اختيار المسار الأفضل لعربات التوزيع باستخدام خوارزمية مستعمرة النمل

صلاح الهادي ابوحربة [1]
[1] المعهد العالي للعلوم و التقنية بالزاوية ، الزاوية، ليبيا
sabohrba@ymail.com

ملخـــــــص البحــــــــث

توزيع الأشياء و المنتجات بأقل تكلفة و أقل سرعة أصبح من الأولويات المهمة للجهات العاملة في مجال التوزيع، مثل شركات التوزيع و المصانع. حيث تعالج هذه الورقة مشكلة تحديد المسار الأفضل لعربات التوزيع و التي لا يوجد لها حل وحيد و لكن يمكن إيجاد الحل الأفضل وذلك باستخدام العديد من الخوارزميات. و من هذه الخوارزميات، خوارزميات الذكاء الاصطناعي. حيث تم إيجاد النموذج الرياضي لهذه المشكلة ثم حلها باستخدام خوارزمية مستعمرة النمل لإيجاد أفضل مسار للعربات عند القيام بعملية التوزيع. تم تطبيق خوارزمية مستعمرة النمل في برنامج الماتلاب (MATLAB) لإيجاد أفضل مسار.
النتائج أظهرت أن استخدام هذه الطريقة يقلل من زمن و تكلفة التوزيع و المتمثلة في اقل مسافة تقطعها العربات عند قيامها بعملية التوزيع و كذلك اقل زمن مقارنة بالتوزيع العشوائي، و أخيراً فان الحل المتحصل عليه قابل للتطبيق في بلادنا للتقليل من تكلفة التوزيع خاصة في توزيع المواد الغذائية و المنتجات البترولية و غيرها.

الكلمات الدالة
مشكلة عربات التوزيع؛ تحديد المسار الأفضل؛ خوارزمية مستعمرة النمل.

1. المقدمـة

تعتبر مسألة توجيه المركبة من أهم المواضيع التي تعنى بالدراسة و البحث في مجال بحوث العمليات و أنظمة توزيع السلع و التي تهدف إلى تقليل تكلفة التوزيع للسلع و المنتجات. و هذه المسألة من أكثر مسائل الأمثلية تعقيداً، و تصنف على أنها NP-hard حيث يزداد زمن البحث لحل هذه المسالة بشكل أسي (Exponentially) كلما زاد حجم المسالة**[1]**. و يمكن اعتبار مسألة توجيه العربة تعميم لمسألة البائع المتجول (Traveling salesman Problem) و يكمن الفرق بينهما في محدودية حمولة العربة بالنسبة لمسألة توجيه العربة و قد قدمت سنة 1958 بواسطة العالمان (Dantzig & Ramset)**[2]**. هناك العديد من الخوارزميات التي تستخدم لحل هذه المسالة و تصنف إلي نوعين، الخوارزميات المضبوطة و التقريبية (Exact and Approximate Algorithms) **[3,4]**. الخوارزميات المضبوطة يمكن عن طريقها الوصول إلي الحل الأمثل لكنها غير مناسبة للمسائل كبيرة الحجم حيث تحتاج إلي وقت طويل جداً للوصول إلى الحل، و من ابرز هذه الخوارزميات المستخدمة في حل مسالة توجيه العربة خوارزمية التفرع و القطع (Branch and Cut). النوع الثاني هو الخوارزميات التقريبية و التي يمكن عن طريقها الوصول إلي حل

قريب من الحل الأمثل و في زمن مقبول، و هي من الخوارزميات الفعالة في حل مسألة توجيه المركبة، و تنقسم إلي نوعين الخوارزميات الإرشادية و ما وراء الإرشادية (Heuristic and Meta-Heuristic Algorithms). و من أكثر الخوارزميات الإرشادية استخداماً لحل مسألة توجيه العربة هي خوارزمية الجار الأقرب (Nearest Neighbor Algorithm) ، أما ما وراء الإرشادية فهناك العديد من الخوارزميات ، ومن أبرزها خوارزمية مستعمرة النمل، و الخوارزمية الجينية و خوارزمية مستعمرة النحل.

تهدف هذه الورقة إلي المساهمة في حل مسألة توجيه العربات باستخدام خوارزمية مستعمرة النمل و التي يمكن الاستفادة منها في تحسين وسائط النقل و التوزيع و بالتالي تحسين العملية الاقتصادية، و كذلك فإن حل هذه المسألة يعطي حافزاً للمصانع و الشركات العاملة في مجال التوزيع لإيجاد أفضل الطرق لعملية التوزيع و التي تعود بالنفع عليها و على المستهلكين.

