Designing a Program using Matlab to Improve Industrial Facility Layout

Dr. Hatem Mahmoudi*
Rama Mohamad**

(Received 27 / 10 / 2024. Accepted 7 / 1 / 2025)

□ ABSTRACT □

The facility layout design affects directly on reducing the total cost (TC) and raising the efficiency of this facility.Previous local studies on improving layouts were limited to improving the layout of construction sites in addition to proposing a tool to evaluate sustainable practices in these sites in Syria, so in this research, another part of the improvement processes has been studied to include the internal layouts of industrial facilities.

Due to the complex nature of facility layout, it was necessary to develop a methodology capable of overcoming some of the shortcomings of the current traditional and manual layout methods to obtain faster and more efficient tools in layout.

So the idea of this research has been appeared to provide an auxiliary program for improving the internal layout of facilities- new or previously existing – and find the optimal layout for them at the lowest possible cost for handling materials between the departments. The research has been carried out during the years 2022-2024 in Lattakia University.

one of the most appropriate facility layout methodologies(CRAFT) -Computerized Relative Allocation of Facilities Technique- has been chosen and combined with the Hungarian algorithm.Then, the proposed methodology has been programmed using MATLAB.

The designed program has been used to improve several models of facilities layouts.The results showed that the proposed methodology and the designed program achieve good efficiency in evaluating the layouts and reducing their internal transportation costs, where the program determines whether the studied layout is the optimal layout, or the program can improve it and find a layout with a lower cost. Also, the designed program provides accuracy in operations, speed in solutions and clarity in detailed data.

Based on previous studies, a list of criteria has been proposed to evaluate facility layout methodologies and then used to evaluate previous methodologies and compare them with the methodology of this research. It has been found that the methodology of this research achieves a good evaluation according to these criteria.

Keywords: MATLAB, facilities, optimal layout, programming, program, improvement, CRAFT, Materials Handling Cost, Hungarian algorithm.

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

*Associate Professor, Department of Design and Production, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Lattakia University, Lattakia, Syria.
**Postgraduate Student (Master) , Department of Design and Production , Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Lattakia University, Lattakia, Syria.

تصميم برنامج باستخدام Matlab لتحسين التخطيط الداخلي في المنشآت الصناعية

د. حاتم محمودي*

راما محمد**

(تاريخ الإيداع 27 / 10 / 2024. قُبِل للنشر في 7/ 1 / 2025)

□ ملخّص □

يلعب تخطيط المنشآت دوراً أساسياً في خفض التكاليف في المنشأة ورفع كفاءتها، وقد اقتصرت الدراسات المحلية السابقة لتحسين التخطيط على تحسين مخططات مواقع التشييد بالإضافة لإقتراح أداة لتقييم الممارسات المستدامة لهذه المواقع في سوريا، لذلك في هذا البحث تم دراسة جانب آخر من عمليات التحسين لتشمل المخططات الداخلية للمنشآت الصناعية. ونظراً للطبيعة المعقدة لتخطيط المنشآت كان لابد من تطوير منهجية قادرة على التغلب على بعض أوجه القصور في طرائق التخطيط الحالية التقليدية واليدوية للحصول على أدوات أسرع وأكثر كفاءة في التخطيط .

ومن هنا ظهرت فكرة هذا البحث بهدف توفير برنامج يساعد بتحسين التخطيط الداخلي للمنشآت وإيجاد المخطط الأمثل لها بأقل كلفة مناولة ممكنة للمواد بين أقسامها. تم إجراء البحث خلال الأعوام 2022– 2024 في جامعة اللاذقية.

تم اختيار أحد المنهجيات الأكثر ملائمة لتخطيط المنشآت وهي خوارزمية CRAFT– تقنية التخصيص النسبي المحوسب للمنشآت– (Computerized Relative Allocation of Facilities Technique) ودمجها مع خوارزمية التعيين الهنغارية، ثم برمجة المنهجية المقترحة باستخدام MATLAB.

تم استخدام البرنامج المُصمَّم في تحسين عدة نماذج لمخططات المنشآت. أظهرت النتائج أن هذا البرنامج يحقق كفاءة جيدة في تحسين التخطيط الداخلي للمنشآت من خلال تقييم مخططاتها وخفض تكاليف المناولة الداخلية لها، حيث يحدد البرنامج إن كان المخطط المدروس هو المخطط الأمثل أو يمكن للبرنامج تحسينه وإيجاد مخطط بكلفة أقل، كما يوفر أيضاً دقة بالعمليات وسرعة بالحل ووضوح بالبيانات التفصيلية.

وبناءً على الدراسات السابقة تم اقتراح قائمة من المعايير لتقييم منهجيات تخطيط المنشآت ثم استخدامها لتقييم منهجيات سابقة ومقارنتها مع منهجية هذا البحث، تم التوصل إلى أن منهجية هذا البحث تحقق تقييماً جيداً وفقاً لهذه المعايير.

الكلمات المفتاحية: MATLAB، منشآت، مخطط أمثل، برمجة، برنامج، تحسين،CRAFT،كلفة مناولة المواد، خوارزمية هنغارية.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين– سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY–NC–SA 04

* **أستاذ مساعد– قسم هندسة التصميم والإنتاج– كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية– جامعة اللاذقية– اللاذقية– سورية.**

** **طالبة دراسات عليا (ماجستير)– قسم هندسة التصميم والإنتاج– كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة اللاذقية– اللاذقية– سورية.**

مقدمة:

تزايد الاهتمام في السنوات الأخيرة وخاصةً في سورية في إحداث المشاريع الاقتصادية التنموية لما لها من دور مهم في تلبية حاجات المجتمع وتوفير فرص العمل لتحسين المعيشة وتحقيق التنمية الاقتصادية والمحلية بشكل عام. عموماً يمكن تعريف مشكلة تخطيط المنشأة Facility Layout Problem (FLP) على أنها: إيجاد الترتيب الأكثر كفاءة للأقسام فيها لتحقيق هدف أو أكثر، ومن هنا قدمت الدراسات الحديثة مراجعة حول مسألة تخطيط المنشآت (FLP) حيث تم تصنيف مشاكل التخطيط بطرق مختلفة وفق ما يلي:

*التصنيف الرئيسي الذي يتبع لنوع المخطط إما ثابت أو ديناميكي:

1- SFLP: (Static Facility Layout Problem) مشكلة التخطيط الثابت للمنشأة، وتُطلق على الحالة التي يكون فيها تدفق المواد بين الأقسام ثابت ولا يتغير بمرور الوقت.

DFLP_2: (Dynamic Facility Layout Problem) مشكلة التخطيط الديناميكي للمنشأة، وتُطلق على الحالة التي يكون فيها تدفق المواد بين الأقسام متغير بمرور الوقت.

*التصنيف الثاني للمخططات وهو متعلق بنوع بيانات الإدخال (مساحة الأقسام وتدفقات المواد وتكاليف مناولة المواد) وهي: إما بيانات واقعية ومتوفرة مسبقاً أو غير واقعية.

* ويوجد كذلك تصنيف أخير لهذه المشاكل يتعلق بعدد أهداف مشكلة تخطيط المنشأة فهي إما تسعى لتحقيق هدف واحد مثل:(خفض كلفة مناولة المواد) أو لتحقيق عدة أهداف، حيث توجد عوامل نوعية أخرى مثل: (درجة التجاور أو المسافة بين الأقسام، وأمن المصنع، ومرونة التخطيطات لتغييرات التصميم في المستقبل). ومنذ عام 1963 تضاعف عدد البلدان التي أجريت فيها أبحاث حول FLP أربع مرات تقريبًا، مما يؤكد أهمية هذا المجال واهتمام الأبحاث به. (Scalia, 2019) .

❖ **الدراسات السابقة:** أشارت الدراسات السابقة عموماً في هذا المجال إلى إتباع منهجيات مختلفة في إيجاد المخطط الأمثل للمنشآت، وتعتبر خوارزمية CRAFT (Computerized Relative Allocation of Facilities Technique) – وهي تقنية التخصيص النسبي المحوسب للمنشآت– من الخوارزميات المعروفة وتمثل حجر الأساس لخوارزميات تحسين تخطيط المنشآت، تعتمد دالة الهدف في هذه الخوارزمية على المسافة، أي تبحث عن تحسين التخطيط من خلال تبادلات الأقسام لتخفيض مسافة النقل وبالتالي خفض كلفة النقل، كما تعتمد هذه الخوارزمية على المسار أي أن التخطيط الأولي والتبادلات التي يتم النظر فيها عند كل تكرار للتحسين تحدد إلى حد كبير جودة الحل النهائي. تم تصميم هذه الخوارزمية لإيجاد التبادلات (ثنائية و/أو ثلاثية الاتجاه) بين الأقسام التي تحقق أحد شرطي خوارزمية CRAFT– تنص هذه الشروط على السماح بالتبادل فقط بين الأقسام متساوية المساحة أو المتجاورة مع بعضها بالموقع بالإضافة إلى عدم وجود قيد على أحد هذه الأقسام يفترض تثبيته في موقع محدد– ، ومن ثم يتم حساب تأثير كل من هذه التبادلات على كلفة النقل الإجمالية بين الأقسام. (Bozer, 1994) (Kovács, 2017) (Khoshnevisan, 2003). وباعتبار هذه الخوارزمية شائعة جداً تم تعديلها باستمرار لتقديم نماذج مطورة عنها حيث قام الباحث(Bozer, 1994) وزملاؤه بتطوير خوارزمية CRAFT لتقديم خوارزمية MULTIPLE التي تشمل عملية تحسين التخطيط فيهاعدة طوابق وبكفاءة أعلى، بينما قام الباحث (Khoshnevisan, 2003) وزملاؤه بدمج خوارزميتي CRAFT والهنغارية (MASS) لتسريع الوصول للمخطط الأمثل وبكفاءة أعلى ، أما الباحث (Gopalakrishnan, 2003) وزملاؤه فقاموا بتقديم خوارزمية LAYSPLIT وأهم ما تميزت به هو السماح بتقسيم

الأقسام لزيادة كفاءة التحسين للمخططات، بالإضافة إلى ذلك عمل باحثون آخرون لاقتراح طرائق إضافية مختلفة للتحسين مثل البنى الحيوية الموجودة في الطبيعة للاستفادة من بنية أنظمتها وعمليات الإدخال والإخراج للوصول إلى المخطط الأمثل (Tinello, 2016). أيضاً تم استخدام البرمجة العددية المختلطة MIP لتصميم نماذج تهدف لخفض التدفق الكلي بين/الأقسام/ مع مراعاة عدد صفوف المنشأة وباستخدام عدة قيود لمعالجة حالات خاصة مثل التناظر والتداخل بين الأقسام (Junjae Chae, 2020) (He, 2019)

بينما أشارت بعض الدراسات المحلية السابقة إلى تقديم نماذج لتحسين المخططات الخاصة بمواقع التشييد (ذات الرافعة البرجية الواحدة) (جراد،2023) وتقديم أدوات تقييم الاستدامة لهذه المواقع (ميا ،2023) دون التخصص بتقييم وتحسين المخططات الداخلية للمنشآت الصناعية.

