تطبيق مسألة البائع المتجول على توجيه المركبات الآلية باستخدام الخوارزمية الجينية (حالة دراسية على مركز توزيع المواد الغذائية بمدينة مصراته)

جمال بشير اوهيبة، عمر علي شنب، فراس يوسف دبك*

كلية التقنية الصناعية مصراته، *المعهد العالي للعلوم والتقنية مصراته

Email: Ferasso89@hotmail.com :

ABSTRACT

Determining the shortest route in marketing or distribution operations is one of the important and strategic decisions of marketing management. It is also considered a complex decision; this is due to the different routes and the large number of markets to be visited. The general scenario of the Traveling Salesman Problem (TSP) assumes that there is a traveling salesman who has many locations that he would like to visit, where he visits each location only once, and that the starting point is the same as the ending point. It requires the seller to choose the shortest route that he can pass through, which enables him to pass through the maximum number of locations at the lowest possible cost

In this study, a Genetic Algorithms (GA) to solve the problem of Traveling Salesman (TSP) has been introduced. The developed algorithm has been built using the functions and tools available in MATLAB. The performance of the algorithm has been compared to the published research, where the results of the comparison showed that the algorithm is quite effective in determining the shortest route and the value of the objective function. In addition, the algorithm has been applied in practice on Alwaseet center for food distribution to find the shortest overall route for vehicles by determining the starting point for a number of points (markets) to be reached. Distances calculated between those points, taking into account the shortest path between them. The results of the genetic algorithm (GA) used in the practical study has shown a major improvement as the optimal path was noticeably shorter than the usual path of the driver with a difference of 17.65 km, i.e. that the percentage of improvement of the proposed path is 27.67%. The study has recommended the necessity of using modern and smart scientific methods within the national institutions, especially in the marketing departments, to determine the shortest routes for the distribution vehicles.

الملخص

تعتبر عملية تحديد المسار الأقصر في عمليات التسويق أو التوزيع من القرارات الهامة والاستراتيجية لإدارة التسويق. كما تعتبر أيضا من القرارات المعقدة؛ وذلك نظرًا لاختلاف المسارات والعدد الكبير للأسواق المراد تغطيتها. إن السيناريو العام لمسألة البائع المتجول (TSP) Traveling Salesman Problem يفترض أن هناك بائعاً متجولاً لديه العديد من المواقع التي يرغب في زيارتها؛ حيث يقوم بزيارة كل موقع مرة واحدة فقط، وأن تكون نقطة البداية هي نفسها نقطة النهاية؛ الأمر يتطلب من البائع اختيار أقصر الطرق التي يمكن أن يمر بها والتي تمكنه من المرور بأقصى عدد من المواقع وبأقل تكلفة ممكنة.

تم في هذه الدراسة تقديم خوارزمية جينية Genetic Algorithms (GA) لحل مسألة البائع المتجول (TSP)؛ ولقد تم بناء هذه الخوارزمية باستخدام الدوال والوظائف المتوفرة ببرنامج MATLAB.

تم مقارنة أداء الخوارزمية بأبحاث منشورة؛ حيث أوضحت نتائج المقارنة أن الخوارزمية فعالة في تحديد أقصر مسار وقيمة دالة الهدف. كما تم تطبيقها في الواقع العملي على مركز الوسيط لتوزيع المواد الغذائية وذلك بتوجيه المركبات الآلية الخاصة بالمركز من خلال تحديد نقطة الانطلاق

لعدد من النقاط (الأسواق) المراد الوصول إليها، حيث تم حساب المسافات بين تلك النقاط مع مراعاة أقصر طريق بينها. كما أوضحت نتائج الخوارزمية الجينية (GA) المستخدمة في الدراسة العملية أن هناك تحسيناً كبيراً؛ حيث أن المسار الأمثل كان أقصر بكثير من المسار الفعلي (المعتاد) للسائق، وبفارق يبلغ 17.65 كم، أي أن نسبة التحسين للمسار المقترح تبلغ 27.67%. وقد أوصت الدراسة بضرورة استخدام الأساليب العلمية الحديثة والذكية داخل المؤسسات الوطنية وخصوصًا في إدارة التسويق لتحديد المسار الأقصر لمركبات التوزيع.

الكلمات المفتاحية: مسألة البائع المتجول؛ الخوارزمية الجينية؛ تحديد مسار المركبات؛ أقصر مسار.

المقدمة

تعتبر مسألة البائع المتجول Traveling Salesman Problem (TSP) من المواضيع البحثية التي حازت على اهتمام الكثير من الباحثين في السنوات الأخيرة، وذلك لأهميتها في عملية تحديد المسار الأمثل بين مجموعة من المواقع بعد زيارتها جميعاً لمرة واحدة والعودة إلى الموقع الذي تم الانطلاق منه [1]. من هذا المنطلق، فإنه يمكن تطبيق هذا السيناريو على الكثير من الحالات. فعلى سبيل المثال: مسار حافلات نقل الركاب وتوزيع المنتجات وتنظيم مسارات الرحلات الجوية وتوجيه المركبات مع إضافة قيود لمسارها كقدرة المركبة، وغيرها في العديد من التطبيقات.

تعتبر الخوارزمية الجينية Genetic Algorithm (GA) من التقنيات الفعالة لاكتشاف الحل الأمثل لمشكلة البائع المتجول [2]؛ وذلك بسبب فلسفة الخوارزمية التي تعتمد على توليد عدد كبير من الحلول الممكنة لمشكلة معينة، ثم تقييم كل حل من هذه الحلول، وتكون للحلول الأفضل فرص أكبر لتوليد حلول أخرى في حين تقل فرص توالد الحلول السيئة، وبتكرار هذه العملية تتطور نوعية الحلول المطروحة وتصل أو تقترب من الحل الأمثل.

في العديد من المؤسسات الخدمية والإنتاجية الوطنية لا يتم الاعتماد على تطبيق الأساليب العلمية الحديثة في تحديد مسار المركبات، كما لا يوجد أسلوب واضح ومحدد في تحديد المسارات، الأمر الذي يترتب عليه زيادة في التكاليف والتي قد لا تكون ملحوظة، نظرا لكونها جزء من العملية الإنتاجية أو الخدمية. لذلك فإن هذه الدراسة تهدف إلى تقديم خوارزمية جينية Genetic Algorithms (GA) لحل مسألة البائع المتجول (TSP).

منهجية البحث

ترتكز منهجية البحث على الجانبين الوصفي والتحليلي والزيارات الميدانية لمواقع الحالة الدراسية، وذلك من أجل الحصول على نتائج جيدة ذات قيمة علمية مميزة، ويمكن تلخيص منهجية البحث في النقاط التالية:

1) الاطلاع على البحوث السابقة
2) جمع البيانات والمعلومات
3) تهيئة البيانات والمعلومات
4) بناء الخوارزمية الجينية (GA) المقترحة
5) معايرة الخوارزمية الجينية والتأكد من أدائها
6) تطبيق الخوارزمية الجينية على الحالة الدراسية

الدراسات السابقة

تعتبر مسألة البائع المتجول من أكثر المشكلات التي تم دراستها بشكل مكثف، والتي عانى منها الباعة المتجولون منذ القرن التاسع عشر، وقد ازداد اهتمام علماء الرياضيات بهذه المشكلة سنة 1930. ومنذ ذلك الوقت تم تطوير العديد من الخوارزميات، فعلى سبيل المثال وفي عام 1954 كان

أكبر مثال تم إيجاد حل له يتألف من 49 مدينة في الولايات المتحدة، وقد اعتبر وقتها إنجازا رائعا [3].

قدم Ivan Brezina Jr و Zuzana Čičková (2011) وLuca Maria Gambardella [4] دراسة تأثير بعض معلمات التحكم في مسألة البائع المتجول TSP المتماثلة والغير متماثلة من خلال تطبيق خوارزمية نمل Ant Colony Optimization (ACO) ومقارنة جودة الحل مع الحل الأمثل، وقدم Marco Dorigo (1997) [5] دراسة تأثير بعض معلمات التحكم في مسألة البائع المتجول من خلال تطبيق خوارزمية النمل (ACO) ومقارنة جودة الحل مع الحل الأمثل.

وقد أظهرت نتائج Nwobi-Okoye وآخرون (2017) أن الحل المبني على أساس الضبابية Fuzzy في حركة المرور على الطريق للحالة الدراسية أفضل من الحل التقليدي، حيث أنه عند استخدام الحل التقليدي للمسألة كان متوسط وقت السفر لأقصر مسار هو 192 دقيقة، بينما كان متوسط زمن الحل 177.66 دقيقة مع الحل المبني على أساس الضبابية [6].

