مساهمة في حل مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية صارمة لدعم منظومة النقل في المشافي.

- الاســـــــــــــــــــم: د. وسيم حبيب بلال
- البريد الالكتروني: ***w.bilal@au.edu.sy***
Wasem_b@hotmail.com
جامعة الاندلس الخاصة للعلوم الطبية – (كلية إدارة المشافي – كلية الهندسة الطبية)
قسم العلوم الأساسية. المرتبـــــــة العلميـة: مدرس

الملخص

ندرس في هذا البحث إمكانية المساهمة في حل مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية صارمة Vehicle Routing Problem With *Hard* Time *Windows* (VRPHTW)، التي هي واحدة من مشاكل الأمثلة حيث أخذت الكثير من الاهتمام في الوقت الحاضر، والتي هي مسألة من النوع NP-*HARD*، ولا توجد حتى الآن خوارزمية تقدم لنا الحل الأمثل لهذه المشكلة، فكل الخوارزميات المستخدمة تعطي حلولاً تقريبية.

سنعرض في بحثنا الخوارزمية الهجينة ***Hybrid Algorithm (HA)*** التي تدمج خوارزمية البحث المحلي الموجه *Guided Local Search*(*GLS*) وخوارزمية البحث المحظور *Tabu Search(TS)* ، والمستندة على خوارزمية الاقتصاد($\boldsymbol{SAv}$ *Savings Algorithm*، ثم مقارنة الحل الناتج عن هذا النهج الهجين ($\boldsymbol{GLS} -$ $\boldsymbol{SAv} -$ ($\boldsymbol{TS}$ مع نتائج تجارب قياسية معروفة لتحديد فعالية النهج المقدم.

الكلمات المفتاحية: الخوارزميات التقريبية (الهجينة –البحث المحلي الموجه– التوفير، البحث المحظور).

Contribute to solve Vehicle Routing Problem with Hard Time Windows (VRPHTW) To Support the Transportation System in Hospitals.

Abstract

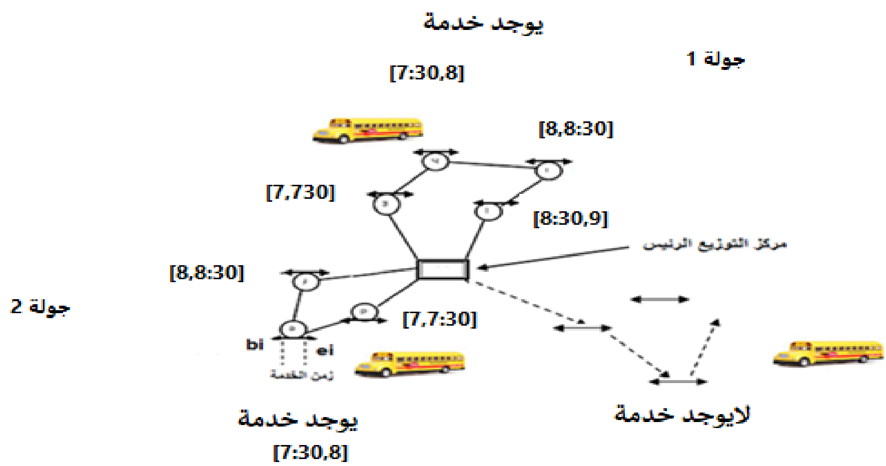
In this research, we study the possibility of contribution in solving Vehicle Routing Problem with *Hard* Time *Windows* (VRPHTW), which is one of the optimization problems that, has attracted a lot of attention at the present time. It is a problem of the NP-hard type. There is still no algorithm providing us with the optimal solution of this problem. All the used algorithms give approximate solutions.

In our research, we will present the Hybrid Algorithm (HA), which integrates the *Guided Local Search Algorithm (GLS)* and the *Tabu Search Algorithm (TSA),* which is based on the Saving Algorithm $(\boldsymbol{SAv})$. We will then compare the quality of the solution resulted from this hybrid approach $(\boldsymbol{GLS-TS}) - \boldsymbol{SAv}$ with the results of well-known standard tests to determine the effectiveness of the presented approach.

Keywords: *Approximate Algorithms (Hybrid, Guided Local Search m, Tabu Search, Savings).*

مقدمة:

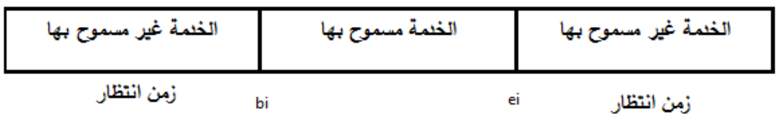
يمكن وصف مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية صارمة كأحد أكثر مسائل الأمثلة صعوبة لأنها من الصنف $NP - HARD$، وتعدّ امتداداً هاماً لمسألة توجيه المركبة الكلاسيكية ($CVRP$) بقيود الزمن الإضافية ، و هذه القيود الزمنية الإضافية تجعل حل المسألة أكثر صعوبة ، لقد تمت دراسة هذه المسألة من قبل الباحث (*Solomon, M. M* ,1987).[3]، والباحث (*Luca Maria Gambardella,2000*) [2]، و كانت مسألة توجيه المركبة قد قدمت من قبل الباحثين *B. Dantzig*[1] *, J. H. Ramser* [1] في عام 1959 و تم وضع النموذج الرياضي لها ، و أضافت مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية صارمة لمسألة توجيه المركبة الكلاسيكية تعقيداً جديداً هو نافذة الزمن ، و يتضمن التوجيه الكلي و جدولة الكلفة و مسافة السفر الكلية ، و زمن خدمة (s_i) ، و كلفة زمن الانتظار عندما تصل المركبة مبكراً الى موقع الزبون والشكل (1) يوضح مشكلة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية صارمة.[4] .



الشكل (1) جولات المركبة مع نوافذ زمنية صارمة.

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

إن عدد المركبات هو متغير القرار في كثير من الأحيان، ويرتبط تابع الهدف مع هذه المسائل بهرمية، حيث يتم تخفيض عدد المركبات، وتقليل المسافة الإجمالية للسفر.

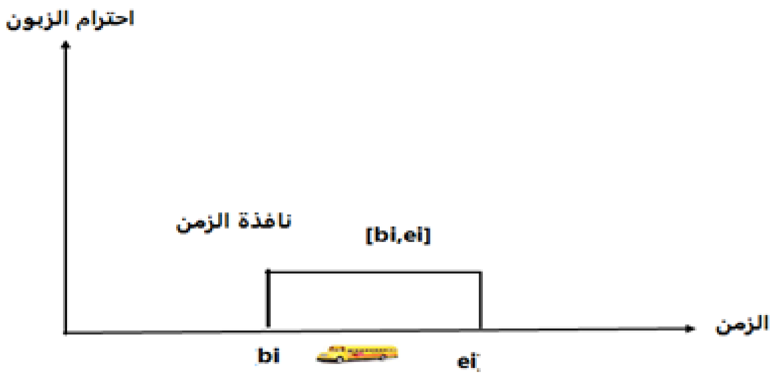


الشكل (2): الفاصل الزمني المسموح به للخدمة مع نوافذ زمنية صارمة.

و كل زبون i لديه فاصل زمني تكون الخدمة فيه مسموحة $[b_i , e_i]$ ، و b_i الحد الادنى لنافذة الزمن القاسية للعقدة i ، و e_i الحد الأعلى لنافذة الزمن القاسية للعقدة i كما هو مبين في الشكل (3) ، و $[b_i , e_i]$ نافذة الزمن التي يجب أن تحصل فيها الخدمة ، والخدمة خارج هذه الفترة غير مسموح فيها، و وصول المركبة قبل الحد الأدنى لنافذة الزمن يسبب زمن انتظار إضافي على الجولة ويعطى بالعلاقة:

$$.w_i = (b_i - t_i)$$

والشكل (3) يصف احترام الزبون للنافذة الزمنية الصارمة [5].