في هذه الورقة سيتم إيجاد التمثيل الرياضي لمسالة توجيه المركبة ثم حلها باستخدام خوارزمية مستعمرة النمل و مقارنة الحل مع خوارزمية الجار الأقرب. الخوارزميتان تم تطبيقهما في برنامج الماتلاب (MATLAB) لأكثر من عينة عشوائية تحتوي على المواقع (Locations) لعدد مختلف من الزبائن. النتائج المتحصل عليها أظهرت بأن خوارزمية مستعمرة النمل أكثر كفاءةً من خوارزمية الجار الأقرب. هذه النتائج يمكن الاستفادة منها في بلادنا لحل مشكلة توجيه المركبات و ذلك لتقليل تكلفة التوزيع في مجال توزيع السلع و المنتجات.

2. مسألة توجيه العربات:

تعرف مسالة توجيه العربات بأنه يوجد عدد M من العربات في مستودع التوزيع، و يوجد مجموعة N من الزبائن يراد زيارتها. كل زبون يتم زيارته مرة واحدة بواسطة عربة واحدة و له طلبيه معينة g_i ، كل عربة لها حمولة معينة Q^m و كذلك أقصى مسافة يمكن قطعها L^m ، المطلوب هو إيجاد أفضل مسار (المسار الأقصر) لكل عربة بحيث يتم زيارة كل الزبائن مرة واحدة و العودة إلي مستودع التوزيع. يتم دراسة مسألة توجيه المركبة تحت الفرضيات و القيود التالية **[5]**:

– المركبات المستخدمة تكون متماثلة.

– أقصى حمولة للمركبة محدودة.

– طلبات الزبائن معروفه مسبقاً.

أما القيود فتتلخص في التالي:

– كل العربات تبدأ رحلتها و تنتهي في مستودع التوزيع.

– كل زبون يتم زيارته مرة واحدة بواسطة عربة واحدة.

– ألطلبيه الكلية لكل مسار يجب أن لا تتجاوز أقصى حمولة للعربة.

النموذج الرياضي لمسألة توجيه العربات

لكي يتم الحصول علي النموذج الرياضي لمسألة توجيه العربة، يتم تمثيل المسألة بالمخطط G = (V,A) حيث V= (0,1,…,N) تمثل العقد و هي هنا مواقع الزبائن المراد خدمتهم و العقدة 0 تمثل موقع مستودع التوزيع، بينما $A = \{(i,j): i ,j \in V,\ \ i \neq j\}$ تمثل الأضلاع ما بين العقد، و تمثل d_{ij} مصفوفة المسافات للانتقال بين العقد و هي مصفوفة متماثلة أي أن؛ $d_{ij} = d_{ji},\ for\ all\ \forall(i,j) \in V$ ، و يمكن إيجاد

دالة الهدف و التي من خلالها يتم الحصول على المسارات ذات التكلفة الأقل لكل عربة مع وجود مجموعة من القيود على النحو التالي:

$$\min z = \sum_{i=0}^{N}\sum_{j=0}^{N}\sum_{m=1}^{M} d_{ij}\ x_{ij}^{m} \qquad (1)$$

خاضع للقيود التالية:

$$\sum_{j=1}^{N} X_{ij}^{m} = \sum_{j=1}^{N} X_{ji}^{m} \ \leq 1 \quad for\ i = 0\ , m \in \{1, \ldots, M\} \qquad (2)$$

$$\sum_{j=1}^{N} X_{0j}^{m} \ \leq 1\ , \quad 1 \leq m \leq M \qquad (3)$$

$$\sum_{i=1}^{N} X_{i0}^{m} \ \leq 1\ , \quad 1 \leq m \leq M \qquad (4)$$

$$\sum_{i=0}^{N}\sum_{j=0}^{N} X_{ij}^{m}\ g_i \ \leq Q^m \qquad 1 \leq m \leq M \qquad (5)$$

$$\sum_{i=0}^{N}\sum_{j=0}^{N} X_{ij}^{m}\ d_{ij} \ \leq\ L^m \qquad 1 \leq m \leq M \qquad (6)$$

$$X_{ij}^{m}\ \in \{0,1\}\ \forall i,j \in \{1, \ldots, N\}, m \in \{1, \ldots, M\} \qquad (7)$$

حيث

تمثل المعادلة (1) دالة الهدف و التي تقلل المسافة الكلية المقطوعة بواسطة العربات.

