مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية – سلسلة العلوم الأساسية المجلد (38) العدد (3) 2016
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Basic Sciences Series Vol. (38) No. (3) 2016

نظام مستعمرة النمل المحسن والهجين للمساهمة في حل مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية

الدكتور محمد حسن *

الدكتورة لينا مقديسيان **

وسيم حبيب بلال ***

(تاريخ الإيداع 4 / 2 / 2016. قُبِل للنشر في 19 / 5 /2016)

□ ملخّص □

ندرس في هذا البحث إمكانية المساهمة في حل مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية ، و هي واحدة من مشاكل الأمثلية من النوع NP–hard حيث أخذت كثير من اهتمام الباحثين في الوقت الحاضر بسبب تطبيقاتها ذات الطابع اليومي ، إذ لا توجد حتى الآن خوارزمية تقدم الحل الأمثل لهذه المشكلة بسبب تعقيد زمن كثيرة الحدود وهذا يعني أن زمن الحل لمسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية ينمو باطراد مع زيادة عدد العقد ، و كل الخوارزميات المستخدمة تعطي حلولاً تقريبية .

سنعرض في بحثنا خوارزمية نظام مستعمرة النمل المحسن القادرة على استكشاف مناطق بحث متنوعة في فضاء الحل ، وخوارزمية محاكاة التعدين ، و هي تقنية بحث محلي يتم تطبيقها بنجاح في العديد من مسائل NP–hard .

نقدم أيضاً خوارزمية تدعى بالهجينة تعتمد على مبدأ الدمج بين خوارزمية نظام النمل المحسن وخوارزمية محاكاة التعدين ، و مقارنة الحل الناتج عن هذا النهج الهجين مع نتائج تجارب قياسية لاختبار فعالية النهج المقدم .

الكلمات المفتاحية: مسألة توجيه المركبة مع نوافذ الزمن – خوارزمية محاكاة التعدين – خوارزمية نظام مستعمرة النمل المحسن – الخوارزمية الهجينة .

* أستاذ – قسم الرياضيات – كلية العلوم – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية .

** مدرس – قسم العلوم الأساسية – كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات – جامعة طرطوس – سورية .

*** طالب دكتوراه – قسم الرياضيات – كلية العلوم – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية .

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية – سلسلة العلوم الأساسية المجلد (38) العدد (3) 2016
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Basic Sciences Series Vol. (38) No. (3) 2016

A Hybrid Ant Colony System To Contribute To Solve The Vehicle Routing Problem With Time Windows

Dr. Mohammed Hassan Hassan*
Dr. Laina Makdyssiian**
Student Waseem Habib Bilal***

(Received 4 / 2 / 2016. Accepted 19 / 5 /2016)

□ ABSTRACT □

In this research, we are studying the possibility of contribution in solving the Vehicle Routing Problem With Time Windows(VRPWTW), that is one of the optimization problems of the NP-hard type. This problem has attracted a lot of attention at the present time because of its real life applications. However, there is still no algorithm that provides us with the perfect solution to this problem because of the complexity of polynomial time. This means that the time of the solution to the Vehicle VRPWTW is growing steadily with the increase in the number of nodes .All the used algorithms have given solutions that are close to the optimal one .

We'll introduce two algorithms , the first is Improved Ant Colony System algorithm (IACS) that is capable of searching multiple search areas simultaneously in the solution space is good in diversification ,and the second Simulated Annealing algorithm (SA) is a local search technique that has been successfully applied to many NP-hard problems.

Moreover, we will present the In this research Hybrid algorithm (HA) Hybrid Algorithm provided (IACS-SA) that integrate between improved ant algorithm and Simulated Annealing algorithm . We will known standard tests are given to demonstrate the applicability and efficiency of the presented approach and comparisons with other available results are presented.

Keywords : Vehicle Routing Problem With Time Windows**,** Simulated Annealing Algorithm, Improved Ant Colony System Algorithm**,** Hybrid Algorithm**.**

***Professor, Department of Mathematics , Faculty of Science , Tishreen University , Lattakia , Syria.**
****Assistant Professor , Department of Basic Science , Faculty of Technology Engineering of Information and Communication , Tartous University , Syria .**
*****Postgraduate student, Department of Mathematics , Faculty of Science ,Tishreen University , Lattakia , Syria .**

مقدمة :

يمكن وصف مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية (VRPWTW) كأحد أكثر مسائل الأمثلية صعوبة لأنها من الصنف NP–hard ، وتعدّ امتداد لمسألة توجيه المركبة الكلاسيكية (VRP) بقيود الزمن الإضافية التي درست من قبل العالم (Solomon, M. M ,1987) ، و فيها كل زبون يخدّم في فترة زمنية محددة تسّمى نافذة زمنية ، و كانت مسألة توجيه المركبة قد قدمت من قبل الباحثين B. Dantzig[1] , J. H. Ramser. في عام 1959 و تم وضع النموذج الرياضي لها .

و يمكن تعريف المسألة المدروسة كالآتي : إذا أعطيت عدداً m من المركبات المتماثلة في الشكل و ذات استطاعات محددة و تقع في مركز توزيع واحد ، مهمتها خدمة مجموعة n من الزبائن لديهم طلب على سلع متنوعة ومعروفة ضمن نافذة زمنية محددة ، على أن يزار كل زبون مرة واحدة في كل جولة ومن مركبة واحدة علماً بأن كل زبون يبعد مسافة محددة ومعلومة عن مركز التوزيع ، و الهدف الرئيس لمسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية هو تحسين توجيه المركبات المتعددة لتحقيق الأهداف الآتية .

1 تخفيض عدد المركبات المستخدمة لخدمة الزبائن .

2– تخفيض المسافة التي تقطعها كل مركبة .

3– تخفيض زمن الجولة الكلية لكل مركبة .

مع احترام كافة القيود الآتية : [4,3].

1 – جميع الجولات يجب أن تبدأ وتنتهي في مركز التوزيع v_0 .

2 –كل زبون v_i يخدم مرة واحدة من خلال مركبة واحدة ضمن نافذة زمنية $[b_i , e_i]$ يجب توفير الخدمة من خلالها .

3 – إجمالي طلبات الزبائن في كل جولة يجب أن لا يتجاوز استطاعة المركبة Q .