❖ **مشكلة البحث**: يتطلب إنشاء المنشآت والمشاريع مصاريف كبيرة تعد عائقاً أمام المستثمرين لها ويمكن تخفيضها من خلال توفير وتطوير السبل اللازمة والمساعدة على إنشائها والتي تتفوق على الطرائق التقليدية من حيث زمن التخطيط وكفاءته. أيضاً إن العديد من تقنيات وبرامج التخطيط الحالية يتطلب استخدامها تكاليف عالية لزوم شرائها والحاجة لدفع رسوم إضافية دورية شهرية أو سنوية للمواقع المساعدة على استخدامها، بالإضافة إلى أنها قد لا تكون متاحة للاستخدام المحلي في كثير من الأحيان. انطلاقاً مماسبق تم العمل في هذا البحث لتصميم برنامج تخطيط يسمح بتخطيط مشاريع من مختلف الفئات (الصغيرة والمتوسطة والكبيرة) بالانتباه إلى أن يكون عدد الأقسام والصفوف بالمخطط المدروس موافق للنموذج المقترح بهذا البحث وهو: ثلاثة صفوف وتسعة أقسام– ثلاثة منها ثابت والباقي قابل للتبديل– ، علماً أنه يمكن تعديل هذا النموذج بسهولة ليسمح بتحسين مخططات شريحة أوسع من المنشآت – من حيث عدد الأقسام و الصفوف الموجودة ومراعاة وجود أقسام ثابتة بالمخطط وبمساحات أكبر– دون الحاجة لزيادة مزايا البرنامج وقدراته وذلك بإجراء تعديل بسيط على حجم المصفوفات للبيانات المدخلة للبرنامج ليتناسب مع عدد أقسام المنشأة مثل:(مصفوفات التدفق والكلفة والترتيب الأولي ومساحات أقسامه وجدول التجاور وجدول التعيين وهي موضحة جميعا في بالجدول(1) في هذا المقال).

أهمية البحث وأهدافه:

❖ تأتي أهمية هذا البحث باعتبار التخطيط الجيد والدقيق للمنشأة هو أساس للربح الإنتاجي، من خلال خفض تكاليف النقل والمناولة فيها بالتالي خفض التكلفة الكلية لها TC (Total Cost)، والذي أصبح الهدف الرئيسي للعديد من الدراسات والأبحاث في مجال إدارة الإنتاج والهندسة الصناعية مما يؤدي لرفع كفاءة الإنتاج ويعكس آثاراً إيجابية كبيرة على المدى الطويل للمنشأة.

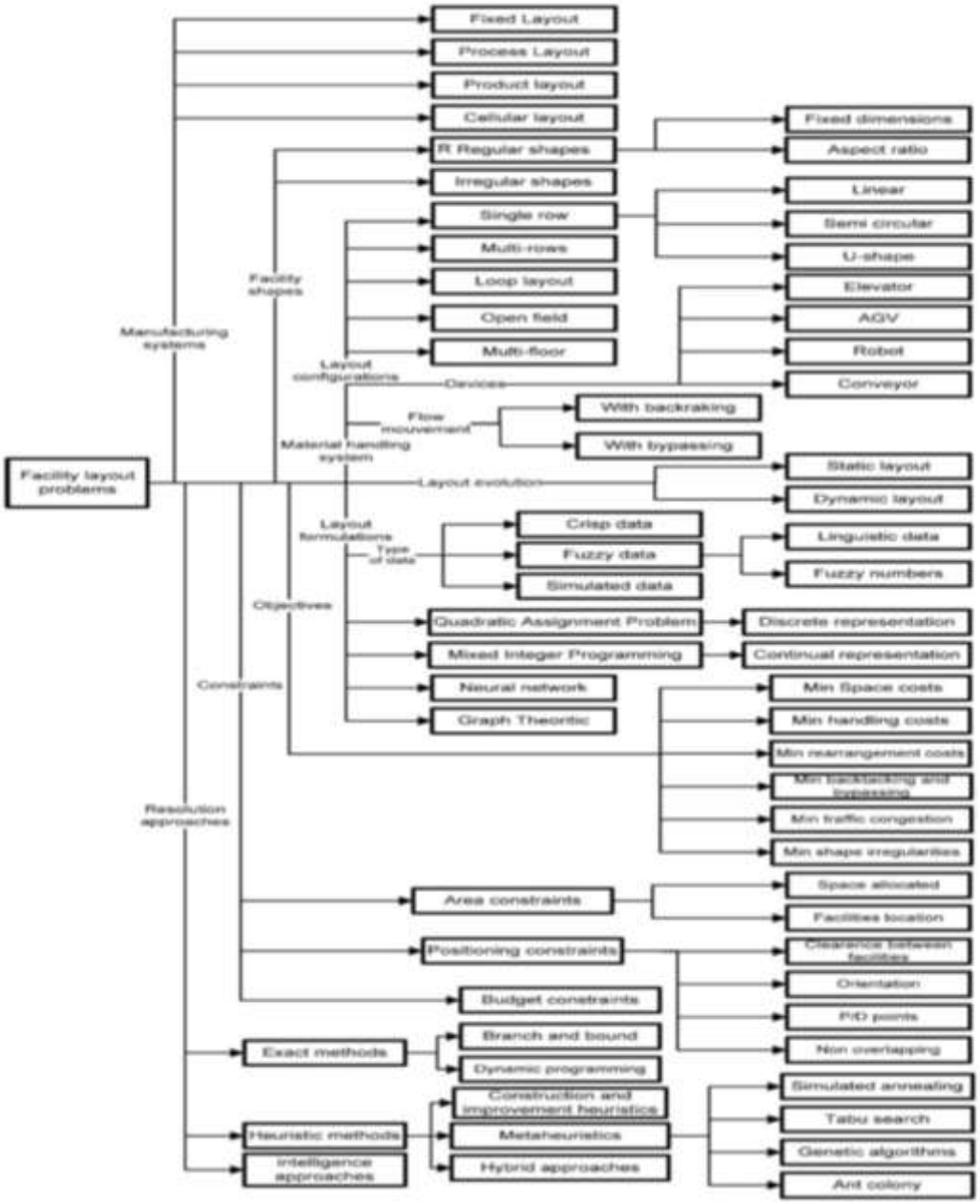
تم العمل في هذا البحث لتوفير برنامج حاسوبي يساعد المستخدم في إيجاد التخطيط الداخلي الأمثل للمنشآت والذي يحقق أقل كلفة مناولة للمواد بين الأقسام عبر خفض مسافة النقل لها، وزيادة المرونة والكفاءة في التخطيط.

طرائق البحث ومواده:

تم استخدام أداة برمجة باستخدام برنامج "MATLAB" لبرمجة المنهجية المقترحة لعمل برنامج التخطيط. أيضاً تم استخدام البيانات الخاصة بالمنشأة المدروسة، حيث تم التواصل مع أحد الشركات المحلية لجمع بعض البيانات الواقعية

واستخدامها في تصميم نموذج منشأة لاختبار قدرة البرنامج المقترح بتحسين التخطيط لها. من البيانات اللازمة لاستخدام البرنامج في عملية التحسين ما يلي: (مساحة المخطط وطوله وعرضه وعدد أقسامه ومراكزها ومساحاتها و ترتيبها في المخطط الأولي وتحديد الأقسام الثابتة والمتبدلة فيه، وعدد صفوف المخطط وطول الصف وعرضه ومساحته، وبيانات مصفوفات التدفق والكلفة للمواد بين الأقسام، بيانات حول الأقسام المتجاورة فيه، وجدول التعيين لاستنتاج احتمالات التخطيط).

يظهر بالشكل (1) عرض مفصل لتصنيف أنواع مسائل تخطيط المنشآت وفقاً لعوامل مختلفة مثل(نوع أنظمة التصنيع، شكل المنشأة، أنظمة مناولة المواد، وعدد من العوامل الأخرى الموضحة بالشكل (1) (Drira, 2007).



شكل (1) عرض تفصيلي لأنواع مسائل تخطيط المنشآت

❖ **طرائق وتقنيات عامة لتخطيط المنشآت:** يمكن تصنيف الطائرق التقليدية لتخطيط المنشآت لأربع أنواع رئيسية هي: التخطيط وفق الموقع الثابت والتخطيط وفق العملية (الوظيفي) وتخطيط الخلية(خلية التصنيع) والتخطيط وفق المنتج (السلعي). وعملياً فإن الحالة الأكثر شيوعًا هي مزيج من أنواع التخطيط المذكورة.

(Kovács, 2017). وتعتبر مشكلة تخصيص المنشآت في المواقع من أصعب المشكلات المعروفة، وعندما يزداد حجم هذه المشكلة (أي عدد الأقسام أو المنشآت) لا يمكن حلها بالشكل الأمثل، فيتم استخدام أساليب التقريب والاستدلال للمساعدة بالحصول على حل جيد (وليس بالضرورة الأمثل) في زمن قصير. (Tinello, 2016).

