

Development Of A Prototype For Selecting The Type And Location Of Tower Cranes In High-Rise Building Projects

Dr. Samah Makkieh**
Jamilah Shrieky**

(Received 25 / 2 / 2025. Accepted 26 / 5 / 2025)

□ ABSTRACT □

The tower crane is one of the mechanisms that contribute to the construction industry. Choosing its type and location is a delicate challenge for the project management team due to the presence of many factors that affect making the appropriate decision. It is not just a technical decision, but rather a strategic process that affects the success of the entire project. This study presents a computer model for selecting the type and location of the crane in the construction of two residential towers through the coordinates of the points of the request and loading locations, the available space for use, accessibility, and knowledge of the available alternatives for the crane through an interactive user interface using the Visual Studio code program that allows quick and simple handling of the inputs and displaying the results within minutes with a graphical interface. The best location and type of crane are selected based on the Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm based on the least travel time for the crane within the Dynamo environment and applied within one of the BIM programs, which is the Revit program. The results showed the ability of the algorithm to determine the best location for the tower crane and determined its type among the types of cranes available in the local market according to the least travel time.

Keywords: Tower crane location, tower crane type, Particle Swarm Optimization algorithm, travel time

Copyright



: Latakia 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 – Latakia University – Latakia – Syria – email: Samahsm2016@hotmail.com

**Postgraduate(Master) Engineering and construction management Department – Faculty of Civil Engineering – Latakia University – Latakia – Syria – email: jsh316075@gmail.com

تطوير نموذج أولي لاختيار نوع وموقع الرافعة البرجية في مشاريع الأبنية العالية

د. سماح مكية*

جميلة شريقي**

(تاريخ الإيداع 25 / 2 / 2025. قُبِلَ للنشر في 26 / 5 / 2025)

□ ملخص □

الرافعة البرجية تعد من الآليات المساهمة في صناعة البناء والتشييد وإن اختيار نوعها وموقعها يعتبر تحدي دقيق لفريق إدارة المشروع بسبب وجود العديد من العوامل التي تؤثر على اتخاذ القرار المناسب ، وهوليس مجرد قرار تقني، بل هو عملية استراتيجية تؤثر على نجاح المشروع بالكامل.

تقدم هذه الدراسة نموذج حاسوبي لاختيار نوع وموقع الرافعة في إنشاء برجين سكنيين من خلال إحداثيات نقاط أماكن الطلب والتحميل والمساحة المتاحة للاستخدام وإمكانيات الوصول ومعرفة البدائل المتاحة للرافعة عن طريق واجهة تفاعلية للمستخدم باستخدام برنامج Visual Studio code تسمح بالتعامل السريع والبسيط مع المدخلات وإظهار النتائج خلال دقائق مع واجهة رسومية .

يتم اختيار موقع ونوع الرافعة الأفضل بلاعتماد على خوارزمية أسراب الطيور Particle Swarm Optimization (PSO) بناء على زمن السفر الأقل للرافعة ضمن بيئة Dynamo والمطبقة ضمن أحد برامج نمذجة معلومات البناء BIM وهو برنامج ريفيت . أظهرت النتائج قدرة الخوارزمية على تحديد أفضل موقع للرافعة البرجية وحددت نوعها من بين أنواع الروافع المتوفرة في السوق المحلية وفقاً لأقل زمن سفر.

الكلمات المفتاحية: موقع الرافعة البرجية ، نوع الرافعة البرجية ، خوارزمية أسراب الطيور ، زمن السفر

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



04 CC BY-NC-SA

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

Samahsm2016@hotmail.com

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

البريد الإلكتروني: jsh316075@gmail.com

مقدمة:

تعد عمليات الرفع والنقل من أهم التحديات في مشاريع البناء وخاصة عند التعامل مع ارتفاعات عالية وأوزان كبيرة لذلك تعتبر الرافعة البرجية أداة أساسية بفضل تقديمها هذه الخدمات بسهولة وسرعة واستمرار بدلا من العمل اليدوي المجهد وبالتالي توفر الوقت والجهد لهذه العمليات وتحقق السلامة والأمان للعمال في موقع العمل. إن تحديد نوع الرافعة البرجية وموقعها يؤثر على عدة نواح في المشروع تتوافق مع الاحتياجات الفعلية للمشروع والمساحات المتاحة للاستخدام وإمكانيات الوصول والرفع لذلك لابد من الاختيار المناسب والتخطيط الأمثل للرافعة وهذا هو الغرض من هذه الدراسة وذلك بالاعتماد على خوارزمية أسراب الطيور والنمذجة البصرية لإنشاء نموذج تحسين بسيط يساهم في صنع قرار ذكي .

دراسات مرجعية :

إن نوع وموقع الرافعة البرجية له تأثير على كفاءة المشروع إلى حد كبير ولأهمية هذا الدور كان هناك العديد من الأبحاث التي بحثت في تحديد موقع ونوع الرافعة البرجية أو تحديد الموقع فقط باستخدام نماذج رياضية وخوارزميات وتقنيات مختلفة، وعلى اعتبار مشكلة التحسين هذه من المشكلات المعقدة حيث لا يمكن العثور على حل مثالي بطريقة مباشرة أو وقت معقول باستخدام الطرق التقليدية لذلك تم الاعتماد على خوارزميات met heuristic التي تعمل على التوجيه واكتشاف الحلول بشكل تدريجي [1]، فيما يخص هذه الدراسة تم تحديد موقع الرافعة البرجية بالاعتماد على خوارزمية أسراب الطيور المقيدة بمنطقة البحث ، وتحديد النوع المناسب بالنسبة للرافعات البرجية من خلال عدة بدائل متاحة بالاعتماد على زمن السفر الأقل.

في 2018 قدم مجموعة من الباحثين دراسة حول تخطيط موقع الرافعة البرجية باستخدام Bim 4D لتحليل النتائج ، من خلال تطوير خوارزمية لتحسين موقع الرافعة ومواقع الإمداد، بناءً على الحد الأدنى من الكلفة ، حيث تم تحديد نوع الرافعة المناسبة من خلال المقارنة بين ثلاثة أنواع من الروافع من حيث الزمن والكلفة ،تم تطوير خوارزمية مخصصة لاتعمد على خوارزميات التحسين ، والرافعات البرجية لم يتم وضعها ضمن قاعدة بيانات لسهولة المقارنة ، بل كانت المقارنة يدوية ولنوع واحد فقط [2].

في 2019 قدمت دراسة تهدف إلى اختيار الرافعة الأنسب للمشروع باستخدام تقنية التحليل الهرمي AHP للتعامل مع قرار متعدد المعايير، حيث تمت المقارنة بين ثلاثة بدائل لأنواع الروافع (رافعة برجية ، رافعة متقلبة زاحفة ، رافعة متقلبة على عجلات) بناء على مجموعة من المعايير لتحديد النوع الأنسب لمتطلبات المشروع ومن هذه المعايير (ارتفاع الهيكل ، مدة المشروع ، تكلفة الإيجار ، حالة الأرض ، إنتاجية الرافعة ، معايير السلامة ، تكرار رفع الحمل ، قدرة الرافعة)، سلطت الضوء على أهمية الجمع بين المعايير الكمية والنوعية لاتخاذ القرار ، لكنها كانت مخصصة لمشروع محدد، أي أن النتائج قد لا تكون قابلة للتطبيق على جميع مشاريع البناء [3]

في عام 2020، قدم الباحث (Ezekiel Arito) دراسة تناولت استخدام نموذج معلومات البناء BIM مع التصميم الحاسوبي باستخدام برنامج Dynamo لتخطيط مواقع الرافعات البرجية والمرافق في مواقع البناء، ركزت الدراسة على تطوير حلول ديناميكية تعتمد على حالة الرفع لكل مكون من مكونات المبنى، مع الأخذ بعين الاعتبار قرب المكونات ووزنها من المبنى، الهدف كان تحقيق أقصى تغطية للرافعة البرجية لعناصر المبنى، مما يعزز الكفاءة والسلامة في الموقع ، حيث اعتمدت الدراسة بشكل كبير على برنامج Dynamo للبرمجة مما يتطلب تطبيقها معرفة تقنية متقدمة [4].

