف وهي عادة مجموعة ثانوية من R^{m} ، حيث m عدد الاهداف المعتبرة ، و الحل لهذه المسألة هو العناصر التي تحتوي على قيم F المثلى أي الحد الأقصى أو الحد الأدنى في θ .

إن تابع الهدف يعطى بالعلاقة التالية :

$$optimize\ W(X)$$
$$s \in \mathrm{S}$$

حيث أن الحل الامثل يعني أننا نريد إما تقليل (min) أو تكبير(max) لكل هدف m من الاهداف ،

حيث $w_i, i = 1,2, \dots \dots, m$ في دراستنا سنفترض ان جميع الأهداف مطلوبة بالحد الأدنى ، كما في العلاقة :

$$min\ W(X)$$
$$s \in \mathrm{S}$$

إن تحقيق عدة أهداف متضاربة في وقت واحد، يعني عدم وجود حل وحيد يمكن اعتباره الأمثل ونتيجة لذلك توجد مجموعة من الحلول S التي تمثل أفضل حل وسط بين الأهداف المتضاربة و تسمى مجموعة الحلول الفعالة أو العملية ويطلق على $ś \in S$ حلا عملياً ذو كفاءة إذا لم يكن أي حل آخر ممكنا $s \in \mathrm{S}$ بحيث أن $f(s) \prec f(ś)$ ، لكن الحكم النهائي في اختيار حل أمثل هو المفاضلة وفقاً لمعايير باريتو [18] .

٨. أمثلية باريتو :

إن العالم الايطالي **(Vilfredo Pareto**[٨]**, 1848–1923)** أول من قارن بين حلين للعلاقات الرياضية التي استخدمها في منطقة الامثلية المتعددة الأهداف عندما أفترض أنه لا يوجد هدف أكثر أهمية من الأخر [20,19] ، حيث أخذ حلين X ، Y من مجموعة الحلول المقبولة S للمسألة ثم قارن بينهما وهذه المقارنة لها ثلاث نتائج محتملة X أفضل من Y ، Y أفضل من X ، لايوجد اي من الحلول أفضل من الأخر ، حيث في الحالتين الأولى والثانية يشار اليه كأنه الحل المسيطر على حل أخر ، وتتضمن الحالة الأخيرة حالتان متميزتان عندما $w(X)$=w(Y) وعندما $w(X)$≠w(Y). وللمقارنة بين حلين نستخدم العلاقات التالية :

١- X يسيطر بشكل ضعيف على Y وفق العلاقة :

$$X \preccurlyeq Y, \text{إذا}$$
$$\forall i \in \{1,2,\dots,m\}: w_{\mathrm{i}}(X) \le w_i(Y); \qquad (1-7)$$

إذا كان X ليس أسوأ من Y في كل الاهداف .

٢- X يسيطر على Y وفق العلاقة :

$$X \prec Y, \text{إذا} \begin{cases} \forall i \in \{1,2,\dots,m\}: w_i(X) \le w_i(Y) \\ \exists j \in \{1,2,\dots,m\}: w_j(X) < w_j(Y); \end{cases} \qquad (2-7)$$

[٨] ولد في ايطاليا ١٥ اب ١٨٤٨، توفي ١٩ تموز ١٩٢٣ كان مهندس ، و فيلسوف وعالم اجتماع،وقدم عدة إسهامات مهمة في الاقتصاد، ولا سيما في دراسة توزيع الدخل وفي تحليل الخيارات الأفراد.

إذا كان X ليس أسوأ من Y في جميع الأهداف وأفضل تماماً في هدف واحد على الأقل من تلك الأهداف.

٣- X يسيطر تماماً على Y وفق العلاقة .

$$X \prec\prec Y, \text{إذا } \forall i \in \{1,2,\dots,m\}: w_i(X) < w_i(Y); \qquad (3-7)$$

إذا كان X أفضل تماماً من Y في جميع الأهداف .

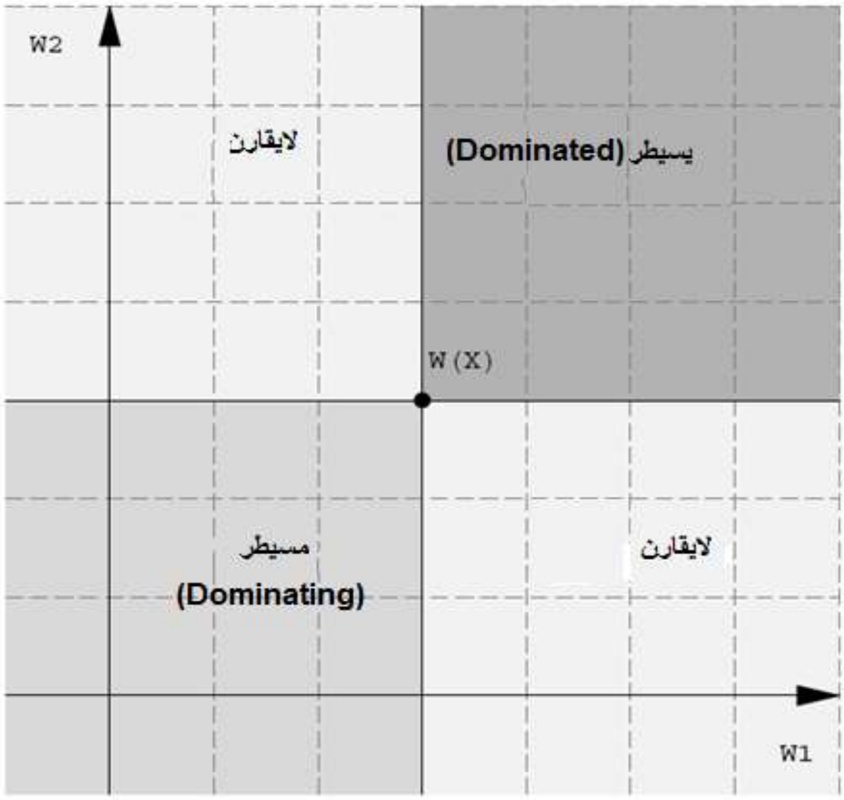
٤- X لا يقارن بـ Y وفق العلاقة .

$$if, X \sim Y$$

$$X \not\preceq Y \text{ and } Y \not\preceq X. \qquad (4-7)$$

أي لا يوجد حل من الحلول يؤدي إلى الآخر ، ولا يمكن المقارنة .