في الدراسات السابقة تم تطوير العديد من الأساليب الحسابية في مجال تخطيط المصانع بهدف دمج الجوانب المهمة المتعلقة بالأداء، بناءً على هذه الأساليب تم تطوير العديد من تقنيات التخطيط بمساعدة الكمبيوتر مثل الخوارزميات التالية: CRAFT، MCRAFT، CORELAP، ALDEP ، MULTIPLE. (Gopalakrishnan, 2003).

❖ **منهجية البحث:** تم في هذا البحث:

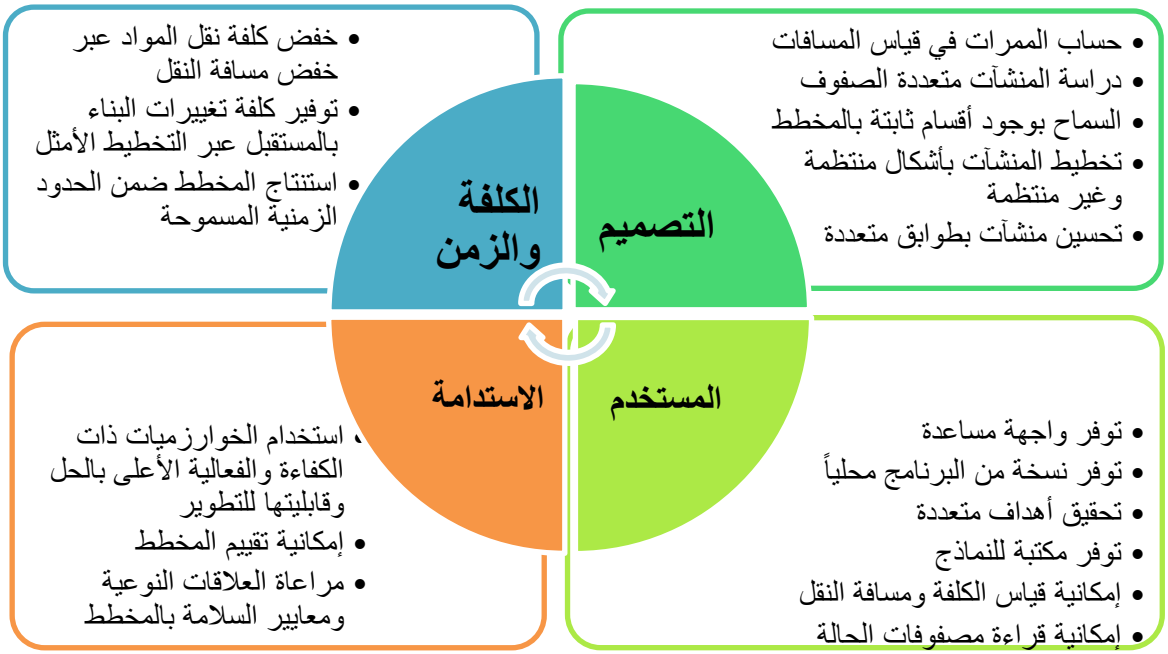
1- اقتراح منهجية لتصميم برنامج التخطيط بالاستفادة من منهجية خوارزمية CRAFT المعروفة ، حيث من خلال تحليل إحصائي تبين أنه في ظروف معينة معتدلة يمكن أن تعمل هذه الخوارزمية بشكل جيد وغالباً ما تكون نتائج استخدام هذه التقنية أفضل من نتائج التخطيط اليدوي التقليدي بواسطة المخططين. (SVESTKA, 1990). تبدأ هذه الخوارزمية العمل من مخطط أولي يتم تحديد كلفته ومن ثم إجراء تقييم لجميع عمليات تبادل المواقع المسموح بها بين أقسام المنشآت، ثم يتم تنفيذ التبادل الذي ينتج عنه أكبر انخفاض في كلفة المخطط، ويتكرر هذا الإجراء حتى لا نجد تبادل جديد للأقسام ينتج عنه انخفاض بالكلفة أكثر من المخطط الحالي. (KUSIAK, 1987)

أيضاً في منهجية هذا البحث تم الاستفادة وبشكل جزئي من المنهجية المتبعة لبرمجة نموذج التخصيص في الخوارزمية الهنغارية الموضحة في دراسة حديثة حول تقنيات متقدمة في النَّمذجة الرياضية وبحوث العمليات باستخدام Matlab(محمد،2019). حيث تستخدم الخوارزمية الهنغارية عموماً في حال وجود مجموعة من العناصر نحتاج لتعيينها بالشكل الأمثل إلى مجموعة عناصر أخرى (مثلاً نحتاج لتوزيع مجموعة من الأعمال على مجموعة من الأشخاص بشكل يعطي أفضل النتائج) أما في الحالة المدروسة في هذا البحث فنحتاج لتعيين (أو توزيع) مجموعة من الأقسام إلى مجموعة من المواقع بالشكل الأمثل لتحقيق أقل كلفة لمناولة المواد فيما بينها ، لذلك تم الاستعانة بهذه الخوارزمية التي ساعدت في إيجاد الاحتمالات الممكنة لهذه التعيينات (أي احتمالات التخطيط الممكنة) ثم ليتم في المرحلة التالية حساب تكاليف المناولة لكل مخطط واختيار المخطط الأمثل الأقل كلفة مناولة من بينها، تم تصميم البرنامج الخاص بهذه المرحلة بالاستفادة من النموذج المصمم في الدراسة المذكورة مع إجراء بعض التعديلات اللازمة لتتناسب مع سياق المسألة المذكور في هذا البحث.وتجدر الإشارة إلى أن كل ما يُذكر في الفقرات التالية حول استخدام الخوارزمية الهنغارية في منهجية هذا البحث يُقصد به استخدامها بالشكل المذكور والموضح في هذه الفقرة ووفقا لهذا المرجع. وبعد تصميم البرنامج المقترح يتم اختبار قدرته في تحسين التخطيط لمجموعة نماذج ومناقشة النتائج.

2-دراسة خصائص مجموعة من التقنيات البرمجية المستخدمة في تخطيط وتحسين تخطيط المنشآت، واختيار التقنية الأكثر ملائمة للتصميم، ومحاولة تحسينها بإضافة ميزات لها من تقنيات أخرى لزيادة المرونة والكفاءة بالتخطيط. بعد ذلك يتم تصميم قائمة بمجموعة من أهم المؤشرات المستنتجة لتقييم منهجيات التخطيط، ومن ثم العمل لتصميم منهجية بكفاءة عالية تحقق أكبر عدد من هذه المؤشرات ،وأخيراً استخدام هذه القائمة في تقييم عدة منهجيات والمقارنة بينها.

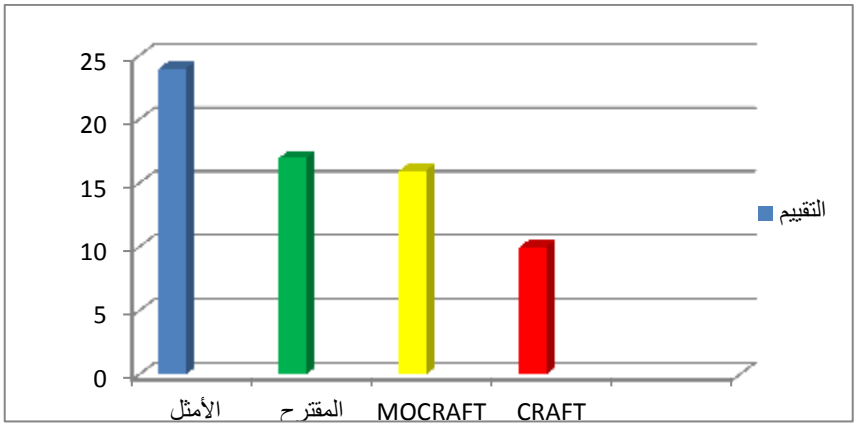
بعد الاطلاع على مجموعة من الدراسات المرجعية السابقة في مجال التخطيط الثابت للمنشآت/SFLP/ Static Facility Layout Problem والمهتمة بشكل أساسي بالمنشآت ذات الطابق الواحد والمنشورة في قاعدة البيانات المعروفة Thomson Reuters خلال الفترة الممتدة بين الأعوام 1990 و2020 تم استنتاج مجموعة من أهم الأهداف والمواصفات الأكثر شيوعاً التي اهتم الباحثون السابقون بتحقيقها في منهجياتهم المقترحة لعملية تخطيط المنشآت، ومن ثم إدراج هذه الأهداف كمؤشرات في قائمة التقييم واستخدامها كأداة مساعدة في القياس والمقارنة بين بعض النماذج المعروفة لمنهجيات لتخطيط من الدراسات المرجعية والبحث الحالي. وفي محاولة لإيجاد نموذج مثالي لمواصفات منهجية وبرنامج التخطيط، وتوفير مرونة وفعالية وكفاءة وتكامل بين النماذج المقترحة بالدراسات السابقة، تم اختيار 24 مؤشر أُدرجت في قائمة التقييم لتشمل عدة جوانب، يمكن تصنيفها في أربعة جوانب رئيسية كما هو مبين بالشكل (2) وهي الاهتمام بما يلي:

1- التصميم: توفير المرونة والواقعية في عدد الأقسام والصفوف المدروسة.
2- الكلفة والزمن: خفض مسافة نقل المواد والزمن اللازم للتخطيط.
3- المستخدم: تأمين أدوات مساعدة (واجهة- مكتبة نماذج- نموذج إرشادي أولي – توفر محلي).
4- الاستدامة: زيادة الكفاءة والفعالية وتحقيق الاستدامة.