قدم Adewole Philip وآخرون (2011) طريقة لحل مسألة البائع المتجول باستخدام الخوارزمية الجينية من خلال توليد عدد مسبق من الجولات العشوائية ومن ثم تحسينها حتى يتم استيفاء شرط التوقف والحصول على أفضل كروموسوم (Chromosome)، والذي يتم اعتماده كجولة الحل، كما يتم تحليل معلمات الخوارزمية "المجتمع Population، الطفرة Mutation، التقاطع Crossover" لمعرفة كيفية صياغة الخوارزمية لمختلف حالات المشكلة [7]. ثم قدم Varshika Dwivedi وآخرون (2012) حلول تتضمن تنفيذ الخوارزمية الجينية لإعطاء أقصى تقريب للمسألة مع تخفيض التكلفة وتحديد أي هجين هو الأنسب لحل هذه المسألة، حيث كانت هناك العديد من المحاولات لاكتشاف التهجين المناسب لإيجاد الحل، وقد قدمت تقنية جديدة للتهجين في الخوارزمية الجينية، والتي تولد حلا عالي الجودة لمسألة البائع المتجول مقارنة بطرق التهجين الأخرى [8]. كما اقترح Fozia Hanif Khan وآخرون (2009) طريقة تمثيل جديدة للكروموسومات باستخدام مصفوفة ثنائية ومعايير إبقاء جديدة لاستخدامها كطريقة لإيجاد الحل الأمثل لمسألة البائع المتجول [9]. ولقد بذلت العديد من المحاولات لتعديل الخوارزمية الجينية عن طريق العشوائية في اختيار الوالدين، وقد أظهرت نتائج Indresh Kumar Gupta وآخرون (2017) في دراسة حديثة اختبار أداء التعديل على 30 مسألة قياسية للبائع المتجول، حيث حققت النتائج العددية والرسومية تقدما كبيرا على الخوارزمية التقليدية من ناحية إيجاد الحل الأمثل وزمن تشغيل الحاسوب [2]، كما تم تقديم خوارزمية جينية لمعالجة مشكلة توجيه المركبات الصديقة للبيئة تهدف إلى تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من قبل Paulo Robertode Oliveira da Costa وآخرون (2018) [10]. كما قدم Sachin Sharm وVinod Jain (2021) دراسة لتهجين جيني جديد لحل مشكلة TSP، حيث أظهرت النتائج أن أداء الخوارزمية المقترحة أفضل مقارنة بالتقنيات الأخرى لحل TSP [11]، وقد اقترح Zhehe Wang وآخرون (2022) خوارزمية جينية متوازية دقيقة ودقيقة تعتمد على حاسوب بصري ثلاثي حل مشكلة بائع متجول (TSP)، حيث أظهرت النتائج أن الخوارزمية المقترحة توفر أداءً أكثر كفاءة عندما يزداد عدد المدن باستمرار وفقًا لنتائج قياس نسبة التسارع، كما أنه يضع الأساس النظري لتطبيق الحواسيب الضوئية الثلاثية في الحوسبة كثيفة البيانات [12]، كما قدم PanliZhang وآخرون (2022) خوارزمية جينية مع جين القفز (jumping gene) و (GA-JGHO) heuristic operators بهدف حل مشكلة بطء سرعة التقارب وانخفاض جودة الحل وكذلك سهولة الوقوع في local optimum لمسألة TSP، ومن أجل ذلك نم اقتراح خمسة تعديلات " تحسين اختيار عجلة الروليت، التزاوج باستخدام عامل انتقال هرمي تنائي الاتجاه، طفرة مركبة، تصميم مشغل جينات قافزة، إضافة عامل تشغيل فريد لتجنب حدوث عدد من الأفراد المتطابقين بين السكان"؛ وأظهرت النتائج التجريبية والتحليلات الإحصائية أن GA-JGHO تؤدي إلى أداء أفضل في استقرار الجودة والدقة وسرعة التقارب مقارنة بالخوارزميات الست الأخرى [13]؛ وقدم Arindam Dey (2023) خوارزمية جينية مع تطبيق أسلوب التكامل لإضافة أو

إزالة الأرقام المبهمة لحل مسألة TSP ذات الشبكة الضبابية والتي تكون فيها طول القوس بين النقاط لا يمكن التنبؤ بطولها، وذلك لأن وقت أو تكلفة السفر تتغير مع الطقس أو مع حركة المرور وكذلك مع وزن الحمولة المنقولة، وقد تم تطبيق الخوارزمية لأثبات مدى فعليتها [14]، توضح الدراسات السابقة مدى الاهتمام الكبير والتطور المستمر في إيجاد الحل الأمثل لمشكلة توجيه المركبات باستخدام الخوارزمية الجينية، وبسبب عدم وجود دراسات سابقة لحل هذه المشكلة في المؤسسات الوطنية، لذلك فقد تم التركيز على هذه المشكلة ومحاولة تطبيقها دراسة وتحليلا.

مسألة البائع المتجول

النموذج الرياضي لمسألة TSP

هناك العديد من الصيغ أو النماذج الرياضية لمشكلة البائع المتجول، في هذا البحث سنذكر الصيغة الرياضية كما صاغها كل من Miller, Tuker, and Zemlin سنة 1960، بفرض أن لدينا من 1 إلى n من المدن، والتي نرغب في زيارتها جميعا، وأن المدينة الرئيسية التي سوف ننطلق منها هي المدينة رقم 1، وبالتالي فإن مسار الرحلة $\{i: i = 1 \dots \dots n\} = \text{i}$، بحيث يكون $x \in R^n$ متغير القرار كالتالي [15]:

$$x_{i,j} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$$

حيث $x_{i,j} = 1$ إذا تمت زيارة المدينة j على الفور بعد المدينة i.

$x_{i,j} = 0$ غير ذلك.

لنفرض أن $x_{i,j}$ هي مسافة السفر بين المدينة i والمدينة j، وبالتالي فإن دالة الهدف يمكن صياغتها على النحو التالي:

$$f(z) = \min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} C_{ij}\, x_{ij} \qquad (1)$$

حيث أن دالة الهدف هذه تخضع للقيود التالية:

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = 1\,, for\ i \in I \qquad (2)$$

$$\sum x_{ij} = 1\,, for\ j \in I \qquad (3)$$

$$t_i - t_j + n x_{i,j} \leq n - 1 \qquad (4)$$

حيث أن t_i, t_j هي أرقام حقيقية.

الخوارزمية الجينية Genetic Algorithm (GA)

قام بروفيسور عالم الحاسوب جون هولاند Johon Holland من جامعة ميشغان منذ بداية الستينات بعمل دراسة تهدف إلى تصميم أنظمة صناعية من خلال إمكانية تطوير مفاهيم تطبيقية لتحاكي الطبيعة، بحيث يكون لتلك النظم مميزات مشابهة لنظم الطبيعة، ولقد تمكن فعليا وبصورة رسمية من طرح فكرة الخوارزمية الجينية كأداة من أدوات الذكاء الاصطناعي في الولايات المتحدة عام 1970 [17,16].

خطوات ومفاهيم أساسية في الخوارزمية الجينية

أولا المجتمع Population

يتكون المجتمع من N من الأفراد، وعادة ما يبلغ عدد الأفراد في هذا المجتمع من 25 إلى 500 فرد، ويقوم بتحديد المجتمع مصمم الخوارزمية حسب كل مسألة. وتجدر الإشارة هنا إلى أن الحجم الكبير أو الحجم الصغير للمجتمع لا يعني بالضرورة أن الحلول التي سوف نحصل عليها

ستكون دقيقة وجيدة؛ حيث يتكون كل كروموسوم من سلسلة ثابتة (Constant string)، ويوجد به عدد من القيم تسمي الجينات Genes، وبالتالي فإن الصورة العامة لكل كروموسوم تكون كما يلي:

$$\text{Chromosome}_i = \text{gen}_1\ \text{gen}_2\ \text{gen}_3\ \text{gen}_4\ \ldots\ldots\ \text{gen}_L \quad (5)$$

حيث أن L = طول الكروموسوم.

