# Suggest Algorithms to Solve the Problems of Assembly System Balancing Using Computer

**Dr. Tammam Jamil Salloum***
**Imad Addeen Ajam****

**(Received 5 / 8 / 2023. Accepted 30 / 1 / 2024)**

## □ ABSTRACT □

The twenty-first century witnessed a staggering development in industrial production processes, as international companies began to support computer-aided manufacturing and assembly systems in their production to keep pace with the development of modern knowledge and science. Hence, it is necessary to study these systems more deeply if we want to compete with other companies.. Perhaps the most important cause of these problems is the wasted time due to the absence of planning and standard instructions on the assembly line. All this prompted the need for researchers to develop many methods and algorithms that help manage assembly lines more efficiently. The term of Production Line Balancing refers to arranging and allocating assembly operations with the aim of ensuring a regular flow when the assembly line is operating. Moreover, balancing is an effective tool used to develop assembly line productivity in various fields as it helps to eliminate bottlenecks, and also helps to increase production rate and efficiency. First, we conducted a comprehensive literature review of the subject, then looked at how to classify assembly line problems, then introduced the COMSOAL algorithm, which is one of the most important methods directed at solving assembly system balancing problems. As for the applied study, we developed three proposed and hybrid algorithms, starting with the COMSOAL algorithm, where the aim was to find ways to solve all types of ordinary assembly line problems within proposed flow charts, based on previous studies..Then we tested the proposed algorithms and compared them with a reference case and the results were identical.

**Keywords** Assembly Systems Balancing - Simulation - COMSOAL Algorithm - Search Algorithm from The Upper Limit - Efficiency - Heuristic Methods - Balancing Problems - Assembly Line

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

* **Associate Professor – Department of Industrial Engineering -Mechanical college- Aleppo University- Aleppo – Syria**.
** **Master – Department of Industrial Engineering -Mechanical college- Aleppo University- Aleppo – Syria. imadaddeenajam@gmail.com**

# اقتراح خوارزميات لحل مشاكل موازنة نظم التجميع باستخدام الحاسب

**د. تمام جميل سلوم***

**عماد الدين عجم****

**(تاريخ الإيداع 5 / 8 / 2023. قُبِل للنشر في 30/ 1 / 2024)**

## □ ملخّص □

شهد القرن الواحد والعشرون تطوراً مذهلاً في عمليات الإنتاج الصناعيةً ، حيث بدأت الشركات العالمية تدعم أنظمة التصنيع والتجميع بمساعدة الحاسب في إنتاجها لتواكب تطور المعارف و العلوم الحديثة، مما أصبح من الضروري دراسة هذه النظم بعمق أكبر إذا أردنا منافسة الشركات الأخرى. لذا تعدُّ نظم التجميع من أهم أولويات المدراء في المنشآت الصناعية التي تتعرض في الواقع لعديد من المشاكل الإنتاجية وخاصة في موازنة خط التجميع. ولعل أهم أسباب هذه المشاكل هو هدر الوقت بسبب غياب التخطيط والتعليمات القياسية في خط التجميع. كل هذا بعث الحاجة لقيام الباحثين بتطوير العديد من الطرق والخوارزميات التي تساعد على إدارة خطوط التجميع بكفاءة أكبر. يشير مصطلح موازنة الخط الإنتاجي إلى ترتيب وتخصيص عمليات التجميع بهدف تأمين تدفق منتظم عند تشغيل خط التجميع، علاوة على ذلك تعد عملية الموازنة أداة فعالة تستخدم لتطوير إنتاجية خطوط التجميع في مجالات متعددة إذ تساعد في القضاء على عمليات الاختناق، كما تساعد على زيادة معدل الإنتاج وكفاءته. بدايةً قمنا بدراسة مرجعية شاملة للموضوع ثم بحثا في كيفية تصنيف مشاكل خطوط التجميع ثم عرَّفنا بخوارزمية COMSOAL والتي تعدُّ من أهم الطرق الموجهة لحل مشاكل موازنة نظم التجميع. أما الدراسة التطبيقية فقد قمنا بتطوير ثلاث خوارزميات مقترحة وهجينة بدءاً من خوارزمية COMSOAL حيث كان الهدف منها هو إيجاد طرق حل لجميع أنواع مشاكل خطوط التجميع العادية ضمن مخططات تدفقية مقترحة، وذلك اعتمادًا على الدراسات السابقة. وبعد ذلك قمنا باختبار الخوارزميات المقترحة ومقارنتها مع حالة مرجعية وكانت النتائج متطابقة.

**الكلمات المفتاحية:** موازنة نظم التجميع– المحاكاة– خوارزمية COMSOAL – خوارزمية البحث من الحد الأعلى– الكفاءة– الطرق الموجهة–مشاكل الموازنة– خط تجميع.

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

* **أستاذ مساعد – قسم الهندسة الصناعية – كلية الهندسة الميكانيكية – جامعة حلب– حلب– سورية.**

** **ماجستير – قسم الهندسة الصناعية – كلية الهندسة الميكانيكية – جامعة حلب – حلب– سورية.imadaddeenajam@gmail.com**

## مقدمة:

تعد عملية التجميع إحدى أهم العمليات الإنتاجية في النظم الصناعية، وتعد نظم التجميع جزءاً أساسياً من تصميم مخططات المنتج، ويكون الهدف من تخطيط المنتج هو ترتيب العمال أو الآلات في التسلسل الذي يجب به تنفيذ العمليات. يشار إلى هذا التسلسل بوصفه خط إنتاج أو خط تجميع. تتراوح هذه الخطوط من قصيرة نسبيًا مع عدد قليل من العمليات، إلى الخطوط الطويلة التي تحتوي على عدد كبير من العمليات، ويعد خط تجميع السيارات مثالاً على الخطوط الطويلة. ترتبط العديد من فوائد تصميم مخططات المنتج بالقدرة على تقسيم العمل المطلوب إلى سلسلة من المهام الأساسية التي يمكن إجراؤها بسرعة وبشكل روتيني بوساطة عمال من ذوي مهارات عادية أو أجهزة متخصصة. تجمع المهام عادة في مجموعات بسيطة يمكن التحكم بها وتخصص ضمن محطات عمل يعمل بها عامل أو عاملين. يشار إلى عملية كيفية تعيين المهام لمحطات العمل بوصفها موازنة خط التجميع، وهي إحدى أهم استراتيجيات الترتيب الداخلي للنظم الصناعية. [1]