شكل (2) الجوانب الرئيسية لتصنيف المؤشرات المقترحة بالبحث لتقييم المنشآت بطابق واحد

وأظهرت نتائج التقييم وفق قائمة المؤشرات المقترحة تقدم المنهجية المقترحة على المنهجيات الأخرى كما يظهر بالشكل التالي (3) الذي يبين التمثيل البياني للنتائج كما يلي:



شكل (3) التمثيل البياني لنتائج تقييم نماذج لعدة منهجيات وفق المؤشرات المدروسة

تم برمجة المنهجية المقترحة باستخدام برنامج MATLAB لتقديم منهجية مستدامة قابلة للتطوير والتحسين المستمر بسهولة لتحقيق كامل االمؤشرات وإضافة أي هدف مرغوب به لتحقيقه في المستقبل.

❖ **المدخلات والفرضيات للخوارزمية المُصمّمة بهذا البحث (CRAFT مع الهنغارية) :**

يتطلب تنفيذ الخوارزمية المُصمّمة بهذا البحث إدخال البيانات التالية الخاصة بالمنشأة وهي موافقة بجزء كبير منها مع مدخلات نماذج CRAFT المذكورة بالدراسات (Bozer, Meller, & Erlebacher, 1994) (Khoshnevisan, 2003) :

n-1: عدد الأقسام.

x0-2:ترتيب الأقسام بالمخطط الأولي الذي يمكن أن يكون تخطيط لمنشأة موجودة أو جديدة (أي افتراضي).

dij-3: المسافة من القسم i للقسم j وهي تمثل متغيرات القرار بهذه المسألة، ويجدها البرنامج من التخطيط بجمع المسافات المستقيمة الأفقية والعمودية بين مراكز الأقسام.

P -4: مراكز الأقسام بالمخطط الأولي ونحصل عليها من التمثيل الأولي لمخطط الأقسام.

y0-5:مساحات أقسام المخطط الأولي.

fij−6 : مصفوفة أحمال التدفق بين الأقسام ، أي التدفق من القسم i إلى القسم j.

Cij-7: مصفوفة تكاليف النقل بين الأقسام، أي تكلفة نقل حمل وحدة واحدة من القسم i إلى القسم j خلال وحدة مسافة واحدة.

N-8: المصفوفة الخاصة بجدول التعيين.

xd-9: جدول التجاور الخاص بالأقسام المتجاورة في المخطط الأولي المدروس.

بعد إدخال البيانات السابقة إلى البرنامج :

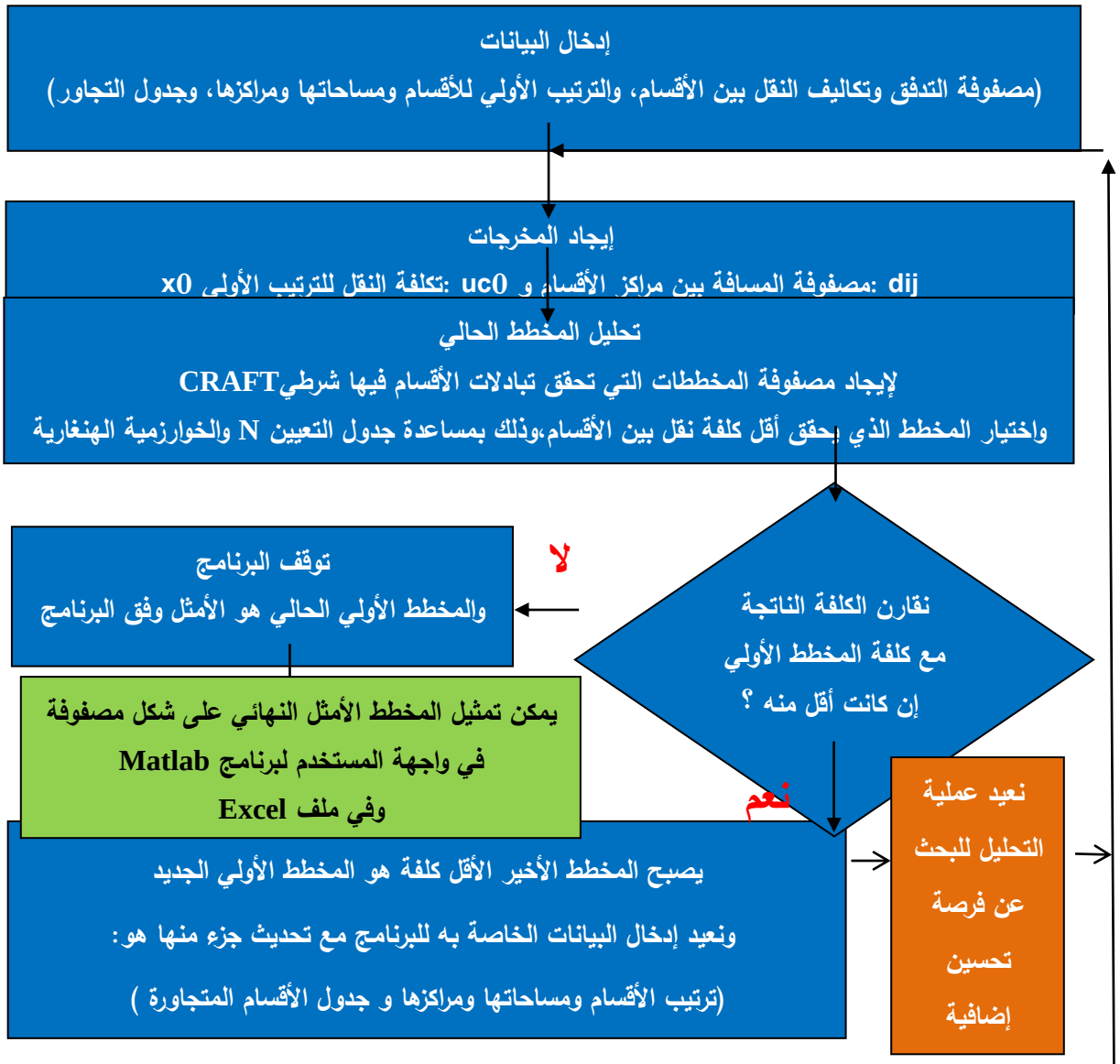
يتم إيجاد كلفة المناولة الداخلية بين أقسام كل مخطط مدروس من خلال جداء ثلاث مصفوفات بالشكل التالي:

$$\text{Min} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} (C_{ij} * dij * f_{ij})$$

مع الأخذ بالاعتبار عدم فرض قيود السعة على أدوات النقل، ونفترض ضمنيًا أن كلفة النقل cij لا تختلف من أداة نقل لأخرى.

وبعد الحصول على هذه الكلفة لجميع احتمالات التخطيط المحققة لشرطي CRAFT يتم اختيار المخطط الأقل كلفة بينها لإعادة البحث عن فرصة لتحسينه وخفض تكاليفه مجدداً.

تم تصميم المخطط التالي بالشكل(4) لتوضيح المنهجية المطبقة بهذا البحث :



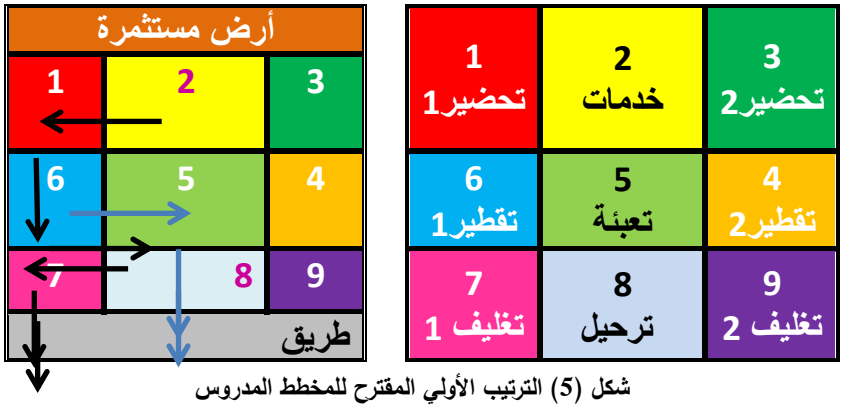
شكل (4) تصميم مخطط الخوارزمية المقترحة بهذا البحث

يُظهر الشكل (4) السابق مراحل عمل الخوارزمية المُصمَّمة بهذا البحث بالاستفادة من خوارزميتي CRAFT و الهنغارية لتحسين التخطيط الداخلي في المنشآت الصناعية الموجودة سابقاً والجديدة .

وصف نموذج منشأة لإيجاد المخطط الأمثل لها باستخدام البرنامج المقترح

لتصميم مخطط لمشروع صغير لتقطير الزيوت وماء الورد – نفترض أن المنشأة تتألف من طابق واحد و ثلاثة صفوف وتسعة أقسام بمساحات غير متساوية (ثلاثة أقسام منها ثابتة والباقي متبدل)– تم تصميم خوارزمية بلغة MATLAB تعتمد على الدمج بين خوارزمية CRAFT والخوارزمية الهنغارية، ثم تم تزويدها بواجهة GUIمساعدة لمستخدم البرنامج، وأخيراً تم ربط هذا البرنامج مع برنامج Excel لتحسين عرض المخطط الناتج. في

الشكل التالي (5) تم اقتراح ترتيب للمخطط الأولي الذي يبدأ منه البرنامج عملية التحسين بحيث يكون أقرب ما يمكن للمخطط الأمثل وبالتالي اختصار عدد مرات تكرار التحسين المطلوبة وخفض نسبة التحسين اللازمة.