الشكل (3): احترام الزبون للنافذة الزمنية الصارمة.

كما يتم تمثيل نافذة الزبون خلال الفترة $[b_i, e_i]$ حيث b_i و e_i أقرب وآخر زمن وصول على التوالي، ولن يتم توفير الخدمة للزبون من قبل المركبة إلا إذا وصلت خلال هذه الفترة الزمنية كما هو مبين في الشكل (4 –أ)، ويمكن للمركبة أن تصل إلى موقع الزبون قبل أن تفتح نافذة الزمن ولكن يجب أن تنتظر حتى تفتح النافذة كما هو مبين في الشكل (4–ب)، ولكن لا يمكن أن تصل الى موقع الزبون بعد إغلاق النافذة كما هو مبين في الشكل (4–ت).

أ-إذا كانت $b_i \le a_i \le e_i$ ب–إذا كانت $a_i \le b_i \le e_i$ ت–إذا كانت $b_i \le e_i \le a_i$

الشكل (4): النوافذ الزمنية للزبون .

أهمية البحث وأهدافه:

ترجع أهمية البحث لكثرة تطبيقاته في النقل، حيث يسهل الاستعداد لحالات الطوارئ، والإغاثة من الكوارث، والعناية الصحية والإمداد بأقصر مسار ممكن وضمن زمن معقول. وهو بحث علمي يتعلق بالمجتمع.

يهدف هذا البحث للمساهمة في حل مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية صارمة باستخدام الخوارزميات التقريبية من خلال اقتراح خوارزمية هجينة مؤلفة من ثلاث خوارزميات، تدمج خوارزمية البحث المحلي الموجه *Guided Local Search*(*GLS*) وخوارزمية البحث المحظور *Tabu Search(TS)* ، والمستندة على خوارزمية التوفير *Savings Algorithm* ($\boldsymbol{SAv}$)، ثم مقارنة الحل الناتج عن هذا النهج الهجين المقترح $(\boldsymbol{GLS} - \boldsymbol{TS}) - \boldsymbol{SAv}$ مع نتائج تجارب قياسية معروفة لتحديد فعالية النهج المقترح. [5].

مواد وطراق البحث:

اعتمدت طرائق البحث على التحليل والتجريب والمقارنة وحل المسألة باستخدام الخوارزميات الهجينة المطورة ولغات البرمجة، و مراجعة العديد من المراجع العلمية والبحوث النظرية المنشورة، والمصادر البرمجية المفتوحة وتم برمجة الخوارزمية الهجينة المقترحة بلغة $turbo\ C^{++}$.

1- معادلات مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية صارمة:

تمثل مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية صارمة ببيان تام موزون غير موجه $G = (\boldsymbol{V}, E)$ حيث إن $\boldsymbol{V} = \{v_0, v_1, v_2 \ldots \ldots, v_n\}$ مجموعة العقد، وتمثل $V^* = \boldsymbol{V} \setminus \{v_0\} = \{v_1, v_2 \ldots \ldots, v_n\}$ مجموعة الزبائن ، وكل زبون $i \in V^*$ ، و $\mathrm{E} = \{(i,j): i, j \in V \,.\, i \neq j\}$ تمثل مجموعة الأضلاع التي تصل بين العقد بالكامل و $L = (l_{ij})$ مصفوفة المسافة بين كل العقد في البيان وبين مركز التوزيع الرئيس v_0 ، و بالنسبة للمسافة والزمن على حد سواء اتخذت لتكون مسافات إقليدية متماثلة . [6].

2- الفرضيات:

1- استخدام مركبات متماثلة مع استطاعات معروفة Q .

2- إن تكاليف زمن الراحة، وزمن المغادرة، وزمن الانتظار، وزمن الخدمة، وزمن الحمولة متماثلة.

3- مطلب كل زبون i محدد ضمن نافذة زمنية $[b_i, e_i]$ وهو q_i ، $q_i > 0$.

4- يجب أن يكون إجمال الطلب من أي زبون أقل من استطاعة المركبة، التي يمكن صياغتها كما يلي:

$$\sum_{i \in cust(r)} q_i \leq Q \quad ,(1 \leq r \leq m), \qquad (1)$$

حيث إن$cust(r)$ مجموعة من الزبائن في الطريقr، و q_i مطلب الزبون في العقدة i ، و Q الاستطاعة الكلية لكل مركبة.

5- مركز التوزيع الرئيس v_0 هو مركز توزيع وحيد.

6- لكل طريق حد أقصى للمسافة والزمن والتكلفة.

7- كلفة الانتقال ذهاباً واياباً بين عقدة وأخرى هي نفسها $c_{ij} = c_{ji}$.

8-جميع المركبات فارغة في المستودع، و من أجل كل مركبة $q_0(k) = 0$.

9-لكل ضلع(i, j) كلفةc_{ij} والزمن الذي يستغرقه السفر $t_{ij} = c_{ij}$.

10-كل الطلبات لجميع المركباتK محددة ومعروفة.

11-تابع المسافة يعرف إجراء المسافة كما يلي: $d: E \rightarrow Z^+$

$$\forall i, j \in \{1, 2, \dots, n\} \quad \& \, i \neq j;$$

$$min \rightarrow \sum_{i,j} d_{ij} \quad , \forall \, i, j \in N, \qquad (2)$$

d_{ij} : تمثل المسافة بين العقدة i والعقدة j و $d_{ij} > 0$.

3- القيود:

1-كل زبون v_i يخدّم مرة واحدة من خلال مركبة واحدة ضمن نافذة زمنية $[b_i , e_i]$ يجب توفير الخدمة من خلالها و $b_i < e_i$.

2-إجمالي طلبات الزبائن في كل جولة يجب أن لا يتجاوز استطاعة المركبة Q .

3-جميع الجولات يجب أن تبدأ وتنتهي في مركز التوزيع v_0 .

4- تصنيف مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية صارمة $(VRPHTW)$:

إن مسالة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية صارمة $(VRPHTW)$ هي من الصنف NP – HARD ، وهي النوع الأكثر أهمية لوجود نوافذ زمنية يتطلب تقنيات معقدة للتعامل معها . إن تعقيد هذه المسألة دفع الباحثين إلى إيجاد طرقٌ للحل تعطي حلولاً تقريبية ترضي صانع القرار لكنها ليست حلولاً مُثلى، وبالتالي لا توجد حتى الآن خوارزميات فعّالة للحصول على الحل الأمثل لها [3] .

5 – نافذة الزمن :

إن نافذة الزمن $[b_i , e_i]$ ترتبط بكل زبون i & و $b_i < e_i$ ، حيث المركبة لا تستطيع الوصول في زمن سابق عن b_i ، ولا تستطيع الوصول بعد الزمن الاخير e_i ، و مسألة توجيه المركبة الكلاسيكية VRP بدون نافذة زمن يقابلها الحالة $b_i = 0$ و $e_i = \infty$ من أجل $1 \le i \le n$، و عندما يحدد كل زبون نافذة زمنية ، فإن مشكلة العثور على طرق المركبات التي تلبي قيود الاستطاعة والنافذة الزمنية تصبح هذه القيود أكثر صعوبة [4] .