تتميز خطوط التجميع المستمر بنظام نقل ميكانيكي إذ تُنقل الوحدات مباشرة إلى العملية التالية من دون خيار التخزين المؤقت. وقد قُدِّمَ هذا النوع من قِبل المهندس Henry Ford في عام 1913 عند تصنيع سيارة "T–Ford" ومنذ ذلك الحين وضع معيارًا للإنتاج الضخم في بيئات التجميع. [9]

ومازالت العديد من الدراسات والأبحاث تحسن من عملية موازنة نظم التجميع على نحو واسع حتى الآن، ويستعرض هذا الفصل الدراسات والأبحاث السابقة المتعلقة بأهداف البحث فقط، التي تم تصنيفها وفق مجال البحث ورُتِّبت ضمن كل مجال من الأقدم إلى الأحدث

قام الباحثان **Christian Becker و Armin Scholl (2004)** بإعداد بحث استطلاعي بعنوان: **استعراض المشاكل والطرق في موازنة خط التجميع العام.** [10]

وتُظهر الدراسة أن أبحاث موازنة خط التجميع التي كانت تركز تقليديًا على المشكلات البسيطة (SALBP) قد تطورت مؤخرًا نحو صياغة وحل المشكلات المعممة (GALBP) بخصائص إضافية مختلفة مثل وظائف التكلفة واختيار المعدات والموازنة وتخطيط الخط على شكل حرف U وإنتاج النماذج المختلطة.

وذكر البحث أنه من الضروري إجراء بحث إضافي لتبني مفاهيم الحلول الأكثر حداثة مثل طرق الإجراءات الموجه العامة (metaheuristics)، إضافة إلى ذلك أشار الباحثان إلى أنه يلزم وجود مجموعة اختبار موحدة وواقعية لاختبار التحسينات المنهجية ومقارنتها. نظرًا لأن هذا البحث قد أنتج مجموعة كبيرة ومتنوعة من تعريفات المشكلات من دون اتجاه واضح، وكان من الضروري توفير تصنيف يسهّل تمييز أنواع المشكلات هذه والإشارة إليها.

أكد الباحثان أنه يلزم تطوير برامج حاسوبية سهلة الاستخدام تتسم بالمرونة الكافية لملائمة مشكلات العالم الحقيقي وتحتوي على أحدث إجراءات الحلول

وختما البحث بأنه لا تحتوي معظم منتجات البرامج الأخرى المتاحة لإدارة أنظمة التجميع على إجراءات قوية لموازنة خط التجميع، ولكنها تركز على إدارة البيانات فقط.

قام **Yu–ling Jiao وزملاؤه (2021)** بإعداد مراجعة بعنوان: **مراجعة طرق البحث والدراسات السابقة وحالة التطور لموازنة نظم التجميع.** [11]

إذ قاموا بدراسة 89 مقالة كما نلاحظ في **خطأ! لم يتم العثور على مصدر المرجع.**، ثم صنفوا **مشاكل موازنة خطوط التجميع ALBPs**

ثم قاموا بتحليل كيفية إعداد الأبحاث العلمية لموازنة خطوط التجميع ثم شكلوا شبكة البحث وهي مكونة من جزئين التصنيف الأفقي (ويمثل خطوات البحث) والتصنيف الشاقولي ( ويمثل مشاكل البحث) . بتقاطع أي مشكلة أفقية مع أي خطوة من خطوات البحث الشاقولية يتشكل لدينا نقطة محور البحث. وقاموا بحساب عدد المقالات والإشارة إلى اتجاه البحث الأخير واتجاه تطور خوارزمية توازن خط التجميع.

تم تطوير خوارزمية COMSOAL لأول مرة من قبل الباحث **Albert L. Arcus (1965)** ضمن بحثه بعنوان: **طريقة حاسوبية لترتيب العمليات في خطوط التجميع**. [12]

ذكر الباحث أنه تم تطوير COMSOAL بوصفها طريقة حاسوبية عامة قابلة للتطبيق مع تعديلات طفيفة على أي خط تجميع ، بما في ذلك الأكبر والأكثر تعقيدًا. وأشار الباحث أنه تم تطبيق هذه الطريقة ضمن إحدى الشركات فوجد توفيراً كبيرًا في القوى العاملة والوقت والتخطيط، ثم نوّه الباحث في نهاية البحث على إمكانية تطبيق COMSOAL لتحديد المسار الحرج في مشاكل جدولة ذات النوع الشبكي.

وقد استخدمت خوارزمية COMSOAL من قبل الباحثين **G.W. DePuy** و **G.E. Whitehouse (2000)** لتخصيص الموارد في خطوط التجميع ضمن بحثهما بعنوان: **تطبيق الطريقة المنهجية الحاسوبية COMSOAL على مشكلة تخصيص الموارد المقيدة.** [13] وتظهر النتائج في هذا البحث أن COMSOAL هي طريقة قابلة للتطبيق لحل مشاكل تخصيص الموارد ، وأعطت نتائج جيدة، وفي بعض الأحيان نتائج شبه مثلى مقارنةً مع نتائج العديد من خوارزميات تخصيص الموارد المعروفة والحلول المثلى.

أثبت الباحثان **Areeda Lerttira** و **Prasad KDV Yarlagadda (2013)** فعالية طريقة COMSOAL في موازنة خطوط التجميع في بحثهما بعنوان : **مقارنة بين تقنيتي COMSOAL وMSNSH لموازنة خط التجميع في شركة تصنيع الدراجات النارية.** [14]

استخدم الباحثان في هذه الدراسة تقنية COMSOAL لتحقيق التوازن في خط تجميع دراجات نارية، ثم قاما بإجراء مقارنة بين تقنية COMSOAL مع تقنية MSNSH (البحث في الجوار متعدد البدايات) وذلك بالنظر إلى عدة أهداف. وتوصل البحث إلى أن تقنية COMSOAL تعطي نتائج أفضل من طريقة MSNSH، كما حققت كلاً من الأهداف الآتية: زمن دورة أقصر ،وزمن ضائع أقل ،وكفاءة الخط أعلى ، و تحسين متوسط الإنتاجية اليومية وتوزع عبء العمل.

