مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية - سلسلة العلوم الأساسية المجلد (39) العدد (3) 2017
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Basic Sciences Series Vol. (39) No. (3) 2017

تهجين البحث المحلي الموجه مع البحث المحظور ووجود البحث المحلي Opt -2 للمساهمة في حل مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية

الدكتور محمد حسن *
الدكتورة لينا مقديسيان **
وسيم حبيب بلال ***

(تاريخ الإيداع 5 / 12 / 2016. قُبِل للنشر في 15 / 6 /2017)

☐ ملخّص ☐

ندرس في هذا البحث إمكانية المساهمة في حل مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW) التي هي واحدة من مشاكل الأمثلية من النوع NP-Hard.

نقدم خوارزمية هجينة تعتمد على مبدأ التكامل بين خوارزمية البحث المحلي الموجه و خوارزمية البحث المحظور ووجود البحث المحلي Opt -2 ، والمستند على خوارزمية التوفير المرتبطة بتابع هدف معين لتوفير الكثير من المدخرات ، و كما سنقارن الحل الناتج عن هذا النهج الهجين و المطور مع نتائج تجارب قياسية لخوارزميات هجينة لاختبار فعالية هذه الخوارزمية المقدمة وتأثيرها على نوعية الحل من حيث سرعة التقارب والقدرة على إيجاد حلول أفضل .

الكلمات المفتاحية: مسألة توجيه المركبة مع نوافذ الزمن – خوارزمية التوفير– خوارزمية البحث المحظور – خوارزمية البحث المحلي الموجه – خوارزمية البحث المحلي Opt -2 .

*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 (39) العدد (3) 2017
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Basic Sciences Series Vol. (39) No. (3) 2017

Hybrid Tabu Search And Guided Local Search And Existence 2-Opt Local Search To Contribute In Solving The Vehicle Routing Problem With Time Windows

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

(Received 5 / 12 / 2016. Accepted 15 / 6 /2017)

□ ABSTRACT □

In this research, we are studying the possibility of contribution in solving the Vehicle Routing Problem with Time Windows(VRPTW),that is one of the optimization problems of the NP-hard type.

Moreover, Hybrid algorithm (HA) provided that integrates between Tabu Search Algorithm and Guided Local Search algorithm And existence 2- Opt Local Search, based on the savings algorithm in terms of continued of a particular objective to provide a lot of savings. As we will compare the presented approach with standard tests to demonstrate the efficiency, and their impact on the quality of the solution in terms of speed of convergence and the ability to find better solutions.

Keywords : Vehicle Routing Problem with Time Windows, Savings Algorithm Algorithm, Tabu Search Algorithm , Guided Local Search , 2- Opt Local Search .

***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 كأحد أكثر مسائل الأمثلية صعوبة لأنها من الصنف NP–hard ، وتعدّ امتداد لمسألة توجيه المركبة الكلاسيكية Vehicle Routing Problem (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 نماذج رياضية لها . [3,2,1].

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].

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 .

ويعبر عن تابع الهدف لهذه المسألة بالعلاقة . [4,3,2,1] :

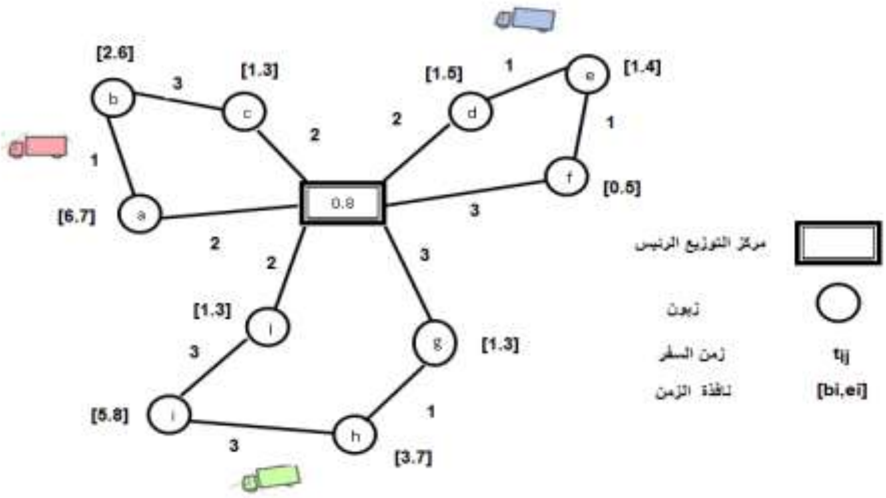
$$\min z = \sum_{k=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} x_{ij}^{k}\ C_{ij}^{k} \qquad (1)$$

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

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

يوضح الشكل (1) فكرة حل مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية لمجموعة من الزبائن لهم طلبات محددة ضمن نافذة زمنية محددة .