في 2022، تم تطبيق دراسة على مشروع مكون من أربع مباني شاهقة لتحديد موقع الرافعة البرجية الأمثل باستخدام خوارزمية اليراع FA تم تحقيق ذلك من خلال التكامل بين أنظمة المعلومات الجغرافية GIS و CAD للحصول على إحدائيات عالمية دقيقة وتصور موحد للمعلومات الهندسية والجغرافية ، حيث أعطت النتائج تقليل التكلفة التشغيلية ووقت الرفع للرافعة ، ولكن تعتمد هذه الدراسة بشكل كبير على بيانات GIS مما يجعلها أقل قابلية للتطبيق في المواقع التي لا تتوفر فيها هذه البيانات [5].

في 2022 قدمت مكية [6] بحثاً حول تطبيق خوارزمية أسراب الطيور في تحديد الموقع الأمثل للرافعة البرجية لمبنى كلية طب الأسنان في جامعة تشرين، حيث أثبتت الخوارزمية تفوقها في تحديد الموقع الأمثل للرافعة، لكن البحث لم يتناول التعامل مع عدة طوابق (الأبنية البرجية) ووضع قاعدة بيانات للروافع البرجية المتوفرة في السوق المحلية ولم يقدم واجهة برمجية سهلة الاستخدام للمستخدم.

في 2023 تم تطبيق دراسة لحل مشكلة تحسين موقع الرافعة البرجية بالاعتماد على خوارزمية أسراب الجسيمات PSO ضمن بيئة الماتلاب ، تتبع المنهجية تحديد موقع الرافعات بالاعتماد على تقليل كلفة نقل المواد، أظهرت النتائج تفوق الخوارزمية في تقليل تكاليف النقل على الخوارزمية الجينية بنسبة 6.2%، لكن اعتمدت الدراسة في إدخال البيانات على برنامج EXCEL ، ذلك ما يجعل الخوارزمية أقل ديناميكية وأكثر تعقيداً عند الحاجة إلى تحديث البيانات، مقارنة باستخدام الأتمتة الكاملة [7].

وفي الختام كان هناك القليل من الأبحاث التي بذلت لتحديد نوع وموقع الرافعة البرجية معاً كما ورد في هذا البحث، فكانت هناك دراسة تتناول تحديد نوع الرافعة التي تناسب المشروع حسب ظروف الموقع [3] ، وكانت هناك دراسة تتيج المقارنة بين رافعة برجية وأخرى من خلال إعادة إدخال البيانات [2]، كما هناك دراسة تشمل المباني المعيارية اي مسبقة الصنع والتي تحتاج إلى قيود خاصة على تابع الهدف ونوع الرافعة كونها تتعامل مع عناصر مسبقة الصنع ذات حمولة غير قابلة للتقسيم [8].

من خلال الدراسات السابقة يمكن تحديد الفجوة البحثية لهذه الدراسة من خلال :

- 1- أي من هذه الدراسات لم تتناول الواقع السوري بما فيه أنواع الروافع البرجية المتوفرة محلياً.
- 2- تم إنشاء قاعدة بيانات لأنواع الروافع البرجية التي تم الحصول عليها ميدانياً قابلة للتعديل والتطوير.
- 3- تم وضع أداة برمجية لإيجاد الرافعة الأفضل مهما كان شكل المشروع ولعدة طوابق .
- 4- الواجهة البرمجية التي تم تقديمها لا تتطلب من المستخدم معرفة برمجية وتقنية كاملة فهي سهلة الاستخدام والفهم، تحتاج فقط لإدخال الإحدائيات وعدد طوابق البناء وحولاته بحيث تختلف هذه المدخلات باختلاف المشروع .

مشكلة البحث :

إن التأخير في مدة تنفيذ مشاريع البناء وبشكل خاص المشاريع التي تعتمد على الرافعة البرجية في نقل ورفع المواد لتنفيذ أعمال المشروع يعود إلى التخطيط الضعيف والخبرة القليلة في تحديد موقع الرافعة ونوعها المناسب وفقاً لمعطيات المشروع وموقعه وحمولاته الذي ينعكس سلباً على مدة تنفيذ المشروع والإنتاجية .

أهمية البحث وأهدافه:

هدف البحث :

- وضع قاعدة بيانات للروافع البرجية المتوفرة بالسوق المحلية .

- وضع نموذج أولي لاختيار النوع والموقع الأمثل للرافعة البرجية مهما كان شكل وحجم المشروع وعدد الطوابق وللمشاريع التي تحتاج رافعة واحدة فقط بالاعتماد على خوارزمية PSO.
- تطوير واجهة برمجية سهلة الاستخدام ووضعها في يد شركات التشييد السورية لاستخدامها في المشاريع الهندسية .

أهمية البحث :

تأتي أهمية البحث من توطین تقنيات موجودة عالميا لإيجاد الموقع الأمثل للرافعات البرجية ونوعها باعتبار تكاليف تركيب وتشغيل وتفكيك الرافعة مرتفعة وضمان عدم هدر الوقت الذي ينعكس على كافة أنحاء المشروع وزيادة الانتاجية وتحسين إجراءات التخطيط والتنفيذ .

منهج البحث :

- الإطلاع على الدراسات السابقة والخوارزميات التي تبحث في غرض الدراسة
- جمع بيانات الموقع المختار للدراسة
- تحديد البارامترات الخاصة لكل رافعة برجية متوفرة ضمن السوق المحلية
- نمذجة موقع البناء ضمن بيئة Revit
- برمجة تابع الهدف المتمثل بزمن السفر لرافعة البرجية
- برمجة الخوارزمية المتبعة
- ربط إحداثيات النقاط في مخطط الموقع وبارامترات الرافعة مع الكود (Python) الذي يحتوي تابع الزمن والخوارزمية ضمن بيئة Dynamo الذي يعطينا نتائج مرئية على مخطط الموقع
- تحضير الكود للتعامل مع الواجهة البرمجية للمستخدم
- تطبيق النموذج على الحالة الدراسية المختارة
- المقارنة وإظهار النتائج والتوصيات

حدود البحث :

- مشاريع الأبنية البرجية التي تحتاج رافعة برجية واحدة .
- أنواع الروافع البرجية المتوفرة في السوق المحلي .

معادلات حساب زمن السفر :

قدم تشانغ وأخرون (1999) نموذجا رياضيا باستخدام التنسيق الديكارتي لنقاط الطلب والتحميل وموقع الرافعة البرجية لحساب زمن السفر وأخذ بالاعتبار ظروف الموقع وخبرة المشغل من خلال معاملين (α, β) والتي يمكن أن تؤثر على التنسيق بين الحركات ، فكان أساسا لكثير من الأبحاث بعده وتم اعتماده في هذه الدراسة، حيث يعطى تابع الزمن الكلي للخطاف للانتقال من نقطة الطلب إلى نقطة التحميل بالعلاقة التالية :

$$T_{ij} = \text{Max}(T_{hij}, T_{vij}) + \beta * \text{Min}(T_{hij}, T_{vij})$$

β : معامل التنسيق في المستويين الرأسي والأفقي ، غالبا تساوي الواحد اي تنتهي الحركة الرأسية أولا ثم تبدأ الحركة الأفقية أي يتحرك الخطاف على التوالي في المستويين .