شكل (5) الترتيب الأولي المقترح للمخطط المدروس

في الشكل السابق (5) يُظهر المخطط بالقسم اليميني أسماء الأقسام الموزعة بالمخطط الأولي، حيث يحتوي هذا المخطط على خطين للإنتاج كما يلي: الأول يتضمن الأقسام: (التحضير 1– التقطير 1 –التغليف1)

والثاني يتضمن الأقسام: (التحضير2– التقطير2– التغليف2) أما الأقسام الخاصة ب (الخدمات والتعبئة والترحيل) فهي مشتركة تخدم منتجات الخطين الأول والثاني . أما القسم اليساري من الشكل (5) فيوضح الطريقة التي تم بها ترتيب الأقسام في المخطط المدروس بشكل يراعي بعض العلاقات النوعية بينها للاقتراب من المخطط الأمثل بالتالي خفض نسبة التحسين اللازمة كما يلي:

1– تم مراعاة تسلسل العمليات وكثافة التدفق بين الأقسام فوضعت الأقسام– التي يحصل بينها تدفق كبير للمنتجات– بشكل متجاور كما تُظهر الأسهم : الأسهم السوداء تشير إلى تتدفق المنتج من المادة الأولية إلى النهائية للمنتج الأول –الماء والورد من قسم الخدمات والتحضير 1 إلى قسم التقطير 1 الذي ينتج عنه مادتين:

الأولى هي: المنتج ماء وزيت الورد يتم نقله إلى قسم التعبة ثم التغليف1 ليصبح جاهز للتصدير إلى السوق

أما المادة الثانية فهي: الجزء التالف الناتج من عملية التقطير يتم نقلة إلى قسم الترحيل وإخراجه من المنشأة ويتم الأمر بشكل مشابه بالنسبة للمنتج الثاني في الخط الثاني . (السهم الأزرق لتدفق الجزء التالف)

2– تم وضع الأقسام7 و8 و9 بجانب الطريق باعتبارها المراحل النهائية للإنتاج، وفُرضت أنها أقسام ثابتة.

3–في المخطط الأولي يُقترح موقع الأقسام 1 و3 – التي تستقبل المادة الخام– بالقرب من الأرض المُستثمَرة .

لتقدير كمية التدفق بين الأقسام تم التواصل مع أحد الشركات لإنتاج الزيوت العطرية وماء الورد للحصول على المعلومات المساعدة في إنشاء جدول التدفق بين الأقسام لهذا المشروع وكانت النتيجة التالية: كل 1 كغ من الورد يحتاج ل 1 كغ من الماء لمعالجته وينتج عن المعالجة كمية من ماء وزيت الورد تقدر من 1~1.5 كغ وذلك حسب نوعية الورد الذي تتم معالجته هل هي جيدة أم ممتازة. (شركة Qalamoun Rose ، دمشق، 2022). ووفقاً لما سبق تم إنشاء مصفوفة تدفق المواد بين الأقسام في المشروع المدروس، واللازمة لمعالجة 100 كغ من الورد، حيث تتنوع المواد المتدفقة بين الماء والورد (بحالتيه قبل المعالجة وبعد المعالجة)، وتكون المسافة الإجمالية بين الأقسام dij تنتج عن مجموع المسافات المستقيمة على المحورين X , Y .

* يمكن توصيف منهجية التخطيط المقترحة لحل هذه التجربة بالشكل التالي:

- نوع التدفق: يُفترض التدفق في المنشأة قيد الدراسة أنه ثابت خلال الفترة المدروسة .
- نوع البيانات : كانت متنوعة جزء منها واقعي حصلنا عليه من منشأة مشابهة وجزء تم افتراضه (علماً أن تقدير بيانات التجربة هو أمر مقبول وارد في الدراسات السابقة، حيث أشار بعض الباحثين في دراسة سابقة أن عدد البيانات المستخدمة في الأبحاث السابقة تنوعت بين بيانات حقيقية وعشوائية، وعموماً يُبرر الرجوع لدراسة حالة حقيقية فقط عند التعامل مع مشكلة جديدة مبتكرة للغاية والتي لا يوجد لها مراجع في الدراسات السابقة. (Scalia G. M., 2019).
- نوع منهجية التخطيط: متعددة الأهداف، تسعى بدايةً لاقتراح مخطط أولي للمنشأة يراعي العلاقات النوعية بين الأقسام وتسلسل العمليات لإدخاله إلى البرنامج المُصمَّم بهذا البحث –بدلاً عن البدء بمخطط عشوائي بعيد عن الحل الأمثل–، والهدف الآخر فهو استخدام البرنامج المقترح لتحسين هذا المخطط الأولي وإيجاد المخطط الأمثل للمنشأة بأقل تكلفة للنقل بين أقسامها.

في الجدول (1) تُعطى البيانات الخاصة بالمشروع واللازمة لعمل البرنامج المُصمَّم بهدف إيجاد الترتيب الأمثل الذي يحقق أقل كلفة نقل للمواد بين الأقسام ويتم حسابها وفق المعادلة التالية: Cost=Fij* Cij* Dij

وهي جداء مصفوفات التدفق والكلفة ومسافة النقل بين الأقسام لهذه المنشأة. يتم إدخال البيانات التالية الموضحة بالجدول (1) في البرنامج وتشغيله لإيجاد كلفة المخطط الأولي للمنشأة وإجراء تحسينات عليه متكررة للوصول للمخطط الأمثل الأقل كلفة كما يلي :

جدول (1) بيانات الإدخال الخاصة بالمخطط الأولي للنموذج المدروس

<table>
<tr><td colspan="5">إيجاد كلفة المخطط الأولي x0</td></tr>
<tr><td colspan="5">مثال :حالة منشأة مؤلفة من 3 صفوف- 9 أقسام –3 أقسام منها ثابتة وهي الأقسام (7 8 9)</td></tr>
<tr><td>مصفوفة كلفة النقل بين الأقسام</td><td>Cij=
[0 1 2 3 4 5 6 7 8 9;
1 0 0 0 0 0 1 0 0 0;
2 0 0 0 1 0 1 0 0 0;
3 0 0 0 1 0 0 0 0 0;
4 0 0 0 0 1 0 0 1 0;
5 0 0 0 0 0 0 1 0 1;
6 0 0 0 0 1 0 0 1 0;
7 0 0 0 0 0 0 0 0 0;
8 0 0 0 0 0 0 0 0 0;
9 0 0 0 0 0 0 0 0 0]</td><td>مصفوفة التدفق بين الأقسام</td><td colspan="2">Fij=
[0 1 2 3 4 5 6 7 8 9;
1 0 0 0 0 0 100 0 0 0;
2 0 0 0 100 0 100 0 0 0;
3 0 0 0 100 0 0 0 0 0;
4 0 0 0 0 150 0 0 50 0;
5 0 0 0 0 0 0 150 0 150;
6 0 0 0 0 150 0 0 50 0;
7 0 0 0 0 0 0 0 0 0;
8 0 0 0 0 0 0 0 0 0;
9 0 0 0 0 0 0 0 0 0]</td></tr>
<tr><td>مصفوفة التعيين
نتيجة ثبات الأقسام
(9 –8 –7)
يتم إدراج جدول التعيين للأقسام المتبدلة فقط ، وعددها6</td><td>N=
[1 2 3 4 5 6;
1 2 3 4 5 6;
1 2 3 4 5 6;
1 2 3 4 5 6;
1 2 3 4 5 6;
1 2 3 4 5 6];</td><td>إحداثيات مراكز الأقسام لاستنتاج مصفوفة المسافة</td><td>P5= [5 4.5]
P6= [1.5 4.5]
P7= [1.5 1.5]
P8= [5 1.5]
P9= [8.5 1.5]</td><td>Part=
P1= [1.5 7.5]
P2 = [5 7.5]
P3= [8.5 7.5]
P4= [8.5 4.5]</td></tr>
<tr><td colspan="3">ترتيب المخطط الأولي</td><td colspan="2">X0= [1 2 3 4 5 6 7 8 9]</td></tr>
</table>

المساحات المقابلة للترتيب الأولي	y0= [9 12 9 9 12 9 9 12 9]
مصفوفة التجاور للأقسام– كل صف يمثل أحد الأقسام مع احتمالات تبديله الممكنة مع الأقسام المجاورة له حيث: [9 8 7] ثلاث أقسام ثابتة	Xd= [1 2 6 0 0 0 0 0 0; 2 1 3 5 0 0 0 0 0; 3 2 4 0 0 0 0 0 0; 4 3 5 0 0 0 0 0 0; 5 4 6 2 0 0 0 0 0; 6 1 5 0 0 0 0 0 0; 7 0 0 0 0 0 0 0 0; 8 0 0 0 0 0 0 0 0; 9 0 0 0 0 0 0 0 0]

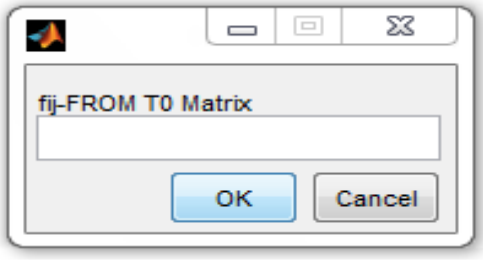
تم تصميم ما يسمى بتجربة المستخدم UX(User Experience) لترتيب مراحل العمل على البرنامج المقترح بدءاً من البيانات الخاصة بالمنشأة حتى الوصول إلى النتائج المطلوبة.

❖ **تصميم تجربة المستخدم UX(User Experience)**

تم العمل لتصميم تجربة المستخدم ويقصد بها هنا هو وضع ترتيب معين لعدد من البرامج الجزئية للحصول على برنامج متكامل قادر على تحقيق الهدف الذي صُمم لأجله البرنامج بالتالي ترتيب خطوات استخدام البرنامج بشكل بسيط يُمكِّن المستخدم من الوصول للنتائج المطلوبة بسهولة، أيضاً تسمح بربط هذا البرنامج مع واجهة مستخدم تفاعلية مساعدة للمستخدم في أثناء العمل على البرنامج. وبناءً على ما سبق تم تصميم تجربة المستخدم الخاصة بالبرنامج المقترح بهذا البحث لتتضمن أربع وحدات أساسية هي: التحسين وتكرار التحسين وإظهار النتائج وتمثيل المخطط الأمثل الناتج، والموضحة بالشكل التالي (6):

شكل (6) لوحدات الأساسية المكونة لتجربة المستخدم

أولاً. عملية التحسين: تم تصميم عدة واجهات لإدخال البيانات الخاصة بالمنشأة ويظهر بالشكل(7) مثال لها .