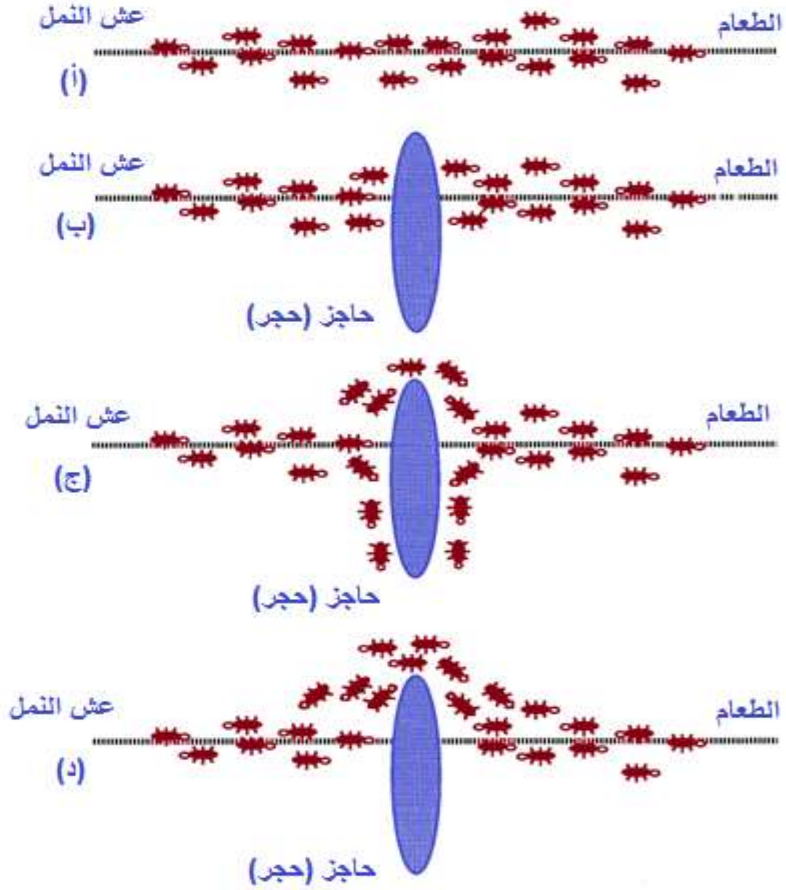
و القيد (2) فيضمن أن كل المسارات تبدأ و تنتهي في مستودع التوزيع. أما القيدان (3,4) فيضمنان أن كل زبون يتم خدمته مرة واحدة بواسطة عربة واحدة تغادر و ترجع إلى مستودع التوزيع. القيد (5) يضمن أن طلبيات الزبائن g_i في المسار الواحد لا تتجاوز أقصى حمولة للعربة الواحدة Q^m. أما القيد (6) فيضمن أن المسافة المقطوعة لكل مسار d_{ij} لا تتجاوز أقصى مسافة يمكن قطعها بواسطة كل عربة L^m . بينما القيد (7) هو قيد الثنائي. المتغيرات 1 ,0 يتم تحديدهما كالتالي:

$X_{ij}^{m} = 1$ إذا كانت العربة m وصلت إلي الزبون j قادمة من الزبون i ، $X_{ij}^{m} = 0$ غير ذلك.

خوارزمية مستعمرة النمل

س تعتبر خوارزمية مستعمرة النمل من خوارزميات الذكاء الاصطناعي و التي تحاكي الظاهرة الطبيعية لكيفية البحث علي الطعام لأمة النمل. و قد اكتشفت سنة 1992 عن طريق ماكرو دوريجو (Macro Dorigo) أثناء بحثه في أطروحة الدكتوراه [6] و الذي كان عنوانه (Optimization Learning and Natural Algorithms) حيث تم دراسة التصرف الطبيعي للنمل عند تحركه من مستعمرته للبحث عن الطعام، و وجد أن النمل يستطيع إيجاد اقصر مسار عند ذهابه من مستعمرته إلي مصدر الطعام و رجوعه مرة أخرى إلي مستعمرته و ذلك بالاتصال غير المباشر مع بقية أعضاء المستعمر عن طريق إفراز مادة كيميائية تسمى فيرمون (Pheromone) على المسار الأقصر ليتمكن بقية أعضاء المستعمرة من معرفة المسار الأقصر لمصدر الطعام.

و لتوضيح التصرف الطبيعي للنمل و كيف يستطيع إيجاد اقصر مسار فان المثال في الشكل (1) يشرح كيف يستطيع النمل توصيل مسار تم قطعه بواسطة حاجز (حجر) **[7]**.