إجمالي وقت السفر لكل منطقة عمل هو مجموع زمن ثلاث حركات تقوم بها الرافعة عند نقل الحمولة

- زمن حركة الرفع

$$T_{vij} = \frac{Z_{ij}}{V_v}$$

V_v : السرعة الرأسية m/min

• زمن حركة العربة

$$T_a = \frac{|L_i - L_j|}{V_a}$$

V_a : السرعة الأفقية m/min

• زمن الدوران

$$T_w = \frac{\theta_{ij}}{w}$$

w : سرعة الدوران rad/min

زمن الدوران وزمن حركة العربة يعطي زمن السفر الأفقي للخطاف

$$T_{hij} = \max(T_a, T_w) + \alpha * \min(T_a, T_w)$$

ذكر kogane-1976 أن السائق ذو الخبرة يقوم بعمليات متزامنة خلال 76% من إجمالي مدة الدورة، بالتالي يفترض

قيمة α تساوي (0.24)

حيث :

$$L_i = \sqrt{(X_{si} - X_c)^2 + (Y_{si} - Y_c)^2}$$

L_i : المسافة بين الرافعة ونقطة التحميل

X_c, Y_c : إحداثيات الرافعة

X_{si}, Y_{si} : إحداثيات نقاط التحميل

$$L_j = \sqrt{(X_{dj} - X_c)^2 + (Y_{dj} - Y_c)^2}$$

L_j : المسافة بين الرافعة ونقطة الطلب

X_{dj}, Y_{dj} : إحداثيات نقاط الطلب

$$L_{ij} = \sqrt{(X_{si} - X_{dj})^2 + (Y_{si} - Y_{dj})^2}$$

L_{ij} : المسافة بين نقاط الطلب والتحميل

$$Z_{ij} = |Z_{si} - Z_{dj}|$$

Z_{ij} : المسافة الرأسية بين نقاط الطلب والتحميل

$$\theta_{ij} = \arccos\left(\frac{L_i^2 + L_j^2 - L_{ij}^2}{2 * L_i * L_j}\right)$$

θ_{ij} : زاوية الدوران في المستوى الأفقي

$$0 \leq \theta_{ij} \leq \pi$$

تم مراعاة حمولات الموقع وسعة الرافعة وفقا للمعادلة التالية [9]

$$N_{ij} = \frac{Q_{ij}}{C_{ij}}$$

فيكون تابع الزمن النهائي:

$$T_{ij} = [Max(T_{hij}, T_{vij}) + \beta * Min(T_{hij}, T_{vij})] \times N_{ij}$$

تأثير اختلاف نوع الروافع على تابع الزمن :

يتم اختيار الرافعة بناءً على الخصائص التي تتلاءم مع سرعة الإنجاز وتقليل زمن السفر، حيث يتأثر زمن سفر الرافعة بعدة عوامل مثل المسافات بين نقاط الطلب التحميل والسرعات، فكلما زادت المسافات الأفقية تستغرق الرافعة وقتاً أطول لنقل الحمولة أفقياً وكلما زاد الارتفاع أيضاً تحتاج وقتاً أطول لنقل الحمولة عمودياً، فالمواصفات الفنية للرافعة تؤثر بشكل كبير على الزمن المطلوب لنقل ورفع الحمولة، مما يجعل اختيار النوع المناسب من الرافعات البرجية مهماً لتحقيق الكفاءة في العمل.

الخوارزمية المقترحة للبحث

خوارزمية أسراب الطيور: Particle Swarm Optimization:

إحدى خوارزميات التحسين التي تهتم بحل المسائل غير الخطية مع وجود قيود تحكمها، تعتمد على سلوك أسراب الطيور في البحث عن الطعام (10)، حيث تتمثل بمجموعة من العناصر تسمى بالسرب أو الجسيمات تنتشر عشوائياً في منطقة محدودة بهدف البحث عن الحل الأمثل من خلال التكرار والمقارنة حتى تحقيق الهدف والتوقف حيث تبحث هذه العناصر بشكل فردي فنحصل على أفضل قيمة تسمى *personal best* بداية ثم تتم المقارنة بين عناصر السرب كاملة لنحصل على أفضل قيمة ضمن السرب تسمى *global best* لتعود في التكرار التالي لتغير من سرعتها وتموضعها لتقترب من بعضها وصولاً للحل الأمثل بالاعتماد على معلمات للخوارزمية تضمن الحركة العشوائية وعدم الانفجار .

مبدأ عمل الخوارزمية :

1- مرحلة التهيئة

- يتم فيها إنشاء عدد معين من الجسيمات عشوائياً في فضاء البحث بحيث يكون لكل جسيم موقع وسرعة ابتدائيان

2- مرحلة التقييم

- يتم فيها تقييم كل جسيم بناءً على دالة الهدف

- يتم حفظ أفضل موقع وجده كل جسيم *pbest*

- يتم حفظ أفضل موقع وجده السرب ككل *gbest*

3- مرحلة التحديث

يتم تحديث سرعة (vi) وموقع ($present i$) كل جسيم بناءً على المعادلات التالية

[10] [11]

$$vi(t+1) = w * vi(t) + c1 * r1 * [pbest i(t) - present i(t)] + c2 * r2 * [gbest(t) - present i(t)]$$

$$present i(t+1) = present i(t) + vi(t+1)$$

i : ترمز للعنصر

t : رقم التكرار

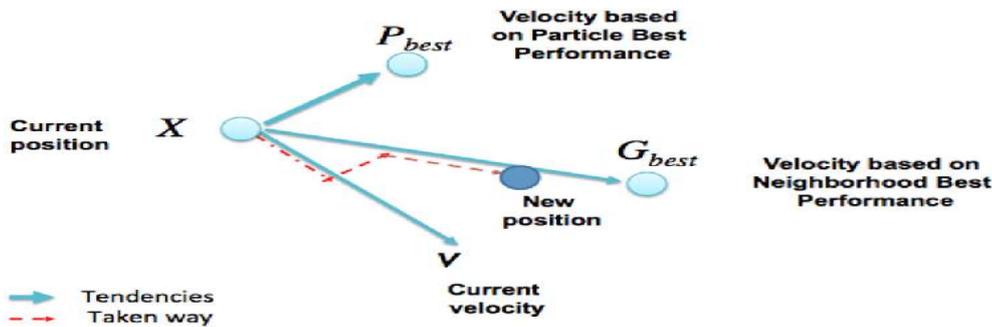
w : عامل القصور الذاتي

c : عامل السرعة ، عامل التعلم

r : رقم عشوائي [0-1]

4- مرحلة التكرار

يتم تكرار الخطوات السابقة حتى الوصول الى عدد محدد من التكرارات وتحقيق قيمة دالة الهدف



الشكل 1: حركة الجسيمات - خوارزمية pso [12]

معلمت الخوارزمية :

إن عدد الجسيمات الكبير يزيد من التنوع في الحلول واحتمالية العثور على الحل الأمثل وغالبا ما يتم تحديده من خلال التجربة لأنه يتعلق بطبيعة المشكلة وفضاء الحلول أما عدد التكرارات يعني تكرار الخوارزمية لتعطي في كل تكرار حلول جديدة وتسمح للجسيمات بالتقارب نحو الحل الأمثل تدريجيا ، كما أن عدد أكبر من التكرارات يقلل من احتمال الوقوع في حلول محلية .