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



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

أهمية البحث وأهدافه :

تكمن أهمية البحث بأنه يرتبط بمجموعة كبيرة من التطبيقات العملية في نظم التوزيع والخدمات اللوجستية ضمن زمن محدد في العديد من القطاعات و لهذا تهتم مراكز الأبحاث لإيجاد أفضل الطرق لحل مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية من أجل تحسين كفاءة وسائط النقل ، و ربط البحث العلمي بمشاكل المجتمع ذات الطابع اليومي .

تهدف هذه الدراسة إلى تطوير طريقة إرشادية هجينة من أجل تقليل تكاليف النقل لتوجيه المركبة مع نوافذ زمنية لخدمة مجموعة من الزبائن ضمن نوافذ زمنهم بالكلفة الدنيا .

طرائق البحث ومواده :

اعتمدت طرائق البحث على العديد من المراجع العلمية والبحوث النظرية المنشورة والمصادر البرمجية المفتوحة من الإنترنت ، وذلك بالاطلاع على طرق حل المسألة لتلافي عيوبها والوقوف عند الميزات الايجابية فيها لتعزيزها وتطويرها .

النتائج والمناقشة :

1 - المدخلات :

يمكن تمثيل مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية ببيان تام موزون غير موجه $G = (V, E)$ حيث $V = \{v_0, v_1, v_2 \dots\dots, v_n\}$ مجموعة العقد و $E = \{(i,j): i,j \in V . i \neq j\}$ مجموعة الأضلاع التي تصل بين العقد بالكامل و $D = (d_{ij})$ مصفوفة المسافة بين جميع العقد وبين مركز التوزيع الرئيس و تحسب المسافة بين كل عقدتين i و j 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 [4,3,2,1] .

2 -الفرضيات :

1 -استعمال مركبات متماثلة مع استطاعات معروفة Q .

2 -يحدد مطلب الزبون i بـ q_i .

3 -مغادرة كل مركبة مركز التوزيع الرئيس والعودة إليه .

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

3 - الوسطاء :

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

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

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 الزبون i معين ضمن الفترة الزمنية المحددة ، وقبل انتهاء الزمن المسموح e_i .

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 .

4 - صياغة مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية :

وضع العالم (Solomon, M. M ,1987) النموذج الرياضي لمسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية الذي يمكن توضيحه كالأتي : إن المتغير $x_{ij}^k \in \{0,1\}$ تم تعريفه من خلال العلاقة (2) و الذي يقابل الضلع الواصل بين العقدة i و العقدة j ، والمتغير y_i^k يعرف كما يلي :

$$y_i^k \triangleq \begin{cases} 1 & \text{إذا خدمت المركبة } k \text{ الزبون } i \\ 0 & \text{خلاف ذلك} \end{cases} \qquad (3)$$

$$\min z = \sum_{k=1}^{K} \sum_{i=1}^{V} \sum_{j=1}^{V} x_{ij}^k \; C_{ij}^k \qquad (4)$$

$$\sum_{j \in V} x_{0j}^k = 1 \qquad \forall k \in \mathbf{K} \qquad (5)$$

$$\sum_{i \in V} x_{i0}^k = 1 \qquad \forall k \in \mathbf{K} \qquad (6)$$

$$\sum_{k=1}^{K} \sum_{j=1}^{V} x_{0j}^k \le \mathbf{V} \qquad (7)$$

$$t_i \ge b_i \quad , i = 1,2, \dots \dots \dots , n \qquad (8)$$

$$t_i + w_i \le e_i \quad , i = 1,2, \dots \dots \dots , n \qquad (9)$$

$$\sum_{i=1}^{V} q_i \le Q \qquad (10)$$

$$\sum_{i \in V} x_{ij}^k - \sum_{j \in V} x_{ij}^k = 0 \quad , \forall\, i,j \in \boldsymbol{V}, \quad k \in \boldsymbol{V} \qquad (11)$$

$$\sum_{k \in V} \sum_{j \in V} x_{ij}^k = 1 \quad , \forall i \in \mathbf{V} \qquad (12)$$

$$\sum_{i \in V} q_i \sum_{j \in V} x_{ij}^k \le Q \; , \qquad \forall k \in \mathbf{V} \qquad (13)$$

$$y_i^k + b_i + t_{ij} - k\left(1 - x_{ij}^k\right) \le b_{ij}^k \; , \forall i \in \mathbf{V} \qquad (14)$$

$$bt_i \le y_i^k \le et_i \; , \forall i, k \in V \qquad (15)$$

تمثل المعادلتان(4) و (6) و المتراجحة (7) قيود تضمن لكل مركبة أن تبدأ من مركز التوزيع الرئيس وتنتهي به .