الشكل (1): مثال يوضح كيف يستطيع النمل توصيل مسار تم قطعه

النمل يسير في خط مستقيم من عشه إلي مصدر الطعام كما هو موضح في الشكل (1-أ) ، فجأةً وضع حاجز لقطعة من حجر مثلاً فقطع المسار، لذلك فان المجموعة التي تم قطع المسار عليها لا تستطيع تتبع أثر الفيرمون (Pheromone) كما في الشكل (1- ب)، و من ثم فانه عليها تعديل اتجاهها بحيث تختار إما الذهاب في اتجاه اليمين أو الشمال، في هذه الحالة نصف المجموعة من النمل ستختار الذهاب في اتجاه اليسار و البقية ستختار اتجاه اليمين كما في الشكل (1-ج). مجموعة النمل التي اختارت بشكل عشوائي المسار الأقصر حول الحاجز ستتمكن بشكل أسرع من وصل أثر الفيرمون (Pheromone) الذي تم قطعه مقارنة ببقية المجموعة التي اختارت المسار الأطول. و بالتالي فان المسار الأقصر ستزداد كمية أثر الفيرمون (Pheromone) عليه في الزمن أقل و هذا يؤدي إلي أن اكبر عدد من النمل سيفضل هذا المسار كما هو موضح في الشكل (1- د). بصورة عامة فان النمل يمكنه إيجاد المسار الأقصر بين مستعمرته و مصدر الطعام بدون استعمال أي معلومات خاصة و لكن تستعمل الاتصال غير المباشر مع بعضها البعض عن طريق مادة الفيرمون (Pheromone) التي إفرازها. و يمكن تلخيص خطوات الخوارزمية كالتالي:

- عدد قليل من النمل تقوم بالبحث عن الطعام بشكل عشوائي حول المستعمرة.
- واحدة منها فقط وجدت مصدر الطعام.

– تقوم هذه النملة بإلقاء أثر الفيرمون (Pheromone) على الأرض عند عودتها إلى المستعمرة بعد الحصول على الطعام.

– عندما يتحرك بقية النمل بشكل عشوائي حول المستعمرة و فجأةً يجد أثر الفيرمون (Pheromone) فانه يقوم على الفور بتتبع هذا الأثر.

– عن طريق تتبع أثر الفيرمون (Pheromone) فان النمل سيجد الطعام و عند رجوعه إلى المستعمرة سيفرز مزيد من الفيرمون (Pheromone) على نفس المسار و بذلك سيتقوى أكثر.

– نتيجة التصرف العشوائي للنمل فان بعض منه لا يتتبع أثر الفيرمون (Pheromone) و بذلك يمكن الحصول على مسارات أخرى ممكنة.

– عند نقطة معينة فان أثر الفيرمون (Pheromone) يبدأ في التبخر و بذلك تقل قوة جذبه.

– في النهاية سيتم الحصول على المسار الأقصر و الذي يكون أكثر قوة لأثر الفيرمون (Pheromone).

خوارزمية مستعمرة النمل لمسألة توجيه العربات

مسألة توجيه العربات من المسائل التي لها تطبيقات عديدة بشكل يومي في توزيع المنتجات و البضائع المختلفة على الزبائن، و هي مشكلة لا يوجد لها حل أمثل و لكن يوجد لها حلول قريبة من الحل الأمثل. و تتلخص فكرة خوارزمية مستعمرة النمل الخاصة بمسألة توجيه العربات في انه يوجد عدد k من النمل يتم وضعها في عقدة البداية (مستودع التوزيع). كل نملة تولد حل واحد أي انه في كل تكرار (Iteration) سيتم توليد عدد k من الحلول يتم تخزين حلاً منها فقط و هو الحل الأفضل.

وهذا يعني أن كل نملة ستكون مساراً خاصاً بها يبدأ عند عقدة البداية ويزداد باختيار الزبائن واحداً تلو الأخر حتى يكتمل كل الزبائن. كل نملة ستبدأ في تكوين مسارها في عقدة البداية (مستودع التوزيع) وينتهي عند نفس العقدة. في كل خطوة تنتقل النملة من العقدة الحالية i إلي العقدة اللاحقة j بناءً على واحدة من الطريقتين للانتقال الاحتمالي **[8,9]**:

1- طريقة الاستغلال (Exploitation)

و هي تقود النمل لاختيار الزبون القادم بناءً على وجود أكبر كمية من مادة الفيرمون (Pheromone) على المسار المؤدي إلى ذلك الزبون وذلك باستخدام العلاقة التالية

$$j = \begin{cases} \arg\max\{(\tau_{ij})(\eta_{ij})^{\beta}\} & for\ j \notin M_k\ , \quad if\ q \leq q_0 \\ P_{ij} & otherwise \end{cases}$$

حيث

τ_{ij} هي كمية الفيرمون (Pheromone) الموجودة على المسار الرابط بين العقدة i الحالية و مجموع العقد اللاحقة j الممكن الذاهب إليها.

η_{ij} هي مصفوفة تمثل معكوس المسافة بين كل العقد.

β هي تمثل درجة الأهمية ما بين المسافة و كمية الفيرمون (Pheromone) و قيمتها دائما أكبر من الصفر $(\beta > 0)$.