يمثل الشكل (٧-١) المناطق في فضاء الهدف.



الشكل (7-١) : توزيع المناطق في فضاء الهدف

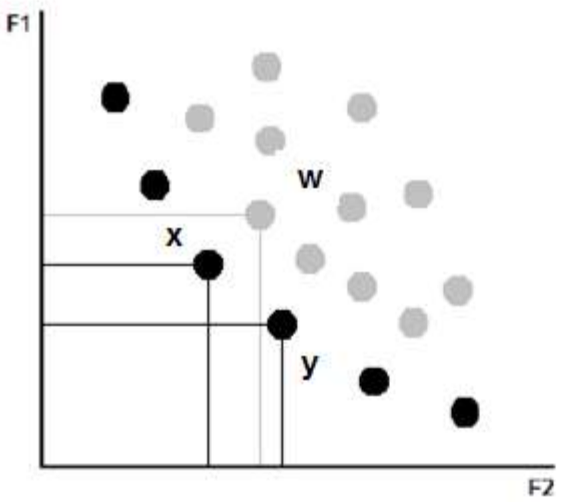
ولفهم أفضل للعلاقات الناتجة عن التعريفات السابقة التي يوضحها الشكل (7-١) :

فمن المحتمل أن نضع شروطاً أمثلية نحصل من خلالها على مجموعة غير مسيطر عليها من قبل أي حل آخر من فضاء الحلول S إي نحصل على حل باريتو أمثلي ويعبر عن ذلك رياضياً كما يلي :

$$\forall_{Y \in S-\{X\}} : Y \nprec X.$$

علماً بأن مجموعة باريتو **(Pareto set (PS** هي مجموعة الحلول المثالية والفعالة وإن الحلول المنتمية إلى جبهة باريتو **(Pareto Front(PF** تسمى حلولاً غير مسيطر عليها وكل هذه الحلول مقبولة على قدم المساواة فيما يتعلق بما يحقق جميع الأهداف للمسألة المدروسة المتعددة الأهداف [20,19] .

كما ويظهر الشكل (7-٢) تمثيل جبهة باريتو من مسألة ثنائية الأهداف ، حيث السيطرة يمكن رؤيتها بوضوح تام و بما أن أيا من الحلول في مجموعة باريتو هو أفضل الحلول على الاطلاق من الحلول التي يسيطر عليها ، وكلها مقبولة على قدم المساواة فيما يتعلق بتحقيق جميع الأهداف .



.

الشكل (٧-٢) : جبهة باريتو مع اثنين من الاهداف $(\min(\mathbf{F1}, \mathbf{F2}))$ النقاط السوداء تتوافق مع الحلول في جبهة باريتو (x و y من بينها). وتظهر الحلول المسيطر عليها باللون الرمادي .

٩- المتغيرات و البارومترات :

تم وضع النموذج الرياضي للمسألة المدروسة من قبل G.B. Dantzig[٩] , D.R. Fulkerson[١٠] And S.M. Johnson[١١] في عام ١٩٥٤ م [1] كما يلي :

٩عالم رياضيات امريكي ، ولد ١٩١٤ وتوفي ٢٠٠٥ ، قدم خوارزميات بسيطة.

١٠عالم رياضيات ، ولد ١٤ اب ١٩٢٤ وتوفي ١٠ كانون الثاني ١٩٧٦ ، ساهم في وضع النموذج الرياضي لمشكلة البائع المتجول .

١١ ولد ٢١ أيار ١٩١٦ في بوهل، ولاية مينيسوتا. حصل على شهادة البكالوريوس ثم على درجة الماجستير في الرياضيات من جامعة مينيسوتا في عام ١٩٣٨ و ١٩٤٠ على التوالي.

$$Min \sum_{i\in V}\sum_{j\in V} c_{ij}x_{ij} \qquad (2-8)$$

$$S.T \quad \sum_{\substack{i\in V\\ i\neq j}} x_{ij} = 1, i \in V \qquad (3-8)$$

$$\sum_{\substack{i\in V\\ i\neq j}} x_{ij} = 1, j \in V \qquad (4-8)$$

$$\sum_{i\in S}\sum_{j\in S} x_{ij} \leq |S| - 1, \forall\, S \subset V \qquad (5-8)$$

$$x_{ij} = 0 \; or \; 1, i, j \in V \qquad (6-8)$$

حيث المعادلة $(8-2)$ تعبر عن تابع الهدف التي يقلل المسافة الإجمالية المقطوعة .

و يدل القيد $(8-3)$ على أن الجولة تزور العقدة j مرة واحدة فقط .

و يشير القيد $(8-4)$ إلى أن الجولة تغادر كل عقدة i مرة واحدة فقط .

و القيد $(8-5)$ يلغي الجولات غير التامة .

والقيد $(8-6)$ هو قيد ثنائي حيث $x_{ij} = 1$ إذا كانت الضلع (i, j) في الحل . و $\boldsymbol{x_{ij} = 0}$ خلاف ذلك ، أما $|S|$ تمثل عدد العقد في البيان غير التام ، مع ملاحظة أن $S \equiv V$ إذا لم تكن محتواة فيها $S \subset V$.

١٠-طرائق حل مسألة البائع المتجول:

يستخدم لحل مسألة البائع المتجول ثلاثة أنواع من الخوارزميات هي:

١- الخوارزميات المضبوطة:

وهي خوارزميات ملائمة لحالات ذات قياس صغير نسبياً، و لا يمكن أن تحل حالات المسألة لأكثر من ١٠٠ زبون في فترة زمنية معقولة لأنها من الصنف *NP-hard* صعبة الحل حتى باستعمال الحاسبات وبالتالي يجب أن تلجأ إلى أساليب تقريبية لتخفّض الزمن اللازم لإيجاد الحلول المثلى أو من أجل الحصول على حل جيد ضمن الزمن المعقول ، ومن الأمثلة على الخوارزميات المضبوطة . [2] .