ثانياً دالة الصلاحية Fitness Function

تعتبر عملية تحديد دالة الصلاحية المناسبة للمشكلة أمرا في غاية الأهمية والتعقيد والصعوبة في وقت واحد؛ وذلك نظرا لاعتبارها إحدى العناصر بالغة الأهمية المتعلقة بنجاح الخوارزمية. إن دالة الصلاحية أو كما تعرف أحياناً بدالة اللياقة هي المسؤولة داخل الخوارزمية عن إعطاء العناصر الجيدة في المجتمع أو الحلول الجيدة قيمة أكبر، الأمر الذي يؤدي إلى ضمان حصولها على فرصة أكبر في بقائها لتساهم في تكوين الأجيال الجديدة.

ثالثاً التقييم Evaluation

إن لكل كروموسوم سواء أكان حديثا أم قديما قيمة صلاحية، وهي القيمة التي يحصل عليها الكروموسوم من دالة اللياقة، فإذا كان الهدف من المسألة هو التعظيم Maximization problem، فإن القيم العظمى من دالة الصلاحية تتحصل على قيم صلاحية أكبر، وعلى العكس من ذلك فإذا كانت المسألة تقليل Minimization problem، فإن القيم الصغرى هي التي سوف تتحصل على قيم صلاحية أكثر [18].

رابعاً الاختيار أو الانتقاء Selection

تسمى هذه العملية بالاختيار أو الانتقاء، حيث يتم في هذه المرحلة اختيار أفضل الكروموسومات لكي يصبحوا آباء ومسؤولين عن إنتاج الجيل القادم.

هناك العديد من الطرق والتي تستخدم في الخوارزمية الجينية لغرض اختيار الآباء نذكر منها:

1. الاختيار العشوائي Random selection
2. الاختيار عن طريق التسابق Selection by race
3. الاختيار حسب الرتبة Selection by rank
4. اختيار المجموعات Tournament Selection
5. الانتقاء الصفي Class selection
6. عجلة الروليت Roulette wheel selection

تعتبر طريقة عجلة الروليت من الطرق التقليدية والشائعة جداً، والتي عادة ما يتم استخدامها في الخوارزمية الجينية، وقد تم استخدام هذه الطريقة لأول مرة في الخوارزمية الجينية من قبل العالم هولاند (Holland) حينما استخدمها في خوارزميته الجينية التقليدية. يستند مبدأ عمل عجلة الروليت على الاختيار العشوائي لمساحات العجلة، والتي تكون أيضا مقسمة بطريقة عشوائية إلى عدة أقسام، كل قسم يمثل والداً حسب قيمة احتمال الانتقاء من دالة الصلاحية، ويمكن حساب هذا الاحتمال من العلاقة الآتية:

$$P(i) = \frac{f(i)}{\sum_{i=1}^{n} f(i)} \quad (6)$$

حيث أن:

P(i): احتمال اختيار الفرد i. F(i): قيم الصلاحية لكل فرد i.

من خلال مبدأ البقاء للأصلح، فإنه عند إدارة عجلة الروليت تصبح احتمالية توقف العجلة ومؤشرها على المساحات الأكبر مرتفعة؛ حيث أن تلك المساحات تزيد بزيادة قيمة الصلاحية لكل فرد، وبالتالي فإن فرصة اختيار الأفراد الأصلح سوف تزيد، ويكون ذلك بإيجاد الاحتمالات التراكمية للأفراد من خلال العلاقة الآتية:

$$c(i) = \left[\sum_{j=1}^{n} P(i)\right] \times 100 \quad (7)$$

حيث أن:

C(i): الاحتمال التراكمي للفرد i.

خامسًا التشفير أو الترميز Encoding

هنالك العديد من الطرق أو الأساليب التي تم ابتكارها للترميز، والتي تستخدم في الخوارزمية الجينية، نذكر منها الأساليب الآتية:

1. التشفير الثنائي Binary encoding
2. التشفير التبادلي Permutation Encoding

هنا يتم تشفير كل كروموسوم بواسطة أعداد حقيقية وحروف أبجدية، بحيث لا تتكرر وتكون موضوعة وفق تسلسل معين [18]، يستخدم هذا النوع من التشفير عادة في مسألة البائع المتجول وفي مسألة جدولة المهام وكذلك في مسائل الترتيب [19].

3. التشفير الحقيقي Real Encoding
4. التشفير الشجري Tree encryption

سادساً التقاطع Crossover

عملية التقاطع أو كما يعرف بالتكاثر أو التزاوج، يمكن تعريفها بأنها عملية التزاوج بين الآباء الذين قد تم اختيارهم من أجل إنتاج جيل جديد محسن يختلف عن الأجيال السابقة، ويكون لكل فرد من الآباء احتمال تزاوج (P_c) Probability of Crossover. هذه الاحتمالية تكون محصورة بين $0.1 \leq P_c \leq 0.9$، وغالبا ما تكون $P_c \leq 0.9$ ، وذلك لضمان أن 90% من المجتمع سوف تكون لهم فرصة التزاوج، وذلك لزيادة فرصة الحصول على نتائج مناسبة، وهنالك العديد من الطرق للتزاوج نذكر منها:

- التزاوج من خلال نقطة عبور واحدة
- التزاوج من خلال نقطتي عبور
- التزاوج الموحد أو المنتظم
- تزاوج بنقاط عبور متعددة

سابعاً الطفرة Mutation

يمكن تعريف الطفرة بأنها محاولة تغيير الأجيال القادمة، وذلك بتغيير إحدى جينات الكروموسوم، حيث يتم ذلك التغير وفق احتمال محدد يعرف باحتمالية الطفرة (P_m) Mutation Probability of. هذه الاحتمالية غالبا ما تأخذ قيمة صغيرة جدا؛ وذلك لضمان حدوث الطفرة لعدد قليل من الأجيال. وغالبا ما تكون قيمة هذه الاحتمالية أقل من أو تساوي 0.01. تعمل الطفرة على إضافة حلول جديدة يمكن أن تكون جيدة أو غير جيدة، الأمر الذي يساهم في توسع الحلول. هنالك العديد من الطرق التي يتم اتباعها من أجل إحداث طفرة في الأجيال القادمة داخل الخوارزمية الجينية، نذكر منها ما يلي [18,16]:

- طفرة واحدة
- طفرة ثنائية (تبادل الأماكن)
- طفرة التبديل (التقليب)
- الطفرة العكسية

ثامنًا الإحلال Replacement

الإحلال أو ما يعرف بالاستبدال، يتم فيه استبدال أفراد من المجتمع القديم بأفراد جدد من الجيل الجديد الذي تم الحصول عليه؛ حيث يتم هذا الإحلال حسب قيمة الصلاحية لكل فرد، فالأفراد ذوو

قيمة صلاحية منخفضة من كلا الجيلين (القديم والجديد) يتم الاستغناء عنهم والاحتفاظ فقط بالأفراد ذوي قيم صلاحية عليا فقط، مع مراعاة أن يبقي حجم المجتمع ثابتا [20].

تاسعًا شرط التوقف Stop Criteria

يوجد العديد من شروط التوقف والتي يمكن استخدامها في الخوارزمية الجينية نوجز منها:

1. عند ثبات قيم الأجيال وعدم الحصول على أجيال جديدة تختلف في قيمها عن الأجيال السابقة، بمعني أن الخوارزمية الجينية GA تظل مستمرة في العمل إلى أن يحدث استقرار في قيمة الأجيال ولا تتغير قيمتها، وبالتالي فإنه من غير المنطقي أن تظل الخوارزمية مستمرة في العمل، ويجب أن تتوقف.
2. اختيار أفضل حل في كل جيل ومقارنته بأفضل حل في الجيل الذي يليه، فإذا كان أفضل حل في الجيل التالي أفضل من الحل في الجيل السابق فإن الخوارزمية تستمر في العمل. هذا الشرط يضمن وجود حل واحد جيد علي الأقل.
3. اختيار أسوأ حل في كل جيل ومقارنته بحلول الأجيال التالية، فإذا زادت الحلول السيئة في الجيل التالي عن الجيل السابق فإن الخوارزمية سوف تتوقف عن العمل، أما إذا قل فإن الخوارزمية سوف تستمر في العمل. هذا الشرط يضمن الحصول على مجتمع يمتلك جميع أفراده حلولا جيدة، وقد لا تختلف قيمتي هذا الشرط مع شرط اختيار أفضل حل من الناحية المعنوية [20,21,16].

ولضمان التوقف في حالة عدم تحقق أحد الشروط السابقة يجب تحديد مسبق لعدد الأجيال التي نرغب في توليدها من الخوارزمية أو تحديد زمن معين تعمل فيه الخوارزمية بغض النظر عن تحقق الشروط السابقة.