6. قيود نافذة الزمن:

تصنف قيود نافذة الزمن إلى نوعين هما:

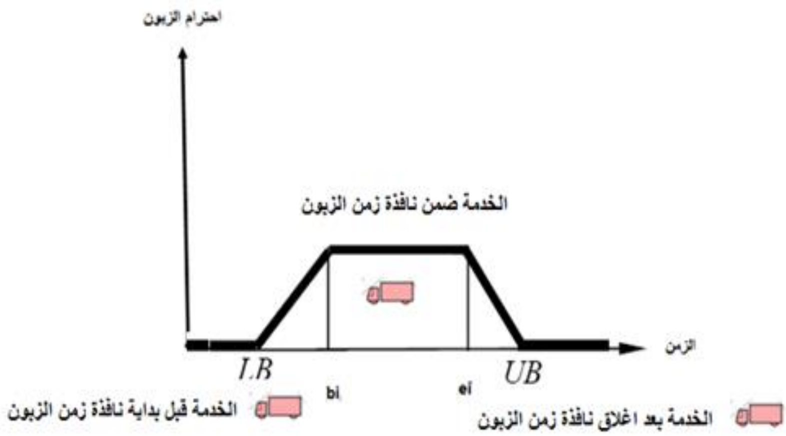
1.6 قيود زمنية صارمة:

يتم زيارة الزبائن ضمن نافذة زمنية صارمة و محددة *Hard (HTC) Time Constraint* بـ $[b_i , e_i]$ و لا يمكن أن تنتهك ، ويجب أن تصل المركبة وفقا لمتطلبات الزبائن في الزمن المحدد والبدء بالخدمة عند اقرب زمن ممكن و زمن بداية خدمة كل زبون s_i يجب ان يكون محتوى في نافذة الزمن الصارمة $[b_i , e_i]$ ، و بسبب الحدود الصارمة لهذه النافذة يسمح بزمن انتظار محدود جداً من دون فرض أية عقوبات و يحظّر على المركبات الوصول في زمن متأخر للخدمة [4] .، و يشكل هذا النوع مجموعة كبيرة من التطبيقات العملية في النقل و الخدمات اللوجستية ويرجع ذلك لأهمية الخدمة فقط في الزمن المحدد *just - in – time (JIT)* ، و إن $[b_i , e_i]$ هي نافذة الزمن التي يجب أن تحصل فيها الخدمة ، والخدمة خارج هذه الفترة غير مسموح فيها ، و وصول المركبة قبل الحد الأدنى لنافذة الزمن يسبب زمن انتظار إضافي على الجولة هو $w_i = (b_i - t_i)$ ، و الشكل (3) يصف إرضاء الزبون للنافذة الزمنية الصارمة ، و

علـى سـبيل المثـال يكـون الضـلـع (i,j) عمليـاً أو ممكنـا إذا كـان : $b_i + t_{ij} + s_i \leq e_j$.

2.6 قيود زمنية ناعمة: *Soft Time Constraints* (*STC*)

يتم خدمة الزبائن خارج النافذة الزمنية المحددة $[b_i , e_i]$ بحيث يسمح بخدمة الزبائن قبل وبعد حدود نافذة الزمن، و يمكن تقديم الخدمة أو تأخيرها وفقاً لرغبة الزبون من خلال فرض عقوبات ثابتة أو متغيرة اعتمادا على نوع الانتهاك ، و عن طريق تحديد ملائم لمعاملات عقوبة التقديم أو التأخير المستخلصة ، وهذا التخفيف يأتي على حساب العقوبة المناسبة التي تضاف كعقوبة لقيمة تابع الهدف f التي تعكس بان انتهاك نوافذ الزمن لإرضاء الزبائن الى حد كبير [6]، علماً بأن مكوّن العقوبة لا يصلح لتقييم الزمن الثابت ، ويوضح الشكل (5) حالة النافذة الزمنية الناعمة ، و يظهر إن الخدمة في هذه الحالة يسمح بها لكن العقوبة تفرض على هذه الخدمة خارج نافذة الزمن المحددة ، و إرضاء الزبون في الفترة $[b_i , e_i]$ يخفض كما يلي $[\mathrm{LB_i} , b_\mathrm{i}]$ & $[e_\mathrm{i} , UB_\mathrm{i}]$.



الشكل (5) : يظهر كيف يمكن تخديم الزبون خارج نافذة $[b_i , e_i]$ في نوافذ الزمن الناعمة مع فرض عقوبة على الخدمة .

7-صياغة مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية صارمة:

تم وضع النموذج الرياضي لمسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية صارمة من قبل العالم (*Solomon, M. M* ,1987) [7] ، و يحتوي النموذج على نوعين من متغيرات القرار هما x و y من أجل كل ضلع (i, j) ، ومن أجل كل مركبة نعرف متغيرات القرار: $x_{ij}^k \in \{0,1\}$ ، y_i^k ، x_{ij}^k كما يلي :

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

و متغير القرار الثاني y_i^k معرف لكل زبون $i \in V$ ، ولكل مركبة $k \in \mathbf{K}$ ، ويشير إلى الزمن الذي تبدأ فيه المركبة k خدمة الزبون i ، وإذا كانت المركبة k لا تخدم الزبون i عندئذ y_i^k ليس له معنى، ولذا نحن نفترض $b_0 = 0$ وبالتالي $y_0^k = 0$ من أجل كل مركبة k .

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

ويعبّر تابع هدف المسألة عن تخفيض التكلفة الكلية كما في العلاقة.

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

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

$$\sum_{i\in V^*} x_{i0}^k = 1 \quad , \quad \forall i \in V^*, \forall k \in \mathbf{K} \tag{7}$$

$$\sum_{k=1}^{\mathbf{K}} \sum_{j=1}^{V^*} x_{0j}^k \le m \quad , \quad \forall j \in V^* , \forall k \in \mathbf{K} \tag{8}$$

$$t_i \ge b_i \quad i = 1,2, \dots \dots \dots, n \tag{9}$$

$$t_i + w_i \le e_i \quad i = 1,2, \dots \dots \dots, n \tag{10}$$

$$t_0 = w_0 = s_0 = \quad 0 \ , \tag{11}$$

$$\sum_{i=1}^{V^*} q_i \le Q \quad , \quad \forall i \in V^* \tag{12}$$

$$\sum_{i\in V^*} x_{ij}^k - \sum_{j\in V^*} x_{ij}^k = 0 \ , \forall i,j \in V^*, \ \forall k \in \mathbf{K} \tag{13}$$

$$\sum\nolimits_{k\in \boldsymbol{K}} \sum\nolimits_{j\in V^*} x_{ij}^k = 1 \ , \forall i,j \in V^* , \quad \forall k \in \boldsymbol{K} \tag{14}$$

$$\sum\nolimits_{i\in V^*} q_i \sum\nolimits_{j\in V^*} x_{ij}^k \le Q \ , \forall i,j \in V^*, \quad \forall k \in \mathbf{K} \tag{15}$$

$$y_i^k + s_i^k + t_{ij} - k\left(1 - x_{ij}^k\right) \le s_j^k , \forall i,j \in V^* , \forall k \in \mathbf{K} \tag{16}$$

$$b_i \le y_i^k \le e_i \ , \forall i \in V^* , \quad \forall k \in \mathbf{K} \tag{17}$$

$$\sum_{k=1}^{\mathbf{K}} \sum_{j=1, i\ne j}^{V^*} x_{ij}^k \ (t_i + t_{ij} + s_i + w_i) \le t_j , \forall k \in \mathbf{K} , \forall i \in \mathbf{V} \tag{18}$$

$$\sum_{k=1}^{\mathbf{K}} \sum_{i=0}^{V^*} d_{ij}^k \ x_{ij}^k \le D_k \quad , \quad \forall k \in \mathbf{K} \tag{19}$$

تمثل كلاً من المعادلتين (6) و (7) قيوداً تضمن زيارة كل عقدة مرة واحدة فقط بواسطة مركبة واحدة فقط.

أما المتراجحة (8) تضمن الحد الأقصى لعدد المركبات من مركز توزيع وحيد بحيث تغادره وتعود إليه.

والقيود (9)، (10)، (11) تتضمن قيد نافذة الزمن، أما المتراجحة (12) فهي قيد طلبات الزبائن.

والقيد (13) يدل على أن كل مركبة يجب أن تترك الزبون بعد الانتهاء من التسليم.

والقيد (14) يعني أن كل زبون يمكن أن يزار من مركبة واحدة فقط.