١-١ خوارزمية التفريع والقطع *Branch and Cut* .

١-٢ خوارزمية التفريع والحد والسعر *Branch and Cut and Price*.

٢- الخوارزميات التقريبية :

تعتبر من الخوارزميات الفعالة من أجل حل المسائل ذات المقاييس الكبيرة و تقسم إلى مجموعتين رئيسيتين هما . [6,5] :

٢-١ الخوارزميات الإرشادية الكلاسيكية:

هي خوارزميات تستخدم أساليب إرشادية لتسريع إيجاد حل مقنع لمسألة ما لأن البحث الشامل غير عملي، ولكنها غير فعالة للهروب من الوقوع في الأمثلية المحلية *Local Optimum* وتوجد فجوة كبيرة للحلول الناتجة عنها بالمقارنة مع أفضل الحلول المعروفة، ومنها على سبيل المثال خوارزمية البحث المحلي. [7, 6] .

٢-٢ الخوارزميات ما وراء الإرشادية

هي صنف من الخوارزميات والتقنيات التي تستخدم قدراً من العشوائية لإيجاد أفضل حلول للمسائل الصعبة، و هي الأكثر عمومية من أنواع الخوارزميات الأخرى، وتعد طريقة حسابية تحَسّن حلاً مرشحاً للمسألة بشكل تكراري علماً بأن الحل يتعلق بمقياس معين من الجودة الأمثلية كإحدى الطرق المناسبة، ويتم تطبيقها على مجموعة واسعة جدا من المسائل وكذلك لا تضمن مثل هذه الخوارزميات الحل الأمثل و هذا النهج فعال جداً للهروب من الأمثلية المحلية فهي واحدة من أفضل مجموعة خوارزميات لحل مسائل الأمثلية . [9,7] . ومن أمثلتها.

أ- خوارزمية مستعمرة النمل.

ب-الخوارزمية الجينية.

ب- خوارزمية مستعمرة النحل.

ت- البحث المحظور.

٣- الخوارزميات الهجينة:

وجد العديد من الباحثين في الآونة الأخيرة أن توظيف التهجين في مسائل الامثلية يمكن أن يحسن نوعية الحلول وعلى الرغم من الاختلافات الكبيرة والهامة بين هذه الخوارزميات، لكنها تشترك ببعض العناصر التي تم تجاهلها وتركت غير مستغلة. [7] .

٤-معالجة المسألة:

بما أن مسألة البائع المتجول **TSP** من صنف المسائل NP-hard، تاريخياً **درست المسألة المتعددة الاهداف** بحيث كان يتم تحويلها إلى مسألة احادية الهدف بضرب كل هدف بوزن يعبر عن اهميته ومن ثم جمع المضاريب وتحويل المسألة المتعددة الأهداف إلى مسألة أحادية الهدف، ولهذه الطريقة بعض العيوب سنذكرها لاحقاً.

إن الامثلية المتعددة الأهداف تتوقف على وجود أهداف متضاربة فيما بينها، ويتوجب إيجاد حل أمثلي يوافق أفضل القيم لكل هدف على حده وبالتالي نتحدث هنا عن مجموعة حلول مثلى للأهداف المتعارضة وليس حلاً واحداً فقط حيث تشكل مع بعضها البعض حلاً وحيداً امثلياً للمسألة المدروسة.

يهدف الى معالجة مسألة البائع المتجول المتعددة الاهداف **بطريقة جديدة بحيث يكون لكل الأهداف نفس الوزن أو القوة مع حل باريتو الذي يعتمد على مجموعة تقريب واردة ومقبولة في حل المسألة، تسمى بالحلول غير المسيطر عليها (*non-dominated solutions*) أو بحلول باريتو**، وهي تزود صانع القرار بالعديد من الخيارات، ليختار أفضلها.

عولجت سابقاً المسألة متعددة الأهداف سلمياً (*scalarize*) بإعادة توزيع الأوزان كتقليل زمن أو كلفة أو زيادة معيار كما في العلاقة $c = fc_1 + fc_2 + fc_3$ علماً بأن المعايير من طبيعة مختلفة ، و سنعالج في بحثنا هذه المسألة بشكل شعاعي (*vector*) بحيث يكون لكل الأهداف المتعارضة نفس الوزن أو القوة

$c = \{c_1, c_2, c_3\}$، وسنستخدم حل باريتو الذي يعتمد مجموعة تقريب واردة ومقبولة في حل المسألة .

٥. الطرق الكلاسيكية لحل الامثلية المتعددة الاهداف:

هناك ثلاث طرق أكثر شيوعاً لحل الامثلية المتعددة الاهداف وهي:

١- الهدف الموزون .

كان يتم سابقاً الجمع بين توابع متعددة الأهداف في تابع عام وحيد الهدف على النحو التالي:

$$F = \sum_{i=1}^{K} w_i . f_i(x) , \sum_{i=1}^{K} w_i = 1, \quad 0 \le w_i \le 1$$

٢- **تابع المسافة.**

يتم في دوال المسافة حساب التابع F الوحيد الهدف ليكون الأمثل ويحسب باستخدام متجهة مستوى الطلب ، $\bar{f}$ والتي تكون محددة من قبل صانع القرار .

$$F = \left[\sum_{i=0}^{K} \left| f_i(x) - \bar{f} \right|^r \right]^{\frac{1}{r}}, \; 1 \le r < \infty$$

٣- صياغة Min-Max.

يحاول الأسلوب الأخير (صياغة Min-Max) تقليل الانحرافات النسبية للتوابع الوحيدة الهدف كما يلي:

$$f(x) = \max[Z_i(x)] , \qquad i = 1,2, \dots , K$$

وللحصول على قيمة غير سالبة لقيمة الهدف الأمثل $Z_i(x)$. يتم احتساب $\bar{f_i} > 0$

$$Z_i(x) = \frac{f_i - \bar{f_i}}{\bar{f}}$$

وجميعها تستند على تحويل مسألة الامثلية متعددة الأهداف إلى هدف واحد [26].