ويمكن تمثيل مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية ببيان تام موزون موجه أو غير موجه $G = (V, E)$ حيث $n = |V|$ مجموع العقد و $V = \{v_0 , v_1, v_2 \dots\dots, v_n\}$ مجموعة العقد و $E = \{(i, j): i, j \in V . i \neq j\}$ مجموعة الاضلاع التي تصل بين العقد بالكامل و $D = (d_{ij})$ مصفوفة المسافة بين كل العقد وبين مركز التوزيع الرئيس و تحسب المسافة بين كل عقدتين i و j في الفضاء الاقليدي باستخدام العلاقة $d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$ علماً بأن كل $(i, j) \in E$ ضلع مرتبطة بكلفة d_{ij}، والمسافات بين العقد في البيان هي مسافات اقليديه متماثلة و $C = (c_{ij})$ مصفوفة كلفة ومصفوفتا الكلفة والمسافة مرتبطتان بـ E ، وتابع الكلفة هو $C: E \to Z^+$ والعقدة v_0 تمثل المركز الرئيس ، و مطلب مركز التوزيع الرئيس $d_0 = 0$ ، و العقد المتبقية تمثل طلبات الزبائن و كل زبون i لديه طلب ذو وزن غير سالب ويمثل بتابع الطلب $d: V \to Z^+$ و m مجموعة المركبات المتماثلة والمتواجدة في مركز التوزيع ، وكل زبون لديه مطلب معين ضمن نافذة زمنية محددة ، و نافذة الزمن بين الزبائن ومركز التوزيع $[b_i , e_i]$حيث تمثل b_i زمن الوصول الأسبق إلى العقدة i ، و e_i تمثل الزمن الأخير للوصول إلى العقدة i ، و t_{ij} تمثل زمن الرحلة بين العقدة i والعقدة j $(t_{ij} > 0)$ & s_i زمن الخدمة في العقدة i .

1عالم رياضيات أمريكي ، ولد 1914 وتوفي 2005 ، قدم خوارزميات بسيطة.

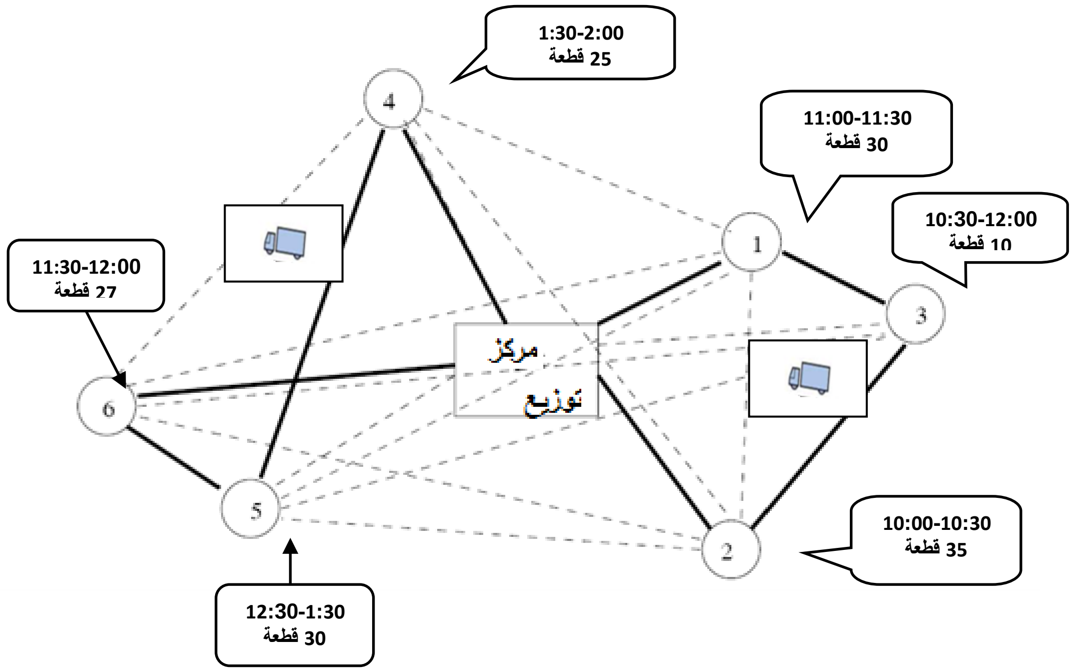
ويعبر عن تابع الهدف بالعلاقة . [4,3] :

$$\min z = \sum_{k=1}^{m} \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N} x_{ij}^{k} \; C_{ij}^{k} \qquad (1)$$

و يعرف المتغير $x_{ij}^{k} \in \{0,1\}$ ، كالآتي :

$$x_{ij}^{k} \triangleq \begin{cases} 1 & \text{حيث إذا زارت المركبة } k \text{ العقدة } j \text{ بعد العقدة } i \\ & i,j \in \{1,2,\dots,N\} | i \neq j, \quad k \in \{1,2,\dots,m\} \\ 0 & \text{خلاف ذلك} \end{cases} \qquad (2)$$

يوضح الشكل (1) حل مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية لستة زبائن لهم طلبات محددة ضمن نافذة زمنية محددة .



الشكل (1) : حل مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية

إن مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية و التي سنعالجها في هذا البحث هي من التصنيف NP–hard، فكل الخوارزميات المستخدمة تعطي حلولاً قريبة من الحل الأمثل ، و لا توجد حتى الآن خوارزمية تقدم الحل الأمثل لهذه المسألة .[3,2,1] .

سندرس المسألة من خلال اقتراح خوارزمية هجينة   (IACS–SA)   تدمج خوارزمية نظام النمل المحسن IACS و خوارزمية محاكاة التعدين SA ثم نقارن هذه الخوارزمية الهجينة مع نتائج قياسية .

أهمية البحث وأهدافه :

ترجع أهمية البحث لاهتمام الشركات ومراكز الأبحاث لإيجاد أفضل الطرق لحل مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية VRPWTW وتحسين كفاءة وسائط النقل وتدفق المعلومات في الشبكات والطاقة وخدمات الطوارئ ، أي ربط البحث العلمي بالمجتمع .

و يهدف هذا البحث للمساهمة في حل مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية باستخدام الخوارزميات الهجينة لخدمة مجموعة من الزبائن ضمن نوافذ زمنهم بالكلفة الدنيا .

طرائق البحث ومواده :

اعتمدت طرائق البحث على مراجعة العديد من المراجع العلمية والبحوث النظرية المنشورة و الاستفادة من نشرات الأبحاث والكتب العلمية والمصادر البرمجية المفتوحة من الإنترنت .

النتائج والمناقشة :

1 - تصنيف مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية :

إن مسالة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية VRPWTW هي من الصنف NP−hard ، و هي امتداد لمسألة توجيه المركبة الكلاسيكية ، وقد درس تعقيد مسألة توجيه المركبة من قبل الباحثين (G.B. Dantzig & D.R. Fulkerson[2] , 1954) ، وقد اثبت الباحثين (Bodin & Golden ,1981) أنّ مسألة توجيه المركبة VRP غير قابلة للحل في زمن متعدد الحدود ، وبرهن العالمان (Rinnoopy Kan ,A. &Lenstra,J,1981) أن كل أنواع VRP من الصنف NP−hard ، وبالتالي لا توجد حتى الآن خوارزميات فعّالة (للحصول على الحل الأمثل) لحل مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية ، و أن أي زيادة بعدد العقد سيزيد بشكل أسي زمن حسابها وبالتالي تزداد صعوبة حل المسألة بسبب العدد الهائل من العمليات الحسابية اللازمة لحلها رغم استخدام الحاسب ، [7,2] .