قام الباحثان **خلف الأحمد** و**أنمار الرمضان (2016)** بدراسة مقارنة بين طريقة COMSOAL وطريقة RPW (الوزن الموقعي المرجح) حيث طبّقا كلا الطريقتين على حالتين مرجعيتين ضمن بحثهما بعنوان: **زيادة فعالية وكفاءة خطوط التجميع متعددة المحطات.** [7]

وكان من أهم استنتاجات البحث أن الحل وفق طريقة COMSOAL أعطى نتائج أفضل من طريقة الوزن الموقعي RPW. وعدَّ الباحثان أن الاختيار العشوائي للمهام الإنتاجية تمثل مشكلة في طريقة COMSOAL عند تطابق بقية شروطها، وفي نهاية البحث أوصى الباحثان باستخدام عملية الإكمال عند إسناد المهام الإنتاجية حتى الوصول إلى الحد الأصغري لزمن الدورة وقيمة مردود قريبة من الواحد

قام الباحث **PAKEEZA Bukhari** وزملاؤه **(2015)** بإجراء بحث بعنوان: **طريقة موجهة لمشكلة موازنة خط التجميع من النوع 2.** [19]

استخدم في هذه الدراسة خوارزمية مباشرة لحل مشكلة SALBP-2. تعطي الخوارزمية نتائج تنافسية عند تطبيقها على مشكلة مرجعية للباحث Gunther و عند اختبارها على مشكلة صناعية عملية أيضاً. إن الهدف المتمثل في تقليل وقت الدورة إلى الحد الأدنى يساعد في الحصول على معدلات إنتاج متزايدة، لذلك يوصى به للتطبيقات الصناعية وخاصة للصناعات التي لديها خطوط تجميع ثابتة و تريد نتائج محسنة مع تجنب إلغاء المحطات الموجودة أو تركيب محطات عمل جديدة.

قام **S Khlil** وزملاؤه **(2020)** بدراسة خط تجميع أفران غاز في بحث بعنوان : **حل مشكلة موازنة خط إنتاج التجميع باستخدام الطريقة الإرشادية الجشعة (Greedy Heuristic Method)**. [20]

في هذا البحث دُرِسَ النوع SALB-E، فقد استخدم الباحثون برنامج MATLAB لتنفيذ الطريقة الإرشادية المقترحة. ثم تم مقارنة نتيجة هذا البحث أيضًا بالنتائج التي تم الحصول عليها من عمل سابق في الأدبيات التي تستند إلى أقصر وقت تشغيل (SOT) باستخدام البرنامج POM-QM. وكان الهدف من هذا البحث هو الاستفادة من الطريقة الإرشادية الجشعة لحل مشكلة موازنة خط التجميع مفرد مع تحقيق الهدف E وهو تعزيز الكفاءة وفعالية تدفق الإنتاج. تم إعادة ترتيب المهام باستخدام طريقة الاستدلال الجشع في المحطات لتقليل الزمن الضائع. وتمت مقارنة النتائج التي حُصل عليها من هذه الطريقة مع الحالة الفعلية للشركة والنتائج التي حُصل عليها من برنامج POM-QM الذي يعتمد على SOT. وتبين أن نتائج البحث قد أظهرت أن طريقة الإرشادية الجشعة أكثر كفاءة ، فقد زادت الكفاءة من 78.24 % قبل تطبيق موازنة خط التجميع ومن ثم ارتفعت الكفاءة من 81.64% عند استخدام طريقة SOT إلى 85.53 ٪ عند استخدام الطريقة الجشعة. وأوصى البحث بأنه يجب على الشركة اتباع الطريقة الأنسب للحصول على عمليات عالية الكفاءة.

**المشكلة العلمية للبحث**

تكمن المشكلة العلمية للبحث في المشاكل الناتجة عن منشآت التجميع الصناعية، إذ نجد صعوبة تخصيص المهام وتوزيعها على محطات العمل على نحو مناسب، وانخفاض كفاءة خطوط التجميع، وظهور عيوب في المنتج النهائي بسبب مشاكل التجميع. وهذا ناتج من عدم توزيع العمل الكلي المطلوب في خط التجميع على محطات العمل المختلفة بالتساوي، وناتج أيضاً من عدم جمع البيانات لتحليل الأداء الحالي وقياس حجم المشكلة في المنشأة.

ومنه فإن هذه المشكلة تدعونا لوضع عدة أسئلة بحثية تصف مشكلة البحث بوضوح في حين تشكل الإجابة عنها منهج البحث المدروس. وبناءً على ما تقدم يمكن تحديد مشكلة البحث بالتساؤلات الآتية:

1- ما هي طرق تصميم مخططات خطوط التجميع؟ وما هي مشاكل موازنة خطوط التجميع في الدارسات السابقة؟
2- ما هي الطرق المستخدمة في خط التجميع لتوزيع أعباء العمل المطلوب على محطات العمل المختلفة؟
3- ماهي مقاييس الأداء لخطوط التجميع؟
4- هل يمكن تحسين الخوارزميات المستخدمة لموازنة نظم التجميع أو اقتراح خوارزميات جديدة؟
5- ما إمكانية موازنة خط التجميع باستخدام الحاسب عن طريق المحاكاة؟
6- ما هي المدخلات المهمة للنماذج المقترحة وكيف تجمع هذه البيانات؟
7- كيف يمكن حل مشكلة موازنة خط التجميع لتحسين إنتاج خط تجميع الفرن في المنشآت الصناعية ؟
8- ما هي الآثار المترتبة على تخطيط خط التجميع الجديد فيما يتعلق بموازنة المهام؟

كما أن المشاكل التي تواجهها المنشآت الصناعية توجه البحث لإيجاد الحلول الملائمة لها، ومن أهم تلك المشاكل:

1- اختلاف المعدات والعمليات ومواقعها يجعل عملية التجميع غير مرنة لتحديث المنتج، إضافة إلى وجود ضعف في إدارة خط التجميع باتخاذ القرار المناسب عند ظهور أي مشكلة.

2- ازدياد عدد المعلومات في الشركة يجعل من الصعب السيطرة عليها، كما أن تشعب طرق التجميع وتفرّع خوارزمياتها يزيد من صعوبة موازنة خطوط التجميع مما يهدر الكثير من الوقت للوصول إلى القرار المناسب.

