

Dynamic Construction Site Layout Planning Optimization using Genetic Algorithms

Dr. Fayez Jrad*
Rahaf Darwish**

(Received 8 / 3 / 2023. Accepted 25 / 7 / 2023)

□ ABSTRACT □

Construction site layout planning is one of the basic planning tasks in engineering projects as it plays a major role in reducing project costs, and enhancing productivity and occupational safety on construction sites. Due to the complex nature of construction projects and the multiple factors involved in site layout planning, it was necessary to develop a framework capable of overcoming some of the shortcomings of existing site layout planning models and obtaining more efficient solutions in terms of meeting the physical and qualitative requirements for planning.

This research aims to develop a mathematical model for optimizing the multi-objective dynamic construction site layout planning using one of the approximate optimization techniques, which is genetic algorithms in order to generate optimum planning solutions during the construction phases of the project that achieves the various planning objectives of reducing costs and maximizing productivity and safety. The site layout planning problem has been formulated in the form of a mathematical model that represents the construction site area as a closed polygon, and then implement this model as a multi-objective genetic algorithm applied in MATLAB environment.

The results of testing the proposed site layout planning model on the case study, proved the efficiency of this model and its ability to generate optimum site planning solutions according to the imposed planning objectives and constraints. As it reduced the total cost of site layout planning while improving the productivity and safety of construction operations by (30.2%) compared to the actual planning used by site engineers.

Keywords: Projects management; Dynamic site layout planning; Multi-objective optimization; Genetic algorithms.

Copyright



:Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* Associate Professor – Engineering and Construction Management Department – Faculty of Civil Engineering – Tishreen University – Lattakia – Syria – email: favezalijrad@gmail.com.

** Postgraduate (Master) student – Engineering and Construction Management Department – Faculty of Civil Engineering – Tishreen University – Lattakia – Syria – email: rhfdrwysh@gmail.com.

أمثلة تخطيط موقع التشييد الديناميكي باستخدام الخوارزميات الجينية

د. فايز جراد*

رهف درويش**

(تاريخ الإيداع 8 / 3 / 2023. قُبِلَ للنشر في 25 / 7 / 2023)

□ ملخص □

يعد تخطيط موقع التشييد أحد مهام التخطيط الأساسية في المشاريع الهندسية كونه يلعب دوراً رئيسياً في تخفيض كلفة المشروع وتعزيز الإنتاجية والسلامة المهنية في مواقع التشييد. ونظراً للطبيعة المعقدة لمشاريع التشييد والعوامل المتعددة التي ينطوي عليها تخطيط الموقع، كان لا بد من تطوير إطار عمل قادر على التغلب على بعض أوجه القصور في نماذج تخطيط الموقع الحالية والحصول على حلول أكثر كفاءة من حيث تلبية المتطلبات المادية والنوعية للتخطيط. يهدف هذا البحث إلى تطوير نموذج رياضي لأمثلة تخطيط موقع التشييد الديناميكي متعدد الأهداف باستخدام إحدى تقنيات الأمثلة التقريبية وهي الخوارزميات الجينية بغية توليد حلول مثالية للتخطيط خلال مراحل تشييد المشروع، والتي تحقق أهداف التخطيط المختلفة من تقليل الكلفة وتعظيم الإنتاجية والسلامة. تمت صياغة مشكلة تخطيط الموقع على شكل نموذج رياضي يمثل منطقة موقع التشييد على شكل مضلع مغلق، ومن ثم تنفيذ هذا النموذج كخوارزمية جينية متعددة الأهداف مطبقة في بيئة MATLAB.

وأثبتت نتائج تجريب نموذج تخطيط الموقع المقترح على حالة دراسة كفاءة هذا النموذج وقدرته على توليد حلول مثالية لتخطيط الموقع وفقاً لأهداف وقيود التخطيط المفروضة، فقد قام بتقليل الكلفة الإجمالية لتخطيط الموقع مع تحسين إنتاجية عمليات التشييد وسلامتها بنسبة (30.2%) بالمقارنة مع التخطيط الفعلي المتبع من قبل مهندسي الموقع.

الكلمات المفتاحية: إدارة المشاريع، تخطيط الموقع الديناميكي، الأمثلة متعددة الأهداف، الخوارزميات الجينية.



حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص

CC BY-NC-SA 04

* أستاذ مساعد - قسم هندسة وإدارة التشييد - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية - عنوان البريد الإلكتروني:

fayezalijrad@gmail.com

** طالبة دراسات عليا - ماجستير - قسم هندسة وإدارة التشييد - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية - عنوان

البريد الإلكتروني: rhfdrywsh@gmail.com

مقدمة:

تواجه غالبية مشاريع التشييد خسارة في الإنتاجية وتأخيرات في الوقت وتجاوزات في التكاليف وحوادث السلامة، وخاصة في مواقع التشييد المزدحمة وغير المنظمة التي تحتوي على عقبات تؤثر على إنتاجية العمال وسلامتهم (Sadeghpour and Andayesh, 2015). فالتخطيط الجيد للموقع المتاح هو أحد أهم مهام إدارة المشروع الهندسي لما له من تأثير كبير على الإنتاجية والسلامة المهنية وكلفة المشروع من خلال تحقيق سهولة الوصول وأداء المهام المطلوبة أثناء التشييد. ويعد تخطيط الموقع عملية معقدة تتضمن تحديد المرافق المؤقتة الضرورية لدعم عمليات البناء وتوفير الخدمات للعمال في الموقع والتي تشمل طرق الوصول والمرور ومعدات البناء ومكاتب الموقع ومرافق الرعاية ومناطق التخزين وورش العمل وتجميع العناصر، بالإضافة إلى تحديد أحجام وأشكال هذه المرافق، وتحديد موقعها داخل حدود موقع التشييد.

الدراسات المرجعية

جذب تخطيط موقع التشييد اهتمام العديد من الباحثين خلال العقود الماضية، فقد أجريت بحوث واسعة في العديد من الجوانب المختلفة لتخطيط الموقع، وتم تقديم مجموعة متنوعة من نماذج الأمثلة (Optimization Models) لمعالجة هذه المشكلة، والتي تم حلها بواسطة طرق الأمثلة المتنوعة من التقنيات الدقيقة (الخوارزميات التقليدية) مثل البرمجة الخطية (Linear Programming) وغير الخطية (Non Linear Programming) والديناميكية (Dynamic Programming) أو التقنيات التقريبية (الخوارزميات التجريبية) مثل الخوارزميات الجينية (Genetic Algorithms) وتحسين مستعمرة النمل (Ant Colony Optimization) وتحسين سرب الجسيمات (Particle Swarm Optimization).

تتبع نماذج تخطيط الموقع المقدمة في الدراسات السابقة منهجين مختلفين، وهما تخطيط الموقع الثابت (Static Site Layout Planning) وتخطيط الموقع الديناميكي (Dynamic Site Layout Planning). يُطلق على تخطيط الموقع اسم ثابت عند استخدام مخطط واحد فقط للموقع عبر كامل مدة المشروع (Elbeltagi et al, 2004)، في حين يُعرف تخطيط الموقع الديناميكي بأنه إنشاء مخططات موقع تتغير بمرور الوقت مع تقدم عمليات التشييد (Zouein and Tommelien, 1999).