2 - المدخلات :

ليكن لدينا $G(V,E)$ بيان كامل موزون موجه ، حيث $V = \{v_0 , v_1, v_2 \dots \dots , v_n\}$ مجموعة العقد .

ويمثل v_0 مركز التوزيع الرئيس (مطلب مركز التوزيع $d_0 = 0$)، و $v_1, v_2 \dots \dots , v_n$ يمثل عدد الزبائن ، و كل زبون لديه طلب ذو وزن غير سالب ، ويمثل بدالة الطلب : $(d : V \to R \; ; \; R \geq 0)$.

و $E = \{(v_i, v_j): v_i, v_j \in V , 0 < i < j \leq n\}$ مجموع الأضلاع و تمثل كافة الاتصالات الممكنة بين الزبائن وبين مركز التوزيع وأوزانها موجبة ، وتمثل بتابع الكلفة $(R \geq 0 \; ; \; R : E \to c)$.

وتعدّ المسافات بين مركز التوزيع و كل العقد معروفة ، و كذلك نافذة الزمن $[b_i , e_i]$ بين الزبائن وبين مركز التوزيع . [10,2] .

3 الفرضيات :

1 استعمال مركبات متماثلة مع استطاعات معروفة Q .

2 الطلب محدد من كل زبون و هو q_i .

2عالم رياضيات ، ولد 14 اب 1924 وتوفي 10 كانون الثاني 1976 ، ساهم في وضع النموذج الرياضي لمشكلة البائع المتجول .

3 مغادرة كل مركبة مركز التوزيع الرئيس والعودة إليه .

4 يجب أن يكون إجمال الطلب من أي زبون أقل من استطاعة المركبة .

4 القيود :

1- زيارة كل زبون v_i مرة واحدة من قبل مركبة واحدة .

2- خدمة كل زبون v_i ضمن نافذة زمنية $[b_i , e_i]$ توفر الخدمة من خلالها .

3- مطالب الزبائن الكلية لأي جولة لا يتجاوز قيد استطاعة المركبة Q .

4- بداية الجولة ونهايتها في مركز التوزيع v_0 .

5 - البارميترات :

v_0 : مركز التوزيع الرئيس وهو العقدة التي تبدأ الجولة منها وتنتهي إليها .

V : مجموعة الزبائن وعددهم n ممثلين بـ $V = \{v_0 , v_1, v_2 \dots\dots , v_n\}$.

q_i : مطلب الزبون في العقدة v_i، $v_i \in V$.

K : العدد الكلي للمركبات المتماثلة $K=\{k_1, k_2, \dots\dots, k_m\}$ ، مقرها في مركز التوزيع الرئيس v_0.

C_{ij} : كلفة الانتقال من العقدة i إلى العقدة j وبمعنى أخر المسافة d_{ij} بين العقدة v_i و v_j أو الزمن المطلوب للانتقال بين العقدتين .

Q : الاستطاعة الكلية للمركبة .

$[b_i , e_i]$: نافذة الزمن يجب أن تزور المركبة زبون معين ضمن فترة زمنية محددة .

b_i : زمن الوصول الأقرب إلى العقدة i .

e_i : أخر زمن مسموح لخدمة الزبون i .

t_i : الزمن الذي يستغرقه السفر الى العقدة i .

t_{ij} : زمن الرحلة بين العقدة i والعقدة j $(t_{ij} > 0)$.

W_i : زمن الانتظار إذا وصلت المركبة k في وقت مبكر الى العقدة i .

s_i : زمن الخدمة في العقدة **i** .

6 - صياغة مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية :

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 ، ومن اجل كل ضلع (v_i, v_j) حيث $j \neq 0$ ، و c_{ij} الوزن الذي يمثل اطوال هذه الأضلاع ، و x_{ij} متغير يقابل الضلع الذي يصل العقدة i مع العقدة j ، وتم وضع النموذج الرياضي لمسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية من قبل العالم (Solomon, M. M ,1987) [2]. حيث المتغير $x_{ij}^k \in \{0,1\}$ ، $x_{ij}^k \triangleq$ يعرف كما يلي :

$$x_{ij}^k \triangleq \begin{cases} 1 & \text{حيث إذا زارت المركبة k العقدة } j \text{ بعد العقدة } i \\ & i, j \in \{1, 2, \dots, N\}, | i \neq j, \quad k \in \{1,2,\dots,m\} \\ 0 & \text{خلاف ذلك} \end{cases} \qquad (3)$$

$$y_i^k \triangleq \begin{cases} 1 & \text{إذا خدمت المركبة } k \text{ الزبون } i \\ \\ 0 & \text{خلاف ذلك} \end{cases} \qquad (4)$$

$$\min z = \sum_{k=1}^{\mathbf{K}} \sum_{i=1}^{\mathbf{V}} \sum_{j=1}^{\mathbf{V}} x_{ij}^k \; C_{ij}^k \qquad (5)$$

$$\sum_{\mathrm{j} \in \mathrm{V}} x_{0j}^k \;= 1 \quad \forall k \in \mathbf{K} \qquad (6)$$

$$\sum_{\mathrm{i} \in \mathrm{V}} x_{i0}^k \;= 1 \quad \forall k \in \mathbf{K} \qquad (7)$$

$$\sum_{\mathrm{k}=1}^{\mathbf{K}} \sum_{j=1}^{\mathbf{V}} x_{0j}^k \;\le \mathbf{V} \qquad (8)$$

$$t_{\mathrm{i}} \ge b_{\mathrm{i}} \quad i = 1,2, \dots \dots \dots , n \qquad (9)$$

$$t_{\mathrm{i}} + w_{\mathrm{i}} \le \mathrm{e}_{\mathrm{i}} \quad i = 1,2, \dots \dots \dots , n \qquad (10)$$

$$\sum_{i=1}^{\mathbf{V}} \mathrm{q}_{\mathrm{i}} \;\le Q \qquad (11)$$

$$\sum_{\mathrm{i} \in \mathrm{V}} x_{ij}^k \; - \sum_{\mathrm{j} \in \mathrm{V}} x_{ij}^k \;= 0 \;\; , \forall\, \mathrm{i}, \mathrm{j} \in \mathbf{V}, \;\; \mathrm{k} \in \mathbf{V} \qquad (12)$$

$$\sum\nolimits_{\mathrm{k} \in \mathrm{V}} \sum\nolimits_{\mathrm{j} \in \mathrm{V}} x_{ij}^k \;= 1 \;\; , \forall i \in \mathbf{V} \qquad (13)$$

$$\sum\nolimits_{\mathrm{i} \in \mathrm{V}} \mathrm{q}_{\mathrm{i}} \sum\nolimits_{\mathrm{j} \in \mathrm{V}} x_{ij}^k \;\le Q \;\; , \qquad \forall k \in \mathbf{V} \qquad (14)$$

$$y_i^k + b_{\mathrm{i}} + \mathrm{t}_{\mathrm{ij}} - \mathrm{k}\big(1 - x_{ij}^k\;\big) \le b_{ij}^k \;\; , \forall i \in \mathbf{V} \qquad (15)$$

$$bt_{\mathrm{i}} \le \; y_i^k \le et_{\mathrm{i}} \;\; , \forall i, k \in \mathrm{V} \qquad (16)$$

تمثل كلاً من المعادلات (4) و (7) و المتراجحة (8) قيداً يضمن لكل مركبة أن تبدأ وتنتهي في مركز التوزيع الرئيس .