البرامج المخصصة لموازنة خطوط التجميع التي تمتلكها بعض الدول الأجنبية تكلفتها مرتفعة إضافة إلى عدم وجود برنامج حاسوبي قوي مكتوب باللغة العربية، وندرة وجود برامج قابلة للتعديل

## أهمية البحث وأهدافه:

تعطي الإدارة الجيدة عادة اهتماماً جيداً بتخطيط الترتيب الداخلي للمنشآت الصناعية لما له من تأثير على الكفاءة وفاعلية العمل الذي تقوم به الشركة؛ ولا سيما إذا كانت الشركة تنتج وفق نظام الإنتاج النمطي المستمر؛ الذي يحتاج إلى عملية موازنة في خطوط إنتاجها، فكل عملية تعديل أو تغير لخط الإنتاج يُحمّل الشركة المزيد من التكاليف الإضافية، لذا فإن أهمية البحث تكمن في النقاط الآتية:

- ✓ تُساعد موازنة نظم التجميع على تقليل زمن دورة الإنتاج وزيادة الإنتاجية.
- ✓ إن عدم توفر موازنة نظم التجميع يؤدي إلى توقف المعدات والعاملين ويؤدي إلى هدر كبير في موارد الشركة وأهمها الزمن.
- ✓ إن تصميم نظام خط التجميع وموازنته يعتمد على خوارزميات معقدة ومعايير مختلفة فلاختيار أفضل طريقة وفق معايير الأداء يجب تقديم نموذج محاكاة مناسب لموازنة خط التجميع وتحسين العملية الإنتاجية.
- ✓ إن شدة التنافس بين الشركات المنتجة والاستهلاك السريع للمنتجات زاد من تعقيد نظم الإنتاج، مما جعل الشركات تفكر في تخفيض زمن التصميم والتنفيذ فظهرت البرامج الحاسوبية بوصفها أدوات قوية في هذا المجال.
- ✓ إن محاكاة النظم باستخدام الحاسب توفر السهولة في تحليل أداء البدائل الناتجة؛ من دون الحاجة إلى الانتظار لتطبيقها ضمن النظام الحقيقي، فللمحاكاة قدرة عالية على استيعاب متغيرات نظم التجميع وظروف مشكلاتها وتحليلها بوقت قصير وبأقل كلفة، فضلًا عن إثبات كفاءتها في حل مشكلات الإنتاج المعقدة وذلك من خلال محاكاة الواقع الفعلي لاستخراج النتائج المطلوبة.

ومن هنا يرى الباحث أن هذا البحث يسهم إسهاماً كبيراً في تحسين أداء الشركات الصناعية لتصل إلى إنتاج مستقر وتوازن كامل لنظام التجميع، مما يخفض من تكاليف الإنتاج، ويزيد من جودة المنتجات.

**مجال البحث**

يقتصر نطاق البحث على موازنة خط تجميع بسيط ذي حجم متوسط لمنتج ذي نموذج واحد، وذلك نظرًا لعدم توفر خطوط تجميع كبيرة متاحة للدراسة. تمتلك دراسة هذا الخط افتراضات وخصائص خاصة فيه ستُذكَر لاحقاً في الدراسة النظرية.

تعد القيود المدروسة في هذا البحث من أهم القيود في موازنة خطوط التجميع وهي:

1- قيود الأسبقية.

2- قيد زمن الدورة.

3- قيد عدد محطات العمل.

وتعدُّ القيود الأخرى وعمليات الإمداد ضرورية في نظم التجميع. ومع ذلك فإن تلك القيود والعمليات ليست الموضوع الرئيسي لهذا البحث. نفترض أن تلك القيود وطرق الإمداد وتغذية المواد لنظم التجميع متوفرة ولا تؤدي إلى أي مشاكل على خط التجميع.

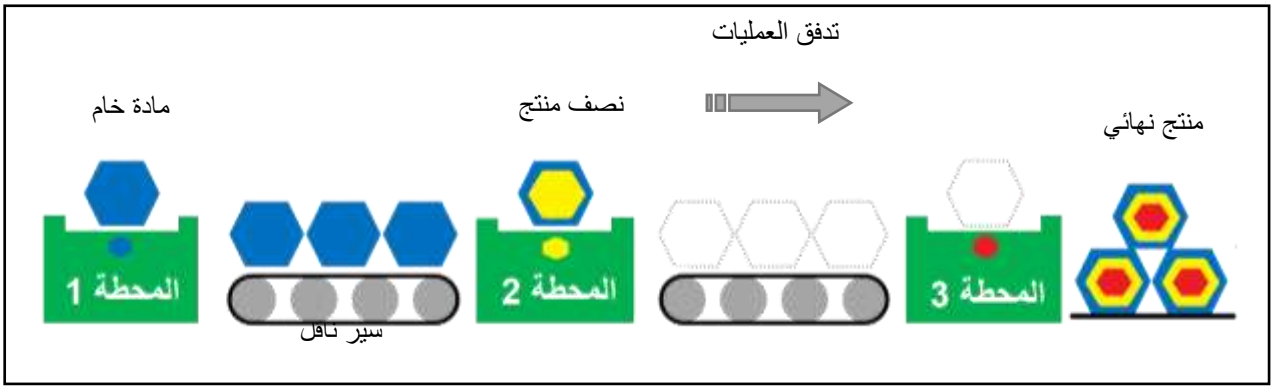
**هدف البحث**

ينبع هدف البحث من المشكلة العلمية المذكورة ويعتمد اعتماداً كبيراً على الدراسات المرجعية التي دُرِست في هذا البحث، ومنه نستطيع التعبير عن هدف البحث بالنقاط الآتية:

- ✓ إن التخلص من الهدر الحاصل في المنشآت الصناعية المتمثل بالاختناقات والزمن الضائع يعد الهدف الرئيسي من موازنة نظم التجميع ، وذلك من خلال تحديد أهم المشاكل في موازنة نظم التجميع وتحليل أسبابها.
- ✓ إيجاد خوارزميات مناسبة لحل مشاكل موازنة نظم التجميع، ومن ثم فحص كل خوارزمية بتطبيقها على مجموعة من البيانات المرجعية، عن طريق محاكاة عملها ببرنامج حاسوبي مناسب، ثم قياس أدائها من خلال المعايير الأساسية المعتمدة في تقييم أداء خطوط التجميع.
- ✓ إيجاد حلول مقترحة لمشاكل نظم التجميع بتجربتها على أرض الواقع لتحسين إدارة نظم التجميع من خلال تجربة الخوارزميات في المنشأة التي يتم دراستها، ومن ثم مقارنة الحالة الراهنة مع نتائج الموازنة.
- ✓ زيادة كفاءة نظم التجميع بتصميم برنامج حاسوبي مناسب يحاكي الواقع.
- ✓ تسليط الضوء على أهمية الأساليب العلمية لمديري الإنتاج عند اتخاذ القرارات المتعلقة بموازنة نظم التجميع.

**مفهوم خط التجميع**

يتكون خط التجميع من مجموعة من المحطات المتصلة بوساطة سير ناقل، وكل محطة تقوم بمهمة واحدة أو أكثر على المنتج المنجز بشكل جزئي أمامه (كإضافة المكونات، والتفتيش، وما إلى ذلك). يتم إنجاز المهام من قبل مجموعة من العمال المدربين باستخدام الآلات أو الروبوتات بعد انقضاء مدة زمنية تدعى بزمن الدورة (c) ، يتحرك السير الناقل فيتحرك المنتج معه لينتقل إلى المحطة التالية في الخط. المنتج الذي تم الانتهاء منه يغادر الخط في آخر محطة . ويكون للعمليات أو المهام قيود أسبقية معينة فإذا وجد عمليات سابقة لها فإنه لا يمكن تنفيذ أي عملية إلا بعد الانتهاء من جميع المهام التي تسبقها. [2]




**الشكل1: مفهوم خط التجميع**

**العوامل المؤثرة على عملية التجميع**

تتطلب عمليات التجميع معرفة العوامل المؤثرة عليها وأهمها:

1- تأثير أدوات وتجهيزات التجميع: وتتضمن عدة عوامل مثل: النوع، درجة الأتمتة، الجودة، الوثوقية.