الحالة الدراسية

يقع مركز الوسيط لتوزيع المواد الغذائية، والذي تمت عليه الدراسة في دولة ليبيا داخل النطاق الجغرافي لمدينة مصراته في منطقة الرعيضات. يحتوي هذا المركز على أصناف مختلفة من المواد الغذائية كمختلف أنواع العصائر والمشروبات وكذلك البسكويت والشوكولا وزيوت الطهي وأيضا بعض المعلبات كالفول والحمص والطماطم وغيرها العديد من الأصناف، والتي يتم تخزينها داخل المركز لغرض القيام ببيعها عن طريق توزيعها على المحلات ومراكز التسوق المحلية داخل وخارج النطاق الجغرافي لمدينة مصراته.

يتبع المركز نوعين فقط من أساليب التوزيع والتي يتم إتباعها على حسب نوع المنتج المراد تسويقه. الأسلوب الأول هو أسلوب التوزيع حسب الطلب، والذي يستخدم أساسا لغرض تسويق المنتجات الرائجة أو المعروفة مسبقا. أما الأسلوب الثاني فهو أسلوب التوزيع العشوائي، والذي يعتبر مهماً جدًا لمركز التوزيع؛ وذلك بسبب أن أغلب المنتجات الجديدة على السوق يكون هامش الربح لها كبير، وكذلك فإن الترويج لمنتج جديد في الأسواق يعتبر من الأمور الهامة، والتي تحتاج إلى جهد وعمل شاق ومضنٍ والتي قد تحدد مدى إمكانية نجاحه من عدمها، ونظرا لما يمثله هذا الأسلوب من أهمية لدي مركز التوزيع فقد تم اعتماد هذا الأسلوب للدراسة.

عندما يرغب مركز التوزيع في تسويق أي منتج جديد على السوق، فإنه يعتمد بشكل أساسي على حوالي 25 محل مواد غذائية ومراكز تسوق وذلك نظراً للثقة المتبادلة معهم، حيث يعتمد أسلوب الجباية عند تسويق منتج جديد على المباع فقط فيقوم البائع بالمرور على تلك النقاط بمسار تقديري، يعتمد أساسه على تخمين أي من النقاط أقرب إليه.

حساب المسافات

في هذه الدراسة تم حساب المسافات بين تلك النقاط عن طريق برنامج الخرائط Google maps؛ والذي يقوم بشكل تلقائي بتحديد المسار الأقصر بين أي نقطتين. تم حساب بعد ذلك كل نقطة

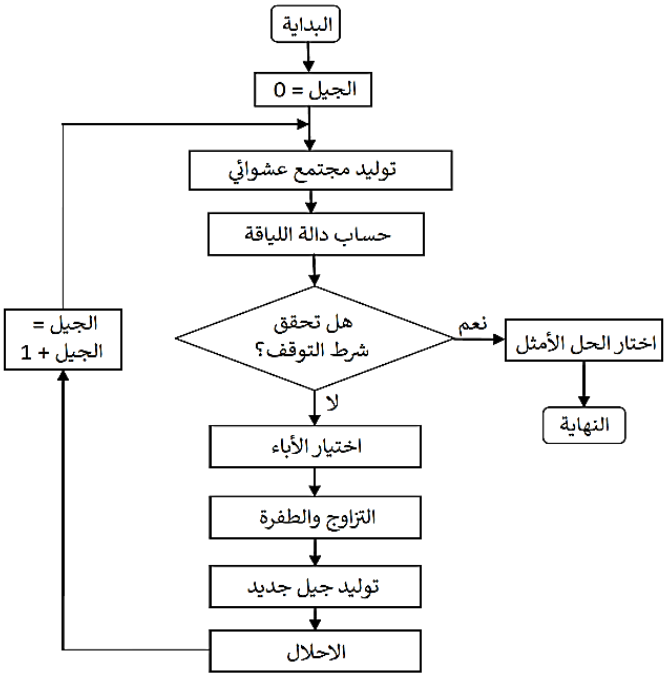
عن جميع النقاط، وهنا تجدر الإشارة إلى أن البعد بين النقطتين يختلف على حسب نقطة الانطلاق. والجدول (1) يبين مصفوفة المسافات بين جميع نقاط حالة الدراسة.

جدول 1: مصفوفة المسافات بين نقاط الحالة الدراسية (القياس بالكيلومتر)

المدلات وبر لاز للتسوق	محل الحرية	سوق الهيراء	محل المسلاتي	محل النخلة	محل أبناء عوض	كاسورة للتسوق	محل أرجيم	محل عزالة	محل أسود الوادي	سوق الهيلة	الزعفران للتسوق	محل أبناء عامر	محل الحمد	محل أحمد	محل الهيهاب	أبناء الهيهاب للتسوق	سوق سند	الحرية للتسوق	زافيذة للتسوق	المعتمد للتسوق	الهلم للتسوق	سوق أبوراوي	محل أبوغرالة	الجمل للتسوق	بن عمران للتسوق
محل الحرية	0.7	1.1	2.1	1.7	1.5	3.1	2.7	5.9	5.6	1	1.3	1.5	2	2.6	2.9	3.5	2.5	6.4	6.3	7	11	8.5	3.6	3.1	3
سوق الهيراء	1	1.7	4	3.6	3.4	5	4.6	9.1	8.8	2.9	2.5	2.4	2.8	3.3	4	3.1	2.05	5.9	5.2	5.7	9.3	7.2	3.5	2.9	3.7
محل المسلاتي	3.2	2.1	3.2	4	3.9	4.2	3.8	7	6.7	2.9	3.2	2.5	3.4	4.1	5	5.3	3.3	8.7	5.9	4.9	8.5	6.4	1.6	1	1.8
محل النخلة	1.4	2.9	0.8	0.7	0.95	1.8	1.5	4.6	4.4	0.45	0.75	0.9	1.6	2.2	2.5	6.1	5.1	9.5	6.7	5.7	9.3	7.2	2.4	1.8	1.8
محل أبناء عوض	1.5	3.1	0.95	0.16	0.75	2	1.6	4.8	4.5	0.6	0.95	1.1	1.8	2.3	2.7	6.2	5.3	9.6	6.9	5.9	9.5	7.4	2.5	2	1.9
كاسورة للتسوق	2.2	3.8	1.6	0.85	0.7	1.5	0.65	3.8	3.5	1.3	1.6	1.7	2.4	3	3.4	6.9	5.9	10	7.5	6.5	10	8.1	3.2	2.7	2.6
محل أرجيم	2.6	4.2	2.1	1.3	1.1	0.45	1.9	3.2	3	1.7	2	2.2	2.9	3.4	3.8	7.3	6.4	11	8	7	11	8.5	3.6	3.1	3
محل عزالة	3.7	5.3	3.1	2.3	2.2	1.5	1.2	3	1.9	2.8	3.1	3.2	3.9	4.5	4.9	8.4	7.4	12	9	8	12	9.6	4.7	4.2	4.1
محل أسود الوادي	4	5.5	3.4	2.6	2.4	1.8	1.4	0.25	3.3	3	3.4	3.5	3.2	4.7	5.1	8.7	7.7	12.25	9.3	8.3	12	9.8	4.9	4.4	4.4
سوق الهيلة	1	3.2	1.1	0.65	0.5	2.1	1.7	4.9	4.7	0.3	0.35	0.5	1.2	1.8	2.1	5.3	3.3	7.3	7	6	9.6	7.5	2.7	2.1	2.1
الزعفران للتسوق	1.3	2.6	1.4	1	0.85	2.5	2.1	5.3	5	0.35	0.65	0.14	0.85	1.4	1.8	5	4	7.9	7.4	6.3	10	7.9	3	2.5	2.4
محل أبناء عامر	1.5	2.4	1.6	1.2	1	2.6	2.2	5.4	5.2	0.5	0.14	0.8	0.7	1.3	1.6	4.8	3.9	7.7	7.5	6.5	10	8	3.1	2.6	2.5
محل الحمد	2.1	2.8	2.3	1.9	1.7	3.3	2.9	6	5.7	1.2	0.85	0.7	1.5	0.55	0.9	5.2	3.8	7.7	8.2	7.2	11	8.7	3.8	3.3	3.2
محل أحمد	2.6	3.3	2.8	2.4	2.1	3.5	3.5	5.4	5.2	1.8	1.4	1.3	0.55	2	0.4	5.8	3.2	7.2	8.6	7.7	11	9.3	4.4	3.9	3.8
محل الهيهاب	3.3	4	3.5	3.1	2.9	6.6	6.3	5.1	4.8	2.4	2.1	1.9	1.2	0.65	2.7	0.95	2.8	6.8	8.2	8.7	12	10	6.5	5.9	6.7
أبناء الهيهاب للتسوق	3.8	4.5	4	3.6	3.5	7.5	6.2	6	5.8	3	2.6	2.5	1.8	1.2	0.95	3.2	1.8	5.8	7.2	9	13	10	5.6	5.1	5
سوق سند	5.1	4.7	5.3	6.1	5.9	6.2	5.9	9	8.8	5	5.3	5.4	6.8	6.3	6	5	5.2	8.2	5.4	5.9	9.5	7.4	3.6	3.1	3.8
الحرية للتسوق	9.7	9.2	9.9	11	11	13	11	12	12	12	12	12	7.5	7	6.8	5.8	9	4.1	8.3	9.9	9	8.2	9	7.7	8.4
زافيذة للتسوق	8	7.3	8.2	8.9	8.8	9.1	8.7	12	12	7.8	8.1	8.3	9.6	9.7	8.8	7.9	7.7	4.1	8.1	4.2	4.9	5.8	6.5	5.9	6.7
المعتمد للتسوق	7.7	6.7	7.5	8.3	8.2	8.4	8.1	11	11	7.2	7.5	7.7	8.4	8.9	10	9.1	8.6	7.6	4.8	5.7	2.2	3.7	6.1	5.6	5.6
سوق أبوراوي	8.6	7.6	8.4	9.2	9.1	9.3	9	12	12	8.1	8.4	8.6	9.3	9.8	11	10	9.5	8.5	5.7	0.85	7.5	3	7	6.5	6.5
الهلم للتسوق	9.3	8.3	9.2	10	9.8	10	9.7	13	13	8.8	9.2	9.3	10	11	12	11	10	8.4	5.7	3.5	3.1	8.4	7.7	7.2	7.2
محل أبوغرالة	3.8	2.8	3.7	4.4	4.3	4.5	4.2	7.3	7.1	3.3	3.6	3.8	4.5	5	6.1	5.1	4.7	8.6	5.7	3.4	4.9	7	9.1	1.7	1.6
الجمل للتسوق	4.3	3.3	4.2	4.9	4.8	5.1	4.7	7.9	7.6	3.8	4.2	4.3	5	5.5	6.6	5.7	4.3	9.1	6.3	3.9	5.4	7.5	0.55	3.6	2.2
بن عمران للتسوق	2.7	1.7	2.6	3.3	3.2	3.5	3.1	6.3	6	2.2	2.5	2.7	3.4	3.9	4.3	4.8	4.3	8.3	5.5	4.5	6	8.1	1.1	0.6	4.1