و المتراجحتان (9,8) تتضمن قيدا نافذة الزمن، أما المتراجحة (10) فهي قيد يحدد طلبات الزبائن .

و القيد (11) يعني أن كل مركبة يجب أن تترك الزبون بعد الانتهاء من التسليم .

و القيد (12) يدل على أن كل زبون يمكن أن يزار فقط من مركبة واحدة .

و القيد (13) يظهر بان الطلب الكلي لمجموعة الزبائن يجب أن يكون أقل من استطاعة المركبة .

و القيد (14) لا يسمح للمركبة k الوصول الى الزبون j من خلال الزبون i .

والقيد (15) يشير إلى أن زمن الخدمة لكل زبون i مقدم باحترام ليكون ضمن نافذة الزمن .

إن الهدف الرئيس لمسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية Vehicle Routing Problem with Time Windows **(VRPTW)** هو الوصول إلى حل بأقل كلفة ، وقد اهتم الباحثون بهذه المسألة وقدمت الكثير من الطرائق والخوارزميات المختلفة لحلها . **[5,4,3,2]** .

5- طرائق حل مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية :

استخدمت لحل هذه المسألة ثلاثة أنواع مختلفة من الخوارزميات نعرضها فيما يأتي :

5-1 الخوارزميات المضبوطة :

تستخدم هذه الخوارزميات لحل المسائل ذات المقياس الصغير [5,4,3].

5-2 الخوارزميات التقريبية :

تستخدم هذه الخوارزميات لحل المسائل ذات المقياس الكبير وهي تسعى للوصول الى حلول جيدة تقريبية منخفضة الكلفة الحسابية نسبياً دون أن تكون قادرة على ضمان أمثلية الحلول [5 ,4,3].

5-3 الخوارزميات الهجينة :

يتم تهجين طرق الخوارزميات التقريبية من أجل البحث عن حل فعال ضمن زمن معقول [12,5].

6- معالجة المسألة :

سنقترح في هذا البحث خوارزمية هجينة مطورة عن خوارزميات تقريبية لحل مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية، والخوارزمية المقترحة سوف تشكل إطار عمل مختلف لمعالجتها .

قبل البدء بتقديم خوارزميتنا سنعرض بعض الخوارزميات التقريبية الأساسية .

6-1 خوارزمية البحث المحلي الموجه (GLS) : Guided Local Search

إن خوارزمية البحث المحلي الموجه هي إستراتيجية بحث ماوراء إرشادية تعتمد على مبدأ تطبيق العقوبات على الحلول ذات التكلفة العالية لاستبعادها أي تتبّع بعض مزايا الحل وتستخدم لتوجيه بحث الجوار في فضاء البحث ، وتركز على أجزاء واعدة من فضاء البحث ، بحيث يكون لكل حل ميزة وكل ميزة لها كلفة ويحاول البحث المحلي الموجه معاقبة واستبعاد الميزات المكلّفة وتخطي الوقوع في الامثلية المحلية من خلال التغيير في فضاء البحث ، و يستخدم تابع تعديل تقييم التحرك عندما سيقرر أي جار أفضل ، و يستعمل البحث المحلي الموجه المستند على العقوبات لتعديل شروطها بشكل مستمر وهو مرتبط بتابع هدف معزز من أجل إيجاد حل فعال [6].

تعرف خوارزمية البحث المحلي الموجه تابع الهدف المحسن على النحو التالي :

$$h(s) = O(s) + \lambda \sum_{i \in F} f_i(s) . P_i . C_i$$

حيث $O(s)$: تابع الهدف الأساسي .

و λ وسيط يعدل تأثير العقوبات .

$f_i(s)$: تابع مؤشر يعرف كما يلي :

$$f_i(s) = \begin{cases} 1 & \text{إذا كان الحل } s \text{ عنده الميزة } , i \in F \\ 0 & \text{إذا كان الحل } s \text{ لايملك الميزة } , i \in F \end{cases}$$

المجموعة $F = \{1, \dots \dots, G\}$ تمثل ميزات الحلول .

P : متجهة العقوبة : $P = [P_i]; i = 1,2, \dots \dots, G$.

P_i : وهو عدد مرات معاقبة الميزة i .

C_i : يمثل تكلفة الميزة i .

6-2 خطوات خوارزمية البحث المحلي الموجه :

1 - تهيئة متجه العقوبة بإعطائه أصفاراً $P = \vec{0}$ ، كقيم ابتدائية.

2 - ليكن S هو الحل الحالي .

3 - نتأكد من أن الحل الأمثل S^* الذي تم الحصول عليه يبدأ من حد أدنى محلي .