و القيد (15) يظهر بان الطلب الكلي q_i من أي جولة k لمجموعة من الزبائن i يجب أن يكون أقل من استطاعة المركبة Q_k .

والقيد(16) لا يسمح للمركبة k الوصول الى الزبون j من خلال الزبونi قبل انقضاء زمن تخديم الزبون s_i^k.

والقيد(17) يشير إلى أن زمن الخدمة لكل زبون i يجب أن يكون ضمن نافذة الزمن.

والقيد(18) يشير إلى قيد زمن الرحلة الأقصى.

والقيد(19) يشير إلى أن الطول الكلي لكل جولة k له حد D_k.

8- الدراسة المرجعية :

إن حل مسألة توجيه المركبة بنوافذ زمنية صارمة $VRPHTW$ مازال أصعب بكثير من حل مسألة توجيه المركبة الكلاسيكية VRP بسبب تحديد زمن خدمة الزبائن، وهذا يزيد من تعقيدها.

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

8-1 الخوارزميات المضبوطة[2]: Exact Algorithms

توفر الخوارزميات المضبوطة الحلول المثلى ولكن يمكن أن تكون مكلفة حسابيا أو ببساطة مستعصية، وبالتالي هذه الخوارزميات المضبوطة ملائمة لحالات ذات قياس صغير نسبياً، ولا يمكن أن تحل حالات المسألة لأكثر من 50 زبوناً في فترة زمنية معقولة لأنها من الصنف $NP - HARD$ وهي صعبة الحل حتى باستعمال الحاسبات.[7] ،

إن مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية صارمة لا يمكن أن تحّل بالطرق المضبوطة، وخصوصاً عندما يكون لدينا حالات أكبر أو نوافذ زمنية أوسع.

8-2 الخوارزميات التقريبية: Approximate Algorithms

إن عدم قدرة الخوارزميات المضبوطة في حل العديد من المسائل الامثلية التوافقية ضمن زمن معقول، دفع الباحثون لتطوير خوارزميات تقريبية [4] تحاول تجاوز صعوبة المسائل من الصنف ***NP-HARD*** ، وهي طرق تسعى للحصول على حلول جيدة

---

[2] : هي الخوارزميات التي تُنْتِجُ دائماً الحلَّ الأمثل المضبوط ضمن شروط وقياسات محددة.

تقريبية مخفضة الكلفة الحسابية نسبياً دون أن تكون قادرة على ضمان أمثليه الحلول ، ويمكن تصنيفها إلى نوعين :

8-2-1 النوع الأول: طرائق الحل الإرشادية الكلاسيكية:

إن هذه الخوارزميات تنتج حلولاً مثالية تقريبية جيدة وعملية وسريعة في اغلب الأحيان في زمن معقول للحالات ذات القياس الكبير، ولديها زمن تشغيل كثيرة الحدود، وبالتالي استخدام هذه الخوارزميات يوفر حلولاً جيدة في فترة زمنية معقولة، ومن ناحية أخرى فإنها تجري بحثاً محدوداً في فضاء الحل. [8].

8-2-2: النوع الثاني: الخوارزميات ما وراء الإرشادية:

إن اغلب الأبحاث في العقود الأخيرة ركزت منذ عام *1990* على تصميم خوارزميات ما وراء إرشادية *Meta-Heuristics* فعالة وأكثر عمومية من الخوارزميات الإرشادية الكلاسيكية وتعطي حلولاً عالية الجودة لمجموعة متنوعة من المسائل المعقدة ذات الطابع اليومي المقيدة لسنوات عديدة [9]، ولكن هي غير قادرة على التكيف مع التغيرات في تركيب المشكلة المحددة ، أو حتى لحالات مشكلة مختلفة بنفس التركيب، وتتضمن الخوارزميات ما وراء الإرشادية العديد من البارامترات التي من الضروري ان تضبط بشكل جيد لكل مسألة قبل عملية التطبيق، و يمكن تقسيم ما وراء الإرشادي إلى صنفين :

الصنف الأول: الحل الوحيد

يقوم هذا الصنف بتحسين **حل واحد** فقط بشكل متكرر، ومن الأمثلة على ما وراء الإرشادي أحادية الحل خوارزمية البحث المحظور *TS* [16]. والتي يمكن أن تكون جزءاً لا يتجزأ من إجراءات التحسين، وخوارزمية محاكاة التعدين*SA*، و

تتحرك الخوارزميتان من حل إلى آخر في الجوار الأقرب طالما المعايير محترمة [17].

الصنف الثاني: ما وراء الإرشادي المستندة على السكان.

هذا الصنف يستخدم **حلولاً متعددة**، ومن الأمثلة عليها خوارزميات مستعمرة النمل ACO والخوارزمية الجينية GA ، وهما تعتمدان على آلية بناء توجد العديد من الحلول في كل تكرار بناء اعتماداً على المعلومات من الأجيال السابقة [17]. أما خوارزميات ذكاء السرب PSO التي تستخدم ذكاء السلوك الاجتماعي للكائنات الطبيعية، وخوارزميات التطور وهي مجموعة أوسع من ما وراء الإرشادي المستندة على السكان التي تطبق التطور الاصطناعي للسكان، وذلك باستخدام العمليات القائمة في الطبيعة، مثل الاختيار الطبيعي، والطفرة، والتكاثر لتطوير الحل تكرارا. [17].

8-2-3 الخوارزميات الهجينة:

لم يتم قبول مفهوم ما وراء الإرشادي الهجين إلا في السنوات الأخيرة، بالرغم من أن فكرة الجمع بين استراتيجيات ما وراء إرشادية مختلفة يعود إلى 1980، ولقد وجد الباحثون إن توظيف التهجين في مسائل الامثلية يمكن أن يحسن نوعية الحلول التي يمكن إيجادها مقارنة بالنهج الإرشادي وما وراء الإرشادي وعلى الرغم من الاختلافات الكبيرة والهامة بين هذه الخوارزميات إلاّ أنها تشترك ببعض العناصر التي تم تجاهلها وتركت غير مستغلة ، و إن تطوير الخوارزميات الهجينة هو مجال من البحوث ينمو بسرعة فائقة و هو مجموعة من الطرق التقريبية لإيجاد حلول مثالية تقريباً بتكلفة حسابية معقولة لكن دون أن يكون قادراً على ضمان المثالية ، و يسعى الباحثون لصياغة

استراتيجيات هجينة للحد من الزمن الحسابي لهذه الخوارزميات ، وهذه التقنيات الهجينة منتشرة في مجالات متنامية كبحوث العمليات والذكاء الاصطناعي [12].

9 .أنواع التهجين:

على الرغم من الاختلافات الكبيرة والهامة بين هذه الخوارزميات التقريبية، إلا أنها تشترك ببعض العناصر التي تم تجاهلها وتركت غير مستغلة. قسم الباحثان *Blum &* (*Roli ,2003*) الخوارزميات ما وراء الإرشادي الهجين [12]. إلى ثلاثة نماذج مختلفة هي:

- **النموذج الأول: تبادل المكونات ما بين الخوارزميات ما وراء الإرشادية.**

يعتبر هذا النموذج من أكثر الطرق شعبية للتهجين ويقسم هذا النموذج إلى نوعين من الطرائق.

أ. **الطرائق القائمة على السكان:** تستند هذه الطرائق على مفهوم إعادة الربط بين الحلول للحصول على حلول جديدة، وعادة ما يكون الحل الناتج عن إعادة تركيب الحلول في الأساليب القائمة على السكان أكثر اختلافا من الوالدين.

ب. **طرائق المسار:** يتم البحث فيها عن منطقة واعدة في فضاء البحث بطريقة أكثر تنظيما من الطرق القائمة على السكان، وبالتالي فإن خطر فقدان حلول قريبة من الجيدة ليس مرتفعا كما هو الحال في الأساليب القائمة على السكان.