خطوات بناء الخوارزمية الجينية المقترحة

تم بناء الخوارزمية الجينية المقترحة باستخدام الدوال والوظائف المتوفرة في برنامج MATLAB إصدار سنة 2014، وبجهاز حاسوب محمول له معالج CORE i7 (7^{th} Gen) وبذاكرة عشوائية تبلغ 16 غيغابايت، ويمكن تلخيص خطوات عمل الخوارزمية الجينية المستخدمة في المخطط الانسيابي الموضح في الشكل (1).



شكل 1: المخطط الانسيابي لعمل الخوارزمية الجينية

معايرة الخوارزمية المستخدمة في الدراسة

قبل الشروع في تطبيق الخوارزمية المستخدمة على الحالة الدراسية، فإنه يجب القيام بمعايرة هذه الخوارزمية للتأكد من مدى دقة وصحة النتائج التي سنتحصل عليها من خوارزمية الدراسة. تمت معايرة خوارزمية الدراسة عن طريق تطبيق بعض النماذج التي تم نشرها في المؤتمرات والمجلات العلمية ومقارنة نتائجهم مع نتائج خوارزمية الدراسة.

قام الباحث أحمد السبعاوي (2013) [22] باستخدام الخوارزمية الجينية لحل مشكلة البائع المتجول وإيجاد المسار الأمثل لأقل تكلفة ممكنة للسفر بين عشرة مدن، والجدول (2) يوضح مصفوفة تكاليف السفر بين تلك المدن.

حيث كانت محددات الخوارزمية الجينية لتلك الدراسة كالتالي:

عدد أفراد المجتمع الأولي = 40 $P_c = 0.9$ عدد مرات توليد الأجيال =50000 $P_m = 0.1$

جدول 2: مصفوفة تكاليف السفر بين عشرة مدن [22]

i&j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	10	3	2	5	6	7	2	1	4
2	20	0	3	5	10	2	1	1	15	6
3	10	5	0	2	8	3	11	12	3	2
4	3	4	5	0	2	4	10	6	1	8
5	5	2	3	4	0	5	10	20	11	2
6	8	5	3	10	2	0	6	9	20	1
7	3	8	5	2	20	21	0	1	5	6
8	5	2	4	25	15	3	6	0	8	3
9	10	11	1	8	3	4	2	15	0	3
10	1	10	6	4	15	1	3	5	2	0

تم تطبيق الخوارزمية المقترحة في هذه الدراسة على نموذج وبنفس المحددات، وذلك من أجل حساب تكلفة السفر بين المدن العشرة وإيجاد المسار الأقصر لزيارة تلك المدن. الجدول (3) يوضح مقارنة النتائج المتحصل عليها من الخوارزمية المطورة في هذ الدراسة ونتائج الدراسة السابقة لعدد 10 مدن.

جدول 3: نتائج المعايرة لخوارزمية الدراسة المقترحة لعدد 10 مدن

طريقة الحل	المسار الأمثل (من اليسار إلى اليمين)	قيمة دالة الهدف
الخوارزمية الجينية	1-9-3-4-5-2-7-8-6-10	15
خوارزمية الجينية المقترحة	9-3-4-5-2-7-8-6-10-1	15

يوضح الجدول (3) أن النتائج المتحصل عليها من حساب تكلفة السفر لعشرة مدن باستخدام خوارزمية الدراسة كانت مطابقة لنتائج دراسة السبعاوي رغم الاختلاف في ترتيب المدن المراد السفر إليها. كما تجذر الإشارة هنا إلى أن الاختلاف في ترتيب المدن بين مسار الذي تحصل عليه العيساوي ومسار خوارزمية الدراسة المقترحة يرجع إلى وجود تشابه في المسافات بين بعض المدن ووجود فرق طفيف في المسافات بين بعضها الآخر.

كذلك تم تطبيق الخوارزمية على نموذج الباحثين الكسور والزيدي (2013) [22] والذي يتكون من ستة عشر مدينة من أجل إيجاد المسار الأقل تكلفة الذي سوف يسلكه المسافر من أجل زيارة كل هذه المدن، ومقارنة نتائج الخوارزمية مع نتائج الباحثين. حيث تم استخدام خوارزمية مستعمرة النمل ACO وطريقة التفريع والتحديد Branch & Bound من قبل الباحثين لحل النموذج، والجدول (4) يبين مصفوفة تكلفة السفر بين الستة عشر مدينة.

جدول 4 : مصفوفة تكلفة السفر بين ستة عشر مدينة [22]

i&j	AA	AC	AG	AT	CA	CC	CG	CT	GA	GC	GG	GT	TA	TC	TG	TT
AA	15	18	12	10	9	8	5	6	22	11	19	10	9	7	4	1
AC	9	16	8	11	8	12	3	7	6	8	7	2	4	5	5	5
AG	13	13	9	5	5	11	12	2	8	6	1	5	1	0	1	5
AT	4	9	9	7	3	11	8	2	8	8	17	11	3	7	10	3
CA	6	4	11	6	5	6	7	8	12	11	10	6	5	9	2	4
CC	8	7	18	8	4	4	7	6	9	7	13	4	5	3	11	5
CG	9	5	4	5	12	12	13	11	16	15	14	15	7	8	4	3
CT	2	5	14	4	3	2	13	5	4	4	19	6	1	11	15	5
GA	11	3	7	7	18	8	5	13	9	5	4	3	24	7	4	21
GC	11	6	7	6	7	11	12	10	11	7	21	9	10	9	17	8
GG	2	10	7	4	9	13	5	9	4	13	0	9	6	15	14	9
GT	6	2	7	2	9	5	11	9	12	4	7	8	2	2	12	5
TA	5	2	1	10	2	4	0	4	10	11	5	3	4	2	1	6
TC	10	7	7	11	5	7	4	9	3	3	3	6	6	8	8	6
TG	12	7	16	7	18	12	15	8	14	10	10	3	6	15	1	3
TT	3	8	10	2	9	9	2	5	2	6	11	5	4	6	2	2

من خلال البيانات المدرجة في الجدول (4) يتم حساب التكلفة لنموذج مكون من ستة عشر مدينة باستخدام الخوارزمية الجينية المتبعة في الدراسة وبالمحددات التالية:

عدد أفراد المجتمع الأولي = 50 احتمالية التزاوج P_c = 0.8

عدد مرات توليد الأجيال = 5000 احتمالية الطفرة P_m = 0.2

حيث قامت خوارزمية الدراسة بحساب المسار الأنسب من ناحية التكلفة بغض النظر عن المسافة التي سوف يتم قطعها بين تلك المدن، والجدول (5) يوضح مقارنة النتائج المتحصل عليها من الخوارزمية المطورة في هذه الدراسة ونتائج الدراسة السابقة لعدد ستة عشر مدينة.