٦. معوقات الطرق الكلاسيكية:

كل الطرق الكلاسيكية التي تستعمل لحل مشاكل متعددة الأهداف لها عوائق وعيوب جدية هي:

١- يتم الجمع بين الأهداف، لتشكيل تابع هدف واحد، حل باريتو الأمثل الوحيد يمكن الحصول عليه في وقت واحد متزامن، و في المسائل ذات الطابع اليومي والتي تتغير باستمرار وحسب المستجدات فإن صاحب القرار غالباً ما يطلب بدائل مختلفة لصنع قراره ولكن التقنيات الكلاسيكية لا يمكن أن تقدم له هذه البدائل.

٢- قبل تشكيل هدف واحد من مجموعة الأهداف ، يجب على صانع القرار أن يكون على معرفة دقيقة وشاملة بأولوية كل هدف ، وهذه مسألة صعبة في حد ذاتها .

٣- إذا كانت توابع الهدف أحتمالية ، فإن تعريف متجهة الوزن يصبح أكثر صعوبة .

٤- مراعاة هذه الطرق كثيراً للأوزان .

٥- الأهداف متعارضة حتى بالقياسات والوحدات والجمع بينها امر صعب .

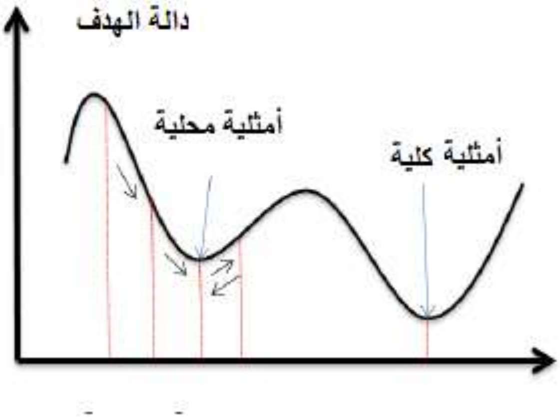
ولحل هذه المعوقات قدمت في السنوات الماضية بعض التقنيات للامثلية متعددة الأهداف والتي تستند على ما وراء الإرشادي [23] .

٧. ما وراء الإرشادي لخوارزمية أمثلية مستعمرة النمل:

إن العديد من مشاكل الامثلية يصعب حلها تماماً وهذا يعود إلى حجم هذه المسائل، وعدد القيود، وتعقيد تابع الهدف، والوقت الحسابي المطلوب لحلها.

مثل هذه المسائل مصنفة NP–hard ولا يمكن حلها في زمن كثيرة الحدود (polynomial time) ، والحل هو استخدام خوارزميات تعطي حلول تقريبية قريبة من الحل الامثل في وقت حسابي مقبول أو معقول [28,27].

الارشادي التقليدي عبارة عن خوارزميات بناء، وخوارزميات بحث محلية، و كل الحلول العملية تبنى بشكل تكراري على نحو محدد، وعلى سبيل المثال البحث المحلي يبدأ من حل واحد إلى أفضل الحلول في جوار محدد في كل خطوة وعلى الرغم من سرعة هذه الخوارزميات في الحصول على حل أمثلي لكنها توقعنا فيما ندعوه بالأمثلة المحلية كما في الشكل (٧–٣) ، وبالتالي لا نستطيع تحديد الامثلية الكلية الحقيقية .



الشكل (٧–٣) : يبين كيف إن الطرق الارشادية التقليدية محصورة بالامثلية المحلية

وللهروب من الامثلية المحلية صممت خوارزميات ما وراء الإرشادي تقوم بأجراء بحث قوي في فضاء الحل [24]، حيث يتم استغلال فضاء الحل المحلي وتنويع اكتشاف المناطق الأخرى من فضاء الحل ، و هناك مجموعة واسعة من خوارزميات ما وراء الإرشادي كل واحدة تقدم نظرة خاصة واسهام لحل المسائل المتعددة الأهداف ونذكر منها ما يلي :

١– الخوارزمية الجينية (*Genetic Algorithms*): المستوحاة من التطور البيولوجي للكائنات الحية .

٢– البحث المحظور (*Tabu Search*): الذي يتضمن مفهوم ذاكرة لبعض مجالات البحث بحيث يصبح فيها البحث غير مسموح أو محظور .

٣– *Simulated Annealing* : مستوحاة من الفيزياء .

إن تطوير الطرق الإرشادية العامة أيضاً يسمى ماوراء الإرشادي هو مجال من البحوث ينمو بسرعة فائقة و ماوراء الإرشادي هي مجموعة من الطرق التقريبية لإيجاد حلول مثالية تقريباً بتكلفة حسابية معقولة لكن دون أن يكون قادراً على ضمان المثالية ، وفي العقود الثلاث الماضية أُقترح ماوراء الإرشادي ، لكننا سوف نركز بشكل رئيسي على تحسين أمثلية مستعمرة النمل التي تملك إمكانية التمديد ، ولكن ليس تمديد بسيط لهدف وحيد بل إلى المسائل المتعددة الأهداف .

٨.خوارزمية نملة لمسائل الامثلية ثنائية الهدف :

صممت خوارزمية نملة لمسائل الامثلية ثنائية الهدف من قبل العالم (*Iredi*, 2001) وآخرون حيث استخدموا مستعمرة نمل واحدة وعدة مستعمرات، و هذه الخوارزمية تستخدم مستعمرة نمل واحدة و مصفوفتين لأثر الفورمون هما τ ، τ' ومصفوفتين للمعلومات الإرشادية هما η ، η' تمثل كل منهما هدفاً واحداً .

وفي كل تكرار فإن كل النمل m يولد حلاً للمسألة ويختار المركز القادم j أعتماداً على الاحتمال التالي [31,30,29] :

$$p_{ij}^{h} = \begin{cases} \tau_{ij}^{\lambda\alpha}\tau'^{(1-\lambda)\alpha}\eta_{ij}^{\lambda\beta}{\eta'_{ij}}^{(1-\lambda)\beta}, & \text{إذا } j \in \mathcal{N}_i^h \\ 0, & \text{خلاف ذلك} \end{cases} \qquad (1-8)$$

حيث α وβ البارامتران اللذان يزنان الأهمية النسبية لأثر الفورمون ، والمعلومات الإرشادية ، η و η' هي قيم إرشادية ارتبطت بالضلع a_{ij} وفقاً لكل هدف .