و المتراجحات (10,9) تتضمن قيد نافذة الزمن، أما المتراجحة (11) فهي قيد طلبات الزبائن .

و القيد (12) يعني أن كل مركبة يجب أن تترك الزبون بعد الانتهاء من التسليم .

و القيد (13) يدل على أن كل زبون يمكن أن يزار فقط من مركبة واحدة .

و القيد (14) يظهر بان الطلب الكلي لمجموعة من الزبائن يجب أن يكون أقل من استطاعة المركبة .

و القيد (15) لا يسمح للمركبة k الوصول الى الزبون j من خلال الزبون i .

والقيد (16) يشير إلى أن زمن الخدمة لكل زبون i مقدم باحترام ليكون ضمن نافذة الزمن .

إن الهدف الرئيس لمسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية VRPTW هو تصميم مجموعة من الطرق بأقل كلفة . [10,2] .

7- طرائق حل مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية VRPWTW :

يستخدم لحل مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية ثلاثة أنواع من الخوارزميات نعرضها فيما يأتي :

1 - الخوارزميات المضبوطة :

هي خوارزميات ملائمة لحالات ذات قياس صغير نسبياً ، و لا يمكن أن تحل حالات المسألة لأكثر من 100 زبون في فترة زمنية معقولة لأنها من الصنف NP–hard وهي صعبة الحل حتى باستعمال الحاسبات ومن الأمثلة على الخوارزميات المضبوطة خوارزمية التفريع والقطع ، وخوارزمية التفريع والقطع والسعر. [3] .

2 - الخوارزميات التقريبية :

هي خوارزميات تستعمل طرق إرشادية وما وراء إرشادية مع تحسينات تكرارية من أجل مسائل ذات قياسٍ كبيرٍ و تقسم إلى مجموعتين رئيسيتين نذكرهما فيما يأتي . [10 ,7,6] :

2-1 الخوارزميات الإرشادية الكلاسيكية :

هي خوارزميات تستخدم أساليب إرشادية لتسريع إيجاد حل مقنع لمسألة ما لأن البحث الشامل غير عملي، و لكنها ليست فعالة في الهروب من الوقوع في الحل الأمثل المحلي Local Optimum و توجد فجوة كبيرة في الحلول الناتجة عنها بالمقارنة مع أفضل الحلول المعروفة ، ومنها على سبيل المثال خوارزميات البحث المحلي [8,7] .

2-2 الخوارزميات ما وراء الإرشادية

هي صف من الخوارزميات والتقنيات التي تستخدم قدراً من العشوائية لإيجاد أفضل الحلول للمسائل الصعبة ، و هي أكثر عمومية من أنواع الخوارزميات الأخرى ، وتعد طريقة حسابية تحّسن 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 وبالتالي لا تضمن مثل هذه الخوارزميات الحل الأمثل ولكن تعد فعالة جداً في الهروب من الأمثلية المحلية، ومن أهم هذه الخوارزميات نذكر مستعمرة النمل ACO و الخوارزمية الجينية (GA) Genetic Algorithm . [9,8] .

3 - الخوارزميات الهجينة

لقد وجد بعض الباحثين في الآونة الأخيرة أن توظيف التهجين في مسائل الامثلية يمكن أن يحسن نوعية الحلول التي يمكن إيجادها مقارنة بالنهج الإرشادي وما وراء الإرشادي . [9,7,6] .

وعلى الرغم من الاختلافات الكبيرة والهامة بين هذه الخوارزميات ، إلاّ أنها تشترك ببعض العناصر التي تم تجاهلها وتركت غير مستغلة .

سنستخدم الخوارزميات الهجينة للتركيز على المزايا الايجابية والتعويض عن المزايا السلبية في الخوارزميات التقريبية أنفة الذكر ، و الهدف هو الجمع بمهارة بين العناصر الرئيسة للمنهجيات المتنافسة لإيجاد حل متفوق . [8,7].

4- معالجة المسألة :

بما أن مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية من صنف المسائل القياسية NP–hard ، سنستخدم الخوارزميات الهجينة التي تشكل إطار عمل مختلف لمعالجتها .

وسنستعرض الخوارزميات التقريبية المستخدمة لمعالجة المشكلة والخوارزمية الهجينة المقدمة .

4-1 خوارزمية الجار الأقرب : Nearest Neighbor Algorithm (N&N)

إن خوارزمية الجار الأقرب الإرشادية تعمل على تحسين كلفة طريق انتقال المركبات أي (أقل مسافة- أقل عدد من المركبات – أقل زمن) حيث كل مركبة تخّدم أقرب عقدة مع أقصر مسافة ، و هي مقاربة بسيطة لحل مسألة البائع المتجول، حيث ننظر إلى جميع الطرق التي تخرج من العقدة التي لم تتم زيارتها واختيار العقدة الأقرب القادمة ، و العودة إلى عقدة البدء عند الانتهاء من زيارة كل العقد الأخرى . [4] .

للمساهمة في حل مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية باستخدام خوارزمية الجار الأقرب الإرشادية NN يمكن إتباع الخطوات التالية :

1 - اختيار مركز التوزيع الرئيس v_0 عقدة بداية كنقطة انطلاق.

2 - ننظر إلى كل الأضلاع التي تخرج من عقدة البدء التي لم تُزَرْ وتُخْتار العقدة القادمة الأقرب وفق نافذة الزمن .

3 -تعتبر العقدة الأخيرة عقدة بداية ونكرر هذه العملية حتى يتم زيارة جميع العقد .

4 - يتم التحقق من أن كل العقد مزاره ، عندها تتم العودة إلى مركز التوزيع v_0 ، أي تم انجاز جولة كاملة ، ونتوقف عن المعالجة عندما يكون قيد استطاعة المركبة أو الزمن الأخير للخدمة غير مراعي ما اخذ في الحسبان .

5 -تُحْسَب كلفة الجولة (مسافة – زمن – عدد المركبات) وتوضع النتائج في جدول .

4-2 خوارزمية محاكاة التعدين (SA) :

إن خوارزمية محاكاة التعدين تحاكي العملية الطبيعية لمعالجة المعادن حراريا من خلال تناوب دورات التبريد البطيء لها وإعادة تسخينها بحيث يتم الوصول إلى وضعية تكون فيها الطاقة أصغريه، والفكرة الرئيسة تخفيض الحلول في فضاء البحث الواسع على أمل الهروب من الوقوع في الامثلية المحلية والاقتراب من الحل ألأمثلي الكلي في فترة زمنية محددة ، في فضاء البحث الواسع ، علماً بأن أول خوارزمية لمحاكاة التعدين SA وضعت من قبل الباحث (*Metropolis* ,1953) وطبقها الباحث *(Kirkpatrick,1982)* على مسائل الأمثلية . [12,11] .