تم اقتراح نتيجة التجريب والخطأ البارامترات التالية :

جدول (1) بارامترات pso

50	(N) عدد الجسيمات
50	(I) عدد التكرارات
1	(C1)
2	(C2)
0.8	(W)

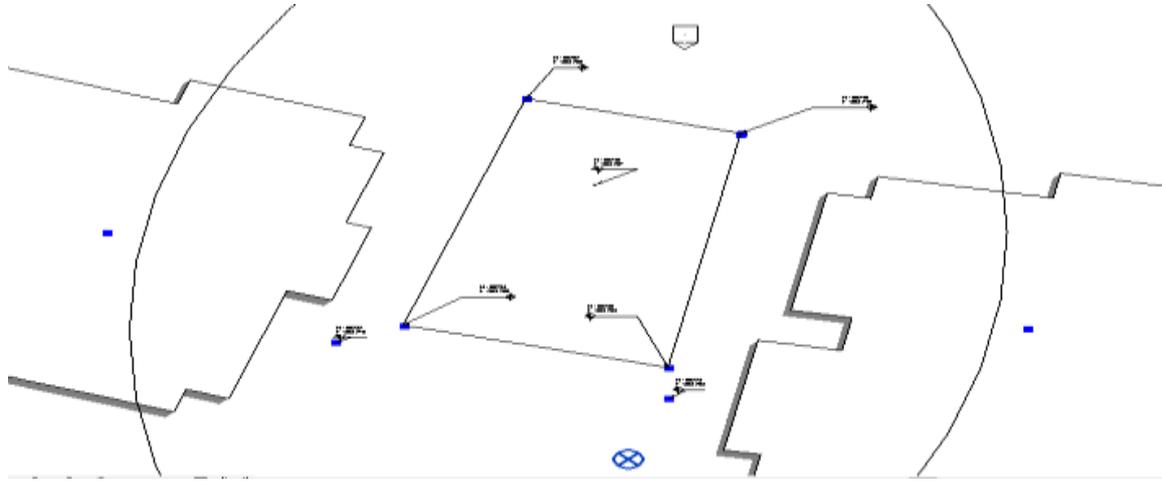
تحديد منطقة البحث للخوارزمية :

للتحقق من أقصى تغطية للرافعة البرجية يجب أن تقع الرافعة ضمن منطقة تقاطع دوائر نقاط الطلب والتحميل وتكون هذه الدوائر بنصف قطر يساوي طول ذراع الرافعة ، بحيث تضمن أن ذراع الرافعة يغطي جميع نقاط الطلب والتحميل وخدمة الموقع ، تم تقريبها إلى شكل رباعي بحيث يكون أي موقع مقترح ضمن هذا الشكل الرباعي .

الأسس التي اعتمدت عليها الخوارزمية :

- تحدد منطقة البحث لكل رافعة من الروافع المتاحة ، ثم يتم اختيار منطقة البحث وفقا للرافعة ذات طول الذراع الأصغر .
- تبعد منطقة البحث عن أطراف المبنى مسافة 4 متر .
- تم افتراض أن الرافعة تعمل على السعة الدنيا .

تم افتراض نقاط التزويد ثابتة ولكل نوع من المواد.



الشكل (2): حدود منطقة البحث

الجزء العملي :

معلومات المشروع حالة الدراسة :

يتكون المشروع من برجين سكنيين تابع لسكن الشباب كل برج عشرة طوابق و بمساحة طابقية 2م350 كل طابق يمثل نقطة طلب في منتصفه أما نقاط التزويد المؤقتة كانت تقع بالقرب من كل برج وتوفر نوع واحد من المواد أثناء الإنشاء، الرافعة المستخدمة من نوع POTAIN MCT205 رافعة برجية مثبتة على قاعدة بيتونية من البيتون المغموس بطول ذراع 70م وحمولة قصوى 2.2طن عند نهاية الذراع و6طن في منتصف الذراع، تستخدم لنقل مواد البناء (بلوك هوردي، بلوك جدران ، حديد تسليح) بينما القوالب الخشبية يتم نقلها من قبل العمال من طابق لآخر وتم استخدام المضخة لنقل الخرسانة .

جدول (2) كميات المواد لكل طابق

بلوك هوردي (عدد)	بلوك جدران(م)	حديد تسليح البلاط (طن)	حديد تسليح الجدران (طن)
2000	200	7	9

مواصفات الروافع :

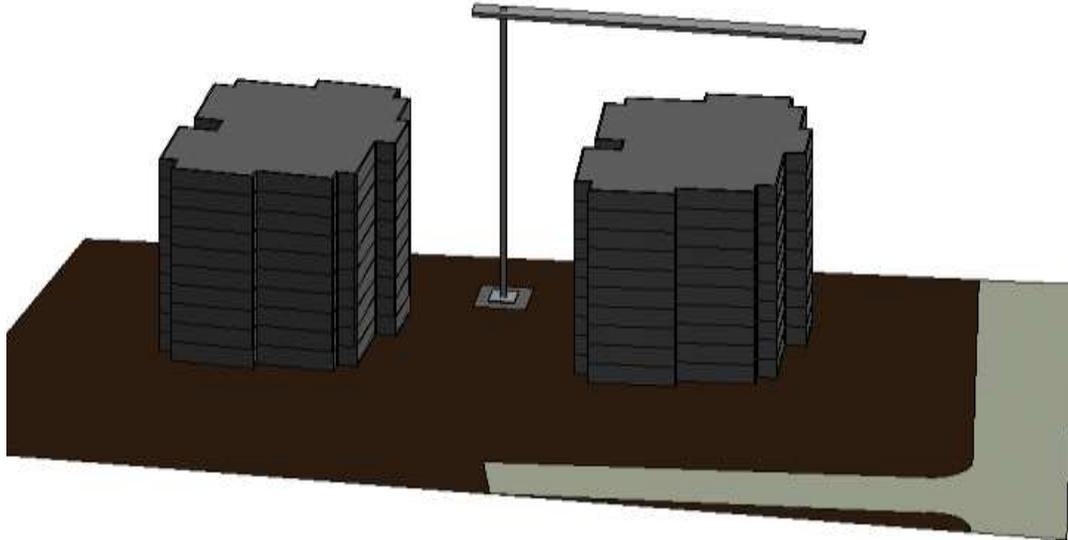
يبين الجدول (2) خصائص وأنواع بعض الروافع المتوفرة في السوق المحلية بالتعاون مع شركة البناء والتعمير في اللاذقية ودليل الشركة الصانعة لكل نوع منها .

جدول (3) خصائص وأنواع الروافع

الاسم	طول الذراع m	السعة عند طرف الذراع kg	سرعة الدوران Tr/min	السرعة الأفقية m/min	السرعة الشاقولية m/min	السرعة الشاقولية FREE m/min
POTAIN MCT205	70	2200	0.8	15	6	20
POTAIN 643H	42	1400	0.8	15	6	25
LIEBHERR 200EC-H12	60	2250	0.7	16	10	25
LIEBHERR 132EC-H10	55	1550	0.9	16	10	25
LIEBHERR 180EC-H	60	2200	0.7	11	9	25
LIEBHERR 256HC	70	2700	0.7	8	9	25

مراحل العمل :

- نمذجة مخطط الموقع باستخدام برنامج Revit
يبين الشكل (3) مخطط الموقع العام والبناء وموقع الرافعة الحالي



الشكل (3): نمذجة حدود الموقع والبناء

- الكود البرمجي للخوارزمية وتابع الهدف

تابع الهدف يمثل زمن حركة خطاف الرافعة في المستويين:

$$T_{ij} = \text{MIN} [\text{Max}(T_{hij}, T_{vij}) + \beta * \text{Min}(T_{hij}, T_{vij})] \times N_{ij} + \text{add rotation time}$$

الزمن الإجمالي

الزمن الأفقي

الزمن الرأسى

عدد الرحلات

تمت إضافة زمن دوران إضافي يسمى *add rotation time* على تابع الزمن ،حيث يمثل هذا الزمن حركة دوران خطاف الرافعة للتنقل بين نقاط التحميل وهي فارغة.