2- تأثيرعمال التجميع: وتتضمن عدة عوامل مثل التدريب، الطاقة الإنتاجية، عدد العمال، والأجور، وبيئة العمل.

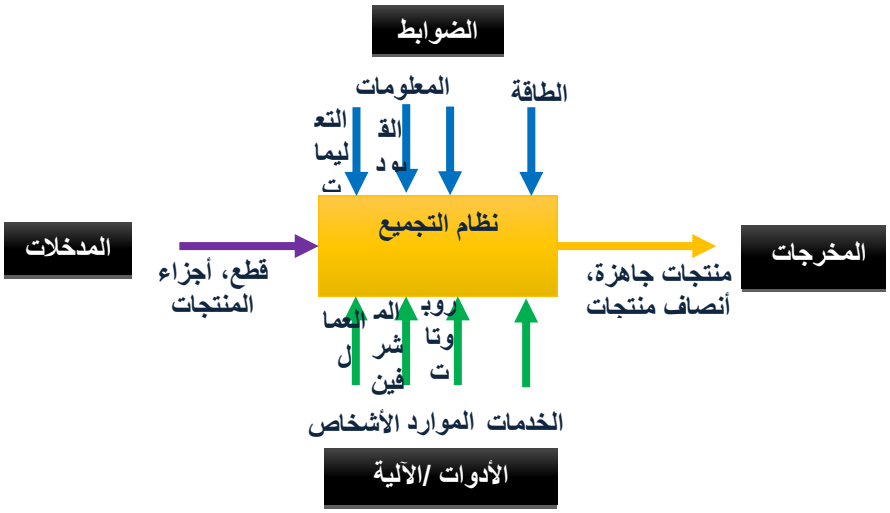
3- تأثير درجة تعقيد المنتج المجمع: وتتضمن عدة عوامل مثل: الحجم، الشكل، الوزن، الوظيفة، عدد عناصر التجميع، نوع التركيب، الجودة.

4- طرق التجميع: وتتضمن عدة عوامل مثل: النوع، الجودة، درجة الأتمتة.

5- طرق تنظيم عملية التجميع: وتتضمن عدة عوامل مثل: مساحة العمل، حجم الإنتاج، تقسيم العمل.

6- ظروف التجميع: وتتضمن عدة عوامل مثل: الإنتاج السنوي، حجم الإنتاج. [27]

يوضح الشكل 2 الحدود العامة لنظام التجميع:

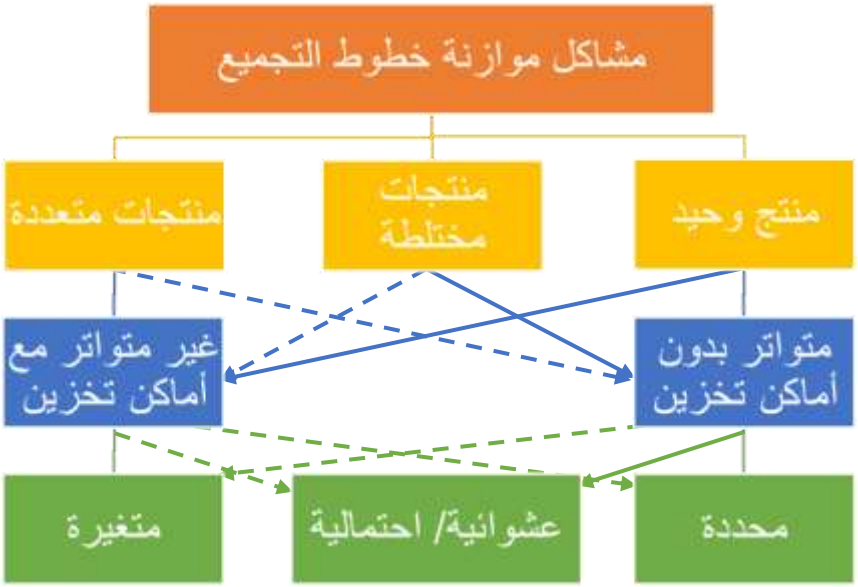



**الشكل2: مخطط هيكلي يوضح أساسيات التجميع**

**تصنيف مشاكل موازنة خطوط التجميع**

تظهر أنظمة الإنتاج ذات خطوط التجميع في بيئات صناعية مختلفة، ويتم استخدامها لتصنيع مجموعة كبيرة ومتنوعة من المنتجات. يتم استخدامها على وجه الخصوص لإنتاج منتجات استهلاكية مثل السيارات والمحركات والأجهزة المنزلية وأجهزة التلفزيون وأجهزة الحاسوب وغيرها من الأجهزة الكهربائية. إن اختلاف المنتجات يتطلب تنفيذها ضمن أنظمة إنتاج مختلفة. مما ينتج في المقابل مجموعة واسعة من مشاكل التوازن التي يجب دراستها.

يوضح الشكل 3الخصائص الرئيسة لمشاكل موازنة خط التجميع التي تم اعتبارها في الدراسات السابقة. تشير الأسهم المستمرة إلى أن المجموعة المعينة من الخصائص تمثل خصائص خطوط تجميع مألوفة ونموذجية ، بينما تشير الخطوط المتقطعة إلى أنها غير مألوفة. [30]




**الشكل3: تصنيف مشاكل خطوط التجميع**

**الخطوات العامة لموازنة خطوط التجميع**

1- تحديد المهام التي يجب القيام بها لإكمال وحدة واحدة من منتج معين.
2- تحديد الترتيب أو التسلسل الذي يجب أن يتم تنفيذ المهام به.
3- رسم مخطط الأسبقية.
4- تحديد أزمنة المهام.
5- حساب زمن الدورة.
6- حساب الحد الأدنى لعدد محطات العمل.
7- استخدام طريقة حل لتعيين المهام لمحطات العمل حتى يتحقق التوازن. [38]
8- حساب مقاييس الأداء المطلوبة.