M_k هي عبارة عن ذاكرة العمل يتم فيها تخزين كل الزبائن الذين تم زيارتهم.

2- طريقة الاستكشاف (Exploration)

و هي تقود النمل إلي اختيار الزبون اللاحق عشوائياً بناءً على علاقة التوزيع الاحتمالي التالية و التي تدعم اختيار الزبون اللاحق بناء على المسار الأقصر و الأكثر كمية من مادة الفيرمون (Pheromone).

$$P_{ij}^{k} = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}]^{\varepsilon}[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{j \notin M_k}[\tau_{ij}]^{\varepsilon}[\eta_{ij}]^{\beta}} & if\ j \notin M_k \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

حيث:

P_{ij}^{k} هي تمثل الاحتمالية لاختيار النمل للمسار اللاحق.

ε هي متغير يتحكم في الأهمية النسبية لكمية الفيرمون.

لكي يتم الموازنة بين طريقة الاستغلال أو الاستكشاف فان المتغير q_0 يستخدم لذلك، هذا المتغير يحدد مسبقاً الأهمية النسبية ما بين طريقة الاستغلال أو الاستكشاف و قيمته ما بين الصفر و الواحد. و يتم اختيار طريقة الاستغلال عندما يكون $q < q_0$ ، أما في غير هذا الشرط فانه يتم اختيار طريقة الاستكشاف. حيث q هو عبارة عن متغير عشوائي منتظم يتم توزيعه ما بين الصفر و الواحد.

تستمر هذه العملية حتى يتم زيارة كل الزبائن و حفظ أفضل مسار. و لكي يتم تحسين الحل فإن أثر الفيرمون (Pheromone) يتم تحديثه لمتابعة حركة النمل، هذا التحديث يتم محليا بعد أن يقوم كل النمل بإنشاء مساراته و يتم عن طريق تقليل كمية مادة الفيرمون (Pheromone) المترسب على كل المسارات التي تم زيارتها، و هو يحاكي عملية التبخير للفيرمون و يحسب عن طريق المعادلة التالية

$$\tau_{ij} = (1-\gamma)\tau_{ij} + \gamma\, \tau_0$$

حيث:

γ هي معدل التبخر و قيمتها $(0 \le \gamma \le 1)$. و τ_0 هي الكمية الابتدائية للفيرمون لكل المسارات.

أما التحديث الأخر فيتم بعد الحصول على أفضل مسار في كل تكرار و ذلك عن طريق زيادة كمية الفيرمون على ذلك المسار و يتم عن طريق العلاقة التالية:

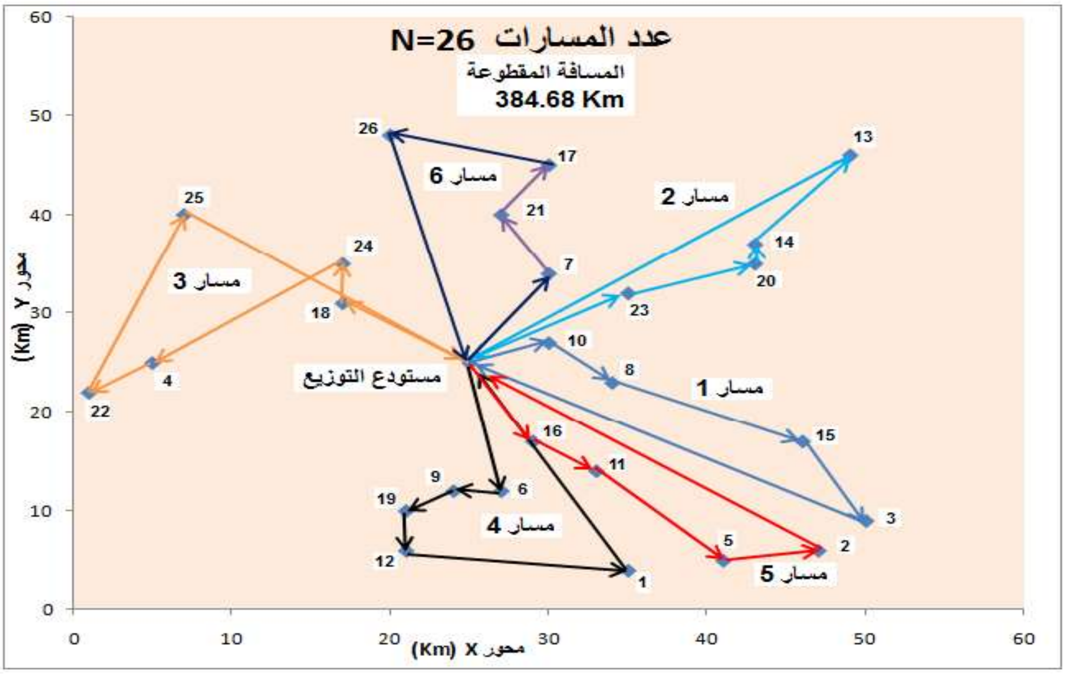
$$\tau_{ij} = (1-\gamma)\tau_{ij} + \gamma L^{-1}$$

حيث: L^{-1} هو مقدار افضل مسار تم حفظه. هذا التحديث يوجه بقية النمل لتتبع المسار الذي تم زيادة الفيرمون عليه مع احتمالية كبيرة ليكون هو الحل الأمثل.