$\mathcal{N}_i^h$ هو الجار العملي الحالي للنملة h ، و من أجل جعل بحث النمل في مناطق مختلفة من جبهة باريتو ، بحيث λ محسوبة لكل نملة $h \in \{1, \dots, m\}$.

$$\lambda_h = \frac{h-1}{m-1}$$

وهكذا في الحالات القصوى النملة m مع $\lambda = 1$ للهدف الأول و في حين أن النملة(١) مع $\lambda = 0$ للهدف الثاني ، و عندما يولد كل النمل الحلول اللازمة له ، ويتبخر أثار الفورمون وفقاً لـ :

$$\tau_{ij} \leftarrow (1-\rho)\tau_{ij}, \qquad \tau'_{ij} \leftarrow (1-\rho)\tau'_{ij}$$

حيث $\rho \in [0,1]$ نسبة تبخر الفورمون . تتم عملية تحديث الفورمون فقط من قبل النمل للمجموعة غير المسيطر عليها الحالية ، وتحدث كل نملة المصفوفات كالتالي :

$$\tau_{ij} \leftarrow \tau_{ij} + \frac{1}{l}, \qquad \tau'_{ij} \leftarrow \tau'_{ij} + 1/l$$

حيث أن l عدد النمل في العلاقة السابقة و الذي يسمح بالتحديث في التكرار الحالي ، و يتم الاحتفاظ بالحلول غير المسيطر عليها والتي ولدت طوال تنفذ الخوارزمية ضمن مجموعة خارجية .

٩. أمثلية مستعمرة النمل لباريتو:

إن أمثلية مستعمرة النمل لباريتو (P−*ACO*) ، مقترحة من قبل (Doerner et al,2003) [32]. وهي مستندة أساساً على ACO الكلاسيكية، ولكن يتم تحديث الفورمون الكلي عن طريق استخدام نملتين مختلفتين، فإن أفضل الحلول وثاني أفضل الحلول التي ولدت في التكرار الحالي لكل K هدف.

P−ACO حيث تمثل τ^k عدة مصفوفات فورمون معتبرة واحدة لكل هدف K ، و معلومات إرشادية واحدة أيضاً في كل تكرار للخوارزمية علماً بأن كل النمل يحسب مجموعة من الأوزان $p = (p_1, \dots, p_k)$، ويستخدم من أجل جمع أثار الفورمون والمعلومات الإرشادية ، عندما تختار نملة العقدة التالية التي ستزار تستعمل الخوارزمية مستعمرات النمل قاعدة انتقال تعتبر K مصفوفات فورمون:

$$j = \begin{cases} \arg\max j \in N_i^h \left\{\sum_{k=1}^{K} \left[p_k \tau_{ij}^k\right]^\alpha \eta_{ij}^\beta\right\}, & q \le q_0 \text{ إذا} \\ \hat{i} & \text{خلاف ذلك} \end{cases} \qquad (1-9)$$

حيث يتم تحديد p_k عشوائياً لكل نملة ، و K عدد الأهداف ، و η_{ij} القيمة الإجمالية للجذب من الضلع a_{ij} باستعمال المعلومات الإرشادية ، و $\hat{i}$ عقدة اختيرت وفقاً للقاعدة:

$$p_{ij}^h = \begin{cases} \dfrac{\sum_{k=1}^{K}\left[p_k \tau_{ij}^k\right]^\alpha \eta_{ij}^\beta}{\sum_{l \in \mathcal{N}_i^h}\left(\sum_{k=1}^{K}[p_k \tau_{il}^k]^\alpha \eta_{il}^\beta\right)} & j \in \mathcal{N}_i^h \text{ إذا} \\ 0 & \text{خلاف ذلك} \end{cases} \qquad (2-9)$$

و يتم تنفيذ تحديث الفورمون المحلي في كل مرة تعبر نملة ضلع a_{ij} بتطبيق المعادلة التالية وتضع باعتبارها فورمون كل مصفوفة .

$$\tau_{ij}^k = (1-\rho)\tau_{ij}^k + \rho\tau_0 \qquad (3-9)$$

حيث أن τ_0 قيمة الفورمون الأولية و ρ نسبة التبخر ، و يتم تحديث الفورمون الكلي عن طريق أفضل النمل وثاني أفضل النمل وفقاً لقاعدة التحديث لكل هدف k كما يلي :

$$\tau_{ij}^k = (1-\rho)\tau_{ij}^k + \rho\Delta\tau_{ij}^k \qquad (4-9)$$

حيث $\Delta\tau_{ij}^k$ تزداد تدريجياً وهي متعلقة بأفضل وثاني أفضل الحلول المقبولة وفقاً للهدف k ، والتي تتمثل كما يلي :

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} 15, & \text{إذا كانت الحافة } a_{ij} \text{ تنتمي لأفضل وأفضل ثاني حل} \\ 10, & \text{إذا كانت الحافة } a_{ij} \text{ تنتمي لأفضل الحلول} \\ 5, & \text{إذا كانت الحافة } a_{ij} \text{ تنتمي لأفضل ثاني الحلول} \\ 0, & \text{خلاف ذلك} \end{cases} \qquad (5-9)$$

وأثناء تنفيذ الخوارزمية تحفظ الحلول غير المسيطر عليها ضمن مجموعة خارجية وعند انتهاء تفيذ الخوارزمية يتم استرجاعها وإعلانها كحل أمثل نهائي.

١٠. خوارزمية أمثلية النمل للمسائل متعددة الأهداف .

١. تعيين البارمترات .

٢. تهيئة اثار الفورمون τ.

٣. تهيئة المصفوفة الارشادية η .

٤. تهيئة مجموعة باريتو P بحيث تكون فارغة .

٥. طالما معايير الإنهاء غير محققة تابع تنفيذ الخطوات التالية .

٦. توليد الحلول من خلال تطبيق الاجراء ()ConstructAntSolution .