إن معظم التطبيقات الناجحة تستفيد من إجراءات البحث المحلية فمثلاً الحساب التطويري EC ، وأمثليm مستعمرة النمل ACO تستفيد من إجراءات البحث المحلية .

- **النموذج الثاني: البحث التعاوني.**

يتكون البحث التعاوني من التنفيذ المتوازي لخوارزميات البحث مع مستويات متفاوتة أو مختلفة من خلال **تبادل المعلومات** حول الجوار والحلول الناتجة أو غيرها من خصائص فضاء البحث، والنماذج والمشاكل الفرعية بأكملها وتنفذ مع ضبط بارومترات مختلفة، ويحظى البحث التعاوني في الوقت الحاضر مزيداً من الاهتمام، والهدف من البحث التعاوني ما وراء إرشادي مزدوج، وحتى يتحقق ذلك بشكل فعال يجب مراعاة الآتي:

أولا: ينبغي إعادة تصميم ما وراء الإرشادي لجعلها مناسبة للتنفيذ المتوازي من أجل استغلال التوازي الجوهري.

ثانيا: يجب العثور على مزيج فعال من ما وراء الإرشادي، على حد سواء للجمع بين مختلف الخصائص، ونقاط القوة، وتصميم آلية اتصال فعالة.

- **النموذج الثالث: تكامل الخوارزميات ما وراء الإرشادية.**

يتم أحياناً تهجين طرق الحل ما وراء الإرشادية من أجل البحث عن حل تقريبي من خلال التكامل بين الخوارزميات الإرشادية التقريبية، ويوجد مثال ناجح جدا على هذا التكامل هو الجمع بين ما وراء الإرشادي، والبرمجة المقيدة *CP* (***Focacci et al., 2002***)، وعادة ما يتحقق التهجين من خلال دمج المفاهيم التي تم تطويرها لما وراء الإرشادي وهي على سبيل المثال، الخيارات الاحتمالية، ومعايير

10-معالجة المسألة:

إن مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية صارمة هي من صنف المسائل القياسية ***NP-hard***، سنستخدم خوارزميات هجينة مطورة من تهجين خوارزميات إرشادية وما وراء إرشادية للتركيز على المزايا الايجابية والتعويض عن المزايا السلبية في

الخوارزميات التقريبية المذكورة، والهدف هو الجمع بمهارة بين العناصر الرئيسة للمنهجيات المتنافسة لإيجاد حل متفوق، والخوارزميات المقترحة ستشكل إطار عمل مختلف لمعالجتها.

وسنستعرض الخوارزميات المستخدمة لمعالجة المشكلة والخوارزمية الهجينة المقترحة.

1−10 خوارزمية البحث المحلي الموجه: Guided Local Search(GLS)

إن خوارزمية البحث المحلي الموجه *GLS* هي استراتيجية بحث ما وراء 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 و يحاول 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 [10].

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

$$h\ (s) = O(s) + \lambda \sum_{i \in F} f_i\ (s).P_i\ .C_i \qquad (20)$$

حيث $O(s)$: تابع الهدف الأساسي .

و λ وسيط يعدل تأثير العقوبات .

$f_i(s)$: تابع مؤشر على النحو الآتي :

$$f_i\ (s) = \begin{cases} 1 & ,i \in F \quad \text{إذا كان الحل } s \text{ عنده الميزة} \\ 0 & ,i \in F \quad \text{إذا كان الحل } s \text{ لايملك الميزة} \end{cases} \qquad (21)$$

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 .

2.10 خطوات خوارزمية البحث المحلي الموجه GLS :

pseudo-codes **(GLS)**

1- $P = \vec{0}$.
2- $S = InitialSolution(\quad)$.
3- $S^* = LocalSearch(S)$.
4- $\boldsymbol{while\ not}\ stoppingCondition(\quad)\boldsymbol{do}$.
5- $f = ChoosePenaltyFeatures(s, p)$;
6- $\boldsymbol{for}\ each\ x\ \boldsymbol{in}\ f\ \boldsymbol{do}\ P_x = P_x + 1$.
7- $\mathrm{S} = \mathrm{LocalSearch(S)}$.
8- $\boldsymbol{if}\ \mathrm{O(s)} < \mathrm{O(S^*)}\ \boldsymbol{then}$
9- $\mathrm{S^*} = \mathrm{S}$.
10- **return** 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 $\lambda = 0.2$ [10].

3.10 خوارزمية البحث المحظور من أجل مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية:

تعد من أكثر الخوارزميات ما وراء الإرشادية انتشارا حيث يمثل استخدام الذاكرة الذي يقوم بتخزين المعلومات المتعلقة بعمليات الأضلاع ميزة خاصة للبحث المحظور.

إن خوارزمية البحث المحظور *TS* تتصرف مثل خوارزمية البحث المحلي *LS*، لكنها تقبل حلولاً غير محسنة للهروب من الوقوع في الامثلية المحلية، وعندما يتم التوصل إلى نقاط مثلى محلية يعمل البحث المحظور على اختيار حل مرشح أسوأ من الحل الحالي.

لكن البحث المحظور قد ينظر إليه كتحول يزيد من عدد الجوار وفي هذا النهج قد يؤدي إلى الدخول في دورات مفرغة يمكن اختيار حلول مزاره سابقاً مرة ثانية، ولتجنب الدخول في دورات البحث المحظور *TS* يتجاهل الجوار الذي تم زيارته سابقاً من خلال حفظ مسار البحث الأخير، والبحث المحظور يدير ذاكرة الحلول أو التحركات المطبقة مؤخراً والتي تدعى القائمة المحظورة، وتشكل ذاكرة قصيرة المدى، وفي كل تكرار للبحث المحظور *TS* يحدث الذاكرة على المدى القصير.

إن تخزين كل الحلول المزارة في القائمة المحظورة هو استهلاك للذاكرة والزمن، ويجب ان ندقق في كل تكرار إذا كان حلاً مولداً لا يعود إلى قائمة كل الحلول المزارة، وتحتوي القائمة المحظورة على عدد ثابت من الحركات المحظورة. ومن خلال إدخال مفهوم ميزات الحل وخواص هذه الحركات، ربما نفقد بعض المعلومات حول ذاكرة البحث ويمكن أن نرفض الحلول التي لم توّلد حتى الآن، وإذا كان التحرك جيداً من القائمة المحظورة والتي تكون مقيدة جداً فإن حلولاً غير مولدة قد تكون ممنوعة ومع ذلك فإن **معايير الطموح** تحدد قبولاً الحلول المحظورة، وهي حلول الجوار المقبولة غير محظورة وتحمل معايير التطلع.

4.10 تطبيق البحث المحظور لمسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية:

لكي نطبق البحث المحظور لمسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية يجب أن نعرف ميزات البحث المحظور، وأن نصف مجموعة من مكونات البحث المستخدمة واستراتيجياته العالية المستوى كالآتي: [13].

1. **فضاء البحث:** يشمل مجموعة الحلول العملية المحتملة.
2. **تمثل الحل.**

يتمثل الحل الممكن في سلسلة من الزبائن التي تظهر حسب ترتيب زيارتها ويزار كل زبون مرة واحدة فقط، ويمثل مركز التوزيع الرئيس العقدة الأولى والأخيرة.

3. **إجراء إيجاد الحل الأولي.**

إن إيجاد الحل الأولي هو الخطوة الأولى في الحصول على الحل النهائي، ولإيجاده نتبع الآتي:

1- نوجد حل عملي ممكن على أساس بسيط من زمن السفر والانتظار.
2- نحاول تحسينه من قبل البحث المحظور.
3- تطبيق مرحلة ما بعد الحل الأمثل.