4 - طالما أن شرط التوقف لم يتحقق عندئذ نختار ميزات العقوبة للحل S وفق الإجراء $f = ChoosePenaltyFeatures(S, P)$.

5 - نضع $P_x = P_x + 1$ ، لكل x في f .

6 - نطبق بحث محلي على الحل الحالي S الى ان يتم الحصول على حل أفضل ومحسّن ضمن تفاوت مسموح .

7 - إذا كانت $O(S) < O(S^*)$ عندئذ نضع $S^* = S$.

8 - إعادة الحل S^* .

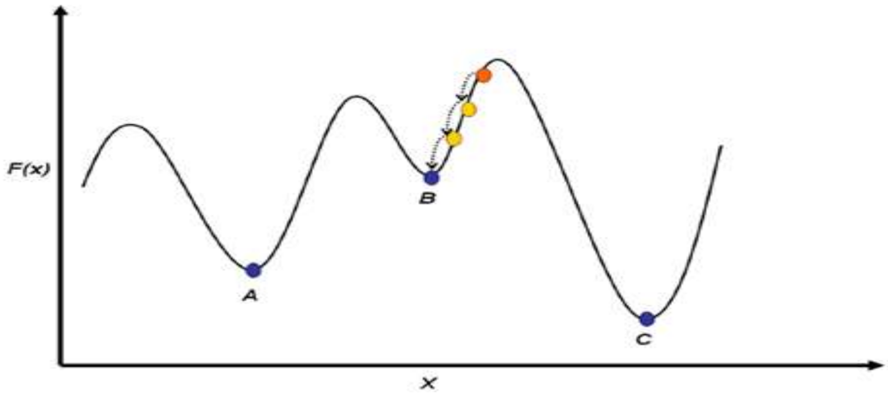
ومن المثير للاهتمام ملاحظة أن متجهة العقوبة P تعمل بمثابة ذاكرة طويلة الأمد لحفظ كافة الميزات غير المرغوب فيها والتي تظهر في الأمثلية المحلية الدنيا وتمت زيارتها سابقاً، كما توجد بعض الملاحظات التجريبية تؤكد أن قيمة الوسيط λ لها تأثير كبير على تحسين أداء خوارزمية البحث المحلي الموجه ، وبالتالي التأثير على نوعية الحل الناتج وجودته من أجل مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية إذ إنه عندما تراوحت قيمة λ بين 0.1 و 0.3 وأعطت الخوارزمية أفضل نتيجة وكانت بالضبط من أجل $\lambda = 0.2$ للمزيد من المعلومات راجع [6].

6-3 خوارزمية البحث المحظور : Tabu Search Algorithm (TSA)

تم وضعها من قبل العالم (Fred W. Glover[2],1986) ، و تعد من الطرق ماوراء الإرشادية وأبسط تعريف لها تسلق التل Hill Climbing (والمعروفة كذلك بالخوارزمية المحلية الطماعة) حيث نبدأ من حل أولي يُستبدل بحل مجاور جديد إذا كان أفضل منه ، وهي عادة تؤدي إلى إيجاد حل أمثلي محلي كما في الشكل (2).

---

[2] استاذ علوم الحاسب في جامعة كولورادوولد في 8 أذار 1937، في كانساس بولاية ميسوري، ابتكر طريقة البحث المحظور (tabu search) وصاغ مصطلح ماوراء الإرشادي " Metaheuristic " .



الشكل (2) تطبيق مبدأ تسلق التلال والانتقال من حل أولي إلى الأمثل المحلي [7].

تشكل قائمة المحظورات tabu بنية ذاكرة ، وهي تتضمن مجموعة من القواعد والحلول قصيرة الأجل التي تمت زيارتها في فترات زمنية قريبة و ويحظر استخدامها [9,8,7].

عند استخدام خوارزمية البحث المحظور يجب تعيين حجم قائمة المحظورات المحددة بعدد من الميزات ، و يوصى بملئ القائمة المحظورة بميزات جديدة ، إن استعمال هذه القائمة هو أمر جديد ربما نكون قادرين للانتقال إلى حالة جديدة ، وللتغلب على هذه القيود نحتاج إلى حالة جديدة يمكن تجاوز القائمة المحظورة [9,8,7] .

6-3-1 خطوات خوارزمية البحث المحظور :

1 - تهيئة قائمة المحظورات Tabu list بتحديد ميزاتها و حجمها و مستوى التطلع لتحسين الحل ، وشرط التوقف .

2 - البدء من حل أولي s وتقييم الحلول المجاورة فإذا كانت التكلفة الإجمالية لأفضل جوار لـ s أقل منه يؤخذ كحل حالي جديد .