تم استخدام لغة البايثون في برمجة تابع الهدف و خوارزمية psو كما موضح في الشكل (4)والشكل (5)

```
# Function to calculate all times for each floor in both scenarios for both buildings
def calculate_time_each_floor_buildings(li, lj, z_ij, angle, angle_between, floors, Va, rotation_speed, V_v, crane_capaci
All_time = []
for target_floor in range(1, floors + 1):
    a = 0.24 # Parameter according to site
    B = 1 # Parameter according to site
    horizontal_time = (abs(li - lj)) / Va
    rotation_time = (angle / rotation_speed)
    Time_Horizontal = max(horizontal_time, rotation_time) + a * min(horizontal_time, rotation_time)
    Diffrent_height = target_floor * z_ij
    Vertical_travel_time = Diffrent_height / V_v
    add_rotation_time = (angle_between / rotation_speed_free)
    Time_all = (max(Time_Horizontal, Vertical_travel_time) + B * min(Time_Horizontal, Vertical_travel_time)) * (math.
    All_time.append(Time_all)
    All_time = [round(value, 3) for value in All_time]
return All_time
```

الشكل (4) الكود البرمجي لتابع الهدف

```
def pso_algorithm(num_particles, num_iterations, point1, point2, point3, point4):
    # PSO parameters
    inertia_weight = 0.8
    c1 = 1
    c2 = 2

    best_of_the_best_position = 0
    best_of_the_best_fitness = float("Inf")

    for _ in range(num_iterations):
        # Initialize swarm within the search space limits for each iteration
        swarm = [generate_single_point_in_quadrilateral(point1, point2, point3, point4) for _ in range(num_particles)]
        # Initialize velocities
        velocities = [[random.uniform(-1, 1), random.uniform(-1, 1)] for _ in range(num_particles)]

        # Initialize best positions and best fitness
        best_positions = swarm[:]
        best_fitness = [float('inf')] * num_particles

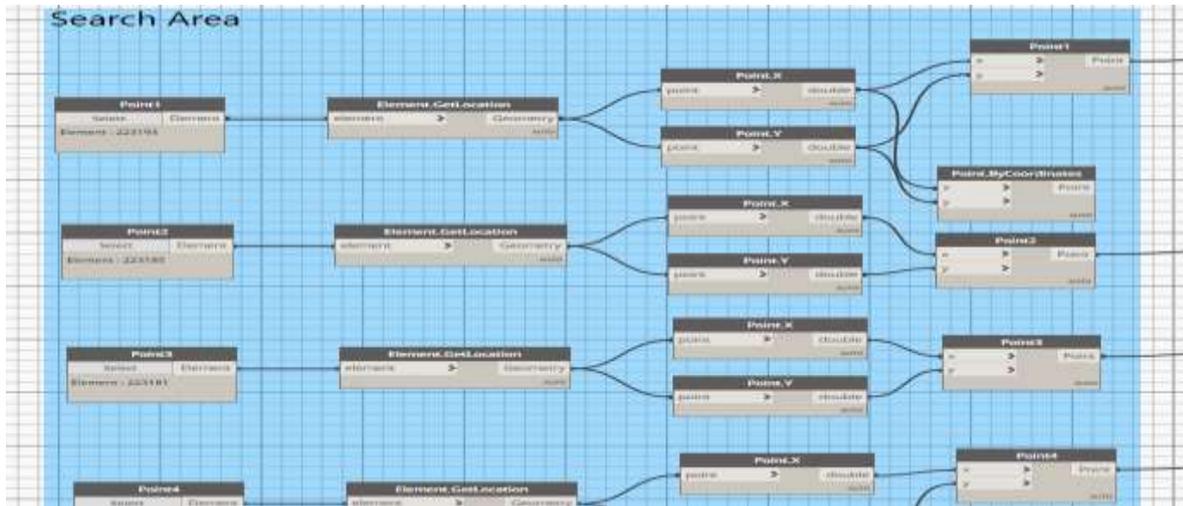
        # Global best position and global best fitness
```

الشكل (5) الكود البرمجي للخوارزمية

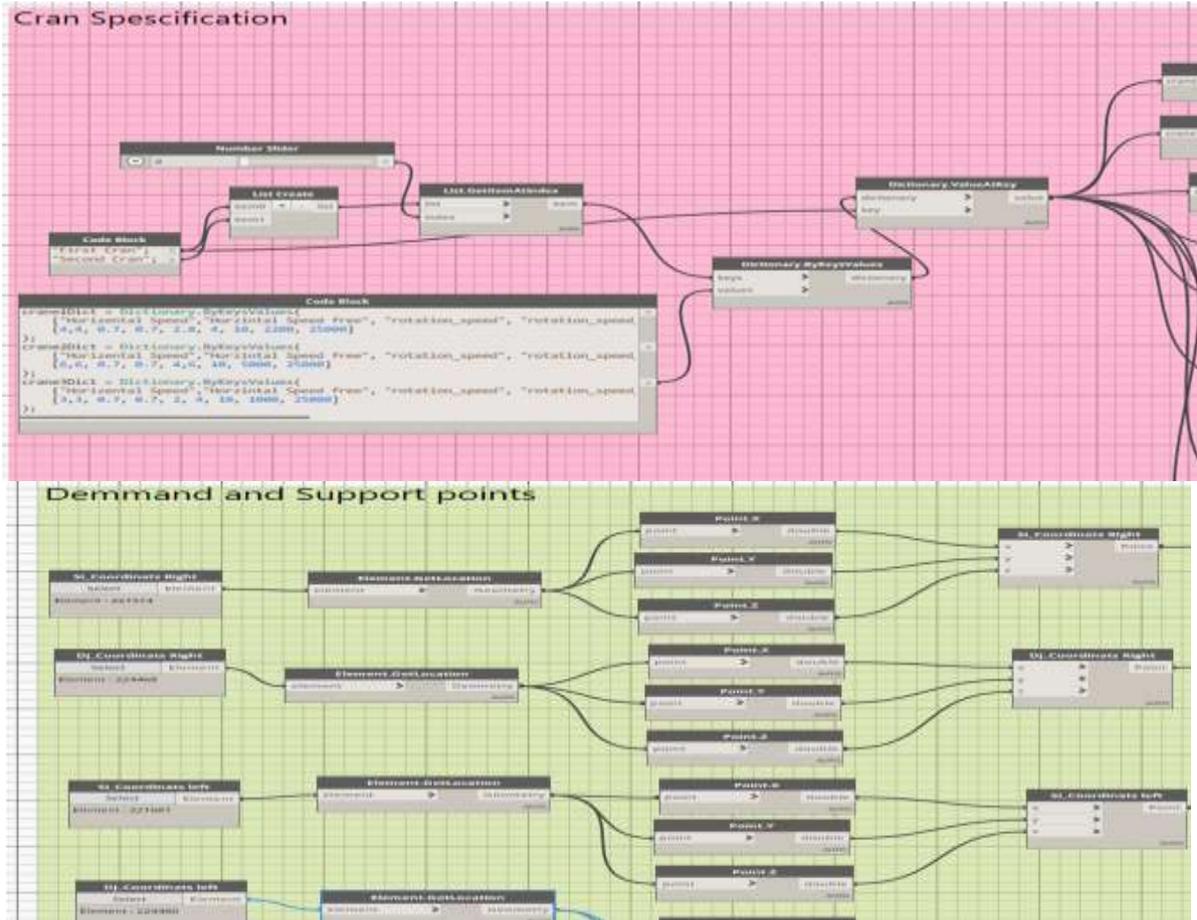
العمل على برنامج الداينمو:

يتميز برنامج Dynamo بتكامله مع برنامج Revit حيث يسمح بإنشاء التدفق البرمجي بواسطة عقد ترتبط مع بعضها لإنشاء المهام دون الحاجة لكتابة أكواد برمجية. كما يسمح بتطبيق خوارزمية التحسين ضمن بيئة ال BIM وسهولة استخراج البيانات التي تحتاجها الخوارزمية كمدخلات من REVIT، كما يقوم بعرض مواقع التحسين على مسقط REVIT مما يوفر رؤية بصرية للنتائج بشكل مباشر .

- تم استيراد إحداثيات منطقة البحث ونقاط التحميل والطلب باستخدام
- عقدة Point تسمح بتحديد النقاط من خلال النقر المباشر عليها من مسقط Revit.
- عقدة Element.Getlocation تسمح باستخراج إحداثيات النقاط حسب موقعها في المسقط.