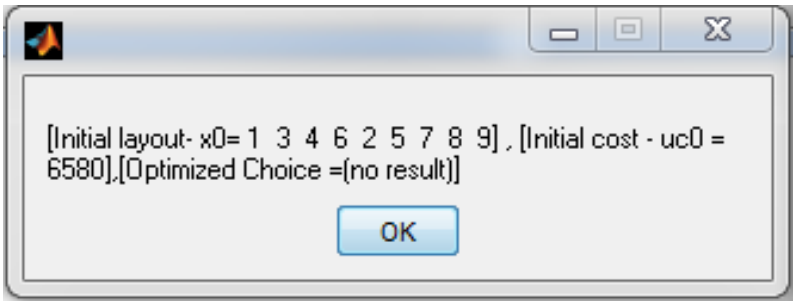

```
prompt_1={'fij- FROM TO Matrix'};
answer_1=inputdlg(prompt_1);
fij= str2num(answer_1{1});
```

الشكل (7) واجهة إدخال بيانات مصفوفة التدفق بين الأقسام

بعد إدخال البيانات الخاصة بالمنشأة يقوم البرنامج بإجراء العمليات التالية: استنتاج مسافة النقل بين مراكز الأقسام dijلحساب كلفة المناولة الداخلية للمخطط الأولي، ثم إيجاد مصفوفة المخططات المقبولة وفق شرطيCRAFT

وحساب مسافات وتكاليف النقل لهذه المخططات المقبولة ، ومن ثم المقارنة بين هذه المخططات لاختيار الأقل كلفة بينها لمقارنته مع كلفة المخطط الأولي وإيجاد نسبة التحسن بينهما إن وجدت. حيث تكون نتيجة أول عملية تحسين للمخطط الأولي$x0$ إما:

- لا يوجد فرصة لتحسين المخطط فتظهر رسالة (no result) كما يظهر بالمثال الموضح بالشكل (8) التالي:

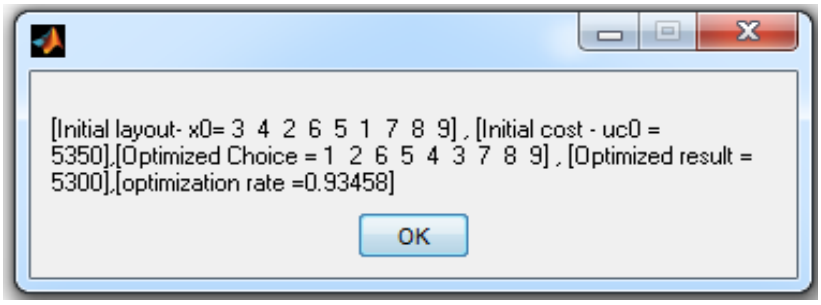


شكل(8)نتيجة تُظهر انتهاء عملية التحسين لأحد الأمثلة باستخدام البرنامج المُقترح

- أو يوجد فرصة للتحسين فتظهر رسالة تتضمن :

الترتيب الأولي x0 وكلفته cost– ويظهر الترتيب الناتج عن التحسين وكلفته ونسبة التحسين بينهما

- وبهذه الحالة الثانية يتم الانتقال إلى الوحدة الثانية للبرنامج لتستمر محاولات تحسين التخطيط حتى تتوقف قدرة البرنامج على التحسين.
- يُظهر الشكل التالي(9) أحد نتائج عملية التكرار الأخير للتحسين لعملية تحسين مخطط المثال المدروس، حيث بالمقارنة مع كلفة المخطط الأمثل الناتج في عملية التحسين السابقة نلاحظ عدم وجود انخفاض فعلي في كلفة النقل الناتجة فنستنتج أن التحسين توقف بهذه المرحلة.



شكل (9) مخرجات التكرار الأخير لعملية التحسين بالمثال المدروس

ثانياً. تكرار التحسين: تستمر عملية تكرار التحسين حتى توقف الانخفاض بالتكاليف أو ظهور رسالة no result، وبعد ذلك يمكن الانتقال إلى الوحدة الرابعة لتمثيل هذا المخطط الأمثل الناتج.

ثالثاً. إظهار النتائج: يتم إدراج النتائج التي توصل إليها البرنامج أثناء عمليات التحسين وتكرار التحسين في جدول النتائج، بالإضافة لنسبة التحسن في كلفة المناولة الداخلية بين الأقسام والتي نحصل عليها باستخدام العلاقة :

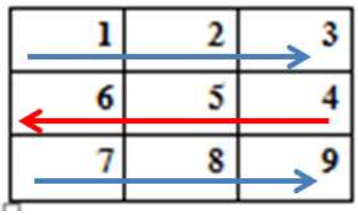
نسبة التحسين الكلية الفعلية = (كلفة النقل للمخطط الأولي– كلفة النقل للمخطط الأمثل الناتج بعد التحسين) / (كلفة النقل للمخطط الأولي) * 100

رابعاً. تمثيل الشكل النهائي للمخطط الأمثل الناتج ويتم بطريقتين:

1- باستخدام MATLAB والمصفوفات الرقمية المساعدة لإخراج المخطط على شكل مصفوفة.

2- ربط البرنامج المصمم باستخدام MATLAB مع برنامج Excel لتحسين تمثيل المخطط النهائي.

- يُظهر الشكل (10) القالب العام المعتمد لتمثيل أقسام المخطط النهائي الناتج للمنشأة المدروسة في ترتيب معين ضمن الصفوف، حيث يتألف هذا القالب من ثلاثة صفوف ويُمثَّل كل صف بمصفوفة، و يتم إدراج الأقسام في الصف الأول والثاني والثالث بالتتالي وفقاً لترتيب الأقسام النهائي الناتج بالبرنامج، ونظراً لأن برنامج MATLAB يقرأ عناصر كل عمود بالمصفوفة بدءاً من الأعلى إلى الأسفل ويقرأ الأعمدة من اليسار إلى اليمين فسيتم تعبئة الصف الأول والثالث كما هو موضح بالأسهم على الشكل (10)، أما الصف الثاني فتم عكس اتجاه التعبئة لأعمدة مصفوفته ليصبح من اليمين إلى اليسار وذلك لمعالجة مشكلة تواجد آخر قسم في الصف الأول– الذي لم يتسع لكامل مساحة هذا القسم– ليتم تجزئة هذا القسم لقسمين متقابلين في الصف الأول والثاني واستكمال تعبئة بقية الأقسام بنفس الترتيب.



شكل (10) القالب العام المعتمد لتمثيل المخطط النهائي الناتج للمنشأة المدروسة

لتوضيح الملاحظة السابقة نذكر المثال التالي: نريد تمثيل المخطط (9 8 7 6 5 4 3 2 1)
والمساحات المقابلة لهذه الأقسام السابقة هي : (9 12 9 12 9 9 12 12 9)
فيكون تمثيله بواجهة MATLAB كما هو ظاهر بالشكل (11) التالي:

```
Z =

     1     1     1     2     2     2     2     3     3     3
     1     1     1     2     2     2     2     3     3     3
     1     1     1     2     2     2     2     3     3     3
     6     6     6     5     5     5     4     4     4     3
     6     6     6     5     5     5     4     4     4     3
     6     6     6     5     5     5     4     4     4     3
     7     7     7     8     8     8     8     9     9     9
     7     7     7     8     8     8     8     9     9     9
     7     7     7     8     8     8     8     9     9     9
```

شكل (11) تمثيل مخطط باستخدام MATLAB

يُظهر الشكل السابق (9) تمثيل لمخطط منشأة تتألف من ثلاثة صفوف وتسعة أقسام والقسم رقم 3 موزع في صفين الأول والثاني.

- تمثيل المخطط باستخدام برنامج Excel:

بمساعدة البيانات الواردة في الجدول (2) التالي لوصف المخطط المدروس يتم تمثيل المخطط النهائي الناتج على شكل مصفوفة في برنامج MATLAB والذي تم ربطه مع واجهة برنامج Excel لتحسين طريقة إظهاره.

جدول (2) وصف المخطط المدروس الممثل في واجهات العرض Matlab, Excel

الاسم	القيمة	الاسم	القيمة
مساحة المخطط	90	عدد الأقسام	9
طول المخطط	10	عدد الأقسام الثابتة	3
عرض المخطط	9	الأقسام الثابتة	9 8 7
عدد صفوف المخطط	3	ترتيب الأقسام بالمخطط	1 2 3 4 5 6 7 8 9
مساحة الصف	30	مصفوفة مساحة الأقسام	[9 12 12 9 9 9 9 12 9]
عرض الصف	3	يتم تصدير مصفوفة تمثيل المخطط لملف Excel	
طول الصف	10	تظهر مصفوفة تمثيل المخطط في واجهة المستخدم في برنامج Matlab	

حيث يتم تصدير نسخة من المخطط إلى ملف Excel ، ومن ثم نقله لملف آخر تم برمجته ليعطي لون يختلف وفقاً للرقم الموجود في الخلية – وهو موافق لرقم القسم المتواجد فيها– كما يلي:

- اللون الأحمر للخلايا التي تحتوي على الرقم 1 وتمثل القسم الأول.
- والأصفر للخلايا التي تحتوي على الرقم 2 وتمثل القسم الثاني.
- والأخضر للخلايا التي تحتوي على الرقم 3 وتمثل القسم الثالث، وبنفس الطريقة لبقية الأقسام.

أيضا تم تعديل طول وعرض الخلايا لملف Excel لتكون بشكل مربع قدر الإمكان ليكون بذلك المربع الواحد من الشبكة يمثل وحدة مساحة واحدة (مثلاً:1 متر مربع، أو 10 متر مربع، أو غيره وفقاً لاختيار المستخدم).