**خوارزمية COMSOAL**

هذه الطريقة قابلة للتطبيق على أي خط تجميع، بما في ذلك الأكبر والأكثر تعقيدًا. ووفقاً للأبحاث السابقة تم تطبيق هذه الطريقة ضمن إحدى الشركات فوجدت توفيرًا كبيرًا في القوى العاملة والوقت والتخطيط. [12]

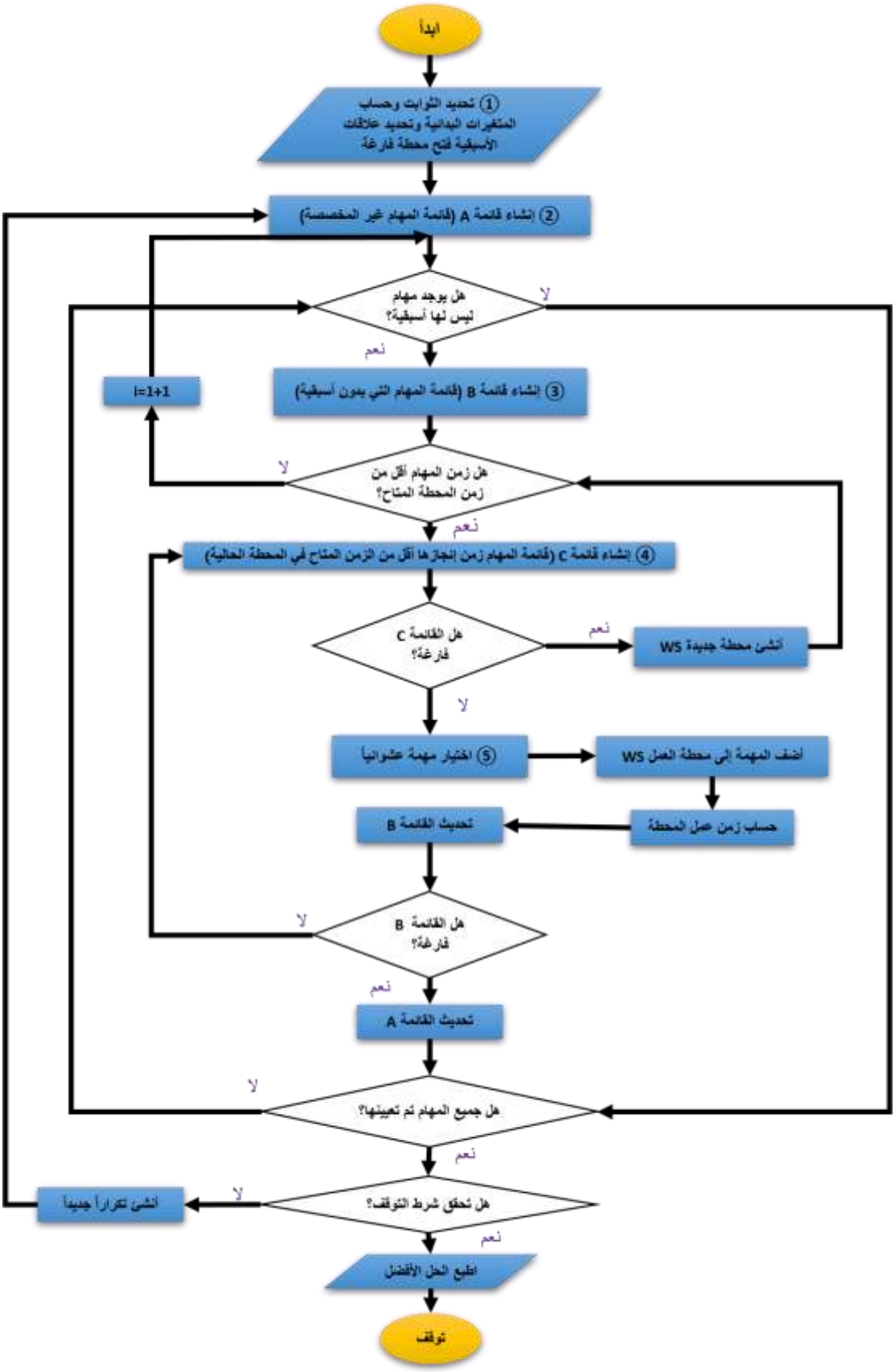
وتهدف هذه الخوارزمية بشكل أساسي إلى حل مشاكل موازنة خط التجميع. وقد تم تطبيقها لتحقيق الهدف الأكثر شيوعًا لـ COMSOAL في تقليل عدد محطات العمل (أي لحل مشكلة SALB-1). ويمكن وصف هذه الطريقة بإيجاز وفقًا لسبع خطوات رئيسة تم تلخيصها بالاعتماد على الأبحاث [7] و [13] و [14].

**خطوات خوارزمية COMSOAL**

1. أنشئ الجدول الذي يعرض قوائم جميع الأنشطة بالترتيب، وأزمنتها مع مراعاة علاقات الأسبقية، ويمكن تعريف ذلك بمخطط الأسبقية.

2. أنشئ قائمة A وضع فيها جميع المهام التي لم يتم تخصيصها بعد، ولكل مهمة منها احسب العدد الإجمالي للمهام التي تسبقها مباشرة في مخطط الأسبقية.
3. أنشئ قائمة B وضع فيها جميع المهام من القائمة A بشرط ألا يكون لها أي مهمة سابقة لها (عدد المهام السابقة لها =0).
4. أنشئ قائمة C وضع فيها جميع المهام من القائمة B بشرط أن يكون زمن إنجازها أقل من الزمن المتاح في محطة العمل. إذا كانت القائمة C فارغة فافتح محطة جديدة ذات وقت متاح بقدر زمن دورة عمل كاملة وانتقل إلى الخطوة 4 مرة أخرى..
5. اختر مهمة عشوائياً من القائمة C وخصصها إلى محطة العمل.
6. قم بحساب الزمن المتاح في المحطة ومن ثم حدث القائمة B، إذا كانت القائمة B فارغة فقم بتحديث القائمة A ثم أعد تنفيذ الخطوة 3 وإلا أعد تنفيذ الخطوة 4. (يتضمن تحديث أي قائمة حذف المهام المخصصة منها).