قام (Elbeltagi et al, 2004) بتطوير نموذج تخطيط موقع ديناميكي قائم على خوارزمية GA يأخذ في الاعتبار كلاً من الإنتاجية والسلامة من خلال تقليل مسافات السفر (Travelling Distances) في الموقع واستخدام أوزان علاقة القرب المخصصة للمرافق المؤقتة. كما قارن (Said and El-Rayes, 2013) بين أداء نموذجي أمثلة لتخطيط الموقع الديناميكي من حيث فعالية الوصول إلى الحلول المثلى وكفاءة تقليل الوقت الحسابي، وقد استخدمت خوارزمية GA في النموذج الأول والبرمجة الديناميكية التقريبية (Approximate Dynamic Programming) في النموذج الثاني. وبغية أمثلة تخطيط الموقع الثابت استخدم (Papadaki and Chassiako, 2016) خوارزمية GA في إيجاد المواقع المثلى للمرافق المؤقتة، والتي تقلل الكلفة الإجمالية للتخطيط إلى الحد الأدنى بالإضافة إلى أي مخاطر تتعلق بالسلامة على شكل قيود تقاس بالقرب أو البعد المفضل لمرفق ما عن المرافق الأخرى. في حين اعتمد (Bazaati, 2017) و (Benjaoran and Peansupap, 2019) خوارزمية PSO لتقليل مسافات السفر في الموقع. وعلى اعتبار أن نماذج نمذجة معلومات البناء (Building Information Modeling) تعد مصادر وفيرة للبيانات؛ اقترح (Tao et al, 2022) نموذج تخطيط موقع ديناميكي قائم على خوارزمية PSO يوفر الاستخراج

التقائي للبيانات من نماذج BIM لاستخدامها في نموذج الأمثلة، والذي يقلل إجمالي تكاليف نقل المرافق بالإضافة إلى تقليل مستوى التلوث الضوضائي. بينما طبقت (مكية، 2022) خوارزمية PSO في تحديد الموقع الأمثل للرافعة البرجية في مشاريع التشييد بغية تقليل زمن سفر الرافعة، والذي تم تكويده كتابع هدف بلغة الـ Python ضمن الـ Dynamo. وقد اقتصر تمثيل منطقة موقع التشييد في نماذج تخطيط الموقع المقدمة في الدراسات السابقة على الأشكال المستطيلة، وهذا ما يجعلها بعيدة عن الواقعية، ويقلل من قابليتها العملية للاستخدام. كما افترقت هذه الدراسات إلى تقديم نموذج تخطيط موقع شامل لجميع أهداف التخطيط. ومن هنا سوف يتم العمل في هذا البحث على التغلب على بعض أوجه القصور في نماذج تخطيط الموقع السابقة من خلال اقتراح نموذج رياضي (Mathematical Model) لأمثلة تخطيط موقع التشييد الديناميكي متعدد الأهداف (Multi-objective Dynamic Construction Site Layout Planning)، ومحاولة تطبيقه في مشاريع الأبنية مما يسهم في رفع كفاءة العمل وتخطي أحد الأسباب الهامة لمشكلة تأخر المشاريع والمشاكل الأخرى الناتجة عن غياب التخطيط الصحيح للموقع. ويعرض الجدول (1) مقارنة بين الدراسات السابقة والدراسة الحالية على أساس نهج التخطيط وهدف التخطيط وتابع الهدف وتقنية الأمثلة.

أهمية البحث وأهدافه:

يعتبر تخطيط موقع التشييد ركناً أساسياً لإدارة الموقع، وخاصة في المشاريع الكبيرة التي يتطلب العمل فيها تواجد عدد كبير من العمال والمعدات والآليات المعقدة والعديد من المقاولين الثانويين؛ فمن الممكن أن تتعرض إلى تجاوزات في الوقت والكلفة إذا لم يكن هناك منهجية فعالة ومنظمة لتخطيط الموقع. كما يختلف موقع التشييد من مشروع لآخر ولا يمكن تطبيق مخطط موحد لمواقع مختلفة، بالإضافة إلى صعوبة التخطيط في بعض المواقع. لذلك يسعى هذا البحث إلى تطوير نموذج رياضي لأمثلة تخطيط موقع التشييد الديناميكي متعدد الأهداف باستخدام الخوارزميات الجينية بغية تحديد المواقع المثلى لمرافق الموقع المؤقتة في كل مرحلة من مراحل التشييد، والتي تقلل من الكلفة الإجمالية لإعادة تنظيم الموقع خلال مراحل التشييد المختلفة بالإضافة إلى تعظيم الإنتاجية والسلامة من خلال الحصول على أفضل علاقات جوار بين مرافق الموقع.

طرائق البحث ومواده:

يتبع هذا البحث المنهج التحليلي، ويتم الاعتماد فيه على العديد من الدراسات السابقة التي تناولت موضوع أمثلة تخطيط موقع التشييد بما في ذلك المراجع التي اعتمدت تقنية الخوارزميات الجينية في أمثلة التخطيط، وذلك بغية تحديد الأهداف والقيود التي يتطلبها التخطيط الفعال للموقع.

الجدول (1) مقارنة بين الدراسات السابقة والدراسة الحالية

تقنية الأمثلة	تابع الهدف	هدف التخطيط	نهج التخطيط	الدراسة
GA	مفرد تقليل درجات القرب بين المرافق	الإنتاجية والسلامة	ديناميكي	Elbeltagi et al, 2004
ADP+GA	مفرد تقليل كلفة نقل المرافق وتدفق المواد	الكلفة والسلامة (على شكل قيود)	ديناميكي	Said & El-Rayes, 2013

Papadaki & Chassiako, 2016	ثابت	الكلفة والسلامة (على شكل قيود)	مفرد تقليل كلفة إعداد المرافق وتدفق الموارد	GA
Bazaati, 2017	ثابت	الإنتاجية	مفرد تقليل مسافة السفر للموارد	PSO
Benjaoran & Peansupap, 2019	ثابت	الإنتاجية	مفرد تقليل مسافة السفر للعمال	PSO
Tao et al, 2022	ديناميكي	الكلفة والسلامة	متعدد تقليل كلفة نقل المرافق تقليل مستوى التلوث الضوضائي	PSO
مكية، 2022	ثابت	الإنتاجية	مفرد تقليل زمن سفر الرافعة	PSO
الدراسة الحالية	ديناميكي	الكلفة والإنتاجية والسلامة	متعدد تقليل كلفة نقل المرافق تقليل درجات القرب بين المرافق	GA

كما سيتم بناء نموذج رياضي لأمثلة تخطيط الموقع من أجل الوصول إلى المواقع المثلى لمرافق الموقع المؤقتة في كل مرحلة من مراحل التشييد، ومن ثم تنفيذ هذا النموذج بالاستعانة بإحدى تقنيات الأمثلة التقريبية وهي الخوارزميات الجينية المستوحاة من التطور الطبيعي وعلم الوراثة، والتي تحاكي تكاثر الكائنات الحية وتعتمد مبدأ داروين في الاصطفاء لإيجاد الحل الأمثل؛ حيث سيتم استخدام بيئة MATLAB لتعريف وكتابة كل من النموذج الرياضي والخوارزمية الجينية المطبقة لحل مسألة الأمثلة. وللتأكد من كفاءة وفعالية النموذج المطور في توليد حلول مثالية لتخطيط الموقع في مشاريع الأبنية سوف تتم تجربته على حالة دراسة لمشروع محطة الرستين لتوليد الكهرباء في محافظة اللاذقية، بالإضافة إلى مقارنة النتائج التي سيتم الحصول عليها مع التخطيط الفعلي المتبع من قبل مهندسي الموقع.

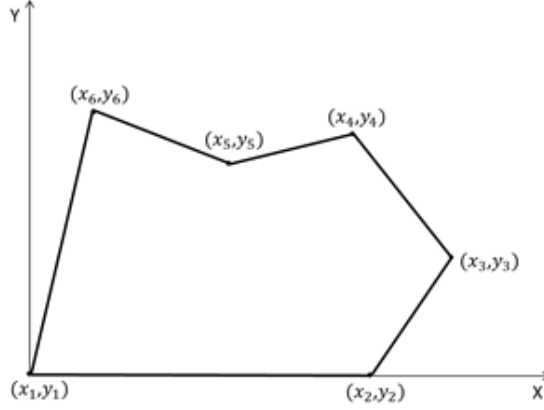
بناء النموذج الرياضي المقترح لأمثلة تخطيط الموقع

تتعلق صياغة مشكلة تخطيط موقع التشييد كمسألة رياضية بوضع مجموعة من المرافق المؤقتة في مواقع معينة داخل حدود الموقع مع تلبية أهداف وقيود التخطيط (Benjaoran and Peansupap, 2019). وتشمل المكونات الرئيسية لنموذج تخطيط الموقع المقترح ما يلي:

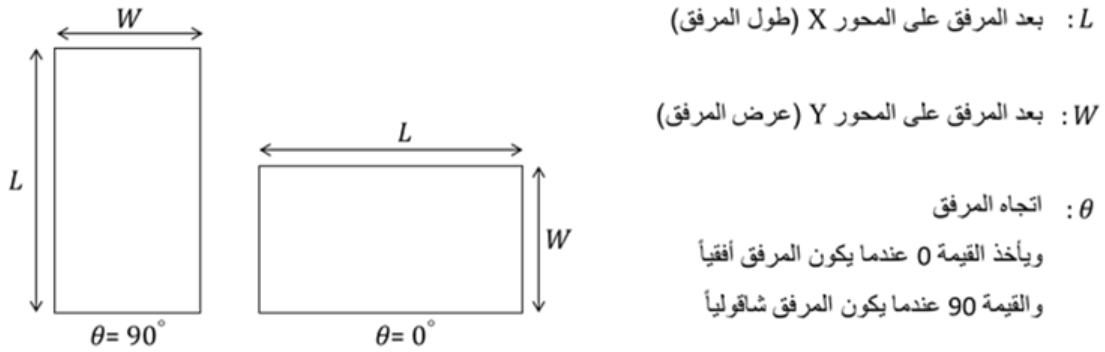
1 - افتراضات النمذجة: تتم نمذجة منطقة موقع التشييد كمساحة مستمرة تأخذ شكل مضلع مغلق عدد رؤوسه وإحداثياتها معلومة مسبقاً كما في الشكل (1)، ويتم تقسيم منطقة الموقع إلى شبكة من المواقع المتاحة والتي يعتمد عددها على خطوة الشبكة المحددة من قبل المخطط. وكذلك تمثل مرافق الموقع كمستطيلات بأبعاد محددة مسبقاً وثابتة كما في الشكل (2)، في حين يحدد موقع المرفق بإحداثيات مركز ثقله (x, y) واتجاهه (أفقي أو شاقولي). وتصنف مرافق الموقع إلى ثلاثة أنواع وهي:

- المرافق الدائمة (Permanent Facilities): تشمل المرافق التي لها مواقع محددة مسبقاً وثابتة خلال مراحل التشييد (مثل المباني قيد الإنشاء).

- المرافق الثابتة (Stationary Facilities): هي مرافق مؤقتة لها مواقع ثابتة طوال مدة المشروع كون نقلها يتطلب وقتاً وجهداً كبيرين وكلفة باهظة (مثل الروافع البرجية والمجاول البيتونية).
- المرافق المتحركة (Moveable Facilities): تمثل المرافق المؤقتة التي لها مواقع متغيرة خلال مراحل التشييد حيث يمكن نقلها من موقعها بتكاليف نقل إضافية (مثل مكاتب الموقع ومناطق التخزين).



الشكل (1) تمثيل الموقع في النموذج المقترح



الشكل (2) تمثيل المرافق في النموذج المقترح

2 - متغيرات القرار: تعبر متغيرات القرار عن المواقع المثلى للمرافق المؤقتة في كل مرحلة من مراحل التشييد، والممثلة بإحداثيات مركز ثقلها (x, y) واتجاهها $(0^\circ$ أو $90^\circ)$.

3 - أهداف الأمثلة: يتضمن نموذج تخطيط الموقع تابعي هدف وهما:

a. تقليل الكلفة الإجمالية لنقل المرافق المتحركة (Relocation Cost): تحسب هذه الكلفة للمرفق المتحرك في حال تغير موقعه السابق إلى موقع جديد كما في العلاقة التالية (Said and El-Rayes, 2013):

$$\text{Min: RC} = \sum_{t=2}^{T_{total}} \sum_{m=1}^{MF_t} E_{m,t-1} * \begin{cases} 0 : D_{m,\Delta t} = 0 \text{ and } \theta_{m,t-1} = \theta_{m,t} \\ FRC_m + VRC_m * D_{m,\Delta t} : \text{otherwise} \dots \end{cases} \quad (1)$$

b. تقليل مجموع درجات القرب بين المرافق (Closeness Degrees): يتم تحديد درجات القرب بناءً على تصنيفات القرب النوعية المتضمنة ستة مستويات مختلفة من علاقات القرب المرغوبة بين مرافق الموقع، والتي يتم التعبير عنها بمقياس كمي من خلال إعطائها أوزان عددية بما يتوافق مع القيم الموجودة في الجدول (2). ويتم حساب مجموع هذه الدرجات كما في العلاقة التالية (Elbeltagi et al, 2004):

$$\text{Min: CD} = \sum_{t=1}^{T_{total}} \sum_{i=1}^{F_t-1} \sum_{j=i+1}^{F_t} D_{i,j,t} * CW_{i,j,t} \dots \dots \dots (2)$$

الجدول (2) قيم أوزان القرب بين المرافق (Elbeltagi and Hegazy, 2001)

وزن القرب	تصنيف القرب
$6^5 = 7776$	ضروري جداً (Absolutely necessary)
$6^4 = 1296$	أهمية خاصة (Important Especially)
$6^3 = 216$	مهم (Important)
$6^2 = 36$	قرب عادي (Ordinary closeness)
$6^1 = 6$	غير مهم (Unimportant)
$6^0 = 1$	غير مرغوب (Undesirable)

حيث أن:

$Ttotal$: عدد مراحل التشييد.

MF_t : عدد المرافق المتحركة الموجودة في المرحلة t .

F_t : عدد مرافق الموقع الموجودة في المرحلة t .

$CW_{i,j,t}$: وزن القرب بين المرفقين i, j في المرحلة t ، وهو يعبر عن علاقة القرب المطلوبة بينهما.

$E_{m,t-1}$: معامل وجود المرفق المتحرك m في المرحلة $t-1$ ، ويأخذ القيمة 0 في حال عدم وجوده والقيمة 1 في حال وجوده.

FRC_m : الكلفة الثابتة لنقل المرفق المتحرك m ، وتعتبر عن كلفة فك وتركيب المرفق (S.P).

VRC_m : الكلفة المتغيرة لنقل المرفق المتحرك m ، وتعتبر عن كلفة نقل المرفق من موقعه في المرحلة السابقة إلى موقعه الجديد في المرحلة الحالية (S.P / m).

$D_{m,\Delta t}$: المسافة بين موقع المرفق المتحرك m في المرحلة $t-1$ وموقعه الجديد في المرحلة t ، وتعطى بالعلاقة التالية (Bazaati, 2017):

$$D_{m,\Delta t} = \sqrt{(x_{m,t-1} - x_{m,t})^2 + (y_{m,t-1} - y_{m,t})^2} \dots (3)$$

$D_{i,j,t}$: المسافة بين موقعي المرفقين i, j في المرحلة t ، وتعطى بالعلاقة التالية (Bazaati, 2017):

$$D_{i,j,t} = \sqrt{(x_{i,t} - x_{j,t})^2 + (y_{i,t} - y_{j,t})^2} \dots (4)$$

إحداثيات موقع المرفق المتحرك m في المرحلتين $t-1, t$ على التوالي: $x_{m,t-1}, y_{m,t-1}, x_{m,t}, y_{m,t}$.
إحداثيات موقع المرفقين i, j في المرحلة t : $x_{i,t}, y_{i,t}, x_{j,t}, y_{j,t}$.

$\theta_{m,t-1}, \theta_{m,t}$: اتجاه المرفق المتحرك m في المرحلتين $t-1, t$ على التوالي (0° أو 90°).

4 - قيود التخطيط: يأخذ نموذج تخطيط الموقع في الاعتبار مجموعة من القيود الهندسية اللازمة لتلبية متطلبات التشغيل والسلامة في الموقع، ويتم توضيح هذه القيود بشكل تخطيطي في الشكل (3) وهي:

1. قيد الحدود (Boundary Constraint): توضع جميع المرافق المؤقتة داخل حدود الموقع، ويتم استيفاء هذا القيد لكل مرفق مؤقت i عند تحقيق ثلاثة اختبارات معاً وفق الترتيب التالي:

❖ الاختبار الأول: يجب أن يكون المرفق المؤقت داخل حدود المستطيل الخارجي المغلف لمنطقة الموقع، ويتم اجتياز هذا الاختبار عند تحقيق الشرطين التاليين معاً:

$$|X_{site} - x_{i,t}| \leq \frac{1}{2}(L_{site} - L_i \cdot \cos \theta_{i,t} - W_i \cdot \sin \theta_{i,t}) \dots (5)$$

$$|Y_{site} - y_{i,t}| \leq \frac{1}{2}(W_{site} - W_i \cdot \cos \theta_{i,t} - L_i \cdot \sin \theta_{i,t}) \dots (6)$$

حيث أن:

X_{site}, Y_{site} : إحداثيات مركز ثقل موقع التشييد (m).