و تستخدم الخوارزمية الخطوات التالية :

1 -تعيين البارومترات : T درجة حرارة أولية ، C بارامتر تبريد ، m الحد الأقصى لإجراء انتقال ، M الحد الأقصى لعدد مرات التكرار .

2 -توليد حل أولي باستخدام خوارزمية أقرب جار الإرشادية ، ولنضع $x = x_0$.

3 -تطبيق خوارزمية البحث المحلي 2–opt على الحل الأولي ، $i = 1 , j = 1$.

4 -حساب قيمة تابع الهدف من خلال الحل الحالي f(x) .

5 -أ- إذا كانت $i \leq m$ نطبق خوارزمية البحث المحلي 2–opt على الحل الحالي لتوليد حلول جديدة N ، نضع $i = i + 1$ ثم ننتقل الى الخطوة 5 ب ، و خلاف ذلك ننتقل الى الخطوة 6 .

ب – تقييم العلاقة $\Delta E = f(N) - f(x)$ عندما تكون $\Delta E \leq 0$ ننتقل إلى الخطوة 5 ث ، و خلاف ذلك ننتقل الى الخطوة 5 ت .

ت – نختار متغير عشوائي $u \sim U(0,1)$ و إذا كان $u < p(\Delta E) = \exp(-\frac{\Delta E}{T})$ ننتقل الى الخطوة 5 ث، و خلاف ذلك ننتقل الى الخطوة 5أ .

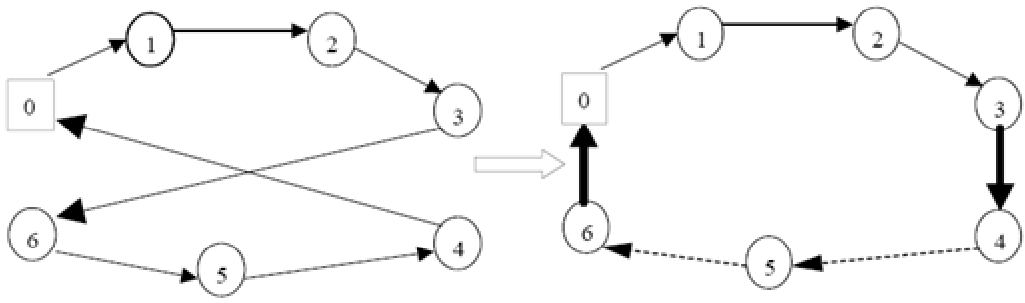
ث– قبول عملية التبادل ، و نضع $x = N$ و $f(x) = f(N)$ ، ثم الانتقال إلى الخطوة 5أ .

6 – إذا كانت $j \leq M$ ، نضع $T = C$ و $j = j + 1$ ثم ننتقل الى الخطوة 3 ، و خلاف ذلك نتوقف .

4-3 خوارزمية البحث المحلي 2–opt :

هي خوارزمية بحث محلي بسيطة استخدمت لحل مسألة البائع المتجول (TSP) ، و تشمل حذف ضلعين في كل جولة ، وإعادة ربطها مع ضلعيين بديلين لتكوين جولة مع جميع الأضلاع المحتملة الأخرى من أجل العثور على جولات مثلى ، ثم تكرر هذه العملية باستخدام مجموعة مختلفة من الأضلاع وهكذا .. ، ويمكن الإشارة إلى وجود العديد من الطرق لربط العقد وإنتاج جولة جديدة على أن تحترم قيود المسألة . [13,7,4].

تبين خوارزمية البحث المحلي 2–opt ، الشكل (2) الضلع (3,6) و (0,4) ثم إعادة ربط الضلعيين (6,0)، (4,3).



الشكل (2) : البحث المحلي 2–opt

4-4 خوارزمية نظام مستعمرة النمل المحسن :

اقترحت هذه الخوارزمية اولاً من قبل الباحثين (Ting & chen ,2004) والتي تعتمد على خوارزمية نظام مستعمرة النمل المقدمة من الباحثين الايطاليين (M. Dorigo, Gambrdella , 1997) .

وتتلخص بأربع خطوات هي :

الخطوة الأولى : تهيئة مسارات الفورمون بوضع كمية أولية من الفورمون على الطريق(i, j).

الخطوة الثانية : تبني كل نملة الحل بتطبق قاعدة الانتقال الرسمية .

الخطوة الثالثة : تطبيق البحث المحلي لتحسين الحل .

الخطوة الرابعة : يتم تطبيق قاعدة تحديث معلومات الفورمون الكلية بعد أن يبني جميع النمل كل الحلول.

4-4-1 تهيئة مسارات الفورمون :

إن المستوى الأولي للفورمون لكل ضلع (i,j) يعطى وفق العلاقة :

$$\tau_0 = \frac{1}{nl_{nn}} \qquad (1)$$

و $\tau_0 > 0$ يمثل **بارامتر**(مؤشر) القيمة الأولية لأثار الفورمون ، و n عدد العقد ، و l_{nn} هي التكلفة التي ينتجها أقرب جار إرشادي (NN) . [10,9] .

4-4-2 بناء حل :

في خوارزمية نظام النمل ACS ، فإن النملة K في العقدة i تختار للانتقال إلى العقدة j وفق القاعدة التالية: .[10,9] .

$$j = \begin{cases} arg\ max_{j\in U}\left\{[\tau_{iu}]^{\alpha}[\eta_{iu}]^{\beta}\right\}\ if\ q < q_0 \\ J \qquad\qquad\qquad \text{خلاف ذلك} \end{cases} \qquad (2)$$

و J المتغير العشوائي المحدد وفقاً لقاعدة الانتقال الاحتمالية المطبقة لنظام نملة تفضل الطرق التي الأقصر و يكون مستوى الفورمون فيها عالياً ، و في كل خطوة بناء يتم تحديث قيم الفورمون من كل النمل الذي يبنى الحل ، ومن الواضح أن هذه الإستراتيجية تزيد من إمكانية تنوع البحث وبالتالي تتفادى الوقوع في الامثلية المحلية .

$$J: p_{ij}^{k}(t) = \begin{cases} \dfrac{\left[\tau_{ij}(t)\right]^{\alpha}\left[\eta_{ij}\right]^{\beta}}{\sum_{l\in J_k(i)}[\tau_{il}(t)]^{\alpha}[\eta_{il}]^{\beta}} & if\ j \in J_k(i) \\ 0 & \text{خلاف ذلك} \end{cases} \qquad (3)$$

حيث $\tau_{ij}(t)$ كمية الفورمون على الضلع (i, j) ، و η_{ij} متغير يدل على الادخار من الجمع بين العقد i،j في جولة واحدة مقابل خدمتهم في جولتين مختلفتين وهكذا يتم حساب القيمة η_{ij} بالعلاقة :

$$\eta_{ij} = d_{i0} + d_{0j} - d_{ij} \qquad (4)$$

حيث d_{ij} ترمز الى المسافة بين العقدة i و العقدة j ، و العقدة 0 تشير الى مركز التوزيع الرئيس .