جدول 5: نتائج المعايرة لخوارزمية الدراسة المقترحة لعدد 16 مدنية

طريقة الحل	المسار الأمثل	قيمة دالة الهدف
خوارزمية مستعمرة النمل	----------	42
وطريقة التفريع والتحديد	----------	42
خوارزمية الجينية المقترحة	3-13-12-15-5-10-14-6-8-4-7-2-9-16-1-11	42

يلاحظ من الجدول (5) أن النتائج المتحصل عليها من حساب تكلفة السفر لستة عشر مدينة باستخدام خوارزمية الدراسة المقترحة كانت مطابقة مع نتائج الباحثين رغم اختلاف طرق الحل، كما تجدر الإشارة هنا إلى أنه تم تشفير المدن بالأرقام بدلا عن التشفير بالحروف (AA=1, AC =2…..).

كما تم أيضا مقارنة نتائج خوارزمية الدراسة مع نتائج الدراسة التي قدمها كلا من سجاد جاسم وفائز علي (2019) [23]، حيث تم استخدام البرمجة الديناميكية Dynamic Programming (DP) وتقنية التفريع والربط Branch and Bound Technique (BABT) للحصول على أقصر جولة تسمح بزيارة عدد خمس مدن تم الرجوع إلى نقطة البداية بأقل مسافة ممكنة، والجدول (6) يبين مصفوفة المسافة بين المدن الخمسة.

جدول 6: مصفوفة المسافة بين المدن الخمسة [23]

المدن	A	B	C	D	E
A	0	30	8	10	17
B	11	0	13	9	10
C	19	12	0	9	9
D	18	1	18	0	8
E	30	22	18	8	0

من خلال الجدول نلاحظ أن مدن الدراسة تم الإشارة لها باستخدام الحروف، وبالتالي إن استخدام هذه الحروف في خوارزمية الدراسة مخالف لما تم اختياره كطريقة للتشفير، الأمر الذي أدى إلى إعادة تشفير المدن باستخدام طريقة تشفير تبادلي باستخدام الأعداد، والجدول (7) يبين المدن الخمسة والشيفرة التي ترمز لكل مدينة.

جدول 7: الشيفرة لكل مدينة من المدن الخمسة

المدينة	A	B	C	D	E
الشيفرة	1	2	3	4	5

إن المحددات التي تم اعتمادها عند تطبيق خوارزمية الدراسة كانت كالآتي:

عدد أفراد المجتمع الأولي = 30 احتمالية التزاوج $P_c = 0.9$

عدد مرات توليد الأجيال = 2500 احتمالية الطفرة $P_m = 0.1$

والجدول (8) يبين مقارنة نتائج الخوارزمية مع DP& BABT.

جدول 8: مقارنة نتائج خوارزمية الدراسة مع نتائج DP& BABT

طريقة الحل	المسار	مسافة المسار
DP& BABT	A – C – E – D – B	37
GA	C – E – D – B – A	37

من خلال الجدول (8) يتضح أن قيمة المسار للمدن الخمسة متساوي بين نتائج التي تحصل عليها الباحثين وبين النتائج التي أظهرتها خوارزمية الدراسة؛ رغم الاختلاف بين كلا المساريين الذي يظهر للوهلة الأولى، ولكن عند التدقيق في المساريين نلاحظ أن الاختلاف الوحيد بين المساريين هما بداية ونهاية المساريين، ففي مسار دراسة الباحثين نجد أن نقطة الانطلاق كانت من المدينة A، بينما نقطة النهاية لنفس المسار كانت عند المدينة B تم الرجوع إلى نقطة البداية أي من المدينة B إلى المدينة A، بينما كانت نقطة الانطلاق في مسار خوارزمية الدراسة من المدينة C، بينما نقطة النهاية لهذا المسار فكانت عند المدينة A، تم العودة من نقطة الانطلاق أي من المدينة A إلى المدينة C، هذا الاختلاف الظاهري في ترتيب البدايات والنهايات لا يغير ابداً من قيمة المساريين، وذلك نظراً لأن عناصر القطر الرئيسي لمصفوفة المسافات تساوي صفر، أي أنه لا يوجد أي اختلاف في المدينة التي سوف يبدأ منها المسار لجميع المدن الخمسة بل إن الترتيب التسلسلي لزيارة المدن هو من يحدد مسافة هذا المسار.

من خلال عملية المعايرة السابقة مع الطرق DP & BABT & ACO & Branch and Bound &GA والنتائج المبينة في الجداول (3) و(5) و(8)، يتضح أن الخوارزمية المقترحة للدراسة قد أثبتت مدى كفاءتها، في تحديد قيمة دالة الهدف والمسار الأمثل، وكذلك الطابع العمومي لخوارزمية الدراسة مهما اختلف عدد النقاط.

تطبيق الخوارزمية على توجيه المركبات

أولا تحديد حجم المجتمع والتزاوج والطفرة

عادة ما يتراوح حجم المجتمع من 25 إلى 500 فرد [16,17]، أو أن لا يقل عن 1.5 إلى 2 ضعف عدد جينات الكروموسوم وأن لا يزيد عن 100 [24]؛ عليه فقد اختير أن يكون حجم المجتمع 100 فرد، كذلك تم اعتماد أفضل نتيجة تم الحصول عليها عند استخدام ($P_c = 0.9$ & $P_m = 0.01$)، كما يبلغ عدد الأجيال التي يراد توليدها 10000 جيل.

ثانيا التشفير

في هذه الدراسة تم اعتماد أسلوب التشفير باستخدام أعداد صحيحة، وذلك بسبب سهولة استخدامها في تكوين المجتمع بطريقة عشوائية بحيث تضمن عدم تكرار الشفرة (الجين) أكثر من مره داخل الكروموسوم الواحد. والجدول (9) يبين شيفرة كل محل أو مركز تجاري.

جدول 9: شيفرة كل محل أو مركز تجاري

المحلات ومراكز التسوق	الشيفرة	المحلات ومراكز التسوق	الشيفرة
محل الحرية	1	محل أحمد	14
سوق الهباره	2	محل الهبهاب	15
محل المسلاتي	3	أبناء الهبهاب للتسوق	16
محل النخلة	4	سوق سند	17
محل أبناء عوض	5	الحرية للتسوق	18
كاسورة للتسوق	6	ارفيدة للتسوق	19
محل أرحيم	7	المعتمد للتسوق	20
محل عرفه	8	سوق أبوراوي	21
محل أسود الوادي	9	الهشم للتسوق	22
سوق الهبكه	10	محل أبوغولة	23
الرعيض للتسوق	11	الجمل للتسوق	24
محل أبناء عامر	12	بن عمران للتسوق	25
محل العماد	13		

ثالثا حساب دالة الهدف

بعد توليد مجتمع عشوائي، تقوم الخوارزمية بحساب المسافة بين جميع النقاط عن طريق دالة الهدف باستخدام المعادلة (1)، والجدول (10) يبين المسافات بين جميع النقاط في المسار الواحد والذي يمكن أن يسلكه الموزع.