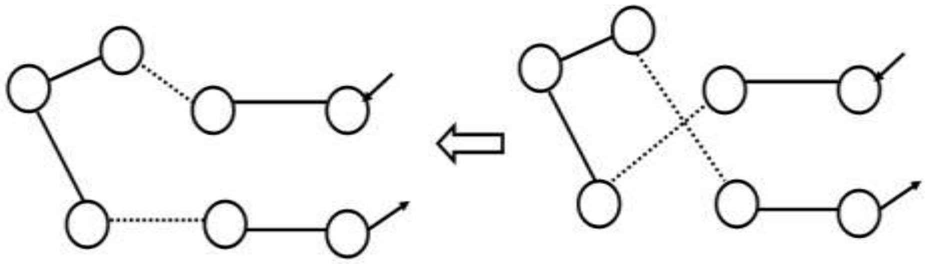
3 - إذا لم يكن الحل الحالي الجديد موجود في قائمة المحظورات نكرر الخطوة (2) حتى الحصول على حل محسّن في جوار الحل الحالي .

4 - نستمر بتقييم الحلول المجاورة للحل الحالي وتحديث القائمة المحظورة ، و يتوقف البحث عند الحل الحالي إذا كان أفضل من جميع الحلول المجاورة (أو حتى يتحقق شرط الإنهاء)، و يعتبر حلاً مثالياً تقريباً .

6-4 خوارزمية البحث المحلي 2-OPT :

هي خوارزمية بحث محلي بسيطة استخدمت لحل مسألة البائع المتجول (TSP) ، و تعمل في كل جولة على حذف ضلعين ، و استبدالهما بضلعيين جديدين ويستمر البحث عن الجولات المثلى الأخرى من اجل جميع الأضلاع المحتملة ، ثم تكرر هذه العملية باستخدام مجموعة مختلفة من الأضلاع وهكذا.. ، ويمكن الإشارة إلى وجود العديد من الطرق تعمل على هذه التقنية مع مراعاة قيود المسألة [13,9,8,7,6].

يبين الشكل (2) كيف يتم حذف ضلعين واستبدالهما بضلعيين جديدين في خوارزمية البحث المحلي 2-opt .



الشكل (3) : البحث المحلي 2-OPT

6-4-1 خطوات خوارزمية 2-OPT لتوليد الجوار :

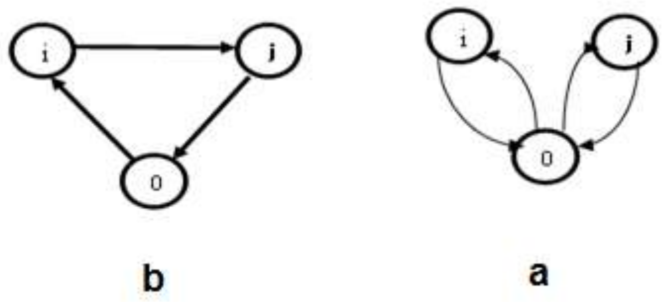
الخطوة الأولى : تهيئة كل جوار مولد للحل الحالي الأولي .

الخطوة الثانية : حساب كلفة كل جوار لاختيار الجوار الأقل كلفة والمتاح من بينها لإنشاء مسار.

الخطوة الثالثة : إجراء تبادل لتحسين الجوار من خلال اختيار الطريق الأفضل من بين طريقين.

6-5 خوارزمية التوفير: Savings Algorithm(SA)

إن خوارزمية التوفير هي خوارزمية إرشادية و لا تضمن الحل الأمثل بصورة مؤكدة ولكن تنتج حلاً جيداً نسبياً [10] ، و هي تعبر عن وفورات في التكاليف التي تم الحصول عليها كما هو موضح في الشكل (4) :



الشكل (4) : يوضح مفهوم الادخار حيث 0 يمثل مركز التوزيع الرئيس

إن تقدير الحل الأولي لبناء الحل بحساب المطلب الذي يوفر بين كل العقد وفرزها بترتيب تنازلي عن طريق خوارزمية التوفير في الحلول السابقة ، و الاحتفاظ بالحل الذي تم الحصول عليه كأقل كلفة حتى الآن.

إن الزبائن i ، j مزارين من خلال طرق منفصلة في الشكل (4-a) والبديل الأفضل ان تزار الزبائن على نفس الطريق ، على سبيل المثال في التسلسل $i - j$ كما هو موضح في الشكل (4- b) لأن مصاريف النقل معطاة ، ويمكن حساب الوفورات التي تنجم عن الانتقال على الطريق في الشكل (4-b) بدلاً عن الطريقين في الشكل (4-a) و c_{ij} تدل على كلفة النقل بين العقدتين i، j و إجمالي تكلفة النقل D_a كما في الشكل (4-a).

$$D_a = c_{0i} + c_{i0} + c_{0j} + c_{j0}$$

و بشكل مكافئ ، D_a تكلفة النقل كما في الشكل (4-a) هو :

$$D_b = c_{0i} + c_{ij} + c_{j0}$$

و من خلال الجمع بين الطريقين بطريق واحد نحصل على التوفير S_{ij} :

$$S_{ij} = D_a - D_b = c_{i0} + c_{0j} - c_{ij}$$

و القيم الناتجة من الجمع كبيرة نسبياً و جذابة لأننا انتقلنا مباشرة من العقدة i الى العقدة j [10].