استمر بتكرار الخطوات من 2 إلى 6 حتى يتم تعيين جميع الأنشطة في محطات العمل (أي توقف عندما تكون القائمة A فارغة). الخطوة الأخيرة هي الاحتفاظ بالحل الحالي ثم تكرار الخطوات من 1 إلى 6 لإيجاد الحل البديل ، حتى يتم الحصول على أفضل حل




**الشكل4: المخطط التدفقي لخوارزمية COMSOAL**

## الدراسة التطبيقية

### تطبيق موازنة نظم التجميع في المنشأت الصناعية

قمت باقتراح خوارزميتين جديدتين لحل المشاكل SALBP_2 و SALBP_F انطلاقاً من خوارزمية COMSOAL، كما قمت بتطوير خوارزمية UB–S بالاعتماد على خوارزمية COMSOAL أيضاً، وبذلك تم جمع أربعة طرق لحل أربع مشاكل لموازنة خطوط التجميع العادية (أي إضافة إلى خوارزمية COMSOAL).يوضح الجدول 1 ؛تسميات مناسبة لهذه الخوارزميات.

**الجدول 1: مشاكل موازنة خطوط التجميع العادية و طرق الحل المناسبة لها.**

| المشكلة | خوارزمية الحل المناسبة |
|---|---|
| **SALBP_1** | COMSOAL |
| **SALBP_2** | COMSOAL–2 |
| **SALBP_F** | COMSOAL–F |
| **SALBP_E** | UBS–COMSOAL–E |

إن اختيار خوارزمية COMSOAL يأتي من سهولة برمجة هذه الخوارزمية باستخدام الحاسب، ولهذا الأمر قمت برسم المخططات التدفقية للخوارزميات الجديدة بدلاً من ذكر الإجراءات مكتوبة.

### خوارزمية COMSOAL–2 الهجينة المقترحة

تهدف هذه الخوارزمية إلى البحث عن أقل زمن دورة لتوزيع المهام على محطات ذات عدد ثابت، وتم بناء الخوارزمية بالاعتماد على خوارزمية COMSOAL وبالاعتماد على الخوارزمية المقترحة في الدراسة المرجعية [19]، تبدأ الخوارزمية بالحد الأدنى من زمن الدورة النظري والذي يعطى بالعلاقة:

$$c_T = \max\left[t_{max}, \frac{t_{sum}}{m}\right]$$

سيكون زمن الدورة هذا هو الحد الأدنى للعثور على زمن الدورة المطلوب.

تتابع الخوارزمية خطوات خوارزمية COMSOAL الأساسية نفسها، ثم تقوم الخوارزمية بتعين المهام إلى المحطة على نحو يكون زمن كل محطة فيه أقل من زمن الدورة هذا أو مساويًا له. إذا كان تعيين المهمة غير ممكن؛ يتم زيادة زمن الدورة بمقدار ثابت. وتتكرر الإجراءات حتى يتم تعيين جميع المهام خلال زمن الدورة هذا. وتُعرض الإجراءات التفصيلية للخوارزمية هذه كمخطط انسيابي.

إذاً ما يميّز هذه الخوارزمية عن خوارزمية COMSOAL الأساسية هو زيادة زمن الدورة بدلاً من فتح محطة جديدة.

### خوارزمية COMSOAL–F المقترحة

تهدف هذه الخوارزمية إلى البحث فيما إذا كان من الممكن موازنة الخط أم لا لمجموعة معينة من عدد المحطات m و زمن الدورة c. تم بناء الخوارزمية بالاعتماد على خوارزمية COMSOAL ، وتبدأ الخوارزمية بتحديد عدد المحطات m و زمن الدورة c. تتابع الخوارزمية خطوات خوارزمية COMSOAL الأساسية نفسها، ثم تقوم الخوارزمية بتعين المهام إلى المحطة على نحو يكون زمن كل محطة أقل من زمن الدورة هذا أو مساويًا له. في كل مرة يتم التحقق من العلاقة $m \leq m_{max}$ للتحقق من وجود محطة متاحة، فإذا تم توزيع جميع المهام ضمن المحطات المتاحة يكون

التركيب $(c ،m)$ ملائم لخط التجميع المدروس. وإلا إذا كان تعيين بعض المهام غير ممكن؛ بسبب عدم وجود محطات متاحة فإن الحل يكون غير ملائم. وتُعرض الإجراءات التفصيلية للخوارزمية هذه كمخطط انسيابي .

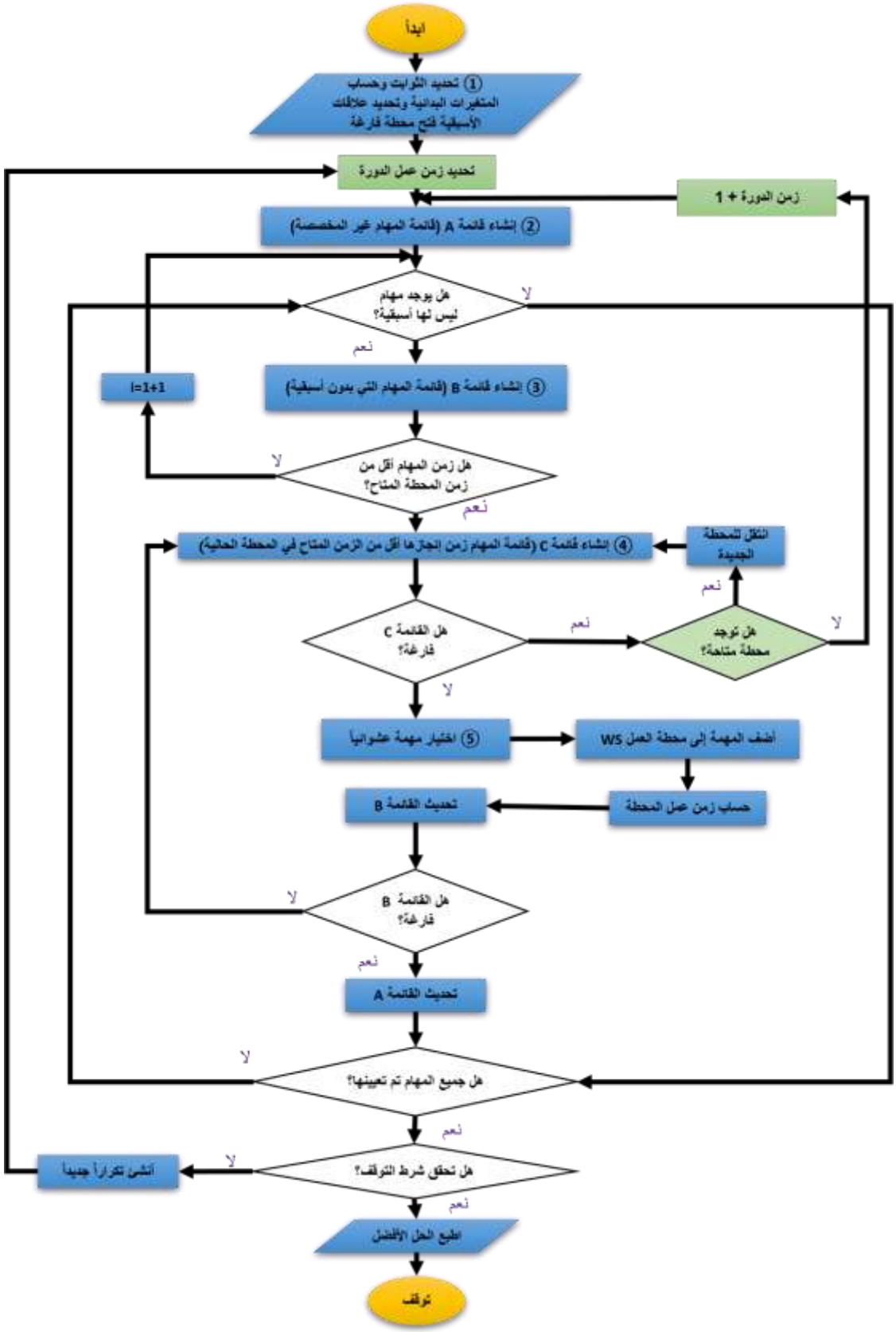
إذاً ما يميّز هذه الخوارزمية عن خوارزمية COMSOAL الأساسية هو التحقق من عدد المحطات بدلاً من فتح محطة جديدة.