جدول 10: المسافة بين النقاط في المسار الواحد

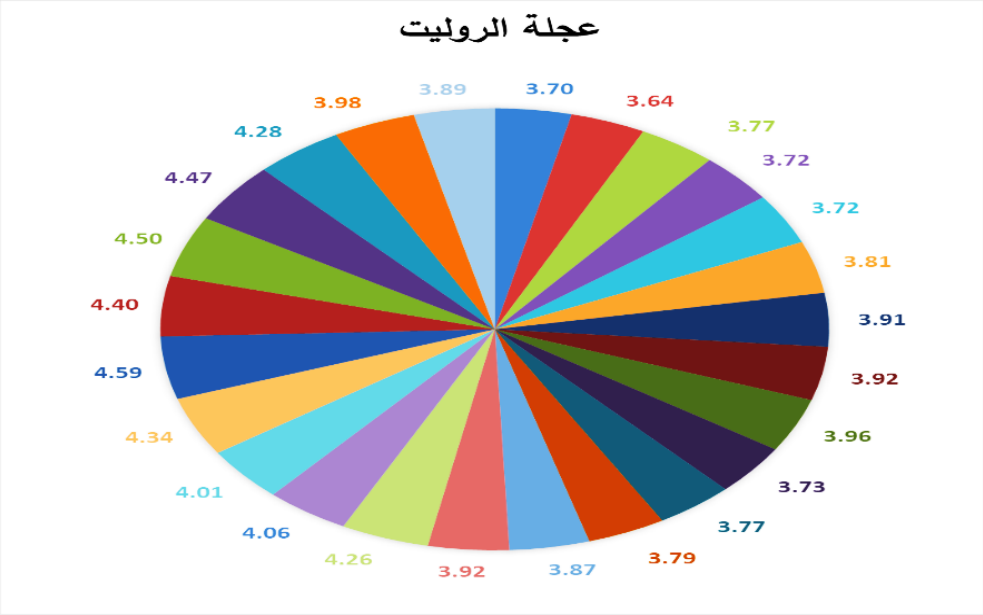
المسار	المسافة (كيلومتر)	المسار	المسافة (كيلومتر)
من مركز التوزيع إلى 15	2.7	من 13 إلى 14	0.14
من 15 إلى 1	3.3	من 14 إلى 16	0.7
من 1 إلى 2	1.1	من 16 إلى 17	0.55
من 2 إلى 3	4	من 17 إلى 18	5.8
من 3 إلى 4	4	من 18 إلى 19	1.8
من 4 إلى 5	0.95	من 19 إلى 20	8.2
من 5 إلى 6	2	من 20 إلى 21	4.1
من 6 إلى 7	0.65	من 21 إلى 22	4.2
من 7 إلى 8	3.2	من 22 إلى 23	2.2
من 8 إلى 9	1.9	من 23 إلى 24	3
من 9 إلى 10	3	من 24 إلى 25	7.7
من 11 إلى 12	0.35	من 25 إلى مركز التوزيع	1.7
من 12 إلى 13	0.14		

رابعا التقييم والاختيار

تقوم الخوارزمية بتقييم كل مسار في المجتمع عن طريق المعادلة (8):

$$Fit_i = \frac{\sum \mathrm{F(x)}}{F(x)} \qquad (8)$$

حيث أن i هي قيمة تقييم للمسار Fit_i بعد أن يتم تقييم كل مسار من العلاقة تقوم الخوارزمية بالاختيار من المجتمع عن طريق عجلة الروليت من خلال التعويض في العلاقات (6) و (7) والتي سبق ذكرها، الشكل (2) يوضح تمثيل المسارات 25 على العجلة الروليت.



شكل 2: تمثيل المسارات على عجلة الروليت

خامسا التزاوج بين الاباء

يتم تحديد النقاط التي سوف يتم فيها تبادل الكروموسومات أيضا بشكل عشوائي، عن طريق اختيار رقم عشوائي من 0 إلى 1 فإذا كان الرقم العشوائي أقل من أو يساوي P_c فإنه يتم اختيار هذا الأب للتزاوج، أما إذا كان الرقم العشوائي أكبر من P_c فإن الأب يتم إهماله، وتجدر الإشارة هنا مجددا إلى الانتباه لعدم تكرار نفس الكروموسوم مرتين في الجيل الجديد، لأن حدوث ذلك يؤدي إلى عدم التطبيق الصحيح لمفهوم مسألة البائع المتجول ألا وهو عدم زيارة النقطة أو المدينة أكثر من مرة واحدة في المسار الواحد.

سادسا الطفرة

تقوم الخوارزمية أيضا باختيار رقم عشوائي من 0 إلى 1 لكل فرد في الجيل الجديد، فإذا كان هذا الرقم العشوائي أقل من أو يساوي P_m فإن هذا الفرد يقوم بإحداث طفرة في كروموسوم عشوائي، أما إذا كان هذا الرقم العشوائي أكبر من P_m فإن هذا الفرد يبقي كما هو بدون أي تغيير.

سابعا البقاء للأصلح وشرط التوقف

تقوم خوارزمية الدراسة بحساب دالة الهدف للجيل الجديد ومقارنتها بنتائج أفراد المجتمع لغرض إحلال الأفراد الأقل قيمة محل الأفراد الأسوأ والتخلص منهم. تستمر الخوارزمية بتكرار الخطوات السابقة إلى أن يثبت الحل بنسبة 20 – 30% من إجمالي التكرارات، وفي حالة عدم تحقق الشرط عند التكرار المحدد فإن الخوارزمية تقوم بعمل تكرار جديد وحساب نسبة الخطأ من العلاقة الآتية:

$$e = \frac{max(x) - \min(x)}{2} \qquad (9)$$

حيث أن: e المتوسط، $max(x)$ أكبر المسار، $min(x)$ أصغر مسار

بعد ذلك تقوم الخوارزمية بحساب عدد الأفراد الذين لهم قيم مسار أصغر من أو تساوي المتوسط، فإذا بلغ عددهم حوالي 50% من إجمالي التكرارات فإن الخوارزمية ستتوقف عن العمل، وإلا فإنها ستستمر في العمل إلى أن يتحقق هذا الشرط.

مناقشة النتائج

تم في هذه الدراسة تحديد المسار المعتاد (الفعلي) والذي سيسلكه سائق المركبة لغرض تغطية جميع النقاط والعودة منها إلى نقطة الانطلاق (مركز التوزيع)؛ حيث أظهرت نتائج الدراسة أن هناك اختلافًا كبيرًا بين المسار المعتاد للسائق والمسار المتحصل عليه من تطبيق خوارزمية الدراسة. كانت نقطة الانطلاق من مركز التوزيع في المسار الفعلي لسائق المركبة من مركز التوزيع إلى محل الحرية (1)، بينما توصلت خوارزمية الدراسة إلى أن نقطة الانطلاق يجب أن تكون من مركز التوزيع إلى محل أسود الوادي (9)، بالرغم من أن المسافة من مركز التوزيع إلى محل الحرية أقل بكثير من المسافة بين مركز التوزيع ومحل أسود الوادي، حيث تبلغ المسافة الأولي حوالي 0.7 كيلومتر بينما المسافة الثانية 3.3 كيلومتر.

من بين جميع النقاط المستهدفة فإن النقاط الوحيدة المتشابهة في ترتيبها بين المسار الفعلي والمسار الذي حددته خوارزمية الدراسة يكمن في المعتمد للتسوق (20) وسوق أبوراوي (21) والهشم للتسوق (22)؛ أما بالنسبة لباقي النقاط فإنها تختلف كليا في ترتيبها داخل كل مسار. إن النقطة المستهدفة في نهاية المسار الفعلي لسائق المركبة هي من محل بن عمران للتسوق إلى مركز التوزيع، بينما كانت في مسار خوارزمية الدراسة من محل الحرية إلى مركز التوزيع؛ حيث أن المسافة من نقطة النهاية المستهدفة إلى مركز التوزيع في خوارزمية الدراسة (0.7 كيلومتر) أقل بكثير من نقطة النهاية المستهدفة إلى مركز التوزيع في المسار الفعلي (4.1 كيلومتر)، والجدول (11) يبين المقارنة بين كلا المسارين.

جدول 11: مقارنة بين مسار السائق ومسار خوارزمية الدراسة

الطريقة	المسار الأمثل (من اليسار إلى اليمين)	مسافة المسار (كيلومتر)
السائق	1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-22-23-24-25	63.8
GA	9-8-7-6-5-4-10-12-11-3-25-24-23-20-21-22-19-18-17-16-15-14-13-2-1	46.15

من خلال الجدول نلاحظ أن المسار المتحصل عليه من الخوارزمية الجينية GA أقصر بكثير من المسار المعتاد للسائق؛ حيث يبلغ الفرق بين المسارين 17.65 كيلومتر، أي أن المسار المحدد من قبل الخوارزمية الجينية أدى إلى تحسين وتوفير وقت وجهد أفضل بحوالي 27.67% من المسار الذي يسلكه السائق، الأمر الذي يؤدي إلى تخفيض الانبعاثات من الغازات السامة، بالإضافة إلى تخفيض تكاليف التزود بالوقود وتكاليف الصيانة الدورية وكذلك الصيانة الشاملة، وإطالة عمر المركبة.