α،β هما بارامتران موجبان يحددان الأهمية النسبية لأثر الفورمون مقابل المسافة α،$\beta > 0$.

و q_0 بارامتر(مؤشر محدد مسبقاً) بحيث $0 \leq q_0 \leq 1$، و q عدد عشوائي يحقق $0 \leq q \leq 1$.

و إذا كان $q \leq q_0$ فإن أفضل عقدة سيتم اختيارها وفقاً للعلاقة (2) . وعلى العكس من ذلك يتم اختيار العقدة القادمة وفقاً لـ J ، وهكذا فإن البارامتر q_0 يقرر الأهمية النسبية لاستغلال الانتقال وفق العلاقة (2) مقابل الاستكشاف J . [10,9] .

نلخص خطوات بناء الجولة في الخوارزمية المحسنة IACS كالآتي :

الخطوة الأولى : توليد عقدة البدء للنملة بشكل عشوائي .

الخطوة الثانية : اختيار العقدة القادمة وفقاً لتابع بناء الجولة (2).

الخطوة الثالثة : تكرار الخطوة (2) حتى تزور النملة كل العقد .

الخطوة الرابعة : تقسيم الجولة وفقاً لقيد الاستطاعة و قيد نافذة الزمن .

3-4-4 تطبيق البحث المحلي 2-opt لتحسين الحل .

يتم تطبيق البحث المحلي 2-opt لخوارزمية نظام مستعمرة النمل بعد بناء كل جولات النمل لكي يحسن كل حل ومع ذلك فإنه إجراء يستغرق زمناً كبيراً من خوارزمية نظام مستعمرة النمل ، و لكن في الخوارزمية المحسنة سوف نقدم البحث المحلي لأفضل حل في التكرار.

ينفذّ إجراء البحث المحلي لخوارزمية نظام مستعمرة النمل المحسن **IACS وفق الخطوتين التاليتين :**

الخطوة الأولى :ترتيب الحلول 2˜b تصاعدياً وفقاً لقيمة دالة الهدف .

الخطوة الثانية : تنفيذ البحث المحلي على الحلول 2^{nd} .

4-4-4 قانون التحديث المحلي :

يتم تحديث الفورمون بعد أن يكمل كل النمل جولتَهُ وفق القانون :

$$\tau_{ij}^{new} = (1-\rho)\tau_{ij}^{old} + \rho\tau_0 \qquad (5)$$

علماً بأن قاعدة التحديث المحلية يتم تطبيقها لتغيير مستوى الفورمون على الأضلاع عند بناء الحل

حيث :

$1 \leq \rho \leq 0$ بارامتر معرف من قبل المستخدم يسمى معامل التبخر .

و $\tau_0 = (n.L_{nn})^{-1}$ هو مستوى الفورمون الأولي على الأضلاع ، و أن n هو عدد العقد و L_{nn} هو طول الجولة التي أنتجت من خلال أقرب جار إرشادي .

5-4-4 قانون التحديث الكلي :

يتم تحديث مستوى الفورمون الكلي بعد تحسين الحل 2^{nd} بواسطة البحث المحلي ، ونطبق قاعدة التحديث للحلين الأوليين وفق القاعدة الآتية :

$$\tau_{ij}^{new} = (1-\rho)\tau_{ij}^{old} + \rho\sum_{k=1}^{m}\Delta\tau_{ij}^{K} \qquad (6)$$

$$\Delta\tau_{ij}^{K} = \begin{cases} \dfrac{L_{u+1} - L_k}{L_{u+1}} & if\ (i,j) \in (K \text{ الجولة التي حصلت عليها النملة }) \\ 0 & \text{خلاف ذلك} \end{cases} \qquad (7)$$

حيث L_k هو طول الجولة التي تحصل عليها النملة k ، و u عدد الحلول التي يتم عليها تحديث الفورمون الكلي وعددها يساوي 2 في هذه الدراسة .

ويهدف هذا الاختيار لجعل جولة النمل في الجوار من أفضل الجولات لتجنب وقوع نتيجة البحث الأمثل الكلي في الأمثلية المحلية .

6-4-4 خطوات خوارزمية مستعمرة النمل المحسنة :

1 تهيئة البارومترات .

2 توليد حل أولي باستخدام خوارزمية أقرب جار الإرشادية .

3- تطبيق خوارزمية البحث المحلي 2-opt على الحل الأولي وتركه ليكون الحل1 من بين الحلول ، g=1 ، h=2 .

4- بناء الحلول استناداً إلى قاعدة بناء الطريق واستمرار تحديث الفورمون المحلي من خلال العلاقة (2) وإجراء الزيادة $h = h + 1$.

5- إذا كان $h>m$ نضع $h = 2$ ثم ننتقل الى الخطوة (6) ، وإلا أنتقل إلى الخطوة (4) .

6- ترتيب الحلول ترتيباً تصاعدياً و تطبيق خوارزمية البحث المحلي opt- 2 .

7- تطبيق قاعدة تحديث الفورمون الكلية لأفضل الحلول u من خلال العلاقة (5).

8- تسجيل أفضل حل حتى الآن، والسماح له أن يكون الحل 1 في الجيل القادم $g = g + 1$.

9- إذا كان معيار التوقف محقق(أي وصل عدد الأجيال G للحد الأقصى) يتم التوقف للحصول على أفضل حل ، وإلا الانتقال اذهب إلى الخطوة (4) .

4-5 الخوارزمية الهجينة المقترحة :

نستخدم في هذا العمل خوارزمية نظام مستعمرة النمل المحسنة IACS لتحسين الحلول التي بنيت من قبل النمل ، و تطبق بحث محلي على الحلول وعلى الرغم من ذلك إذا وقع الحل في الأمثلية المحلية فإن البحث المحلي غير فعال لتحسينه ، ورغم أنها توفر حلاً أولياً جيداً لخوارزمية محاكاة التعدين SA التي تساعد على الهروب من الأمثلية المحلية ، لكنها نظرة بحث وحيدة لذلك الحل الأولي وهذا سيؤثر على نوعية حلها ، ولذا سنستخدم الخوارزمية الهجينة IACS–SA التي تجمع المزايا الجيدة لكل من الخوارزميتين بهدف الحصول على حل ذا جودة عالية لمسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية VRPTW .[9,8].

4-5-1 خطوات الخوارزمية الهجينة المقترحة:

1 – توليد حل أولي باستخدام خوارزمية أقرب جار إرشادي NN لكل من خوارزمية نظام مستعمرة النمل المحسن IACS و خوارزمية محاكاة التعدين SA .

2 –تحسين الحل الأولي بواسطة خوارزمية البحث المحلي .

3 -تكرار الخطوات التالية لعدد محدد مسبقاً من التكرارات .

4 – في كل تكرار سيتم إيجاد حل لمسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية باستخدام خوارزمية نظام مستعمرة النمل المحسن IACS و خوارزمية محاكاة التعدين SA .