L_{site}, W_{site} : بعد موقع التشييد على المحورين X, Y على التوالي (m).

L_i, W_i : بعد المرفق i على المحورين X, Y على التوالي (m).

$x_{i,t}, y_{i,t}$: إحداثيات موقع المرفق i في المرحلة t .

$\theta_{i,t}$: اتجاه المرفق i في المرحلة t (0° أو 90°).

❖ الاختبار الثاني: عدم وجود نقاط تقاطع بين الحدود الأربعة للمرفق المؤقت وأي حد من حدود الموقع.

❖ الاختبار الثالث: يجب أن يكون المرفق المؤقت خارج حدود المنطقة المحصورة بين المستطيل الخارجي المغلف وحدود الموقع، ويتم اجتياز هذا الاختبار عندما لا تنتمي النقطة الممثلة لموقع المرفق لهذه المساحة.

2. قيد التداخل (Overlap Constraint): عدم تداخل المرافق المؤقتة مع بعضها ومع المرافق الدائمة، ويتم

استيفاء هذا القيد لكل زوج من المرافق i, j عند تحقيق شرط واحد على الأقل من الشرطين التاليين (Said and El-

Rayes, 2013):

$$|x_{i,t} - x_{j,t}| \geq \frac{1}{2}(L_i \cdot \cos \theta_{i,t} + W_i \cdot \sin \theta_{i,t} + L_j \cdot \cos \theta_{j,t} + W_j \cdot \sin \theta_{j,t}) + LD_{i,j} \dots (7)$$

$$|y_{i,t} - y_{j,t}| \geq \frac{1}{2}(W_i \cdot \cos \theta_{i,t} + L_i \cdot \sin \theta_{i,t} + W_j \cdot \cos \theta_{j,t} + L_j \cdot \sin \theta_{j,t}) + LD_{i,j} \dots (8)$$

حيث أن:

L_j, W_j : بعد المرفق j على المحورين X, Y على التوالي (m).

$x_{j,t}, y_{j,t}$: إحداثيات موقع المرفق j في المرحلة t .

$\theta_{j,t}$: اتجاه المرفق j في المرحلة t (0° أو 90°).

$LD_{i,j}$: المسافة الدنيا المطلوبة بين المرفقين i, j (m).

3. قيد المسافة العظمى (Max Distance Constraint): وصول ذراع الرافعة البرجية إلى جميع نقاط الإمداد

والتفريغ، وهذا يتطلب ألا تتجاوز المسافة بين موقعي الرافعة ومرافق تشغيلها z طول ذراع الرافعة، ويتم استيفاء هذا القيد

عند تحقيق الشرطين التاليين معاً:

$$|Xr_t - x_{j,t}| \leq R - \frac{1}{2}(L_j \cdot \cos \theta_{j,t} + W_j \cdot \sin \theta_{j,t}) \dots (9)$$

$$|Yr_t - y_{j,t}| \leq R - \frac{1}{2}(W_j \cdot \cos \theta_{j,t} + L_j \cdot \sin \theta_{j,t}) \dots (10)$$

حيث أن:

Xr_t, Yr_t : إحداثيات موقع الرافعة البرجية في المرحلة t .

R : طول ذراع الرافعة البرجية (m).

4. قيد المسافة الدنيا (Min Distance constraint): توضع مكاتب الموقع ومرافق الرعاية خارج منطقة تحليق

الرافعة البرجية، وهذا يتطلب ألا تقل المسافة بين موقعي الرافعة والمرافق المؤقتة الاجتماعية والصحية z عن طول ذراع

الرافعة، ويتم استيفاء هذا القيد عند تحقيق شرط واحد على الأقل من الشرطين التاليين:

$$|Xr_t - x_{j,t}| \geq R + \frac{1}{2}(L_j \cdot \cos \theta_{j,t} + W_j \cdot \sin \theta_{j,t}) \dots (11)$$

$$|Yr_t - y_{j,t}| \geq R + \frac{1}{2}(W_j \cdot \cos \theta_{j,t} + L_j \cdot \sin \theta_{j,t}) \dots (12)$$

بالإضافة إلى توفير مناطق أمان حول المرافق الخطرة كالمباني قيد الإنشاء والرافعة البرجية، وهذا يتطلب ألا تقل المسافة بين موقعي المرافق الخطرة i والمرافق الأخرى j عن حد معين، ويتم استيفاء هذا القيد عند تحقيق شرط واحد على الأقل من الشرطين التاليين (Said and El-Rayes, 2013):

$$|x_{i,t} - x_{j,t}| \geq \frac{1}{2}(L_i \cdot \cos \theta_{i,t} + W_i \cdot \sin \theta_{i,t} + L_j \cdot \cos \theta_{j,t} + W_j \cdot \sin \theta_{j,t}) + SD_{i,j} \dots (13)$$

$$|y_{i,t} - y_{j,t}| \geq \frac{1}{2}(W_i \cdot \cos \theta_{i,t} + L_i \cdot \sin \theta_{i,t} + W_j \cdot \cos \theta_{j,t} + L_j \cdot \sin \theta_{j,t}) + SD_{i,j} \dots (14)$$

حيث أن:

$SD_{i,j}$: مسافة الأمان بين المرفقين i, j (m).

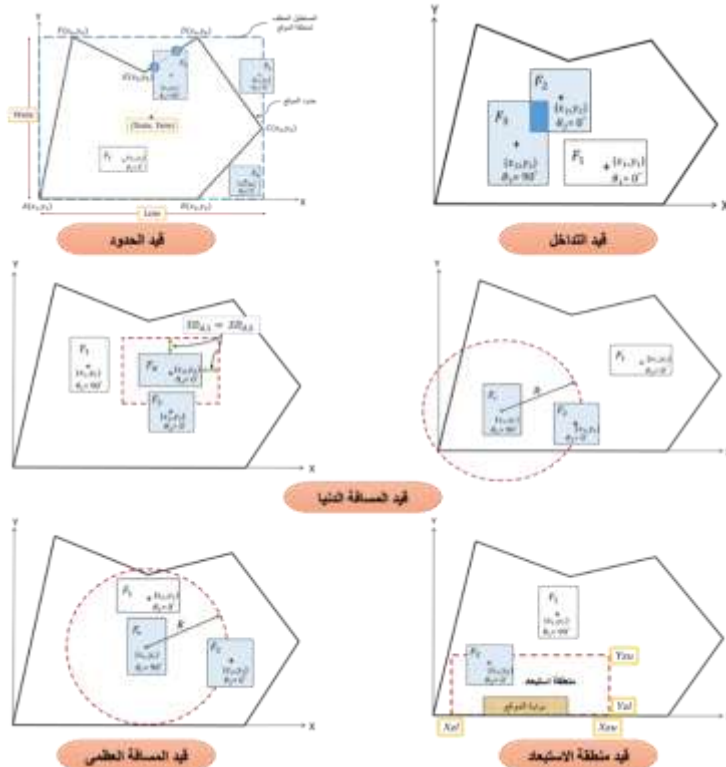
5. قيد منطقة الاستبعاد (Exclusion Zone Constraint): فرض منطقة حظر حول منطقة محددة من الموقع لمنع وضع أي مرفق مؤقت داخل هذه المنطقة، ويتم استيفاء هذا القيد لكل مرفق مؤقت i عند تحقيق شرط واحد على الأقل من الشرطين التاليين (Said and El-Rayes, 2013):

$$\left| x_{i,t} - \frac{Xzu+Xzl}{2} \right| \geq \frac{1}{2}(L_i \cdot \cos \theta_{i,t} + W_i \cdot \sin \theta_{i,t} + Xzu - Xzl) \dots (15)$$

$$\left| y_{i,t} - \frac{Yzu+Yzl}{2} \right| \geq \frac{1}{2}(W_i \cdot \cos \theta_{i,t} + L_i \cdot \sin \theta_{i,t} + Yzu - Yzl) \dots (16)$$