تستخدم الخوارزميات الإرشادية مثل الخوارزمية الطماعة للحصول على حل أولي جيد بطريقة فعالة ثم تدريجيا تعمل على تحسين هذا الحل عن طريق تبادل الجوار أو عمليات البحث المحلية، وعند إيجاد حل مبدئي لمشكلة التوجيه، تشير معايير التهيئة

لعملية العثور على أول زبون لإدراجه في الطريق، ومعايير التهيئة الأكثر شيوعا هو أبعد الزبائن، مع أقرب موعد نهائي، أو أقرب زمن وصول مسموح به.

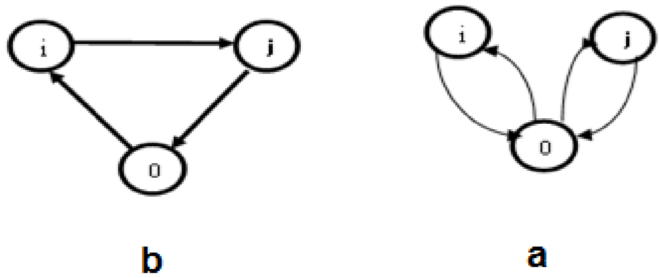
5.10 خطوات خوارزمية البحث المحظور *TS* لمسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية:

pseudo-codes (*TS*)

1- Choose an initial solution $\boldsymbol{x}$ in $\boldsymbol{S}$.
i. Set $x^*= x$ &k $= 0$.
2- Set $k = k + 1$ & generate a subset V^* of solution in $N(x, k)$ such that either one of the Tabu conditions is violated or at least one of the aspiration conditions holds.
3- Choose a best j in x^* and set $x = j$.
4- If f(x) < f(x^*) then set x^* = x.
5- Update Tabu and aspiration conditions.
6- If a stopping condition is met then stop. Else go to Step 2.

6−10 خوارزمية التوفير:

إن خوارزمية التوفير *Savings Algorithm(SA)* هي خوارزمية إرشادية و لا تضمن الحل الأمثل بصورة مؤكدة ولكن تنتج حلاً جيداً نسبياً [14]، و هي تعبر عن وفورات في التكاليف التي تم الحصول عليها كما هو موضح في الشكل (6):



الشكل (6): 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، والاحتفاظ بالحل الذي تم الحصول عليه كأقل كلفة حتى الآن[15] .

تمت زيارة الزبائن i ، j من خلال طرق منفصلة في الشكل (6–a) والبديل الأفضل أن يزار الزبائن على نفس الطريق ، على سبيل المثال في التسلسل i – j كما هو موضح في الشكل (6– b) لأن مصاريف النقل معطاة ، ويمكن حساب الوفورات التي تنجم عن الانتقال على الطريق في الشكل (6–b) بدلاً عن الطريقين في الشكل (6–a) و c_{ij} تدل على كلفة النقل بين العقدتين i،j و إجمالي تكلفة النقل D_{a} كما في الشكل (6–a) هي :

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

و بشكل مكافئ ، $\mathrm{D_a}$ تكلفة النقل كما في الشكل (3–a) هو :

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

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

$$S_{ij} = D_a - D_b = c_{i0} + c_{0j} - c_{ij} \qquad (22)$$

والقيم الناتجة من الجمع كبيرة نسبياً وجذابة لأننا انتقلنا مباشرة من العقدة i إلى j .

1.6.10 خطوات خوارزمية التوفير:

pseudo-codes *Savings Algorithm(SA)*

1. Make n routes : $v_0 \rightarrow v_i \rightarrow v_0$, for each $i \geq 1$.
2. Compute the savings for merging delivery locations I & j, which is given by:

$$\boldsymbol{S_{ij}} = \boldsymbol{d_{i0}} + \boldsymbol{d_{0j}} - \boldsymbol{d_{ij}} \quad \text{, for all } i, j \geq 1 \;\&\; i \neq j.$$

3. Sort the savings in descending order.
4. Starting at the top of the (remaining) list of savings, merge the two routes associated with the largest (remaining) savings, provided that:
   a. The two delivery locations are not already on the same route
   b. Neither delivery location is interior to its route, meaning that both notes are still directly connected to the depot on their respective routes
   c. The demand G **&** distance constraints D & time window are not violated by the merged route.
5. Repeat step (3) until no additional savings can be achieved.

نتائج ومناقشة:

1.11 خطوات الخوارزمية الهجينة المقدمة: $(GLS - TS) - SAv$

الخوارزمية الهجينة المقدمة (البحث المحلي الموجه–البحث المحظور) والمستندة على خوارزمية التوفير:

نقترح في هذا العمل خوارزمية هجينة تعتمد على مبدأ الدمج بين خوارزمية البحث المحلي الموجه مع خوارزمية البحث المحظور والمستند على خوارزمية التوفير

SAv 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 إلى حالة اضطراب هو أمر جديد، ومن خلال التحكم بحجم القائمة المحظورة لتجنب التكرار و الوقوع في الامثلية المحلية والتطلع إلى حل معقول نسبياً و استخدم البحث المحظور مع البحث المحلي الموجه بدلاً من استخدام المعلومات المحلية الوحيدة لأن تقدم البحث يحتاج إلى تحولات تصحيح لصالح التحركات الواعدة ، 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 صارمة .

11-2 خطوات الخوارزمية الهجينة المقدمة $SAv - (GLS - TS)$:

قبل عرض خطوات الخوارزمية الهجينة لنوضح دلالات الرموز المستخدمة:

- **NH** : أحد الجوار المولدة للحل الحالي .
- **Best_NS** : أفضل جوار مولد حتى الآن من خلال خوارزمية البحث المحظور.
- **Opt_NS** : أفضل حل ولد حتى تحقق شروط التوقف .
- **NHG** : أفضل جوار للحل الحالي مولد من خلال خوارزمية البحث المحلي الموجه .
- **Best_NSG** : أفضل جوار مولد حتى الآن من خلال خوارزمية البحث المحلي الموجه .
- **Opt_NSG** : يمثل أفضل حل وجد من خلال البحث المحلي الموجه حتى تحقق شروط التوقف .
- **S** : الحل الحالي .
- **M(S)** : التكلفة الإجمالية للتوجيه انطلاقاً من الحل الحالي .

pseudo-codes $(GLS-TS)-SAv$:

1-The First Stage:

i. *initialization*

ii. $S = InitialSolution(\boldsymbol{S_{ij}})$. // $\boldsymbol{S_{ij}} = \boldsymbol{cd_{i0}} + \boldsymbol{cd_{0j}} - \boldsymbol{cd_{ij}}$

iii. $S^* = S$,

// **توليد الحل الأولي S من خلال تطبيق خوارزمية التوفير بين جميع العقد من خلال العلاقة**
S_{ij} والاحتفاظ بالحل الذي تم الحصول عليه بأقل كلفة من ناحية تابع الهدف المحدد //

// the best solution S found and keeping the solution obtained at the lowest cost in terms of the follower of the specified target.*

iv. $\boldsymbol{TL = 0}$, // القائمة المحظورة تم تحديدها ***Tabu List TL=12***.

2-The second stage:

Generation $N(s)$ *by* $\boldsymbol{2-opt}$ *local search algorithm.*

3- Third stage:

TL = TL +1

تطبيق خوارزمية البحث المحظور لتجنب التكرار من خلال القائمة المحظورة والتطلع إلى حل معقول نسبياً //

4- The fourth stage:

Apply Guided LocalSearch(Tabu list)

تطبيق البحث المحلي الموجه على القائمة المحظورة للتوجيه في منطقة البحث بدلاً من استخدام المعلومات المحلية الوحيدة. //

4-1 **When** there is no improvement **S** (in the **13** consecutive times)

$Best\_NS = InitialSolution$

// **Best_NS** as a primary solution in the Guided local search area,

$Best\_NS = InitialSolution$

Best_NSG = Best_NS

4-2 *Generation* $N(s) = InitialSolution$

توليد جوار للحل الحالي الأولي من خلال البحث المحلي الموجه *NHG* //..