٧. تطبيق إجراء البحث المحلي ()ApplyLocalSearch من أجل تحسين الحل وهذا الاجراء اختياري.

٨ .عندما يولد كل النمل حلوله ، يتم تحديث مجموعة باريتو من خلال الاجراء ()UpdateParetoSet .

9. تحديث مسارات الفورمون من خلال الاجراء ()UpdateGlobalPheromone .

١٠. إعادة مجموعة باريتو P .

في الإجراء ()ConstructAntSolution النمل يبدأ المشي وفقا لقرار اختيار العقدة المقبلة التي ستتم زيارتها، ويسترشد بحركته بأثر الفرمون والمعلومات الارشادية المرتبطة بالمسألة وبعد بناء المسار الكامل . من الممكن تطبيق إجراء البحث المحلي ()ApplyLocalSearch من أجل تحسين الحل . عندما يولد كل النمل حلوله، يتم تحديث مجموعة باريتو من خلال الاجراء()UpdateParetoSet ، وحفظ كل الحلول غير المسيطر عليها والتي ولدت حتى هذه اللحظة . ثم يتم تحديث مسارات الفورمون من خلال الاجراء ()UpdateGlobalPheromone ، والنظر في نوعية الحلول المرشحة المولدة وكذلك تحقيق مستوى معين من تبخر الفورمون .

١١- النتائج التطبيقية لخوارزمية مستعمرة النمل متعددة الأهداف التي تم الحصول عليها من أجل هدفين (أقل زمن ، أقل كلفة).

أجريت النتائج التطبيقية باستخدام خوارزمية أمثلية مستعمرة النمل لباريتو المقدمة من وجهة نظر متعدد الاهداف في الجدول (٥-١) ، و تم استخدام لغة+ + C لتنفيذ الخوارزمية و نفذت البرامج الحاسوبية في PC باستخدام معالج corei3 و GB 2 من ذاكرة الوصول العشوائي .

اصبحت مسألة البائع المتجول مقياس لكفاءة الخوارزميات وذلك لصعوبة إيجاد حل أمثل في زمن مناسب لذلك أي طريقة يتم استحداثها لحل المسألة يجب تطبيقها على مسائل قياسية مأخوذة من المكتبة الخاصة بمسألة البائع المتجول (**TSPLIB**) في هذا البحث سوف نقوم بتجريب الخوارزمية **مستعمرة النمل** المقدمة على عدد من المسائل القياسية المأخوذة من المكتبة مع تكرار الحل عدة مرات وحساب النتائج .

ويتم قياس جودة الخوارزميات من خلال:

١. الجهد الحسابي المطلوب للحصول على حل واقعي.

٢. يجب أن يكون الحل على مقربة من النتائج القياسية المعروفة في متوسط نسبة الانحراف المئوي.

٣. ينبغي أن تكون فرصة التوصل إلى حل سيء جدا منخفضة.

٤. مقارنة مع طرق حسابية تتطلب الكثير من الجهد الحسابي الذي يتم إنهاء بعد جهد حسابي كبير.

٥. مقارنة مع أداء صانع القرار، إما من خلال إطار زمني سابق أو مباشر.

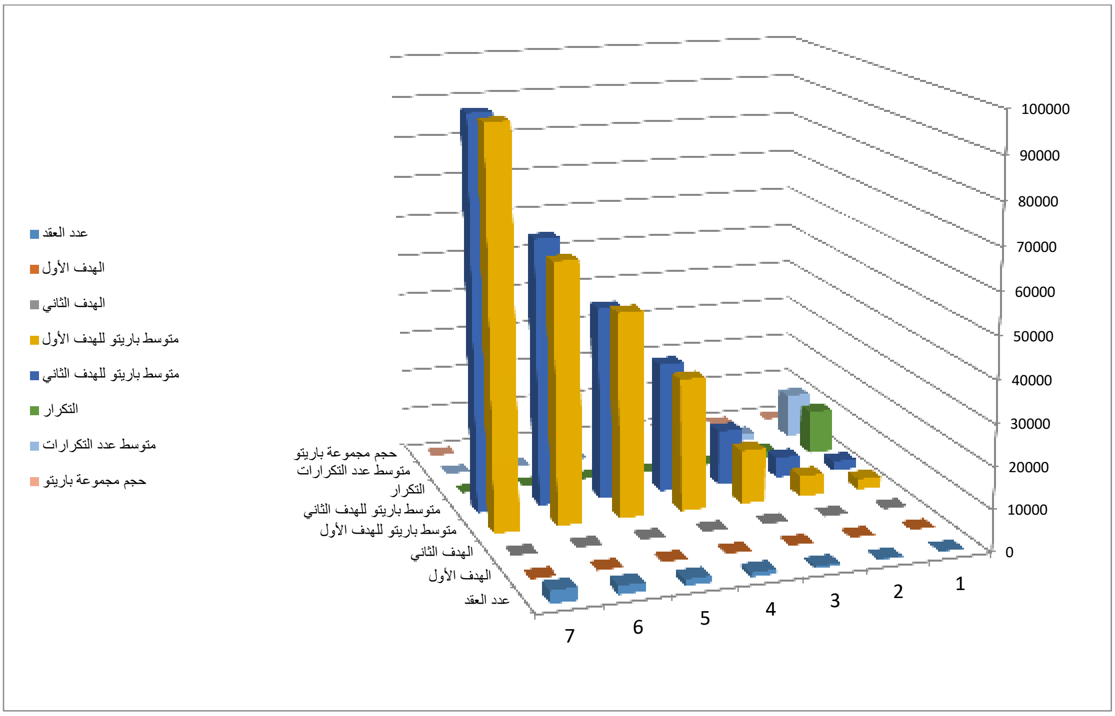
درسنا في هذا البحث مساهمة لحل مسألة البائع المتجول من وجهتي نظر المتعددة الأهداف، اعتماداً على الخوارزمية .

الجدول (١١-١) النتائج التطبيقية لخوارزمية مستعمرة النمل متعددة الاهداف لحل مسالة البائع المتجول .

[31,30] .