الشكل (6) إدخال نقاط منطقة البحث

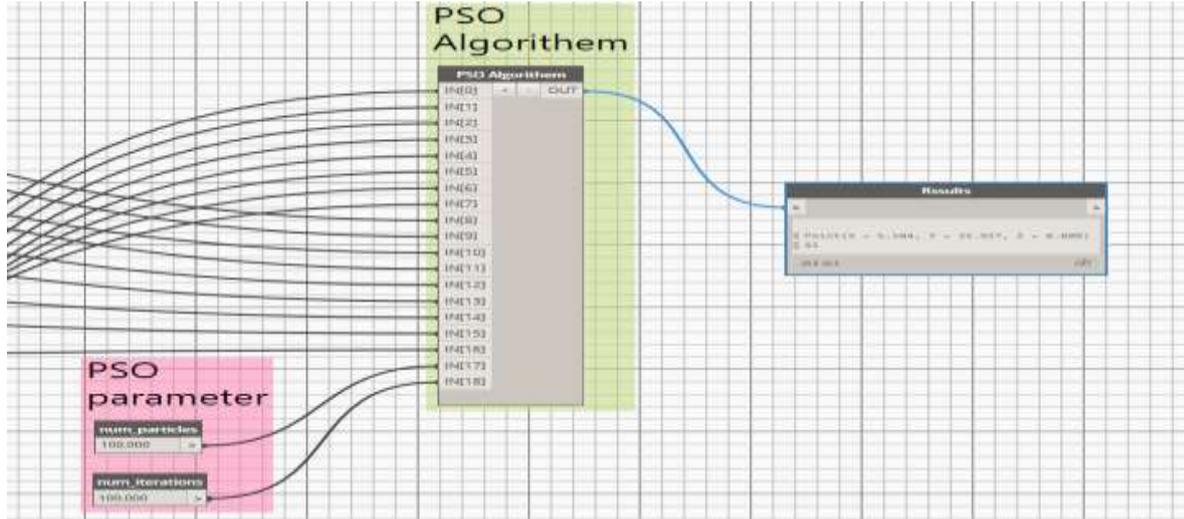


الشكل (7) إدخال إحداثيات نقاط الطلب والتحميل

- تم إدخال أنواع الروافع وخصائصها ضمن بيئة الـ دايمنو باستخدام
- عقدة Code Block التي تسمح بإدخال خصائص الروافع المتوفرة ككود برمجي ضمنها حيث تم الاعتماد عليها لتخصيص نوع الرافعة. كما يوضح الشكل (8)

الشكل (8) إدخال أنواع الروافع

- الربط مع الخوارزمية :
- عقدة Pso Algorithm تحتوي على الكود البرمجي للخوارزمية وتابع الهدف بلغة البايثون حيث تحتاج هذه العقدة مدخلات عديدة تحتاجها الخوارزمية وتابع الهدف لتخرج الموقع الأمثل وتابع الزمن. كما يوضح الشكل (9)

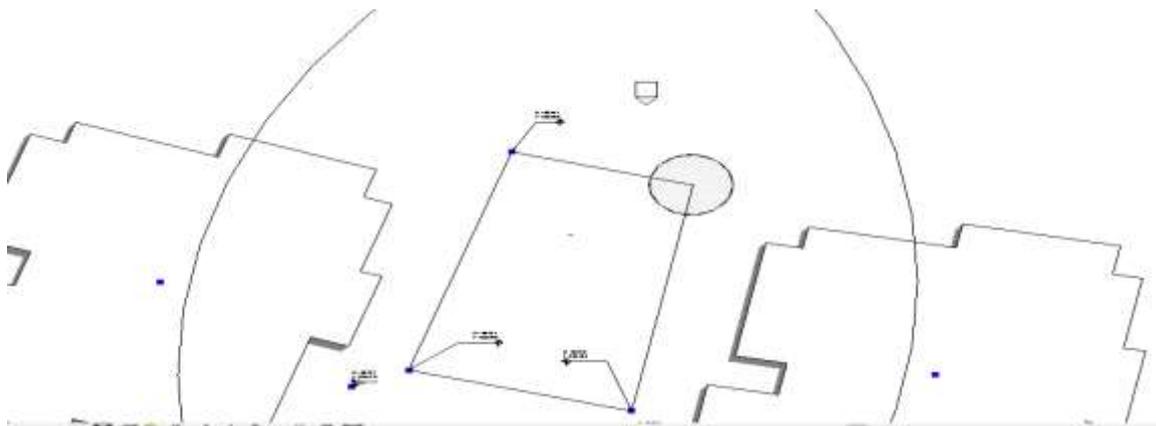


الشكل (9) عقدة Pso Algorithm

في الشكل (10) يبين الموقع الأمثل الذي قامت بحسابه الخوارزمية من خلال عقد الداينمو، حيث أن الموقع الأمثل يظهر على المسقط مباشرة.

النتائج والمناقشة:

- إن موقع الرافعة الحالي ($X=34.773$ & $Y=70.119$) وفقا لرافعة الموقع POTAIN MCT205 أعطى زمن سفر لخطاف الرافعة (1670.6) دقيقة، وعند البحث عن الموقع الأمثل لرافعة الموقع POTAIN MCT205 أعطت الخوارزمية موقع جديد ($X= 41.584$ & $Y= 66.741$) وزمن سفر (740.9) دقيقة، وفقا لذلك يكون انخفاص الزمن للموقع الجديد بنسبة 55% وبذلك يكون تم التحقق من صحة النموذج.
- عند المقارنة بين أنواع الرافع الموجودة ضمن قاعدة البيانات تم اختيار الرافعة LIEBHERR 256HC التي أعطت زمن سفر (626.51) دقيقة وهو أقل زمن تم تحقيقه وفقاً لجدول المقارنة (4).

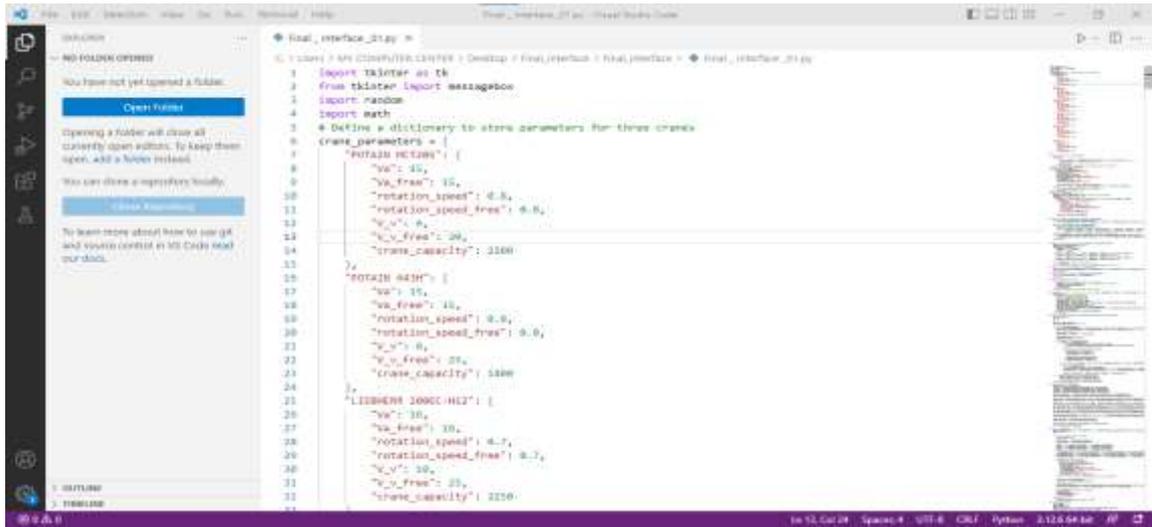


الشكل (10): الموقع الأمثل بنتيجة الخوارزمية وفقاً للرافعة

LIEBHERR 256HC

الواجهة البرمجية التفاعلية للمستخدم :

تم تطوير واجهة برمجية بواسطة برنامج Visual studio code تسمح للمستخدم بإدخال البيانات التي يحتاجها الكود البرمجي واختيار نوع الرافعة من ضمن الأنواع المتوفرة في السوق المحلية المدخلة كقاعدة بيانات ضمن الكود كما يوضح الشكل (11) ،حيث تسمح هذه الواجهة بالحصول على زمن السفر والموقع لكل نوع من الروافع المتوفرة بالإضافة لرسم وتوضيح كافة النقاط وموقع الرافعة الأمثل ضمن واجهة رسومية ، وبالتالي تمكن من استخدام هذا النموذج المقترح دون وجود خبرة في البرامج الهندسية والبرمجية وتساهم في صنع قرار إداري أمثل خلال دقائق .