ويكون تمثيل المخطط الناتج بواجهة Excel كما هو موضح بالشكل (12) التالي :

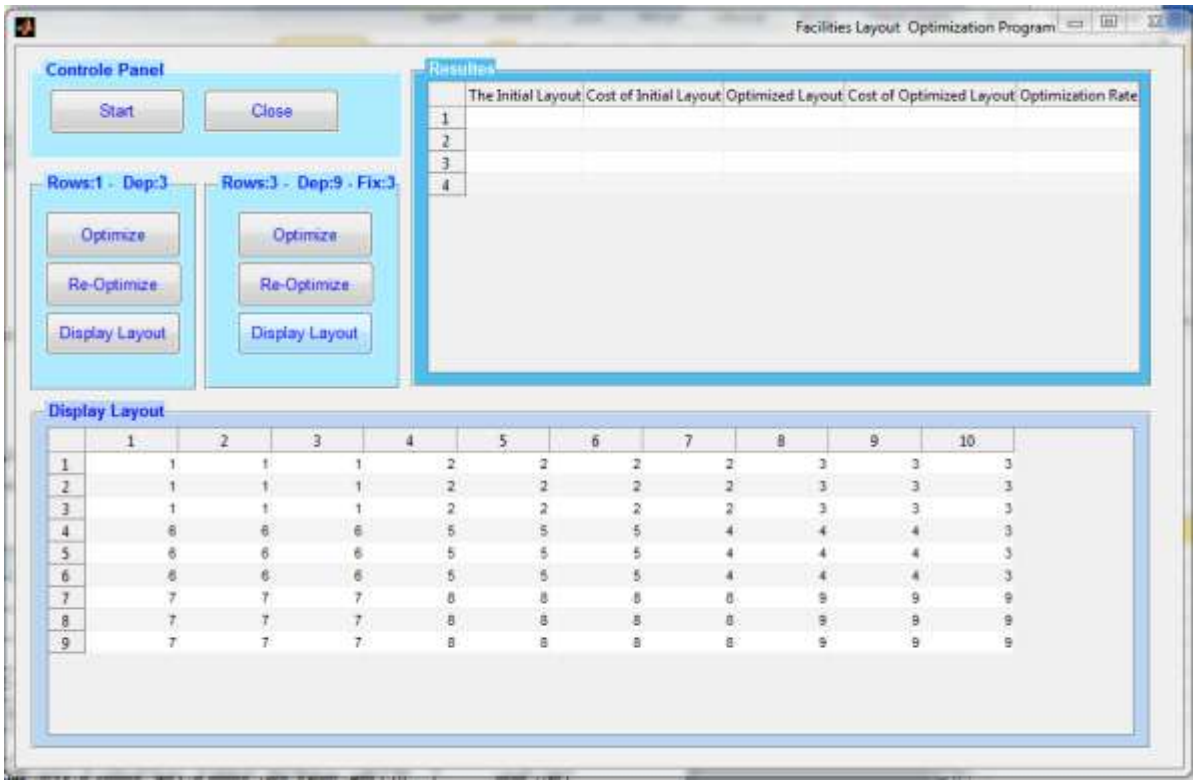
شكل (12) تمثيل المخطط النهائي في واجهة Excel

في الشكل السابق (12) يُظهر المخطط الأول – في الجانب الأيمن– تطبيق للملاحظة السابقة في حال تواجد القسم الثالث في صفين متتاليين وبشكل متقابل، أما المخطط الثاني – على اليسار– فيُظهر إمكانية إجراء تعديل إضافي على المخطط النهائي مباشرة وبشكل يدوي لتبديل بعض الخلايا وفق الشكل الملائم بالنسبة للمستخدم – مثلاً تم تبديل خليتين من القسم الثالث مع خليتين من القسم الرابع – لتحسين الشكل النهائي .

ولمساعدة المستخدم باستعمال البرنامج الُمصمَّم والحصول على النتائج بشكل أسهل وأسرع تم تصميم واجهة للبرنامج UI(User Interface) .

❖ **تصميم واجهة المستخدم UI(User Interface)**

يظهر بالشكل(13) التالي واجهة البرنامج المُصمَّم في MATLAB تضم الوحدات الرئيسية لتجربة المستخدم وهي: (التحسين وتكرار التحسين وإظهار النتائج وعرض المخطط).



شكل (13) نموذج لتصميم واجهة مساعدة للمستخدم UI(User Interface)

بعد إدخال البيانات السابقة بالجدول (1) إلى البرنامج المقترح لإيجاد كلفة النقل للمخطط الأولي، تم إجراء التحسينات الممكنة للوصول للمخطط الأمثل الأقل كلفة باستخدام البرنامج، وكانت النتائج موضحة بالجداول (3) و(4) و(5)التالية:

جدول (3) نتائج تحسين المخطط المدروس للمرة الأولى

المخطط		الترتيب	الكلفة الفعلية	الكلفة التقديرية	نسبة التحسين
X0		[1 2 3 4 5 6 7 8 9]	5550	-	
نتائج التحسين للمرة الأولى	X01	[1 2 6 5 4 3 7 8 9]	-	5250	**5.4 %**
	X02	[6 2 1 3 4 5 7 8 9]	-	5250	

	X03	[3 2 4 5 6 1 7 8 9]	-	5250	
	X04	[4 2 3 1 6 5 7 8 9]	-	5250	

جدول (4) نتائج التكرار الأول لتحسين المخطط المدروس

التكرار الأول للتحسين					
المخطط		الترتيب	الكلفة الفعلية	الكلفة التقديرية	نسبة التحسين
X01مخطط		[1 2 6 5 4 3 7 8 9]	5350	-	0.93 %
نتيجة التحسين	X01.1	[1 6 2 4 5 3 7 8 9]	-	5300	
	X01.2	[3 4 2 6 5 1 7 8 9]	-	5300	
X02مخطط		[6 2 1 3 4 5 7 8 9]	5350	-	
نتيجة التحسين	X02.1	[1 6 2 4 5 3 7 8 9]	-	5300	
	X02.2	[3 4 2 6 5 1 7 8 9]	-	5300	
X03مخطط		[3 2 4 5 6 1 7 8 9]	5350	-	
نتيجة التحسين	X03.1	[1 6 2 4 5 3 7 8 9]	-	5300	
	X03.2	[3 4 2 6 5 1 7 8 9]	-	5300	
X04مخطط		[4 2 3 1 6 5 7 8 9]	5350	-	
نتيجة التحسين	X04.1	[1 6 2 4 5 3 7 8 9]	-	5300	
	X04.2	[3 4 2 6 5 1 7 8 9]	-	5300	
نلاحظ أن المخططات الأربعة لها نتائج متشابهة للكلفة عند التكرار الأول للتحسين لذلك ندرس التكرار الثاني للتحسين لنتائج أحد هذه المخططات فقط					

جدول (5) نتائج التكرار الثاني لتحسين المخطط المدروس

التكرار الثاني للتحسين				
المخطط	الترتيب	الكلفة الفعلية	الكلفة التقديرية	نسبة التحسين
المخطط X01.1	[1 6 2 4 5 3 7 8 9]	5350	-	الأمثل
تحسين	1 2 6 5 4 3 7 8 9	-	5300	-
	3 2 4 5 6 1 7 8 9	-	5300	-
المخطط X01.2	[3 4 2 6 5 1 7 8 9]	5350	-	الأمثل
تحسين	1 2 6 5 4 3 7 8 9	-	5300	-
	3 2 4 5 6 1 7 8 9	-	5300	-

من الجدول السابق (5) نلاحظ وجود تحسين بهذه المرحلة ولكن أيضاً بالمقارنة بين الكلفة الفعلية للمخطط الأولي بهذه المرحلة مع الكلفة الفعلية للمخطط الأولي بالمرحلة السابقة – بالجدول (4)– لوحظ تطابق بالكلفة أي توقف التحسين الفعلي، لذلك يتوقف البرنامج عن تكرار التحسين وتكون القيمة 5350 هي المثلى والمخططات المثلى هي المقابلة لها.

وتكون نسبة التحسين الكلية الفعلية =

(كلفة النقل للمخطط الأولي– كلفة النقل للمخطط الأمثل الناتج بعد التحسين)/(كلفة النقل للمخطط الأولي) *100

وهي في المثال المدروس كما يلي: **(5550 -5350) / 5550 = 3.6** %

- من النتائج الموضحة بالجداول السابقة (3) و(4) و(5) نلاحظ أن نسبة التحسين وعدد التكرارات اللازمة للوصول للمخطط الأمثل للمنشأة منخفض نسبياً وذلك نتيجة اقتراح مخطط أولي بدلاً عن بدء التحسين من مخطط عشوائي للمنشأة.

النتائج والمناقشة:

1- تم توفير برنامج تخطيط للمنشآت يعمل وفق المنهجية المقترحة بهذا البحث، وذلك باستخدام MATLAB وتم تصميم واجهة مساعدة للمستخدم للعمل عليه للوصول للمخطط الأمثل للمنشآت. يمثل هذا النموذج المقترح إصدار أول للبرنامج يختصر الكثير من الوقت والجهد والمراحل لانشاء إصدارات أفضل لاحقاً، كما يتميز بعدم الحاجة لتكاليف إضافية أو لتوفر شبكة الانترنت للعمل عليه، ويهدف لمساعدة المخططين في السوق المحلية التي يُحجب عنها خدمات العديد من البرامج الحالية الخاصة بهذا المجال.

2- أظهرت نتائج استخدام هذا البرنامج في تحسين المخطط لأحد نماذج المنشأت قدرة البرنامج على اختيار الحل الأمثل الأقل كلفة بين عدد كبير من البدائل خلال وقت قصير، وتكرار تحسين التخطيط حتى توقف قدرة البرنامج على التحسين وفق أهداف المنهجية المقترحة.