عدد العقد	الهدف الأول	الهدف الثاني	متوسط باريتو للهدف الأول	متوسط باريتو للهدف الثاني	التكرار	متوسط عدد التكرارات	حجم مجموعة باريتو	زمن التهيئة	الزمن المستغرق
100	52.33	50.41	٢٥٨٧	2369	10776	10780	30	0.004s	60 s
٢٠٠	52.79	52.28	٥٠٦٢	4981	1737	1737	26	0.008s	60.02 s
٥٠٠	٤٩.٥٧	٥٠.٦٥	١٣١١٨	١٣٤٢٠	126	126	١٧	60.02 s	60.16 s
١٠٠٠	٥١.٩٣	٥٢.٢١	32132	٣١٦٩٦	١٦	١٦	٢١	0.092s	0.032s
١٥٠٠	٥٢.٨٢	٥١.٥٠	٤٩٤٩٠	٤٦٧٥٦	٥	٥	١٢	0.18s	63.57 s
٢٠٠٠	٥١.٩٦	٥١.٩٠	٦٢٧٠٠	٦٤٦٣٤	٢	٢	١٥	0.308 s	62.77 s
٣٠٠٠	٥٢.٣٥	٥٢.٣٤	٩٥١٢٠	٩٤٦٦٩	١	١	١٣	0.668s	115.7s

و في حالة المسألة متعددة الاهداف تم تطبيق خوارزمية أمثلية مستمرة النمل لحل المسألة من أجل هدفين فقط ، لكن تتوقف الامثلية المتعددة الأهداف على وجود أهداف متضاربة فيما بينها ، يتوجب إيجاد حل أمثلي يوافق أفضل القيم لكل هدف على حده وبالتالي توليد مجموعة حلول باريتو المثلى غير المسيطر عليها بدلا من حل واحد امثلي ، يشكل حلاً وحيداً للمسألة المدروسة .



الشكل (١١ – ١) :المصدر الباحث تم انشاء المخطط اعتمادا على جدول البيانات السابق على برنامج الأكسل مخطط عمودي ثلاثي الأبعاد لخوارزمية مستعمرة النمل متعددة الاهداف لهدفين.

حيث تم ضبط البارمترات التي تم تعينها لخوارزمية أمثلية مستعمرة النمل متعددة الأهداف كما في الجدول (١١-٢):

الجدول (١١-٢) : قيم البارامترات التي تم تعينها لخوارزمية أمثلية مستعمرة النمل متعددة الأهداف لحل مسالة البائع المتجول. [28,27] .

عدد العقد	عدد النملات	عدد المستعمرات	α	β	τ_min	τ_max	τ_0	ρ
100	١٠٠	١	١	٢	٠.٢٥	٥٠	٥٠	0.02
٢٠٠	٢٠٠	١	١	٢	٠.١٢٥	٥٠	٥٠	0.02
٥٠٠	٥٠٠	١	١	٢	0.05	٥٠	٥٠	0.02
١٠٠٠	١٠٠٠	١	١	٢	0.025	٥٠	٥٠	0.02
١٥٠٠	١٥٠٠	١	١	٢	0.0166667	٥٠	٥٠	0.02
٢٠٠٠	٢٠٠٠	١	١	٢	٠.٠١٢٥	٥٠	٥٠	0.02
٣٠٠٠	٣٠٠٠	١	١	٢	0.00833333	٥٠	٥٠	0.02

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات.

إنَّ النتائج التطبيقية توضح لنا أن خوارزمية امثليه مستعمرة النمل هي أداة فعالة لتحسين الحل على أساس السلوك الجماعي للنمل، ولديها إمكانية تحقيق أداء أفضل من حيث سرعة التقارب والقدرة على إيجاد حلول جيدة من خلال تقليد السلوك الجماعي الذكي للنمل، وعلى الرغم من أن هذه التقنية لا تزال

حديثة، ولكنها أظهرت نتائج أفضل بكثير من الخوارزميات الإرشادية والخوارزميات المضبوطة التي تعجز عن حل المسائل من القياس الكبير.

التوصيات.

وعلى الرغم من الدراسات العديدة في هذا المجال إلا انه لا يزال هناك مساحة واسعة للبحث.

مما تقدم نوصي بما يلي:

١- يمكن معالجة أهداف أخرى مثل، قدرة البائع المتجول، عدم وجود الزبون.

٢- إضافة فرض جديد بحيث يعود البائع المتجول إلى بيته مثلاً.

٣- اكتشاف وتحسين الخوارزميات التي تعتمد على ذكاء السرب مثل أشراب (الطيور، الدبابير، النمل الأبيض، الاسماك، النحل) والتي تعطي حلولاً تقريبية جيدة.

خاتمة البحث.

درسنا في هذا البحث مساهمة لحل مسألة البائع المتجول من وجهتي نظر المتعددة الأهداف، اعتماداً على خوارزمية **مستعمرة النمل**، وفي حالة المسألة متعددة الاهداف تم تطبيق خوارزمية امثليه مستمرة النمل لحل المسألة من أجل هدفين فقط، لكن تتوقف الامثلية المتعددة الأهداف على وجود أهداف متضاربة فيما بينها، يتوجب إيجاد حل أمثلي يوافق أفضل القيم لكل هدف على حده وبالتالي توليد مجموعة حلول باريتو المثلى غير المسيطر عليها بدلا من حل واحد امثلي، يشكل حلاً وحيداً للمسألة المدروسة.

المراجع الاجنبية :

[1] Dantzig, G.B., Fulkerson, D.R., Johnson, S.M *"Solution of a large scale traveling salesman problem, Operation Research, vol. 2*, 1954,pp.393-405 .

[2] Cook, William . In Pursuit of the Traveling Salesman ,Mathematics at the Limits of Computation ,2012 ,245 p .

[3] Applegate, D.L., Bixby, R.E., Chvátal ,V ., and Cook ,W.J.,*The traveling salesman problem: A computational study*. Princeton University Press, 2007. 606 P.

[4] Mitchell, J.C.B., for geometric TSP,k-MST, and related problem', SIAM J.Comput. 28 (1999).pp 1298-1309 . *Guillotine subdivisions approximate polygonal subdivisions:A simple polynomial time approximation scheme*

[5] Arora ,S., *Polynomial-time approximation schemes for Euclidean TSP and other geometric problems.*Proceedings of 37th IEEESymposium on Foundations of ComputerScience, pp. 2-12, 1996 .