4-3 $Initial = Initialsolution().$ $//Initial\ is\ current\ solution$
$S = Localsearch(Initial).$ *//Make sure we start with a local minimum*

$S^* = NHG$ // $S^* = best$ *represent the best solution found*

If $S < S^*$ ***then***

$Best = s$

Endif

$P = \vec{0}.$

$\boldsymbol{whilenot}\ stoppingCondition(\quad)\boldsymbol{do}.$.

$f = ChoosePenaltyFeatures(s, p);$

*//**and continuous visits impose a penalty on her 0.2 If the node is visited before the specified time to avoid node repeat visit***

$\boldsymbol{for}\ each\ x\ \boldsymbol{in}\ f\ \boldsymbol{do}\quad P_x = P_x + 1$

4-4 Calculate total cost $M(s)$ for the current solution ***S* generated**

If $M\ (S)\ < M\ (Best\_NSG)$ then we proceed

Else go to step **3** (Third stage)**.**

4-5 ***Repeat***

step (3-4) & (4-4)

Choose Opt_NSG =new solution

Until *(Terminating Condition* in the **50** consecutive times*)*

5- The fifth stage:

$\boldsymbol{whilenot}\ stoppingCondition(\quad)\boldsymbol{do}:$

Repeat the steps of the algorithm.

تكرار خطوات الخوارزمية حتى تحقق معيار التوقف (الحصول على حل محسن أو تحديد زمن تنفيذ) //

النتائـج:

أجريت الاختبارات التجريبية للخوارزمية الهجينة المقدمة التي تدمج (خوارزمية البحث المحلي الموجه و خوارزمية البحث المحظور) والمستندة على خوارزمية التوفير، و تم استخدام $C++$ لتنفيذ الخوارزمية و نفذنا التجارب الحاسوبية في PC باستخدام معالج ***corei7*** و ***8 GB*** من ذاكرة الوصول العشوائي، و أعطت هذه الخوارزمية ثمانية حالات جيدة من أصل 14 ، و البيانات المستخدمة لتقييم أداء الحل المقترح للباحث *Solomon's* [17,16]. لمسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية صارمة هي من النوع R,RC حيث RC تتكون من مسألتين و R تتكون من 12 مسألة في هذه المشكلة من هذه المشاكل تم اختيار ذلك من **100** حالة منتشرة جغرافياً .

في البداية ننظر في خصائص كل نوع من هذه الأنواع ونقسم المشكلة $\boldsymbol{R}$ إلى ثلاث مجموعات:

المجموعة الأولى: R101~R104 والفاصل الزمني في هذه المشكلة هو 10.

المجموعة الثانية: R105~R108 وفاصلها الزمني هو **30.**

المجموعة الثالثة: R109~R112 وفاصلها الزمني هو **60.**

والنوع $\boldsymbol{RC}$ (RC105~RC106) وفاصلها الزمني هو **60.**

ويوجد ثلاثة معايير يجب تحديدها قبل التنفيذ:

1- حجم القائمة المحظورة: تم ضبط حجم القائمة المحظورة **TL**=12.

2- **تحولات التصحيح:** إن تقدم البحث المحظور يحتاج إلى تحولات تصحيح باستخدام البحث المحلي الموجه من أجل التحركات الواعدة.

3- **درجة الجودة:** إن استكشاف الفضاء البحث في عدد من التكرارات يختلف وفقاً لدرجة الجودة.

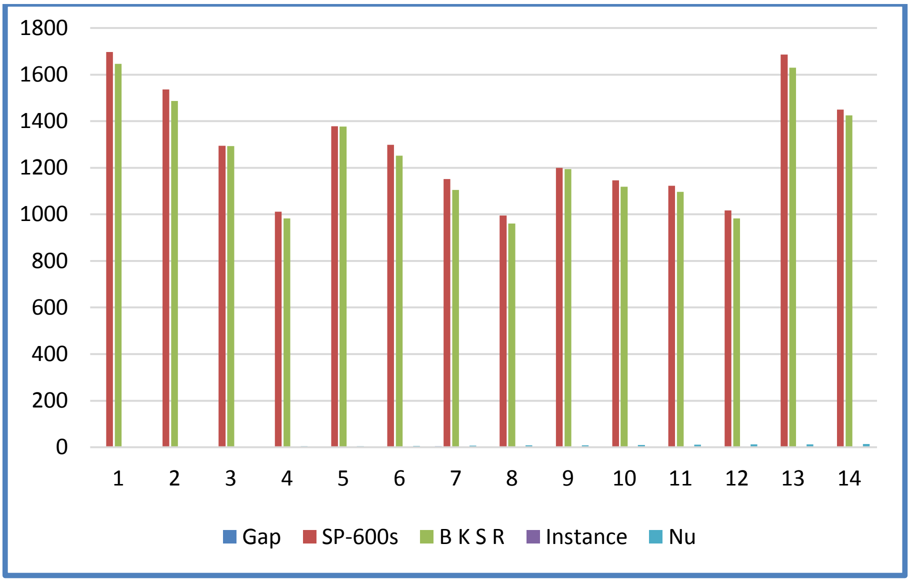
و من خلال التجارب المتكررة تم تحديد أفضل قيمة للبارامترات، حيث تم ضبط الأزمنة في البحث المحظور: **13,11,10,9,8**، و عدد التكرارات ضمن منطقة البحث : **50,40,30** ، وسوف نقارن نتائجنا مع نتائج قياسية معروفة .

الجدول (1): يبين النتائج التجريبية للخوارزمية الهجينة المقدمة $(GLS - SAv - TS)$ ضمن 600 ثانية ومقارنتها مع نتائج قياسية هجينة معروفة [19,18].

Nu	*Instance*	B K S R	*SP-600s*	*Gap*
1	R101	1645.79	1696.54	2.991382461
2	R102	1486.12	1535.81	3.235426257
3	R103	1292.68	1294.01	0.102781277
4	R104	982.01	1011.97	2.960562072
5	R105	1377.11	1377.56	0.032666454
6	R106	1252.03	1298.54	3.581714849
7	R107	1104.66	1151.47	4.065238348
8	R108	960.88	995.14	3.442731676
9	R109	1194.73	1199.51	0.398496053
10	R110	1118.84	1145.63	2.338451332
11	R111	1096.72	1123.19	2.356680526
12	R112	982.14	1017.21	3.447665674
13	RC105	1629.44	1685.43	3.00952381
14	RC106	1424.73	1450.11	1.742758621
Average percentage deviation				**2.407577101**

***Best-Known Standard Results*: B K S R.**

The Solution Provided By the Algorithm Is 600 Seconds: SP-600s



الشكل (7): مخطط للمقارنة بين الخوارزمية الهجينة المقدمة ونتائج قياسية.

تبين النتائج التجريبية الموضحة في الجدول **(1)** إن 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 خوارزميات هجينة قياسية معروفة كما هو موضح في الشكل (7) ، و إنّ متوسط نسبة الانحرافات المئوية للحالات التي تم اختبارها هو **2.41 %** ، وأظهرت النتائج كفاءة الخوارزمية المقترحة وامتلاكها الكثير من المزايا الحسنة فقد ساهمت في حل المسألة بكلفة منخفضة وحسنت الأداء .