6-5-1 خطوات خوارزمية التوفير :

1 - تهيئة n من الطرق : $v_0 \to v_i \to v_0$ من أجل $i \geq 1$.

2 - حساب الوفورات لدمج مواقع التسليم i، j والذي يكون معطى من خلال العلاقة :

$$S_{ij} = d_{i0} + d_{0j} - d_{ij}$$

من أجل كل $i, j \geq 1 \;\&\; i \neq j$.

3 - فرز الوفورات في ترتيب تنازلي .

4 - بدءاً من أعلى قائمة الوفورات المتبقية ،ندمج طريقين مترابطين مع تحقيق وفورات أكبر ضمن الشروط التالية :

أ -موقعا التسليم ليسا على الطريق نفسه .

ب - لا يوجد موقع تسليم داخلي على مساره .

جـ - عدم تجاوز قيد الاستطاعة G وقيد المسافة D وقيد الزمن بالطريق المدموج.

5 - تكرار العمل بدءاً من الخطوة (3) حتى الوصول الى عدم تحقيق وفورات إضافية .

7-6 الخوارزمية الهجينة المقترحة :

نقترح في هذا العمل خوارزمية هجينة تعتمد على مبدأ الدمج بين خوارزمية البحث المحلي الموجه مع خوارزمية البحث المحظور والمستند على خوارزمية التوفير من ناحية تابع الهدف المحدد لتحقيق الكثير من الوفورات و لتحسين الحلول التي بنيت من قبل خوارزمية البحث المحظور باستخدام بنية ذاكرة متصلة بقائمة محظورة ، وسوف نستخدم القائمة المحظورة التي يمكن أن تنقلنا الى حالة أضطرب الذي هو أمر جديد، ومن خلال التحكم بحجم القائمة المحظورة و لتجنب التكرار و الوقوع في الامثلية المحلية والتطلع الى حل معقول نسبياً و استخدم البحث المحظور مع البحث المحلي الموجه بدلاً من استخدام المعلومات المحلية الوحيدة لأن تقدم البحث يحتاج إلى تحولات تصحيح ، ولهذا سنستخدم الخوارزمية الهجينة **(GLS-TS)** التي تجمع بين هذه المزايا الجيدة لكل من الخوارزميتين بهدف الحصول على حل ذي جودة عالية لمسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية .

7-6-1 خطوات الخوارزمية الهجينة المقترحة:

1 -المرحلة الأولى : التهيئة

نبني الحل الأولي من خلال خوارزمية التوفير للاحتفاظ بالحل الذي تم الحصول عليه بأقل كلفة حتى الآن من ناحية تابع الهدف المعين و لإدراجه في مسار تم إنشاؤها باستخدام خوارزمية البحث المحظور .

2 -المرحلة الثانية : توليد الجوار من خلال خوارزمية البحث المحلي 2-opt .

3 -المرحلة الثالثة : تطبيق خوارزمية البحث المحظور لتجنب التكرار من خلال القائمة المحظورة والتطلع إلى حل معقول نسبياً ، ويمكن الوقاية من الوقوع في الامثلية المحلية من خلال حجم القائمة المحظورة التي تم تحديدها في هذا العمل بـ 12 ، وحرصاً على ضبط المستوى العام ليكون الأفضل حتى الآن .

4 -المرحلة الرابعة : تطبيق البحث المحلي الموجه على القائمة المحظورة للتوجيه في منطقة البحث بدلاً من استخدام المعلومات المحلية الوحيدة .

5 -المرحلة الخامسة : تكرار هذه الخطوات حتى تحقق معيار التوقف (الحصول على حل محسن أو تحديد زمن تنفيذ) .

الاستنتاجات والتوصيات :

الاستنتاجات :

أجريت الاختبارات التجريبية للخوارزمية الهجينة المقترحة التي تدمج خوارزمية البحث المحلي الموجه و خوارزمية البحث المحظور ، استنادا إلى النتائج الحسابية من 14 حالة قياسية للباحث Solomon’s ، و أعطت هذه الخوارزمية 11 حالة جيدة من أصل 14 و من خلال التجارب تم تحديد أفضل قيمة للبارامترات حيث تم ضبط حجم القائمة المحظورة 12 ، و تم استخدام C++ لتنفيذ الخوارزمية و أجريت التجارب الحاسوبية في PC باستخدام معالج corei3 و 2 GB من ذاكرة الوصول العشوائي ، و البيانات المستخدمة لتقييم أداء الحل المقترح للباحث Solomon’s. [15,14,12,5,1] لمسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية هي من النوع R,RC2 وتتكون من 12 مسألة لهذه المشكلة .