[6] Arora ,S., *The Approximability of NP-hard Problems*. Princeton University, 1998.

[7] Grotschel, M., Junger, M.,andReinelt, G. (1991*). Optimal Control of Plotting and Drilling Machines: A Case Study*. Mathematical Methods of Operations Research, Vol. 35, No. 1, January, 1991.pp 61-84.

[8] Johnson , D.S and McGeoch ,L.A., "*Experimental Analysis of Heuristics for the STSP* ", The Traveling Salesman Problem and its Variations, 2002,pp 369–40 .

[9] Fischetti, M., Lodi, A., and Toth,P., '*Exact Methods for the Asymmetric Traveling Salesman Problem',* in G. Gutin and A.P. Punnen (eds): The Traveling Salesman Problem and its Variations,Kluwer, 2002 , pp170–190 .

[10] Cook, William. "History of the TSP." *The Traveling Salesman Problem*. Oct 2009. Georgia Tech, 22 Jan 2010. <http://www.tsp.gatech.edu/index.html>.

[11] Burkard,R. E. , Deineko,V. G. , Van Dal, R .,Van der Veen,J.A.A., and Woeginger , G. *J., "Well-solvable special cases of the traveling salesman problem: A survey* ," SIAM Review, vol. 40, no. 3, 1998, pp. 499-540.
[12] Dorigo, M and Gambardella, L.M., *Solving Symmetric and Asymmetric TSPs by Ant Colonies* , Proceedings of the IEEE Conference on Evolutionary Computation,ICEC96, Nagoya, Japan, May 20-22, 1996, pp. 623-626.
[13] Dorigo, M and Gambardella, L.M., "*The colony system: A cooperative learning approach to the traveling salesman problem*," IEEE Transactions on Evolutionary Computation, vol.1, no.1, April, 1997.pp 53-66 .
[14] Kaelbling,L.P. , Littman, L.M and Moore, A. ,Weinforcement learning: a survey*," Journal of Artificial Intelligence Research*, vol. 4, 1996.pp 250- 255 .
[15] Ehrgott, M. *Approximation algorithms for combinatorial multicriteria optimization problem*s.International Transcations in Operational Research,7,2000 ,pp25–31.

[16] Dorigo , M., and Di Caro, G.*, The Ant Colony Optimization Meta-Heuristic.In D. Corne, Dorigo* , M ., and Glover, F. , editors, New Ideas in Optimization.McGraw-Hill, , London, UK, 1999 .pp 11-30 .
[17] LÓpez-Ibáñez, M. & St Ützle, T. (2010). *Automatic configuration of multi- objective ant colonyoptimization algorithms,* pp. 95–106.
[18] García-Martínez, C., CordÓn, O. & Herrera, F , *A taxonomy and an empirical analysis of multiple objective ant colony optimization algorithms for the bi-criteria TSP*,European Journal of Operational Research 180,2007 ,pp125-135 .
[19] García-Martínez, C., CordÓn, O. & Herrera, F *, A taxonomy and an empirical*
[20] Angus, D. and Woodward, C. *Multiple objective ant colony optimisation,* Swarm Intelligence 3(1): 2009,pp 79–83.
[٢١] Gravel M.,Price, W. L.,Gagn´eC., *Scheduling Continuous Casting of Aluminium using a Multiple Objective Ant Colony Optimization Metaheuristic,* European Journal of Operational Research, vol. 143, n1, 2002, pp 218-229.
[٢٢] Doerner, K., Gutjahr, W.J., Hartl, R.F., Strauss, C., Stummer, C.: *Pareto ant colony optimization: A metaheuristic approach to multiobjective portfolio selectio*n. Annals of Operations Research , 2003.
[23] Dorigo , M., and Di Caro, G., *The Ant Colony Optimization Meta-Heuristic*.In D. Corne, Dorigo , M ., and Glover, F. , editors, New Ideas in Optimization.McGraw-Hill, , London, UK, 1999 .pp 11-30 .
[24] LÓpez-Ibáñez, M. & St Ützle, T. (2010). *Automatic configuration of multi- objective ant colonyoptimization algorithms,* pp. 95–106.
[25] García-Martínez, C., CordÓn, O. & Herrera, F , *A taxonomy and an empirical analysis of multiple objective ant colony optimization algorithms for the bi-criteria TSP,European* Journal of Operational Research 180,2007 ,pp125-135 .
[26] Deb . K., "*Evolutionary Algorithms for Multi-Criterion Optimization in Engineering Design"*. In Proceedings of Evolutionary Algorithms in Engineering and Computer Science EUROGEN'99. 1999. pp. 135-140 .
[27] http://en.wikipedia.org/wiki/Approximation_algorithm .
[28] http://www.aco-metaheuristic.org/

[29] Iredi ,S., Merkle,D. , Middendorf, *M., Bi-Criterion ptimization with Multi Colony Ant Algorithms, Proc*. First International Conference on Evolutionary Multicriterion Optimization (EMO'01), LNCS 1993, 2001, pp. 359-372 .

[30] Iredi,S.,Merkle, D., Middendorf, M., *Bi-Criterion Optimization with Multi Colony Ant Algorithms, F*irst International Conference on Evolutionary Multi-criterion Optimization (EMO’01), vol. 1993, Lecture Notes in Computer Science,2001, p. 369-372.

[31] http://iridia.ulb.ac.be/˜ants/

[٣٢] Doerner, K., Gutjahr, W.J., Hartl, R.F., Strauss, C., Stummer, C.*: Pareto ant colony optimization: A metaheuristic approach to multiobjective portfolio selection*. Annals of Operations Research , 2003.

المراجع العربية :

[1] مجلة جامعة دمشق للعلوم الأساسية . المجلد (٢١) . العدد الثاني ٢٠٠٥ .

[2] د . مقديسيان . لينا و د. مقوص . علي ، *النمذجة وبحوث العمليات* ، جامعة تشرين ، ٢٠٠٨ .