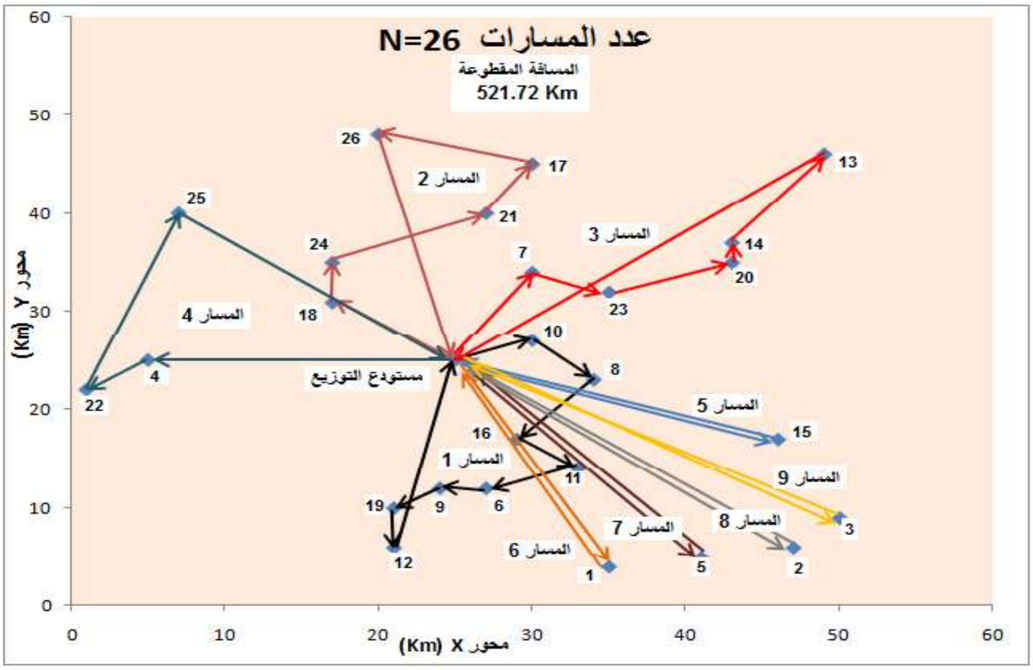
3. النتـائـج والمناقشة

تم تطبيق خوارزمية مستعمرة النمل لحل مسألة توجيه المركبة في برنامج الماتلاب (MATLAB)، البيانات التي تم استخدامها عبارة عن عينات مختلفة لمواقع (Locations) مجموعة من الزبائن تم توليدها بطريقة عشوائية في مساحة 50 Km و كان الهدف هو الوصول إلي اقل مسافة مقطوعة لمجموعة من العربات و كذلك تقليل عدد العربات المستخدمة و الذي بدوره سيقلل من تكلفة التوزيع مع وجود مجموعة من القيود كأقصى حمولة للعربة و أقصى مسافة تستطيع العربة قطعها. و لمقارنة النتائج المتحصل عليها تم استخدام خوارزمية الجار الأقرب و التي هي قريبة إلي حد ما لطريقة التوزيع الكلاسيكي حيث تتمثل خطواتها في أن العربة تخرج من مستودع التوزيع إلى اقرب زبون و منه إلى الزبون الأقرب حتى يكتمل كل الزبائن مع الأخذ في الاعتبار القيود السابق ذكرها. يوضح الشكل رقم (2) المسارات المتحصل عليها لمجموعة من الزبائن عددهم 26 زبون

باستخدام خوارزمية مستعمرة النمل، و تشير الأرقام إلي مواقع الزبائن و الأسهم إلي المسافات بين الزبائن مع بعض و مستودع التوزيع و الذي يرمز له بالرمز 0 . تم الحصول على 6 مسارات أي يمكن استخدام 6 عربات لكل عربة مسار و بمسافة كلية مقطوعة 384.68 Km ، بينما الشكل رقم (3) يبين المسارات المتحصل عليها من استخدام خوارزمية الجار الأقرب و كان عددها 9 مسارات و بمسافة كلية 521.72 Km .