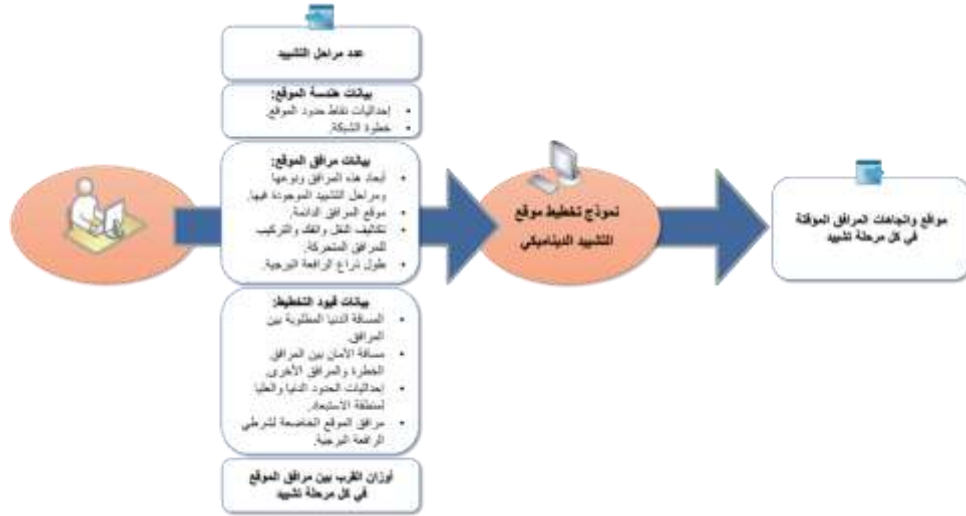
حيث أن:

Xzl, Xzu, Yzl, Yzu : إحداثيات الحدود الدنيا والعليا لمنطقة الاستبعاد (m).



الشكل (3) قيود التخطيط في النموذج المقترح

ويستعرض الشكل (4) بيانات الإدخال والإخراج الخاصة بنموذج تخطيط الموقع المقترح.



الشكل (4) بيانات الإدخال والإخراج في النموذج المقترح

تنفيذ النموذج الرياضي باستخدام الخوارزميات الجينية

نظراً للعدد الكبير من المتغيرات وفضاء البحث الواسع من الحلول، سيتم تنفيذ النموذج الرياضي المقدم لأمتثلة تخطيط الموقع كخوارزمية جينية متعددة الأهداف مطبقة في بيئة MATLAB وفق الخطوات التالية:

1 - توليد المجتمع الأولي $G_{p=1}$: تبدأ الخوارزمية الجينية بتوليد المجتمع الأولي (Initial Population) بشكل عشوائي، وهو عبارة عن مجموعة من الحلول الابتدائية الملائمة للمسألة المدروسة $[S_1, S_2, \dots, S_N]$ ، والتي تعبر عن مخططات الموقع المقترحة لكل مرحلة من مراحل التشييد. ويتم تمثيل كل حل على شكل سلسلة متعاقبة من الجينات الوراثية (Genes) طولها يساوي عدد المرافق المؤقتة كما في الشكل (5)، حيث تعبر هذه الجينات عن مواقع واتجاهات المرافق.

2 - تقييم الكفاءة للمجتمع الأولي $G_{p=1}$: تقوم الخوارزمية الجينية بتقييم الكفاءة لكل حل S_i في المجتمع الأولي وفقاً لتابعي الهدف والملاءمة (Objective and Fitness Functions) وقيود الأمثلة (Optimization Constraints)، وذلك بغية تحديد مقدار بعده عن الحل الأمثل الذي نبحث عنه ومدى صلاحيته في الانتقال للجيل التالي (Next Generation). ويتم تعريف تابعي الهدف والملاءمة كما في العلاقاتين التاليتين (Ning et al, 2010):

$$F = w_1 \cdot RC + w_2 \cdot CD \dots \dots (17)$$

$$f_i = \frac{1}{F_i} \dots \dots \dots (18)$$

حيث أن:

F : تابع الهدف.

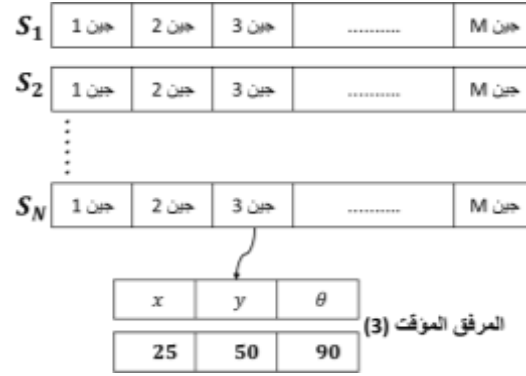
RC : الكلفة الإجمالية لنقل المرافق المتحركة.

CD : مجموع درجات القرب بين المرافق.

w_1, w_2 : وزن تابعي الهدف RC, CD على التوالي، ونظراً لتساويهما في الأهمية تم اعتبار $(w_1 = w_2 = 1)$.

f_i : قيمة الملاءمة للحل i .

F_i : قيمة الحل i حسب تابع الهدف.



الشكل (5) تمثيل مجتمع البحث في الخوارزمية الجينية المطبقة

3 - توليد المجتمع الجديد G_{p+1} : تقوم الخوارزمية الجينية بإنتاج سلسلة من الأجيال الجديدة من خلال تطبيق مجموعة من العمليات الرياضية المستنبطة من العمليات البيولوجية على الحلول الموجودة في المجتمع الحالي G_p ، ومن ثم تقييم الكفاءة لكل حل S_i في المجتمع الجديد G_{p+1} كما في الخطوة (2). وتتضمن عمليات الخوارزمية الجينية ما يلي:

- اختيار (Selection) الحلول الأكثر ملاءمة للمشاركة في إنتاج الأجيال الجديدة وفقاً لنسبة العبور (Percent of Crossover).

- إجراء العبور (Crossover) بين هذه الحلول لتوليد الحلول الجديدة والتي تدعى الأبناء (Children).
- إجراء الطفرة (Mutation) لعدد من الأبناء الناتجة من عملية العبور، والتي يتم تحديد عددها وفقاً لنسبة الطفرة (Percent of Mutation).

4 - إعادة الخطوة (3) عبر الأجيال ($p: 1 \rightarrow Q$): تقوم الخوارزمية الجينية بتكرار الخطوة (3) حتى يتم تحقيق معيار التوقف (Stopping Criteria) المتضمن توقف GA عن العمل في حال لم يطرأ أي تحسين للمجتمع G_{p+1} بعد هذا العدد المحدد من الأجيال.

ويستعرض الشكل (6) المخطط التدفقي لهذه الخوارزمية والذي يوضح خطوات عملها، حيث أن: N : حجم المجتمع.

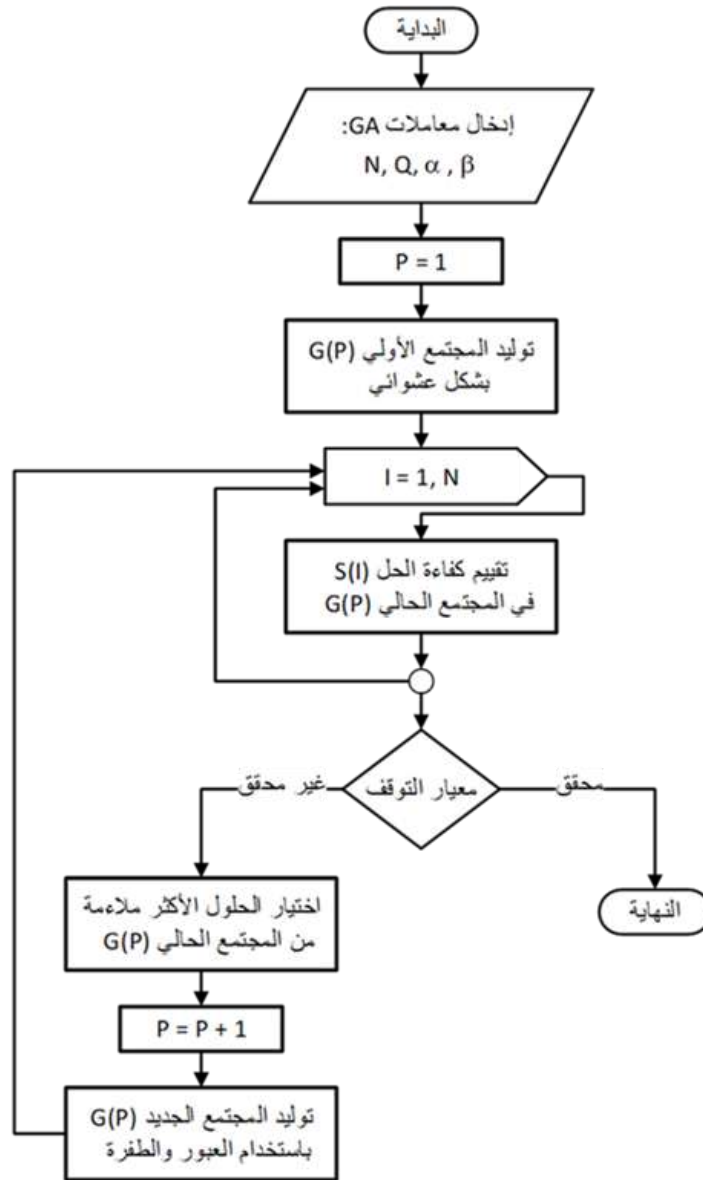
Q : عدد الأجيال.