5 -تولد خوارزمية نظام مستعمرة النمل المحسن IACS حلول جديدة وفقاً لقاعدة بناء الحلول الخاصة ، و يتم تحسين الحلول من خلال خوارزمية البحث المحلي .

6 –خوارزمية محاكاة التعدين SA تطبق خوارزمية البحث المحلي *2–opt* لتحسين زمن الحل عندما تنخفض درجة الحرارة بالتدريج .

7 –سيتم المقارنة بين أفضل الحلول التي تم الحصول عليها من كل خوارزمية واختيار الحل الأكثر جودة .

8 –نهاية الخوارزمية .

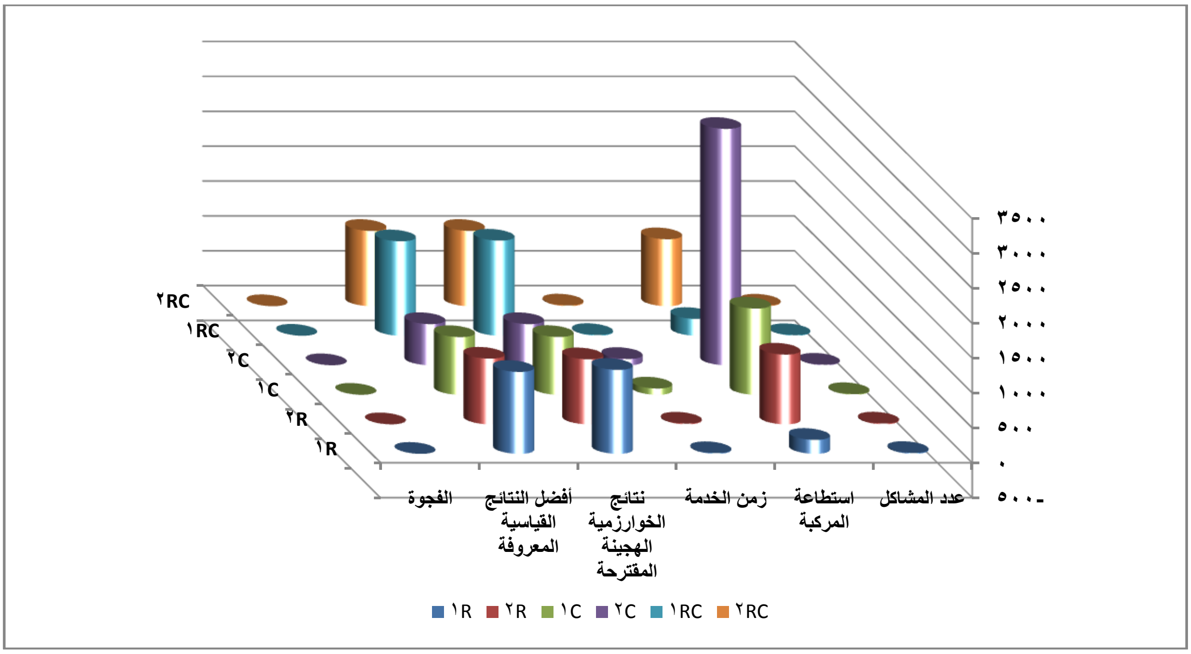
الاستنتاجات والتوصيات :

الاستنتاجات :

أجريت النتائج التجريبية للخوارزمية الهجينة المقترحة التي تدمج خوارزمية نظام مستعمرة النمل المحسن IACS و خوارزمية محاكاة التعدين SA ، استنادا إلى النتائج الحسابية من 56 حالة قياسية للباحث Solomon's، أعطت هذه الخوارزمية 14 حالة جيدة من أصل 56 ، و تم استخدام C ++ لتنفيذ الخوارزمية و نفذت التجارب الحاسوبية في PC باستخدام معالج corei3 و GB 2 من ذاكرة الوصول العشوائي ، لستة أنواع مختلفة **R1 ,R2,C1,C2,RC1,RC2** من المشاكل يتراوح عدد عقدها بين ثمانية و 100 عقدة . [2] .

الجدول (1) يلخص النتائج التجريبية للخوارزمية الهجينة المقدمة ومقارنتها مع نتائج قياسية معروفة وحساب الفجوة بينهما .

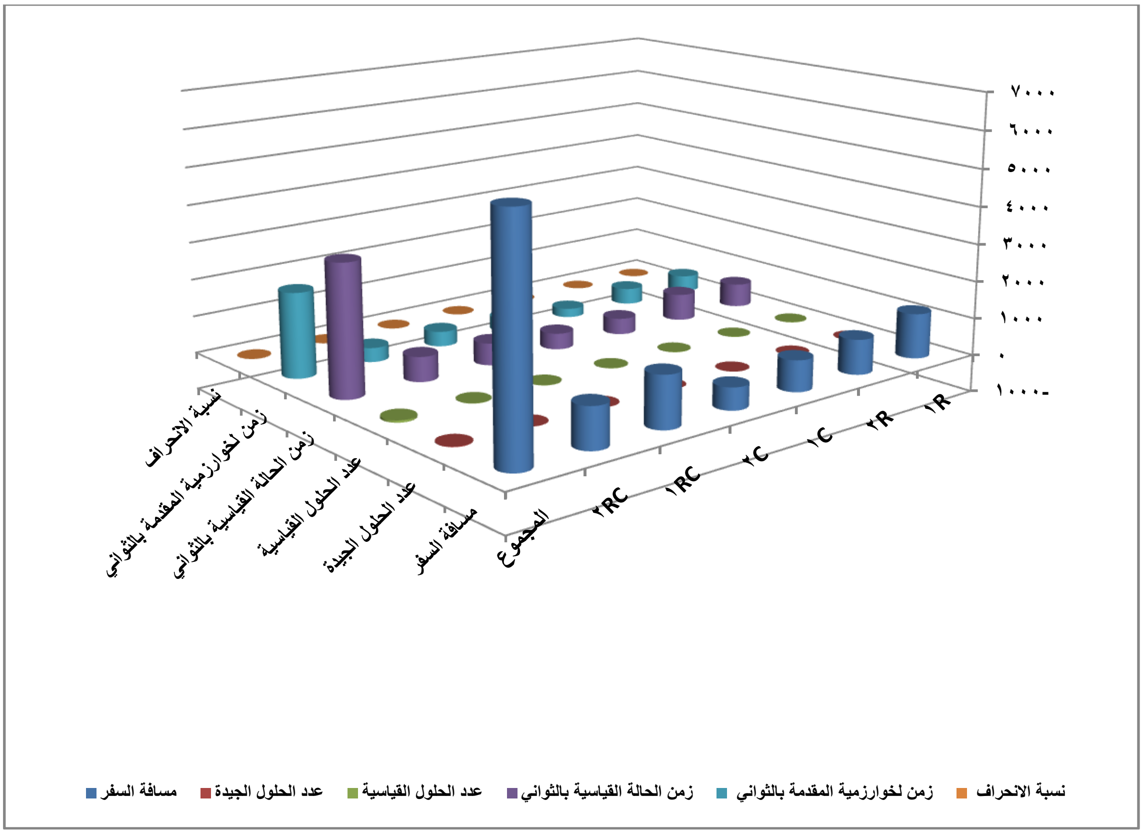
نوع المشكلة	عدد المشاكل	استطاعة المركبة	زمن الخدمة	نتائج الخوارزمية الهجينة المقترحة	أفضل النتائج القياسية المعروفة	الفجوة
R1	12	200	10	1203.56	1174.66	0.024603
R2	11	1000	10	932.23	941.54	−0.00989
C1	9	1236	90	828.76	827.47	0.001559
C2	8	3390	90	589.86	589.86	0
RC1	8	240	10	1363.84	1354.06	0.007223
RC2	8	960	10	1079.81	1079.46	0.000324



الشكل (3) : مخطط للمقارنة بين الخوارزمية الهجينة المقدمة ونتائج قياسية .