شكل رقم (2): المسارات و المسافة الكلية المتحصل عليها من استخدام خوارزمية مستعمرة النمل



شكل رقم (3): المسارات و المسافة الكلية المتحصل عليها من استخدام خوارزمية الجار الأقرب

يبين الجدول رقم (1) النتائج المتحصل عليها لعدد 26 زبون و التي تبين الفرق بين الخوارزميتين، بينما الجدول رقم (2) يبين مقارنة بين الخوارزميتين من حيث عدد الزبائن، و المسافة المقطوعة و عدد العربات المستخدمة

الجدول رقم (1): النتائج المتحصل عليها لعدد 26 زبون

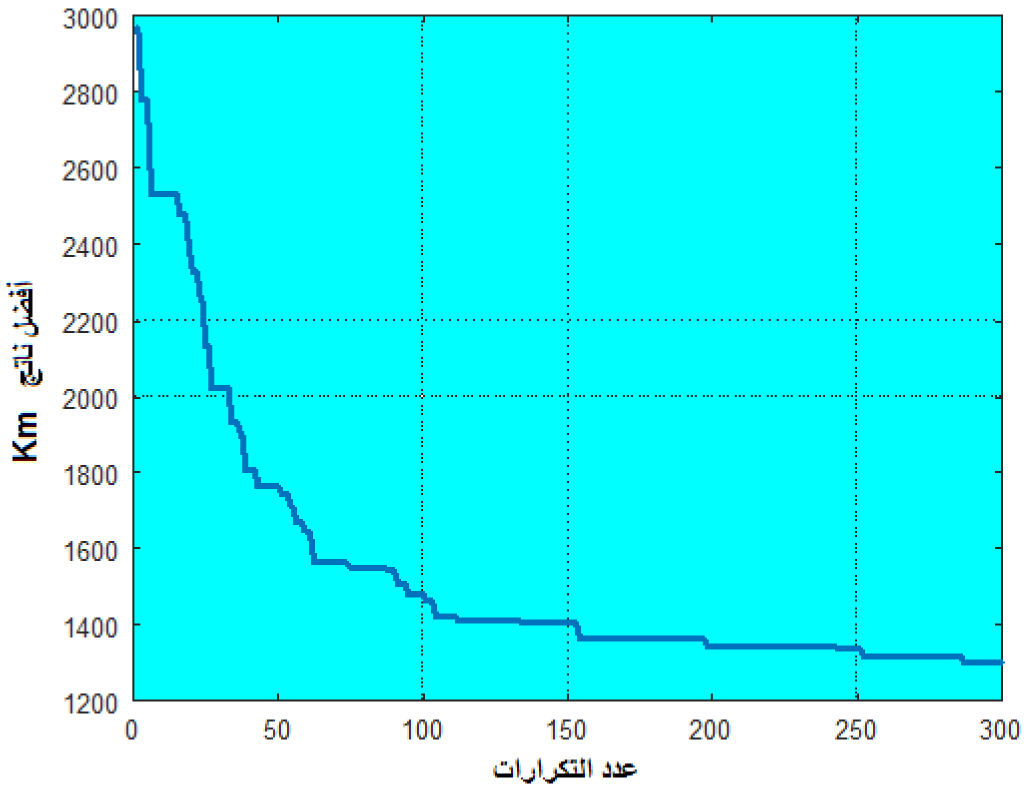
	خوارزمية مستعمرة النمل	خوارزمية الجار الأقرب
عدد العربات	6	9
المسافة الكلية المقطوعة (Km)	384.677	521.717
المسارات	0←3←15←8←10←0 0←13←14←20←23←0 0←25←22←4←24←18←0 0←1←12←19←9←6←0 0←2←5←11←16←0 0←26←17←21←7←0	0←12←19←9←6←11←16←8←10←0 0←26←17←21←24←18←0 0←13←14←20←23←7←0 0←25←22←4←0 0←15←0 0←1←0 0←5←0 0←2←0 0←3←0

الجدول رقم (2): مقارنة بين خوارزمية مستعمرة النمل و الجار الأقرب.