α : نسبة العبور.

β : نسبة الطفرة.

$G(P)$: المجتمع P .

$S(I)$: الحل I .

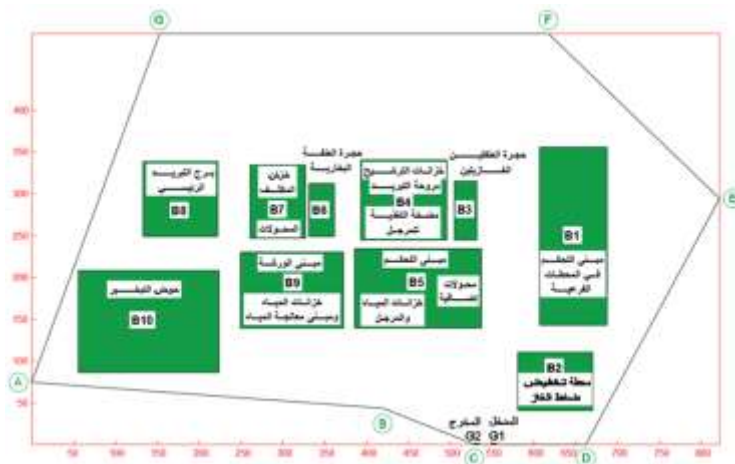


الشكل (6) المخطط التدفقي للخوارزمية الجينية المطبقة

حالة الدراسة

للتأكد من كفاءة وفعالية النموذج المطور في تخطيط موقع التشييد على النحو الأمثل، وبالشكل الذي يعطي أقل كلفة إجمالية لإعادة تنظيم الموقع خلال مراحل التشييد المختلفة وأفضل علاقات جوار بين مرافق الموقع مع الامتثال لقيود التشغيل والسلامة التي يتطلبها تخطيط الموقع، ستتم تجربته على حالة دراسة لمشروع محطة الرستين لتوليد الكهرباء الواقع بالقرب من سد 16 تشرين في محافظة اللاذقية. يتضمن هذا المشروع تشييد المحطات المرافقة لخط الغاز مع المجموعتين الغازيتين وملحقاتهما، وتنفيذ المجموعة البخارية وملحقاتها، ويوضح الشكل (7) هندسة موقع التشييد بما في ذلك حدود الموقع وأبعاد ومواقع بوابتي الدخول والخروج ومباني المحطة قيد الإنشاء. وتتطلب عمليات التشييد استخدام مجموعة من المرافق المؤقتة وهي رافعة برجية بطول ذراع (50 m)، ومجبل بيتوني، وعدد من المكاتب الإدارية، ومرافق الرعاية الصحية كمطعم ونقطة إسعافات أولية، ومختبر لتجريب المواد، ومناطق التخزين كمستودع

لتخزين التجهيزات والمعدات الخاصة بتشغيل المحطة ومخازن الحديد، وساحات لتصنيع المواد وتجميعها كساحات تصنيع الحديد.



الشكل (7) موقع التشييد في مشروع محطة الرستين

ويطلب تنفيذ عملية الأمثلة توفير بيانات الإدخال الواردة أدناه:

1. عدد مراحل تشييد المشروع وهي مرحلتان.
2. البيانات الخاصة بهندسة موقع التشييد، والمتضمنة إحداثيات نقاط حدود الموقع الواردة في الجدول (3)، وخطوة الشبكة المحددة من قبل المخطط والتي تبلغ قيمتها في هذا المشروع (10 m). وكذلك أبعاد ومواقع ومراحل التشييد الخاصة بالمرافق الدائمة الواردة في الجدول (4).

الجدول (3) إحداثيات نقاط حدود الموقع في مشروع محطة الرستين

G	F	E	D	C	B	A	
153	617	821	662	529	419	0	X
491	491	294	0	0	44	74	Y

الجدول (4) مرافق الموقع الدائمة في مشروع محطة الرستين

الرمز	الأبعاد		موقع المرفق			مراحل التشييد	
	L	W	X	Y	θ	1	2
B ₁	213	81	647	250	90	✓	✓
B ₂	89	70	625	76	0	✓	✓
B ₃	70	27	518	280	90	✓	✓
B ₄	103	96	444	293	0	✓	✓
B ₅	151	95	462	187	0	✓	✓
B ₆	63	30	347	280	90	✓	×
B ₇	88	66	294	291	90	✓	×

✓	✗	0	294	178	90	90	B_8
✓	✗	0	185	311	123	91	B_9
✓	✗	0	147	140	168	122	B_{10}
✓	✓	0	1	552	6	2	G_1
✓	✓	0	1	532	6	2	G_2

3. البيانات الخاصة بالمرافق المؤقتة، والمتضمنة أبعاد هذه المرافق ونوعها ومراحل التشييد الموجودة فيها وتكاليف النقل والفك والتركيب للمرافق المتحركة الواردة في الجدول (5).

4. البيانات الخاصة بقيود التخطيط، والمتضمنة المسافة الدنيا المطلوبة بين المرافق (1 m)، ومسافة الأمان بين المرافق الخطرة (المباني قيد الإنشاء والرافعة البرجية) والمرافق المؤقتة الأخرى (4 m)، وإحداثيات الحدود الدنيا والعليا لمنطقة الاستبعاد الموجودة حول بوابتي الموقع وهي ($Xzl= 509$, $Xzu= 575$, $Yzl= 0$, $Yzu= 20$)، والمرافق الخاضعة لشروطي الرافعة البرجية وهي المرافق الموجودة ضمن نطاق تحليق الرافعة ($B_3-B_6-S_2-F_2$) والمرافق الموجودة خارج نطاق تحليقها ($A_1-A_2-C_1-C_2 - ML - W$).

5. أوزان القرب بين أزواج المرافق في الموقع خلال مرحلتي التشييد، والتي تم الحصول عليها بناءً على تصنيفات القرب النوعية فيما بينها الناتجة عن طريقة التخطيط المنهجي، وذلك من خلال إعطائها أوزان عديدة بما يتوافق مع القيم الموجودة في الجدول (2). ويبين الشكل (8) مخطط العلاقات الشامل بين المرافق في المرحلة الأولى، في حين يظهر الشكل (9) مخطط أوزان القرب لها.