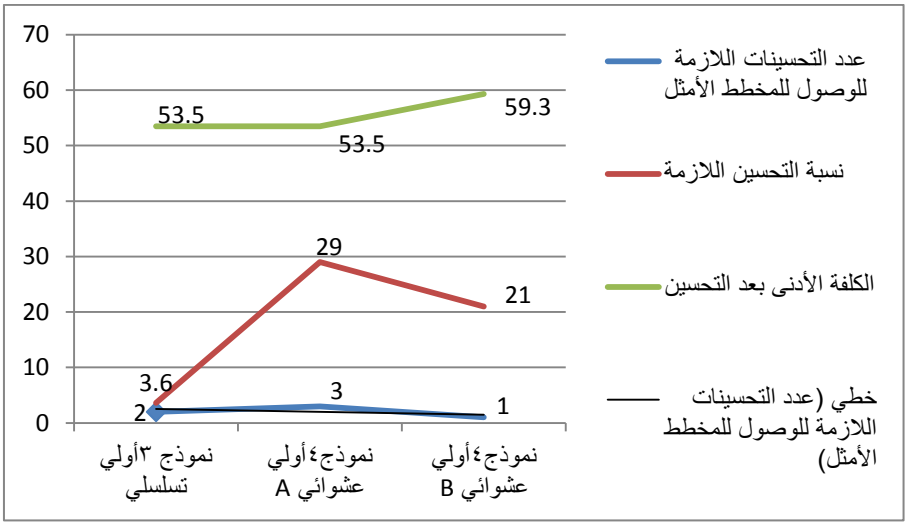
حيث كانت نتائج استخدام البرنامج المقترح في نموذج المنشأة المدروسة كما يلي:

- في مرحلة تحسين واحدة فقط – المرحلة الأولى- بلغ عدد احتمالات التخطيط التي اقترحها البرنامج لاختبارها وفق شرطي CRAFT: (720) احتمال، أما عدد الاحتمالات المقبولة منها وفق هذين الشرطين فبلغ: (176) مخطط، وتم إحصاء عدد هذه الاحتمالات عبر تصدير المصفوفة الخاصة بها لبرنامج Excel.
- في مرحلة التحسين الأولى للمخطط الأولي تم حساب مسافات وتكاليف النقل الداخلي ل (176) مخطط، ثم اختيار الترتيب الأقل كلفة بينها، ثم مقارنته مع كلفة المخطط الأولي، ثم إيجاد نسبة التحسن بالتكاليف، وكل ذلك خلال زمن لايتجاوز(5) ثانية لهذه العمليات.
- كانت أقل قيمة لمناولة المواد بين أقسام المنشأة المدروسة بعد نهاية عمليات التحسين: **(5350)** وحدة نقدية عند المخططات التي تملك الترتيب التالي للأقسام : **X0= [1 6 2 4 5 3 7 8 9] , [3 4 2 6 5 1 7 8 9]**

وتوصل إليها البرنامج بعد إجراء تحسين للمخطط الأولي المدروس وتكرار التحسين لمرتين ثم توقفت قدرة البرنامج على التحسين مجدداً.

- بلغت نسبة تخفيض كلفة مناولة المواد بالمخطط الأمثل الناتج بالمقارنة مع المخطط الأولي: (3.6%)
- لدراسة سيناريوهات إضافية وتوضيح مرونة البرنامج تم دراسة حالات إضافيه نذكر منها:

– أثر اختلاف المخطط الأولي المُدخل للبرنامج على المخطط الأمثل الناتج: حيث تم البدء بعملية التحسين بدءاً من مخطط عشوائي ومقارنة النتائج بالشكل التالي (14) الذي يظهر فيه أن المخطط العشوائي احتاج إلى عدد أكبر من تكرارات التحسين اللازمة للوصول للمخطط الأمثل و قيمة أعلى لنسبة التحسين اللازمة وتكلفة أعلى للنقل في المخطط الأمثل الناتج عنه.



شكل (14)التمثيل البياني لنتائج تحسين عدة نماذج باستخدام البرنامج المقترح

الاستنتاجات والتوصيات:

1- من نقاط القوة التي يتمتع بها تصميم البرنامج المقترح بهذا البحث هي تصميم البرنامج على شكل مجموعة من الوحدات والبرامج الجزئية للحصول على كود نظيف قدر الإمكان، سهل الاختبار وقابل للتطوير بشكل مستقل لأي جزء من البرنامج ومستدام لإعادة استخدامه في البرنامج نفسه أو برامج أخرى.

2- تم تصميم البرنامج الجزئي –الخاص بمرحلة الرسم وإظهار المخطط النهائي الناتج– بشكل مرن يسمح بتجزئة القسم الواحد إلى جزأين متقابلين في صفين متتالين، وذلك في حال عدم كفاية الصف لمساحة القسم الأخير الذي تم تعيينه فيه وهي طريقة مشابهة تقريباً للمنهجية المقترحة في خوارزمية LAYSPLIT .

3- تتمثل صعوبة تصميم البرنامج المقترح بهذا البحث في الترتيب الدقيق لخطوات عمل المنهجية المقترحة، والزمن التجريبي الطويل للوصول إلى التعليمات البرمجية المعقدة في بعض أجزاء الخوارزمية المقترحة.

4-استخدام برنامج MATLAB في هذا البحث ساعد بتصميم خوارزمية البرنامج المقترح وواجهة المستخدم له ، كما يسمح بالاطلاع على البيانات التفصيلية المرحلية لمصفوفات المسافة والتدفق والكلفة بالإضافة إلى توافقه مع برامج أخرى مثل Excel لتحسين عرض النتائج.

5-نستنتج أن البرنامج المقترح يجمع ميزات من عدة منهجيات سابقة مثل:
(CRAFT,MULTIPLE,MOCRAFT,MASS,LAYSPLIT) مما يرفع كفاءتها في الوصول للتخطيط الأمثل.

التوصيات للعمل المستقبلي

1. يُوصى باستخدام تقنيات تخطيط المنشآت أثناء عملية التخطيط وقبل إنشاء المنشآت، مثل البرنامج المقترح بهذا البحث للتنبؤ بتكاليف المناولة فيها واختيار المخطط الأمثل بأقل كلفة ممكنة قبل الإنشاء وخاصة في المرحلة القادمة من إعادة الإعمار التي يتوقع أن تشهد فيها السوق المحلية إنشاء عدد كبير من المنشآت الصناعية التي يمكن العمل لتخطيطها بالشكل الأمثل وبأقل التكاليف.

2. يُوصى باقتراح مخطط أولي للمنشأة يراعي تسلل العمليات –عوضاً عن البدء بمخطط أولي عشوائي–وذلك لخفض عدد تكرارات التحسين ونسبة التخفيض اللازمة للوصول للمخطط الأمثل، ومع ذلك أظهرت نتائج استخدام البرنامج توفير بتكاليف النقل له دلائل مهمة في تحسين كفاءة المخطط الأولي.

3. يُوصى بتطوير البرنامج المقترح :

– ليشمل مخططات شريحة أوسع من المنشآت ومزايا أكثر (مثل توفير مكتبة لأرشفة نماذج مساعدة للمستخدم).

– للعمل بتوافق مع برامج هندسية أخرى مما يعود بفائدة أكبر على المشاريع المحلية والأبحاث المستقبلية.

4. عند الضرورة يُستحسن تعديل المخطط النهائي يدوياً للحصول على أشكال أفضل لبعض الأقسام.

References:

1. BOZER, Y. A.; MELLER, R. D.; & ERLEBACHER, S. J. *An Improvement-Type Layout Algorithm for Single and Multiple-Floor Facilities*. Management Science, 1994, 40(7): 918-932.
2. CHAE, J.; & REGAN,A.C. *A mixed integer programming model for a double row layout problem*. Computers & Industrial Engineering, 2020, 140, 106244.
3. DRIRA, A.; PIERREVAL, H.; & HAJRI-GABOUJ, S. *Facility Layout Problems: A Survey*. Annual Reviews in Control, 2007, 31(2): 255-267.
4. GOPALAKRISHNAN, B.; WENG, L.; & GUPTA, D. P. *Facilities Design Using a Split Departmental Layout Configuration*. Facilities, 2003, 21(3/4): 66-73.
5. KHOSHNEVISAN, M.; & BHATTACHARYA, S. *Optimal Plant Layout Design Based on MASS Algorithm*. In Proc. of 6th International Conference on Information Fusion, Cairns, Australia, 2003.
6. KOVACS, G.; & KOT, S. *Facility Layout Redesign For Efficiency Improvement and Cost Reduction*. Journal of Applied Mathematics and Computational Mechanics, 2017, 16(1): 63-74.
7. KUSIAK, A.; & HERAGU, S. S. *The Facility Layout Problem*. European Journal of Operational Research, 1987,29(3): 229-251.
8. SCALIA, G.; MICALE, R.; & ENEA, M. *Facility Layout Problem: Bibliometric and Benchmarking Analysis*. International Journal of Industrial Engineering Computations, 2019, 10(4): 453-472.
9. SVESTKA, J. A. *MOCRAFT: A Professional Quality Micro-Computer Implementation of CRAFT With Multiple Objectives*. Computers & Industrial Engineering, 1990, 18(1): 13-22.
10. TINELLO, D.; JODIN , D.; & WINKLE, H. *Biomimetics Applied to Factory Layout Planning: Fibonacci Based Patterns, Spider Webs and Nautilus Shell as Bio-Inspiration to Reduce Internal Transport Costs in Factories.* CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 2016, 13: 51-71.
11. YANG, X.;CHENG, W.;GUO,P.;&HE,Q. Mixed *Integer Programming Formulations for Single Row Facility Layout Problems with Asymmetric Material Flow and Corridor Width*. Arabian Journal for Science and Engineering, 2019, 44, pp. 7261-7276.
12. QALAMOUN ROSE COMPANY. Damascus, Syria , 2022.
13. MOHAMAD,M. *Advanced Techniques in Mathematical Modeling and Operations Research Using Matlab*. A Lecture in A Training Workshop.on Mathematical Modeling and Operations Research. Lattakia .Syrian Computer Society**,**2019.

14. DARWISH, R; JRAD, F. *Dynamic Construction Site Layout Planning Optimization Using Genetic Algorithm*. Tishreen University Journal-Engineering Sciences Series,, 2023, 45:4, 229-247.
15. Hawat, S., Maya, R., & Omran, J. *Proposing a Tool for Assessing Sustainable Practices in the Work Sites and Measuring it in Construction Projects in Syria.* Tishreen University Journal-Engineering Sciences Series,2023. 45:5, 275-296.