في البداية ننظر في خصائص كل نوع من هذه الأنواع ونقسم المشكلة R إلى ثلاث مجموعات :

R101~R104 والفاصل الزمني في هذه المشكلة هو 10 .

R105~R108 وفاصلها الزمني هو 30 .

R109~R112 وفاصلها الزمني هو 60 .

والنوع RC (RC105~RC106) وفاصلها الزمني هو 60 .

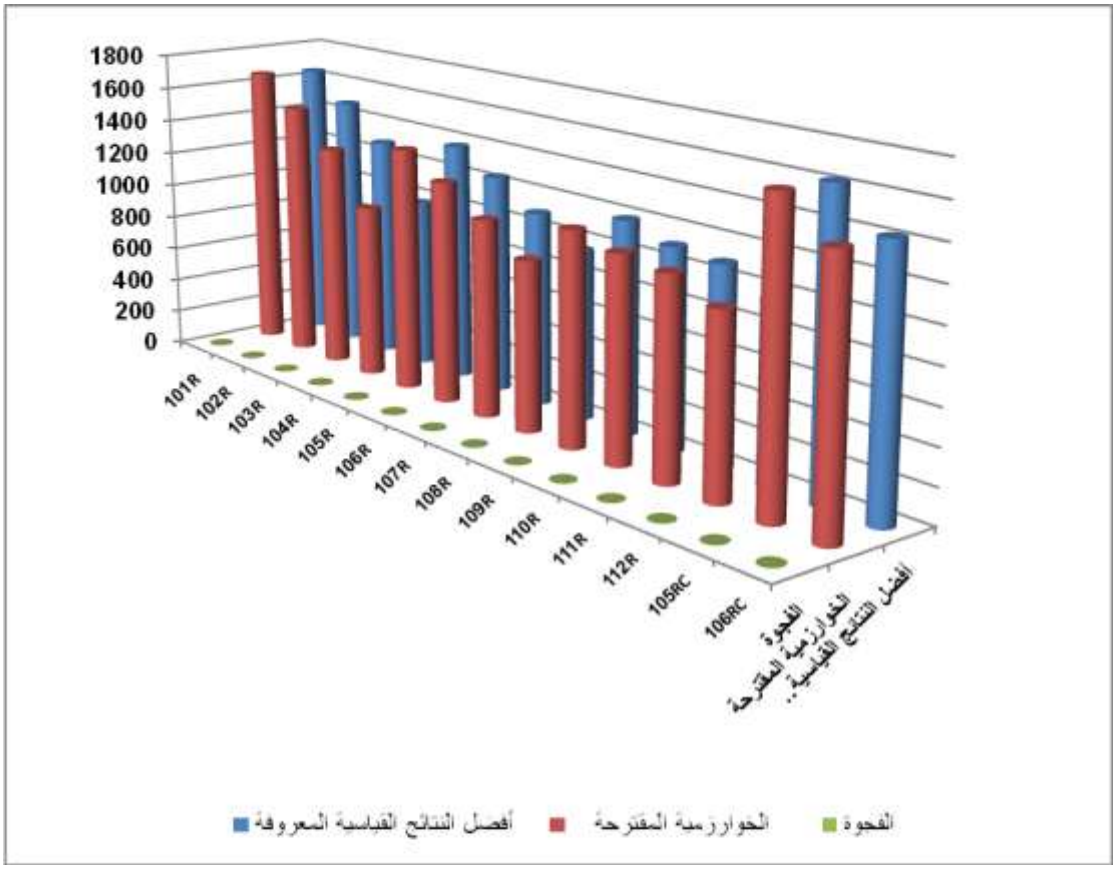
وتمت مقارنة نتائجنا مع نتائج قياسية معروفة وتم حساب الفجوة التي تعطي متوسط نسبة الانحراف المئوي وفق العلاقة الآتية : [15,14,12,5,1] .

$$\text{الفجوة} = \frac{(\text{الخوارزمية المقترحة} - \text{أفضل النتائج القياسية المعروفة})}{\text{الخوارزمية المقترحة}} * 100.$$

الجدول (1) : النتائج التجريبية للخوارزمية الهجينة المقدمة ومقارنتها مع نتائج قياسية معروفة [15,14,12] .