الجدول (5) مرافق الموقع المؤقتة في مشروع محطة الرستين

الرمز	الاسم	الأبعاد		نوع المرفق	مراحل التشييد		كلفة النقل
		L	W		2	1	(10^5 S.P/m)
							كلفة الفك والتركيب (S.P)
TC	رافعة برجية	8	8	متحرك	✓	✓	$1.5 * 10^6$
MX	مجبلى	40	20	ثابت	✓	✓	—
A_1	مكاتب (1)	130	16	متحرك	✓	✓	$2.5 * 10^6$
A_2	مكاتب (2)	57	15	متحرك	✓	✓	$2.5 * 10^6$
C_1	مطعم	25	12	متحرك	✓	✓	10^6
C_2	نقطة إسعافات أولية	13	10	متحرك	✓	✓	10^6
ML	مختبر المواد	27	27	متحرك	✓	✓	$1.5 * 10^6$
W	مستودع	45	24	متحرك	✓	✓	$2 * 10^6$
S_1	مخزن حديد (1)	20	10	متحرك	✗	✓	$2 * 10^6$
S_2	مخزن حديد (2)	20	15	متحرك	✗	✓	$2 * 10^6$

$2*10^6$	✓	✗	متحرك	40	25	مخزن حديد (3)	S_3
$2*10^6$	✓	✗	متحرك	50	30	مخزن حديد (4)	S_4
0	✗	✓	متحرك	20	12	ساحة تصنيع حديد (1)	F_1
0	✓	✓	متحرك	22	15	ساحة تصنيع حديد (2)	F_2
0	✓	✗	متحرك	40	15	ساحة تصنيع حديد (3)	F_3
0	✓	✗	متحرك	40	20	ساحة تصنيع حديد (4)	F_4

	G	B	F	S	W	ML	C	A	MX	TC
TC	X	E	O	O	O	X	X	X	U	
MX	X	O	U	E	E	E	U	O		
A	E	U	O	E	E	O	E			
C	E	U	O	O	O	O				
ML	O	U	U	E	E					
W	O	O	O	E						
S	O	O	O							
F	X	E								
B	—									
G										

الشكل (8) مخطط العلاقات الشامل بين المرافق في المرحلة الأولى لتشييد مشروع محطة الرستين

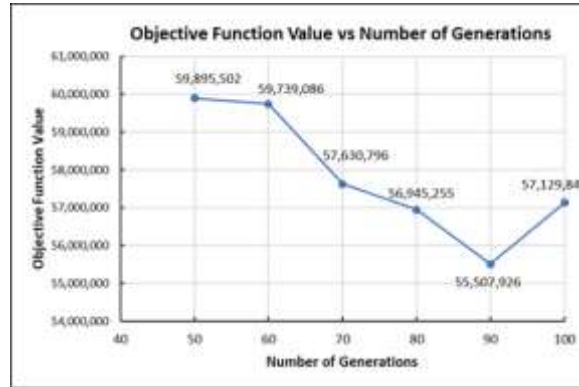
	G	B	F	S	W	ML	C	A	MX	TC
TC	1	1296	36	36	36	1	1	1	6	
MX	1	36	6	1296	1296	1296	6	36		
A	1296	6	36	1296	1296	36	1296			
C	1296	6	36	36	36	36				
ML	36	6	6	1296	1296					
W	36	36	36	1296						
S	36	36	36							
F	1	1296								
B	—									
G										

الشكل (9) مخطط أوزان القرب بين المرافق في المرحلة الأولى لتشييد مشروع محطة الرستين

النتائج والمناقشة:

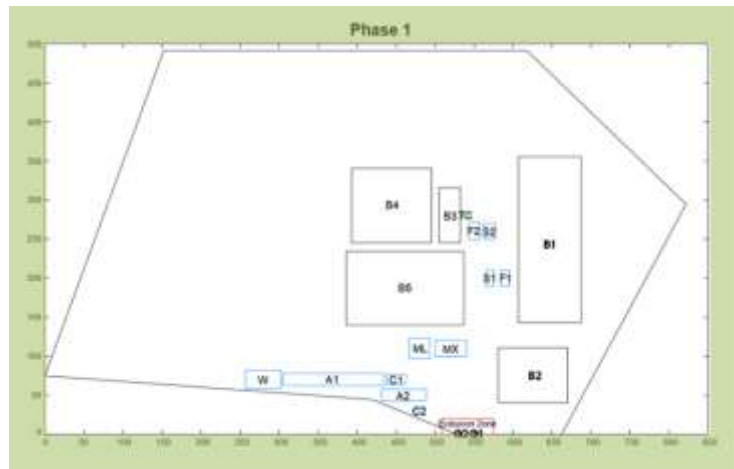
ترتبط الخوارزمية الجينية المطبقة في النموذج المقترح بمجموعة معاملات خاصة بها مثل حجم المجتمع (Population Size) والعدد الأعظمي للأجيال (Maximum Number of Generations) إضافة إلى نسبة العبور والطفرة، والتي تلعب دوراً مهماً في وصول الخوارزمية إلى حلول جيدة. وبغية تحديد أفضل قيمة لمعامل العدد الأعظمي للأجيال للمسألة المدروسة، تم تشغيل الخوارزمية أكثر من مرة لأجل مجتمع حجمه (100) ونسبة عبور تساوي (70%) ونسبة طفرة تساوي (4%) مع التغيير في قيمة العدد الأعظمي للأجيال، وبعد ذلك تم اختيار القيمة الأفضل لهذا المعامل (وهي 90) والتي تحقق أصغر قيمة لتابع الهدف المعبر عن المجموع الموزون لكل من الكلفة

الإجمالية لنقل المرافق المتحركة ومجموع درجات القرب بين المرافق (وهي 55,507,926). وبذلك نلاحظ أن زيادة العدد الأعظمي للأجيال تؤدي إلى تحسين نتائج الخوارزمية نتيجة زيادة فرصها في تجريب حلول أكثر وانتقاء الأفضل بينها، ولكن زيادة قيمة هذا المعامل تؤدي إلى زيادة الزمن اللازم للوصول إلى الحل الأمثل. ويوضح الشكل (10) تغير قيمة تابع الهدف في كل جيل حتى الوصول إلى الحل الأمثل.

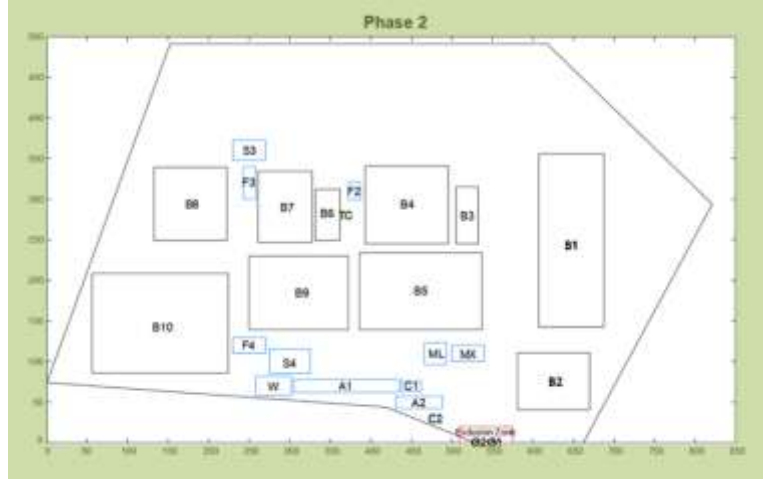


الشكل (10) تغير قيمة تابع الهدف بتغير الأجيال في مشروع محطة الرستين

يعبر الحل الأمثل الناتج عن تطبيق الخوارزمية الجينية على مشروع دراسة الحالة عن مخططات الموقع لكل مرحلة تشييد كما في الشكل (11) والشكل (12) على التوالي، والتي تظهر المواقع والاتجاهات المثلى للمرافق المؤقتة في كل مرحلة.