عدد الزبائن	**خوارزمية مستعمرة النمل**		**خوارزمية الجار الأقرب**	
	عدد العربات	المسافة المقطوعة Km	عدد العربات	المسافة المقطوعة Km
26	6	384068	9	521.72
50	9	593.26	15	805.37
80	13	860.99	18	976.67
120	19	1298.4	31	1594.6

من خلال النتائج المتحصل عليها و الموضحة في الأشكال (2،3) و الجداول (1،2) يتبين أن استخدام خوارزمية مستعمرة النمل في حل مسألة توجيه المركبة تعطي نتائج أفضل من استخدام خوارزمية الجار الأقرب من حيث تحديد أفضل المسارات و تقليل عدد العربات المستخدمة في التوزيع و كذلك المسافة الكلية المقطوعة بواسطة مجموع العربات. فالجدول (1) و الأشكال (2،3) تبين انه يمكن تقليل عدد العربات بنسبة 33 % عند استخدام خوارزمية مستعمرة النمل مقارنة بالجار الأقرب و كذلك بالنسبة للمسافة المقطوعة فإنه يمكن تقليلها بنسبة 26 % . في المقابل فإن خوارزمية مستعمرة النمل من الخوارزميات التكرارية و التي تعتمد على عدد معين من التكرارات حتى يتم الوصول إلي الحل الأمثل أو القريب من الأمثل، و يوضح الشكل (4) العلاقة بين أفضل حل و عدد التكرارات، حيث كان عدد التكرارات 300 تكرار و أفضل حل تم الحصول عليه هو

1298.4Km في زمن 10.63 دقيقة لعدد 120 زبون، و هذا الزمن يعتبر زمن جيد للوصول إلي الحل و سيزداد كلما زاد عدد الزبائن (حجم المشكلة) .



الشكل (4): العلاقة بين أفضل ناتج و عدد التكرارات لخوارزمية مستعمرة النمل لعدد 120 زبون

4. الاستنتاجات

مسألة توجيه العربة تم تمثيلها رياضياً و إيجاد حل لها باستخدام خوارزمية مستعمرة النمل، أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها بأن خوارزمية مستعمرة النمل أكثر كفاءة في حل مسألة توجيه العربة مقارنة بخوارزمية الجار الأقرب، فقد تم تقليل المسافة المقطوعة بواسطة العربات و كذلك عدد العربات و الذي بدوره سيقلل من تكلفة و زمن التوزيع. النتائج أظهرت أيضاً انه يمكن الوصول إلي حل قريب من الأمثل لعينات مختلفة في زمن مقبول

5. التوصيات

من خلال البحث في مسألة توجيه العربة و حلها يمكن الخروج بالتوصيات التالية:

1- تطبيق حل هذه المسالة على ارض الواقع في بلادنا في العديد من المجالات مثل توزيع المنتجات الغذائية من المستودعات الرئيسية إلي الفرعية أو من المستودعات الفرعية إلي الزبائن، و توزيع المنتجات البترولية و العديد من التطبيقات الأخرى سوف يقلل من تكلفة عملية التوزيع و يعود بالفائدة على العملية الاقتصادية.

2- تطبيق خوارزمية مستعمرة النمل على الأنواع الأخرى من مسائل توجيه العربة مثل: مسألة توجيه العربة مع وجود نوافذ زمنية، و مسألة توجيه العربة مع التجميع و التوزيع و التي لها تطبيقات عدة مثل نقل طلبة المدارس.

3- حل مسألة توجيه العربة باستخدام خوارزميات الذكاء الاصطناعي الأخرى و المستوحات من بعض الظواهر الطبيعية مثل الخوارزمية الهجينية (GA)، خوارزمية مستعمرة النحل (BCO) و خوارزمية سرب الطيور (PSO).

المراجـــــع

[1] Saeideh Dehghan Nasiri. VEHICLE ROUTING ON REAL ROAD NETWORKS. Ph.D. thesis, 2014, Chapter 1, pp. 1–22.

[2] C. Barnhart and G. Laporte (Eds.), *Handbook in OR & MS,* Elsevier, 2007, Chapter 6, pp. 367-428

[3] Stefan Ropke. Heuristic and exact algorithms for vehicle routing problems. Ph.D. thesis, 2006

[4] Geetha, S., P. Vanathi, and G. Poonthalir, Metaheuristic approach for the multi-depot vehicle routing problem. Applied Artificial Intelligence, 2012.

[5] Paolo Toth and Daniele Vigo, "The Vehicle Routing Problem", Society for Industrial & Applied Mathematices, Philadelphia, SIAM, 2002.

[6] Dorigo M. (1992). Optimization, Learning and Natural Algorithms. PhD thesis, Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Milano, Milan.

[7] Marco Dorigo; Luca Maria Gambardella. Ant colonies for the travelling salesman problem. Elsevier Science, Ireland. 1997, 43, 73–81.

[8] Mazzeo, S. and I. Loiseau, *An Ant Colony Algorithm for the Capacitated Vehicle Routing.* Electronic Notes in Discrete Mathematics, 2004. **18**: p. 181-186.

[9] Bell, J.E. and S.E. Griffis, *Swarm Intelligence: Application of the Ant Colony Optimization Algorithm to Logistics-Oriented Vehicle Routing Problems.* Journal of Business Logistics, 2010. **31**(2): p. 157-175.