رقم	المشكلة	أفضل النتائج القياسية المعروفة [15]	الحل المقدمة من خلال الخوارزمية 600 ثانية	الفجوة
1	R101	1645.79	1661.89	0.968776513
2	R102	1486.12	1491.55	0.36405082
3	R103	1292.68	1293.32	0.049485046
4	R104	982.01	1001.01	1.898082936
5	R105	1377.11	1400.99	1.704508954
6	R106	1252.03	1270.85	1.480898611
7	R107	1104.66	1120.88	1.447077296
8	R108	960.88	962.97	0.217036875

9	R109	1194.73	1197.02	0.191308416
10	R110	1118.84	1138.99	1.76911123
11	R111	1096.72	1106.98	0.926846013
12	R112	982.14	1000.87	1.871371906
13	RC105	1629.44	1640.55	0.677211911
14	RC106	1424.73	1436.98	0.852482289
متوسط نسبة الانحراف المئوية				1.029874916



الشكل (5) : مخطط للمقارنة بين الخوارزمية الهجينة المقدمة ونتائج قياسية .

تبين النتائج التجريبية الموضحة في الجدول (1) ان الخوارزمية الهجينة المقترحة التي تدمج خوارزمية البحث المحظور و خوارزمية البحث المحلي الموجه ، تعطي نتائج أفضل ضمن زمن معقول و توفر إمكانية لتحقيق أداء أفضل من حيث سرعة التقارب والقدرة على إيجاد حلول أفضل ، وكانت الفجوة صغيرة بين هذه الخوارزمية ونتائج قياسية معروفة ، و إنّ متوسط نسبة الانحرافات المئوية للحالات التي تم اختبارها هو 1.02% ، وأظهرت النتائج كفاءة الخوارزمية المقترحة وامتلاكها الكثير من المزايا الحسنة فقد ساهمت في حل المسألة بكلفة منخفضة وحسنت الأداء.

التوصيات :

نوصي في نهاية هذا البحث في الآتي :

1 -دراسة تأثير عمق البحث وحجم القائمة المحظورة على تحسين الحل عند الانتقال من البحث المحظور إلى البحث المحلي الموجه .

2 -تطبيق هذا النهج الجديد على نوافذ زمنية أوسع .

3 -اقتراح طرق وأساليب لدمج وتكامل الخوارزميات التقريبية الأخرى وتوظيفها لحل مسائل الامثلية .

4 -تطبيق الخوارزمية المقترحة على الأنواع الأخرى من مسألة توجيه المركبة .

المراجع :

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

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

[3] BRÄYSY.O ; GENDREAU, M., "*Vehicle routing problem with time windows*", *part ii: Metaheuristics. Transportation Science, 39(1):pp.119–139, 2005.*

[4] ARCHETTI,C.; SPERANZA,G.," *A survey on meta-heuristics for routing problem".* EURO Journal on Computational Optimization, 2014. 2 :235–246.

[5] 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.

[6] VOUDOURIS.C ; TSANG, E. . "*Guided local search".* Technical Report CSM- 247, Department of Computer Science, University of Essex, pp.64-72 , 1995.

[7] MOCCIA, L.; CORDEAU,F.; LAPORTE,G.,*" An Incremental Tabu Search Heuristic for the Generalized Vehicle Routing Problem with Time Windows."*, Journal of the Operational Research Society.2012. Pp. 238-244.

[8] BERBOTTO,L.;GARCIA,S.; NOGALES,F.J.," *A Randomized Granular Tabu Search heuristic for the split delivery Vehicle routing problem*" . Annals of Operations Research 222, 2014.PP.153–173.

[9] ZHANG,Z.; HE,H.; LUO,Z.; QIN,H.; GUO,S., "*An Efficient Forest-Based Tabu Search Algorithm for the Split-delivery Vehicle Routing Problem*", in:Twenty-Ninth AAAI Conference on Artificial Intelligence. 2015.PP.20-25.

[10] CLARKE G. ; J. W. WRIGHT , "*Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points",* Operations Research Vol.12, pp.568-581, 1964.

[11] POLLARIS,H.; BRAEKERS,K.; CARIS,A;JANSSENS, G;LIMBOURG,S., "*Vehicle routing problems with loading constraints: state-of-the-art & future directions*".OR Spectrum,2015.37:PP.297-330.

[12] BORTFELDT,A.; HAHN ,T.; MANNEL, D.; MONCH,L., "*Hybrid algorithms for the vehicle routing problem with clustered backhauls and 3D loading constraints".* European Journal of Operational Research, 2015. 243(1) :PP.85–96.

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

[14] SOLOMON, M.M., *"Solomon instances described and found " at http://web.cba.neu.edu/~msolomon/problems.htm.*

[15] BEST KNOWN SOLOMON SOLUTION: *http://www.sintef.no/Projectweb* /TOP/ Problems/VRPTW/Solomon-benchmark/100-customers/