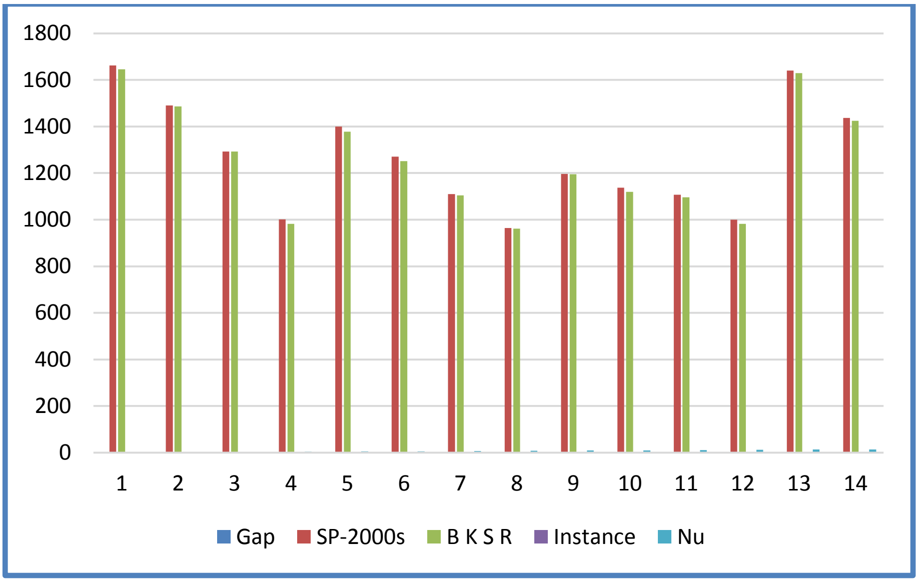
ويظهر الجدول **(2)** النتائج التجريبية للخوارزمية الهجينة المقدمة ضمن**2000** ثانية.

الجدول (2): النتائج التجريبية للخوارزمية الهجينة المقدمة $SAv - (GLS - TS)$ ضمن 2000 ثانية ومقارنتها مع نتائج قياسية هجينة معروفة [19,18].

Nu	*Instance*	B K S R	*SP-2000s*	*Gap*
1	R101	1645.79	**1661.8**	0.963413166
2	R102	1486.12	**1490.89**	0.319943121
3	R103	1292.68	**1292.81**	0.010055615
4	R104	982.01	1001.09	1.905922544
5	R105	1377.11	1399.99	1.634297388
6	R106	1252.03	1270.85	1.480898611
7	R107	1104.66	1109.85	0.467630761
8	R108	960.88	**964.05**	0.328821119
9	R109	1194.73	**1196.97**	0.187139193
10	R110	1118.84	1137.94	1.678471624
11	R111	1096.72	**1106.96**	0.925056009
12	R112	982.14	999.86	1.772248115
13	RC105	1629.44	**1639.88**	0.636631949
14	RC106	1424.73	**1437.05**	0.857311854
Average percentage deviation				0.940560076

***Best-Known Standard Results*: B K S R.**

The Solution Provided By the Algorithm Is 2000 Seconds: SP-2000s



الشكل (8): مخطط يوضح الفجوة بين الخوارزمية الهجينة المقدمة $\boldsymbol{SAv} - (\boldsymbol{GLS} - \boldsymbol{TS}\,)$ خلال 2000 ثانية ونتائج خوارزميات هجينة قياسية .

ويظهر الجدول **(2)** النتائج التجريبية للخوارزمية الهجينة المقدمة ضمن**2000** ثانية.

ومن خلال نظرة أولى إلى الشكل (7) بناء على الجدول (2) نلاحظ أن الفجوة صغيرة وأن متوسط **نسبة الانحراف المئوية هو 0.94%**. ومن خلال النظر في واقع المقارنة بين القيم التي تم الحصول عليها نلاحظ أنها ستتقارب بعض الشيء مع مرور الزمن، وأن البيانات ***R109,R103,RC105*** و البيانات الحالية الأخرى هي ملائمة وتقاربت بشكل رائع بمرور الزمن وخفضت التكاليف من خلال البحث المحلي الموجه المستند على خوارزمية البحث المحظور قدمت حلاً جيداً لفئة من الحالات ، ومن خلال فرض قيود تحد من عدد التباديل أثناء الانتقال من البحث المحظور إلى البحث المحلي الموجه ودرجة تأثير الحد على تحسين الحل .

التوصيات المستقبلية:

إن تطوير الخوارزميات الهجينة لحل مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية صارمة يقدم مساحة غير مستغلة بشكل جيد من قبل البحوث التجريبية ولاستغلالها يمكن التوصية بالاقتراحات المستقبلية الآتية:

1- اقتراح طرق وأساليب تكامل مع خوارزميات هجينة أخرى وتوظيفها لمسائل الامثلية.

2- يفتح التهجين اتجاهات عديدة يحتمل أن تكون مثيرة للاهتمام في المستقبل.

3- ادخال العوامل العشوائية (كالطقس وحالة الطرقات) في حسابات الأزمنة لتفادي التأخير والعقوبات.

4- اقتراح تحسينات بالاعتماد على نقاط ضعف ومشاكل الخوارزمية الهجينة لتطويرها وتحسينها.

المراجع:

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

[2] GAMBARDELLA ,L.M.; "*Course on vehicle routing problems*", Technische Universiteit Eindhoven, **PP**. 28-29. November **2000**.

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

[4] B.H.WASSIM., H.H. MOHAMMED, M. LAINA.; "***An Integration between the Improved Ant Algorithm and the Simulated Annealing Algorithm to Contribute To Solve the Vehicle Routing Problem with Time Windows,***" International Journal of Novel Research in Physics Chemistry & Mathematics, Vol. 3, Issue 1, pp: (64-74).2016.

[5] M.M.SOLOMON.;" ***Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time windows*",** *Operations Research,* 35:254-265.1987.

[6] H.LAU., M.SIM, K. TEO**;"** ***Vehicle routing problem with time windows and a limited number of vehicles***". European Journal of Operational Research 148, 3, 559-569.2003.

[7] S.N, KUMAR; R. A, PANNEERSELVAM; "***Survey on Vehicle Routing Problem and Its Variants*",** Intelligent Information Management. 4, 66-74.2012.

[8] G.M.DORIGO., G. DI CARO, "***Ant Colony Optimization: A New Meta- Heuristic*"**, in Congress on Evolutionary Computation, Vol. 2, IEEE.1999.

[9] G. B.ALVARENGA; G. R. MATEUS; G.DE TOMI.;" ***A genetic and set partitioning two-phase approach for the vehicle routing problem with time windows*".** *Computers and Operations Research,* 34:PP.1561–1584, 2007.

[10] B.H.Wassim., H.H. Mohammed., M. Laina. " **(*Guided Local Search-Tabu Search) Hybrid Algorithm Integrated With Simulated Annealing Algorithm To Solve The Vehicle Routing Problem With***

Time Windows.", Journal of Al-Baath University for Research and Studies, Vol. 38, No. 10, pp. 79-89.2016.

[11] A.BORTFELDT., T.HAHN. D.MANNEL, .L.MONCH, "***Hybrid algorithms for the vehicle routing problem with clustered backhauls and 3D loading constraints***". European Journal of Operational Research, 243(1):85–96.2015.

[12] H.S. Asaad, A.M.Burhanuddin, C.H.Ngo, B.H.Wassim, M.L Modhi. "***An Efficient Hybrid Approach in Solving the Multiple Postman Problem,***" International Journal of Engineering & Technology, 7 (4.36), PP.154-159. , 2018.

[13] N.AZI., M.GENDREAU, Y.POTVIN J.; "**An** ***adaptive large neighborhood search for a vehicle routing problem with multiple routes***". Computers & Operations Research,41:167–173.2014.

[14] H.S. Assad, A.M.Burhanuddin, C.H.Ngo, B.H.Wassim, M.L Modhi; "***Review on the Methods to Solve Combinatorial Optimization Problems Particularly: Quadratic Assignment Model***", International Journal of Engineering & Technology, 7 (3.20), PP. 15-20.2018.

[15] I .K. ALTINEL; T .ÖNCAN;"***A new enhancement of the Clarke and Wright savings heuristic for the capacitated vehicle routing problem***". Journal Operations Research Soc 56:PP. 954-961.2005.

[16] W.C .CHIANG; R.A. RUSSELL; "**Simulated** ***annealing metaheuristics for the vehicle routing problem with time windows***". Annals of Operations Research 63(1):PP.3–27.1996.

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

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

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