الشكل (11) قاعدة بيانات الروافع

تسمح واجهة المستخدم المبنية بالشكل (12) بإدخال البيانات المطلوبة كالتالي:

Number of particles عدد الجسيمات للخوارزمية، Number of iteration عدد التكرارات هاتين الخانتين يكون خيار إدخالهما اختياري غير مخصص للمستخدم الغير خبير، وإنما تم وضعهما في حال كانت هناك حاجة للمبرمج لاختبار دقة الخوارزمية، في حال عدم إدخال أية قيمة لهما فإن الخوارزمية تأخذ القيم المدخلة ضمنها.

Point1, 2, 3, 4(x, y) نقاط منطقة البحث للخوارزمية حيث يتم تحديد منطقة البحث من خلال تحديد المساحة الممكنة للرافعة البرجية والتي تلبي نقاط الطلب والتحميل، والتي يستطيع المستخدم تحديدها يدويا من خلال رسم دوائر نصف القطر لنقاط الطلب والتحميل

SI (x , y ,z)&DI (x , y ,z) إحداثيات نقاط الطلب والتحميل ، يمكن الحصول عليها من مخطط إحداثيات

الموقع المساحية (مهندس الطبوغرافيا)

Number of floors عدد الطوابق

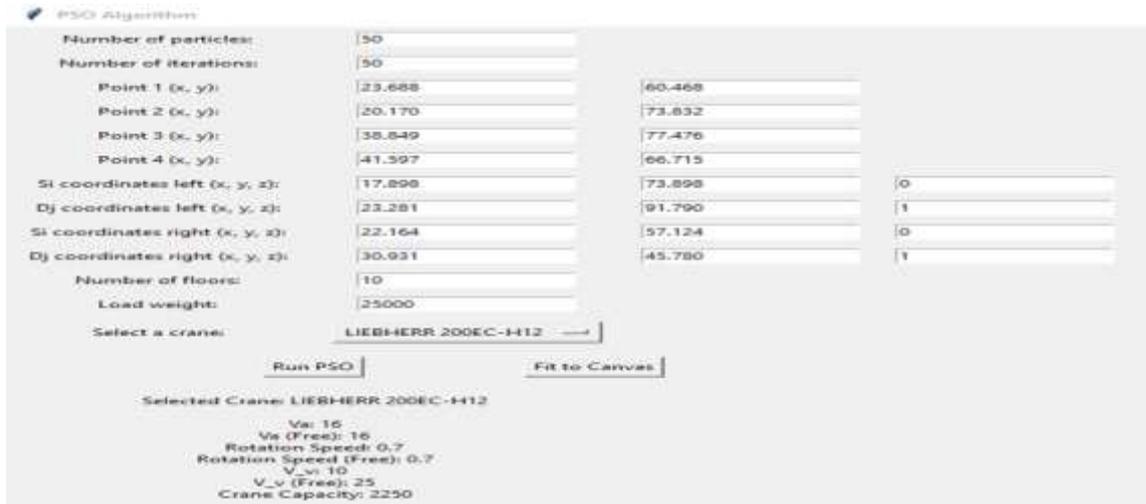
Load weight حمولات الموقع يتم إدخال مجموع الحمولات التي تحتاجها كل منطقة من مناطق الطلب Select a

crane اختيار نوع الرافعة



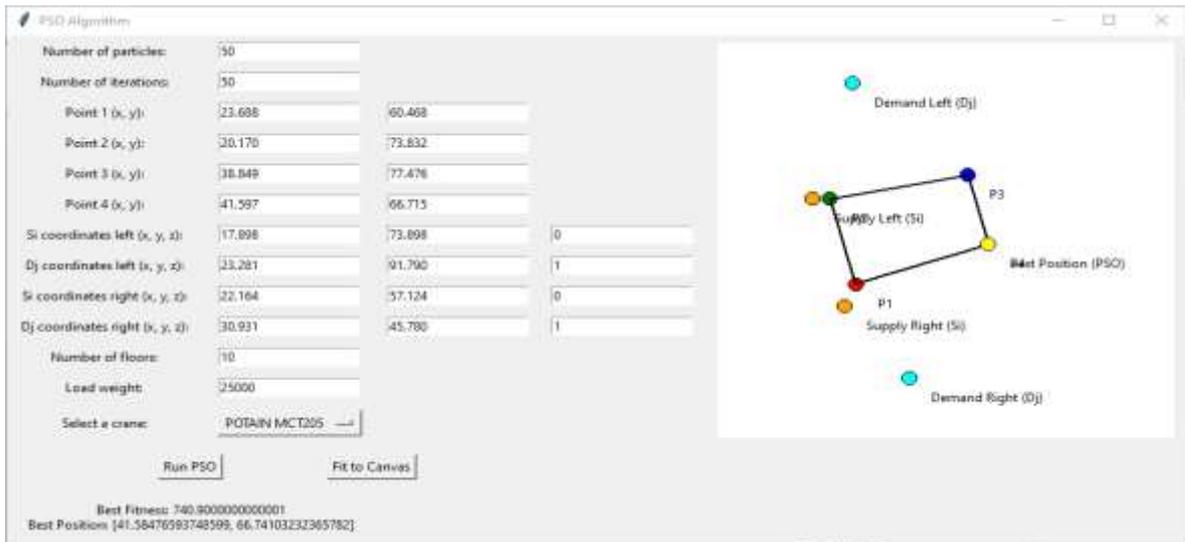
الشكل (12): واجهة المستخدم التفاعلية

يبين الشكل (13) البيانات المدخلة حسب إحداثيات النقاط في الموقع وعدد طوابق المبنى والحمولات ، وعند النقر على زر اختيار الرافعة نلاحظ ظهور خصائص الرافعة بالجزء السفلي من الواجهة .



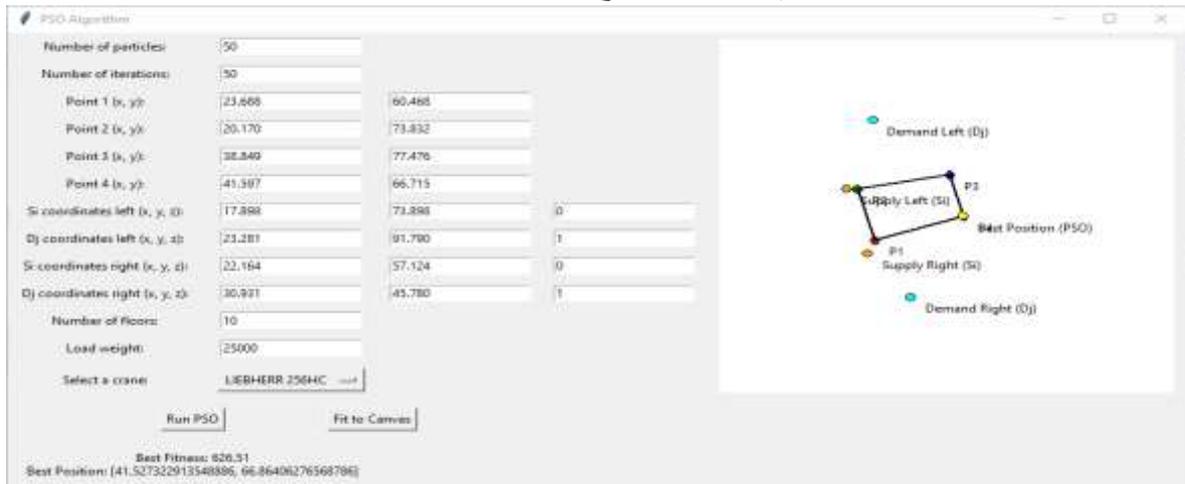
الشكل (13) : إدخال البيانات

يبين الشكل (14) نتائج الخوارزمية Best fitness and Best position باستخدام رافعة الموقع وفي الجزء اليميني يظهر رسم بياني يوضح التوزيع المكاني للنقاط والموقع الأمثل للرافعة



الشكل (14): النتائج باستخدام الرافعة التي تم استخدامها في الموقع

تم توطين الخوارزمية للبحث عن الموقع الأمثل وفقا للبيانات التي يتم إدخالها بالواجهة من قبل المستخدم و التي تمثل مدخلات لتابع الهدف والخوارزمية ، كما سمحت هذه الواجهة باختيار نوع الرافعة البرجية المناسبة بالاعتماد على سرعاتها والسعة الدنيا مما تمكن المستخدم من مقارنة النتائج والاختيار بسرعة وسهولة .