الجدول (2) يبين نسبة الانحراف المئوية للمسافات وعدد من الحلول الجيدة .

نوع المشكلة	مسافة السفر	عدد الحلول الجيدة	عدد الحلول القياسية	زمن الحالة القياسية بالثواني	زمن الخوارزمية المقترحة بالثواني	نسبة الانحراف
R1	1203.56	4	12	639	440	2.46%
R2	932.23	4	11	722	435	-0.79%
C1	828.76	0	9	435	240	0.16%
C2	590.49	0	8	431	360	0.00%
RC1	1365.35	3	8	586	400	1.36%
RC2	1079.81	3	8	662	380	-0.28%
المجموع	6000.2	14	56	3475	2255	0.03%
المتوسط	1000.033			579.1667	375.8333	



الشكل (4) : مخطط يبين نسبة الانحراف المئوية للمسافات وعدد من الحلول الجيدة .

تبين النتائج التجريبية أن الخوارزمية الهجينة المقترحة التي تدمج خوارزمية نظام مستعمرة النمل المحسن IACS و خوارزمية محاكاة التعدين SA ، تعطي نتائج أفضل ضمن زمن معقول ، مع العلم بأن الخوارزميات الإرشادية وما وراء الإرشادية يتطلب عملها الكثير من الوقت ، و أظهرت النتائج أن كفاءة الخوارزمية الهجينة

المقترحة أفضل لأنها حسنت الأداء وخفضت الكلفة لحل مشكلة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية وكانت الفجوة صغيرة بين هذه الخوارزمية ونتائج قياسية معروفة .

إنّ متوسط نسبة الانحراف المئوية لجميع الحالات هو 0.03% في الخوارزمية الهجينة هو أقل من الخوارزميات الإرشادية وغيرها وبالتالي يعطي أدنى مجموع للمسافات المقطوعة ، كما وتقدم أفضل أداء لأنواع من المشاكل القياسية ولم تتأثر بأنواع مختلفة من الحالات ، وان سرعة الحل في هذه الخوارزمية معقولة من حيث الزمن الحسابي وهو 375.8333 ، و من الواضح أن الخوارزمية المقدمة SA–IACS تتفوق على الخوارزميات الإرشادية وما وراء الإرشادية من حيث مجموع المسافة المقطوعة وزمنها ، و رغم أنها تتأثر بأداء جهاز الكمبيوتر كسرعته و وحدة المعالجة المركزية له، وسعة ذاكرته ، ونظام تشغيله ولغة البرمجة المستخدمة ، وبالتالي يصعب تحديد الزمن الحسابي ، ومع ذلك فإن الخوارزمية المقترحة تستغرق وسطياً حوالي 375.8333 ثانية لتشغيل كل الحالات، وهذا الزمن الحسابي معقول جداً.

التوصيات :

عالجنا في هذا البحث مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية ، بالاعتماد على الخوارزميات الهجينة وبينا تأثيرها على نوعية الحل ، وأكدت النتائج التجريبية أنها فعالة لتحسين الحل كما و توفر إمكانية تحقيق أداء أفضل من حيث سرعة التقارب والقدرة على إيجاد حلول أفضل من الخوارزمية الإرشادية وما وراء الإرشادية .

لكن تطوير الخوارزميات الهجينة يقدم مساحة غير مستغلة بشكل جيد من قبل البحوث التجريبية ولاستغلالها يمكن التوصية بما يلي :

1 - اقتراح طرق وأساليب هجينة أخرى وتوظيفها لمسائل الامثلية .
2 - تطبيق الخوارزمية الهجينة المقترحة على الأنواع الأخرى من مسألة توجيه المركبة .
3 - دعوة البحوث والدراسات الحسابية لتحديد أفضل الطرق فعالية لدمج هذه الأساليب .

المراجع :

[1] DANTZIG, G.B.; RAMSER, J. H., *"The Truck Dispatching Problem," Management Science,* Vol. 6, No. 1, 1959, pp. 79-89.

[2] SOLOMON, M.M. *Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constrains*, Operational Research, Vol. 35, No. 2, 1987, 250-265.

[3] LAPORTE, G., "*The Vehicle Routing Problem : An Overview of Exact and Approximate of Operational Research,"* Vol. 59, No. 3, 1992, pp. 345-358.

[4] FISHER .M., *"Vehicle Routing. Handbooks of Operations Research and Management Science*," chap.1, 1995, pp.8:1-31**.**

[5] GILLETT, B.E.; L.R. MILLER, *"A Heuristic Algorithm for the Vehicle Dispatch Problem,*" Oper Res, 1974, pp.22:341–347 .

[6] GOLDEN, B.L; ASSAD,A.A., *"Vehicle Routing: Methods and Studies,"* eds. North Holland, Amsterdam,1988.

[7] LENSTRA,J.; RINNOOY KAN, A., *"Complexity of Vehicle Routing and Scheduling Problems,*" Networks, Vol.11, 1981, pp.221-227.

[8] LIN, S.W.; LEE, Z.J.; YING, K.C.; LEE, C.Y., *"Applying Hybrid Meta-Heuristics for Capacitated Vehicle Routing Problem,*" Expert Syst Appl, 2009, pp.36:1505–1512..

[9] ZHANG, X.; TANG, L., *"A new Hybrid Ant Colony Optimization Algorithm for the Vehicle Routing Problem,"* Pattern Recognit Lett, 2009, pp.30:850–855.

[10] DORIGO, M.; BIRATTARI, M.; STUZLE, T., *"Ant Colony Optimization, Artificial Ants as a Computational Intelligence Technique,"* IEEE Computational Intelligence Magazine, 2006, pp.139-147.

[11] KIRKPATRICK, S.;GELATT, C.D.; VECCHI, M.P. *Optimization by Simulated Annealing. Science*, vol 220, No. 4598, 1983. pp671-680.

[12] METROPOLIS, N., ROSENBLUTH, A.W., ROSENBLUTH, M.N., TELLER, A.H., TELLER, E. *Equation of State Calculation by Fast Computing Machines*. J. of Chem. Phys., 21, 1953.pp 1087-1091.

[13] http://en.wikipedia.org/wiki/2-opt .