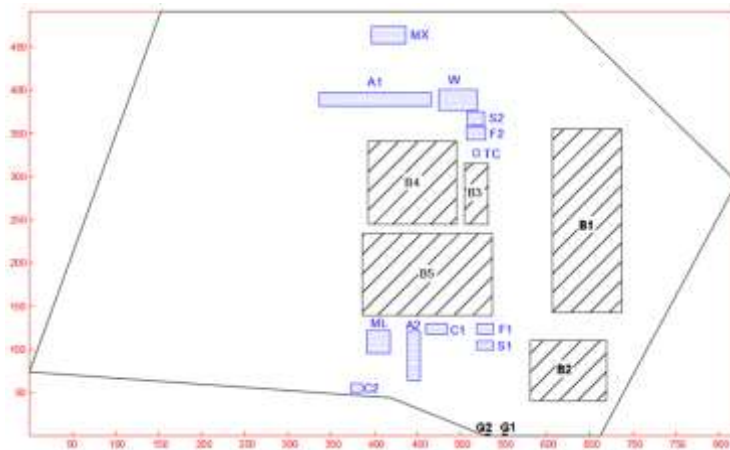
الشكل (11) مخطط الموقع الناتج عن GA للمرحلة الأولى لتشييد مشروع محطة الرستين



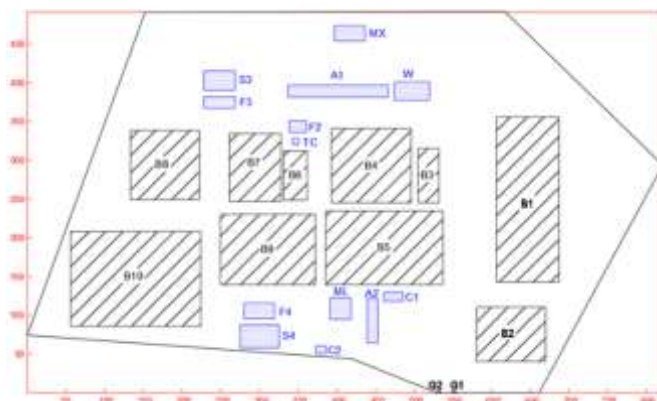
الشكل (12) مخطط الموقع الناتج عن GA للمرحلة الثانية لتشبيد مشروع محطة الرستين

كما أظهرت مقارنة النتائج للمخططات المقترحة في هذا البحث مع المخططات الفعلية المتبعة من قبل مهندسي الموقع والموضحة في الشكل (13) والشكل (14) على التوالي تفوقاً واضحاً للنموذج المتبع في الوصول إلى التخطيط الأمثل للموقع، فقد أعطى هذا النموذج قيمة إجمالية لتابع الهدف تساوي (55,507,926) وهي أقل من القيمة الفعلية والتي تساوي (79,558,230) كما هو وارد في الجدول (6)، محققاً بذلك تحسناً بمقدار (30.2%) نتيجة اعتماده في البحث عن التخطيط الأمثل على معيار تصنيفات القرب النوعية بين مرافق الموقع، والتي تعبر عن علاقات القرب المرغوبة بينها وفقاً لـ:

- تدفق الموارد بين أزواج المرافق.
- مخاطر السلامة / البيئة الناتجة في حال تواجد مرافقين بالقرب من بعضهما البعض.
- تفضيل القرب المرغوب فيه بين أزواج المرافق من حيث سهولة الإشراف والاتصال والتعاون.
- مما ينعكس إيجاباً على مخططات الموقع من حيث تقليل كلفة التدفق وتعظيم الإنتاجية والسلامة المهنية.



الشكل (13) مخطط الموقع الفعلي للمرحلة الأولى لتشبيد مشروع محطة الرستين



الشكل (14) مخطط الموقع الفعلي للمرحلة الثانية لتشييد مشروع محطة الرستين

الجدول (6) مقارنة بين نتائج المخططات المقترحة والمخططات الفعلية المتبعة في مشروع محطة الرستين

Phase	المخططات الفعلية			المخططات المقترحة		
	Phase 1	Phase 2	Total	Phase 1	Phase 2	Total
Relocation Cost	0	37,600,000	37,600,000	0	36,200,000	36,200,000
Closeness Degrees	27,457,016	14,501,214	41,958,230	8,345,303	10,962,623	19,307,926
Objective Function	27,457,016	52,101,214	79,558,230	8,345,303	47,162,623	55,507,926

الاستنتاجات والتوصيات:

تمت في هذا البحث صياغة مشكلة تخطيط موقع التشييد الديناميكي متعدد الأهداف على شكل نموذج رياضي، ومن ثم تنفيذ هذا النموذج كخوارزمية جينية متعددة الأهداف مطبقة في بيئة MATLAB. وانطلاقاً من النموذج المقدم تم التوصل إلى ما يلي:

1. تمثيل ظروف الموقع الفعلية بطريقة أكثر واقعية مقارنة مع نماذج تخطيط الموقع الحالية، وذلك من خلال تمثيل منطقة موقع التشييد على شكل مضلع مغلق، وهو ما يتواجد في معظم المشاريع.
2. التفوق في الأداء على نماذج تخطيط الموقع الحالية في توليد الحلول المثلى العالمية (Global Optimal Solutions)، من خلال قدرته على الجمع بين أهداف التخطيط الثلاثة معاً والمتمثلة في تقليل الكلفة وتعظيم الإنتاجية والسلامة.
3. تقليل الكلفة الإجمالية لتخطيط الموقع مع تحسين إنتاجية عمليات التشييد وسلامتها بمقدار (30.2%) بالمقارنة مع مخططات الموقع التي يتم وضعها بطرق يدوية بالاعتماد على الحس العام والاستفادة من الخبرات المتوفرة لدى المهندسين.
4. إمكانية استخدام هذا النموذج كأداة فعالة في مشاريع الأبنية للمساعدة في رفع كفاءة العمل وتخطي المشاكل المترتبة نتيجة غياب التخطيط الجيد للموقع.

وبناءً عليه فإننا نوصي بما يلي:

1. تطوير النموذج المقترح ليكون قادراً على الاستخراج التلقائي للبيانات من نماذج BIM، والتي تستخدم كمداخلات لنموذج الأمثلة. وكذلك الاستفادة من قدرات الأنظمة القائمة على المعرفة في بناء قاعدة معرفة مكونة من مجموعة القواعد المستخدمة في تحديد تصنيف القرب بين مرافق الموقع.
2. توسيع قدرة النموذج المقترح ليشمل مشاريع التشييد التي تستخدم أكثر من رافعة برجية واحدة مما سيزيد من قابليته العملية للاستخدام.
3. مراعاة المزيد من اعتبارات ومتطلبات السلامة، وذلك من خلال التعديل على القيود المفروضة.

References:

1. BAZAATI, S. *Construction site layout planning considering traveling distance between facilities: Application of particle swarm optimization*. Acta Technica. Hungary, Vol. 63, No. 4B, 2017, 1-10.
2. BENJAORAN, V. and PEANSUPAP, V. *Grid-based construction site layout planning with Particle Swarm Optimisation and Travel Path Distance*. Construction Management and Economics. United Kingdom, Vol. 38, Issue. 8, 2019, 673-688.
3. ELBELTAGI, E. and HEGAZY, T. *A hybrid AI-based system for site layout planning in construction*. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering. United Kingdom, Vol. 16, Issue. 2, 2001, 79-93.
4. ELBELTAGI, E.; HEGAZY, T. and ELDOSOUKY, A. *Dynamic layout of construction temporary facilities considering safety*. Journal of Construction Engineering and Management. ASCE, USA, Vol. 130, 2004, 534-541.
5. NING, X.; LAM, K. C. and LAM, M. C. K. *Dynamic construction site layout planning using max-min ant system*. Automation in Construction. Netherlands, Vol. 19, No. 1, 2010, 55-65.
6. PAPADAKI, I. N. and CHASSIAKOS, A. P. *Multi-objective construction site layout planning using genetic algorithms*. Procedia Engineering. Netherlands, Vol. 164, 2016, 20-27.
7. SADEGHPOUR, F. and ANDAYESH, M. *The Constructs of Site Layout Modeling: An Overview*. Canadian Journal of Civil Engineering. Canada, Vol. 42, No. 3, 2015, 199-212.
8. SAID, H. and EL-RAYES, K. *Performance of global optimization models for dynamic site layout planning of construction projects*. Automation in Construction. Netherlands, Vol. 36, 2013, 71-78.
9. TAO, G.; FENG, H.; FENG, J. and WANG, T. *Dynamic Multi-objective Construction Site Layout Planning Based on BIM*. KSCE Journal of Civil Engineering. Germany, Vol. 26, 2022, 1522-1534.
10. ZOUEIN, P. P. and TOMMELEIN, I. D. *Dynamic Layout Planning Using a Hybrid Incremental Solution Method*. Journal of Construction Engineering and Management. ASCE, USA, Vol. 125, No. 6, 1999, 400-408.
11. Makiya, Samah. *Determining the optimal location of the tower crane in building projects using artificial intelligence*. Tishreen University Journal of Engineering Sciences, Lattakia, Syria, Volume (44), Issue (3), 2022, 63-82.