الشكل (15): أفضل نتيجة باستخدام الرافعة LIEBHERR 256HC

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

- بالتعاون بين برنامج Revit و Dynamo تم الحصول على نوع وموقع الرافعة البرجية المناسبة للمشروع وموقعها الأمثل بالاعتماد على زمن السفر لخطاف الرافعة لنقل المواد بين نقاط الطلب والتزويد مع الالتزام بالقيود التي فرضتها منطقة البحث .
- إن برنامج Visual studio code مكن المستخدم من الحصول على نوع وموقع الرافعة البرجية دون المعرفة ببرامج النمذجة الثلاثية الأبعاد مثل Revit وبرمجيات الDynamo مما يسمح باستخدامه وتداوله بسهولة دون تعقيد للحصول على هدف التخطيط .

- تسمح الواجهة البرمجية المقارنة السريعة لأنواع المختلفة والمتوفرة من الروافع وبالتالي سهولة اتخاذ القرار .
- تسمح الواجهة البرمجية بتعديل عدد الجسيمات وعدد التكرارات للخوارزمية من خلال الخانتين الأولى Number of particles والثانية Number of iterations وذلك لهدف التجربة والمقارنة .
- يبين الجدول التالي نتائج المقارنة بين أنواع الروافع المتوفرة في السوق المحلية حيث اعتمدت المقارنة على الرافعة التي تعطي الزمن الأقل وباعتبار نقاط الطلب والتحميل ثابتة أي أن المسافات بينهما ثابتة ، فالمقارنة تعتمد على الاختلاف بالزمن الذي يعود لخصائص الرافعة البرجية ، وهذا الاختلاف وإن يبدو بسيطاً إلا إنه ينعكس على الإنتاجية والكلفة .

جدول (4) النتائج

الموقع (x , y)m	زمن السفر (دقيقة)	نوع الرافعة
41.584,66.741	740.9	POTAIN MCT205
41.525,66.961	1073.6	POTAIN 643H
41.526,66.815	699.2	LIEBHERR 200EC-H12
41.562,66.811	778.02	LIEBHERR 132EC-H10
41.557,66.850	709.46	LIEBHERR 180EC-H
41.527,66.864	626.51	LIEBHERR 256HC

- أعطت الرافعة LIEBHERR 256HC أقل زمن سفر وهو 626.51 دقيقة بينما الرافعة POTAIN 643H أعطت أكبر زمن سفر 1073.6 دقيقة بنسبة تفاوت 41.08% .
وبذلك يكون البحث قادر على المقارنة بين الروافع البرجية المدخلة وتحديد الموقع الأمثل لكل منها .
 - أعطت نتائج البحث تخفيض في زمن السفر لخطاف الرافعة بنسبة 55% ، وهي الأعلى مقارنة بالدراسات السابقة التي لا تتجاوز 29% باستخدام خوارزمية أسراب الطيور [6] ، أو خوارزمية أخرى بنسبة 34.7% [13]
- التوصيات :**
- تطوير النموذج من خلال دمج خوارزمية أسراب الطيور مع خوارزميات أخرى مثل الخوارزمية الجينية لزيادة الدقة وتحسين الأداء.
 - تطوير النموذج ليتناول موقع يحتاج أكثر من رافعة .

References:

- [1] U. Maulik, Chapter 6 - Quantum-inspired multi-objective simulated annealing for bilevel image thresholding, sciencedirect,(2017).
- [2] R.Li, X. Fu , G. Liu , C. Mao , and P. Xu, An Algorithm for Optimizing the Location of Attached Tower Crane and Material Supply Point with BIM, International Symposium on Automation and Robotics in Construction, (2018).
- [3] A. Alshibani, H.Hamida, AHP based approach for crane selection of building construction in Saudi Arabia,In Canadian Society for Civil Engineering Annual Conference,(2019).
- [4] E. Arito, Computational design for construction site optimization Progettazione computazionale per l'ottimizzazione del cantiere, European Master in Building Information Modelling BIM A+,(2020) .

- [5] C.Liu , F.Zhang , X. Han , H.Ye , Z.Shi , J.Zhang , T.wang , J.she , and T. Zhang, Intelligent Optimization of Tower Crane Location and Layout Based on Firefly Algorithm, Computational Intelligence and Neuroscience,(2022).
- [6] S.Makkieh,Determining the Optimal Location of the Tower Crane in Building Projects Using Artificial Intelligence, Tishreen University Journal. p. Vol. (44) No. (3),(2022).
- [7] D .Nhan Nguyen Bui , N. Duc Bui, Optimize location tower crane and supply facilities on construction site by discrete PSO algorithm, Journal of Science and Transport Technology, (2023).
- [8] C. Zhou, F. Dai, Z.Xiao, and W.Liu, Location Optimization of Tower Cranes on High-Rise Modular Housing Projects, MDPI, (2023) .
- [9] MA. Abdelmegid, KM.Shawki , and H.Abdel-Khalek, GA optimization model for solving tower crane location problem in construction sites, Alexandria Engineering Journal. p. 522-524,(2015).
- [10] H. Fares, Syrian Researchers, [Online], (2018).
- [11] A.Tam, A Gentle Introduction to Particle Swarm Optimization,(2021).
- [12] M.Zemzami , An evolutionary hybrid algorithm for complex optimization problems,International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering. p. 126-133,(2019).
- [13] B. Dasovic, M. Galic,and U.Klansek U, Active BIM Approach to Optimize Work Facilities and Tower Crane Locations on Construction Sites with Repetitive Operations, MDPI,(2019).
- [14] P.Zhang, F.Harris , PO. Olomolaiye, and GD.Holt, Location Optimization for a Group of Tower Cranes, Journal of Construction Engineering and Managemen, (1999).
- [15] C. Huang , CK. Wong , CM. Tam, Optimization of tower crane and material supply locations in a high-rise building site by mixed-integer linear programming, Automation in Construction. p. 571-580,(2011).
- [16] J.Wang , X.Zhang , W.Shou , X.Wang , BO.Xu ,and MI.Jeong Kim, A BIM-based approach for automated tower crane layout planning, Automation in Construction. p. 168-178,(2015).
- [17] R.Ramos, W.E, and RL.Francis, Single Crane Location Optimization, Journal of Construction Engineering and Management. p. 387–397,(1983).
- [18] P.Beiranvand , H.Ashrafi, F.Omidinasab , and A.Alipour, Optimize Sitation the Tower Crane Using a Mathematical Models, Preprints ,(2016).
- [19] J.Irizarry ,E. Karan, Optimizing location of tower cranes on construction sites through GIS and BIM integration,Information Technology in Construction, (2012).
- [20] K.Alkriz, JC.Mangin, Researchgate, (2005).
- [21] LC. Lien, M.Cheng, Particle bee algorithm for tower crane layout with material quantity supply and demand optimization, Automation in Construction,(2014).
- [22] A.Tork, A Real-time Crane Service Scheduling Decision Support System (css-dss) For Construction Tower Cranes, Electronic Theses and Dissertations,(2013).
- [23] M.Zavari, V.Shahhosseini, A.Ardeshir, and M. Hassansebt, Multi-objective optimization of dynamic construction site layout using BIM and GIS, Journal Of Building Engineering,(2022) .