الاستنتاجات

من خلال دراسة وتحليل الحالة الدراسية والنتائج المتحصل عليها، تم التوصل إلى الاستنتاجات التالية:

1. تتسم خوارزمية الدراسة بأن لها طابع عمومي، حيث أن لها القدرة على إيجاد الحل لتطبيق مسألة البائع المتجول التقليدية على تحديد مسار المركبات مهما اختلف عدد النقاط المستهدفة.
2. معايرة خوارزمية الدراسة مع أبحاث منشورة كانت مطابقة بنسبة 100% مع الطرق DP & BABT & ACO & GA.
3. أهمية استخدام احتمال طفرة P_m صغير جداً (0.01)، وذلك لضمان حدوث أقل نسبة لحدوث طفرة في الأجيال الجديدة.
4. أهمية استخدام احتمال تزاوج P_c كبير (0.9)، وذلك لضمان حدوث أكبر نسبة للتزاوج بين أفراد المجتمع.
5. عند تطبيق الخوارزمية الجينية GA على مسألة البائع المتجول TSP، فإن أسلوب التشفير المتبع لتشفير النقاط المستهدفة يكون إما باستخدام الأرقام أو الحروف أو خليط من كليهما.

6. ضرورة تحديد عدد سكان مجتمع مناسب لحالة الدراسة بحيث يكون محصور بين 25 إلى 500 فرد، وبالتالي فإنه تم تحديد 100 فرد أو كروموسوم كعدد لسكان المجتمع في حالة الدارسة.
7. أهمية حذف الأجيال الجديدة المتشابهة، بحيث لا يكون هناك أكثر من فرصة واحدة فقط لإحلال الأفراد المتشابهين في نفس الجيل الجديد، وذلك لضمان عدم وقوع الخوارزمية الجينية GA في Local minima problem.
8. إن المسار المتحصل عليه من الخوارزمية الجينية GA يعتبر المسار الأقصر لتغطية جميع نقاط الدراسة بطول 17.65 كم وبنسبة تحسين تبلغ 27.67%.

التوصيات

من خلال الاستنتاجات السابقة فإن الدراسة توصي بالآتي:

1. عدم الاعتماد على الطرق العشوائية أو التخمينية في تحديد المسار لمركبات التسويق، وخصوصا عندما يكون عدد النقاط كبيراً.
2. على إدارات المؤسسات المختلفة إتباع الأساليب العلمية لتحديد مسار المركبات الآلية المستخدمة في تسويق المنتجات، وكذلك ضرورة استخدام البرامج الحاسوبية لمساعدة تلك الإدارات في الوصول إلى المسار الأقصر، والذي يضمن خفض التكاليف وارتفاع مستوى أداء المؤسسة، وبالتالي زيادة ربحيتها.
3. لمسألة البائع المتجول TSP تطبيقات متعددة في مختلف القطاعات، سواء كانت هذه القطاعات مؤسسات خدمية، أو منشآت صناعية، أو عسكرية، لذلك نوصى بالاهتمام والتوسع في دراسة هذا الموضوع، ودراسة إمكانية استخدامها في مختلف المجالات، وذلك نظراً لأهميتها في زيادة أرباح المؤسسة، وتحسين مستوى أدائها.
4. القيام بدراسات بحثية مشابهة، وذلك من أجل التوسع في استخدام الخوارزمية الجينية GA داخل المؤسسات الوطنية، وكذلك محاولة تطوير هذه الخوارزمية لتحاكي مختلف مشاكل القطاعات.

المراجـع **References**

[1] م. سلامه, "تطوير خوارزمية حيوية هجينة لحل مسألة البائع المتجول المتعددة الأهداف " مجلة جامعة البعث المجلد 39, العدد 1, 2016.

[2] I. K. Gupta, A. Choubey, and S. Choubey, "Randomized Bias Genetic Algorithm to Solve Traveling Salesman Problem ",in 2017 8th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT), 2017, pp. 1-6: IEEE.

[3] I. Droste, "Algorithms for the Travelling Salesman Problem," 2017.

[4] I. Brezina Jr and Z. Čičková, "Solving the Travelling Salesman Problem Using the Ant Colony optimization," Management Information Systems vol. 6, no. 4, pp. 10-14, 2011.

[5] M. Dorigo and L. M. Gambardella, "Ant Colonies for the Travelling Salesman Problem," biosystems, vol. 43, no. 2, pp. 73-81, 1997.

[6] C. C. Nwobi-Okoye, S. Okiy, and F. I. Obidike, "Fuzzy Based Solution to the Travelling Salesman Problem: A Case Study," in Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science, 2017, vol. 2, pp. 25-27.

[7] P. Adewole, A. Akinwale, and K. Otunbanowo, "A Genetic Algorithm for Solving Travelling Salesman Problem," 2011.

[8] V. Dwivedi, T. Chauhan, S. Saxena, and P. Agrawal, " Travelling Salesman Problem Using Genetic Algorithm," Techniques Related, vol. 1, no. p. 25, 2012.

[9] F. H. Khan, N. Khan, S. Inayatullah, and S. T .Nizami, "Solving TSP Problem by Using Genetic Algorithm," International Journal of Basic Applied Sciences, vol. 9, no. 10, pp. 79-88, 2009.

[10] P. R. d. O. da Costa, S. Mauceri, P. Carroll, and F. Pallonetto, "A Genetic Algorithm for a Green Vehicle Routing Problem," Electronic notes in discrete mathematics vol. 64, pp. 65-74, 2018.

[11] Sachin Sharma, Vinod Jain, "A Novel Approach for Solving TSP Problem Using Genetic Algorithm Problem," IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 1116 (2021) 012194.

[12] Ravi Saini, Ashish Mani, M. S. Prasad, "Societal Gene Acceptance Index-Based Crossover in GA for Travelling Salesman Problem," Part of the Studies in Computational Intelligence book series (SCI,volume 1029), pp 147–165, 2022.

[13] PanliZhang, Jiquan Wang, Zhanwei Tian, Shengzhi Sun, Jianting Li, Jingnan Yang "A genetic algorithm with jumping gene and heuristic operators for traveling salesman problem," Applied Soft Computing (volume 127), 2022.

[14] Arindam Dey, "The Fuzzy Traveling Salesman problem with FuzzyEdge Weight: Formulation and A Genetic Algorithm," Research Square (Version 1), posted 03 Jan, 2023.

[15] ث. موسى, "مقارنة بين خوارزمية التفريع والقطع ،وخوارزمية مستعمرة النمل ، للمساهمة في حل مسألة البائع المتجول," مجلة جامعة البعث, 2017 ,39 .p ,11 .vol.

[16] ر. ز. شعبان وإ. ن. الكلاك, "الخوارزمية الجينية في جدولة العمليات مع عدم إمكانية القطع," تنمية الرافدين 2008 ,256-245 .pp ,89 .no ,30 vol.

[17] D. A. Al-Kazzaz and A. A .Al-Tuhafi, "Using Genetic Algorithms for the Generation of New Designs Derived from Islamic Schools Plans," 2014.

[18] م. ع. ا. م. البدراني, "استخدام الخوارزمية الجينية في تطابق أنماط الحرف الإنكليزي," مجلة التربية والعلم, 2007 ,99-84 .pp ,23 .no ,19 .vol.

[19] D. K. Alfaraj, "Artificial Intelligence," University of Hama, 2018.

[20] O. Mouffak, "استخدام الخوارزميات الجينية في التنبؤ بتطاير الأسواق المالية."، جامعة أبي بكر بلقايد / تلمسان، كلية العلوم الاقتصادية و العلوم التجارية وعلوم التسيير، 2019/2018.

[21] ن. ك. أ. المهدي, "(Genetic Algorithms) الجينية الخوارزميات " جامعة بابل, vol. قسم الحاسبات, 2019.

[22] ج. ب. أوهيبة "خوارزمية جينية بلغة R لحل نماذج البائع المتجول" المؤتمر الدولي الثالث للتقنية / طرابلس, 28-31 نوفمبر 2020.

[23] Sajjad Majeed Jasim and F. H. Ali, "Using Travelling Salesman Principle to Evaluate the Minimum Total Cost of the Iraqi Cities," Ibn Al Haitham Journal for Pure and Applied Science, vol. 3, 2019.

[24] How to calculate the Crossover, Mutation rate and population size for Genetic algorithm? (20/12/2020). Available: https://www.researchgate.net/post/How-to-calculate-the-Crossover-Mutation-rate-and-population-size-for-Genetic-algorithm.