**خوارزميةUBS–COMSOAL–E الهجينة**

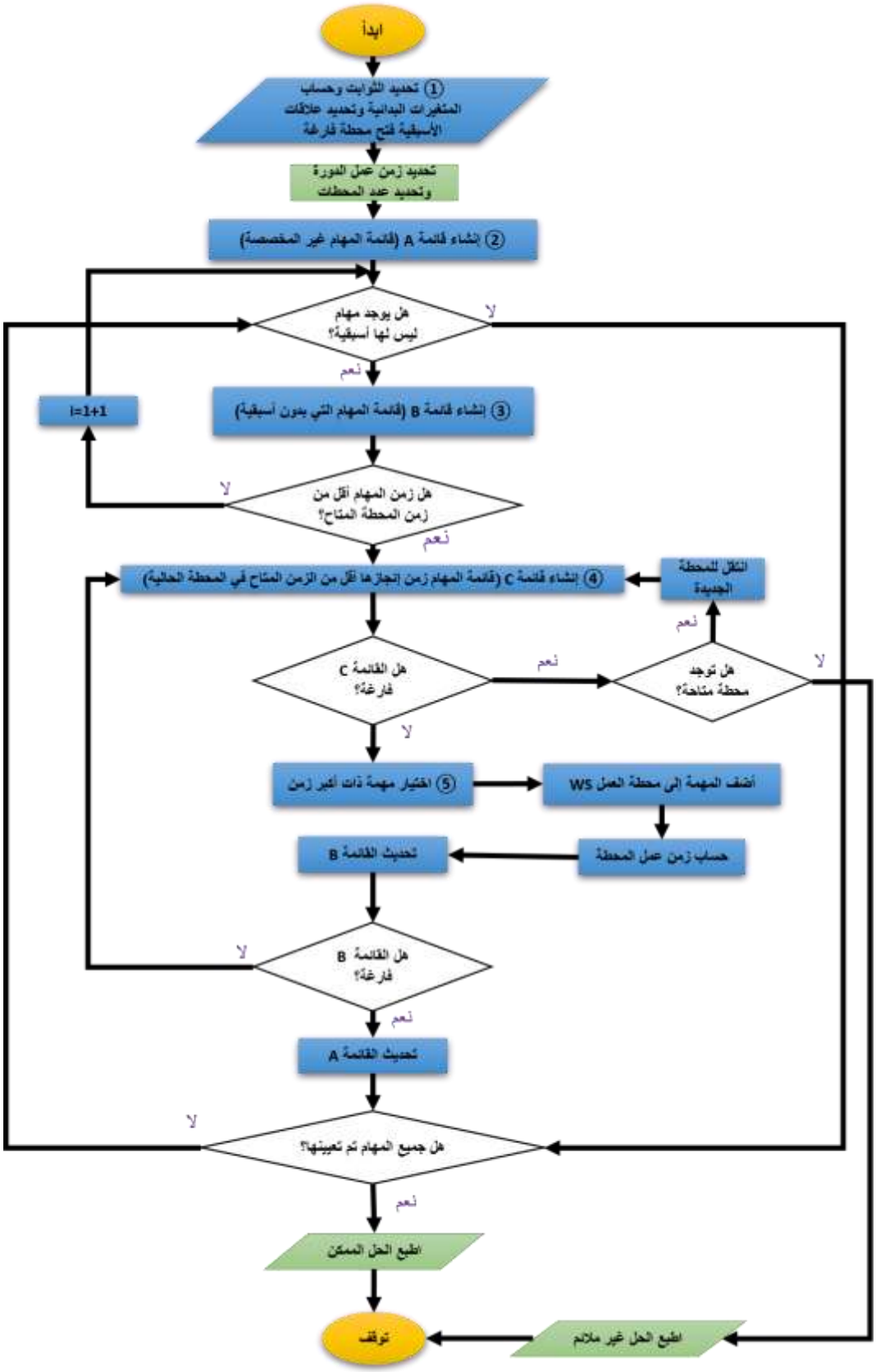
تهدف هذه الخوارزمية إلى زيادة كفاءة الخط إلى الحد الأقصى وبالنتيجة تقليل زمن الدورة c و عدد المحطات m في الوقت نفسه مع مراعاة العلاقة المتبادلة بينهما. تم بناء الخوارزمية بالاعتماد على خوارزمية COMSOAL الأساسية وخوارزمية البحث من الحد الأعلى UBS، تبدأ الخوارزمية بتحميل القيم البدائية ومن ثم نستخدم الخوارزمية السابقة (COMSOAL–F) في إيجاد حل ملائم بدائي ضمن المجال المحدد. وتُستخدم أيضاً لدراسة إمكانية موازنة بقية التراكيب المدروسة. تتابع الخوارزمية خطوات خوارزمية UBS الأساسية نفسها، والتي شُرِحَت في الفصل السابق، وعند إيجاد أول حل ملائم تتوقف الخوارزمية، ويكون هو الحل الأفضل، وإلا يكون الحل البدائي هو الحل الأفضل. وتعرض الإجراءات التفصيلية للخوارزمية هذه كمخطط انسيابي.

إذاً ما يميّز هذه الخوارزمية عن خوارزمية UBS الأساسية هو إمكانية التحقق من ملائمة التركيب باستخدام الخوارزمية COMSOAL–F المذكورة سابقاً.

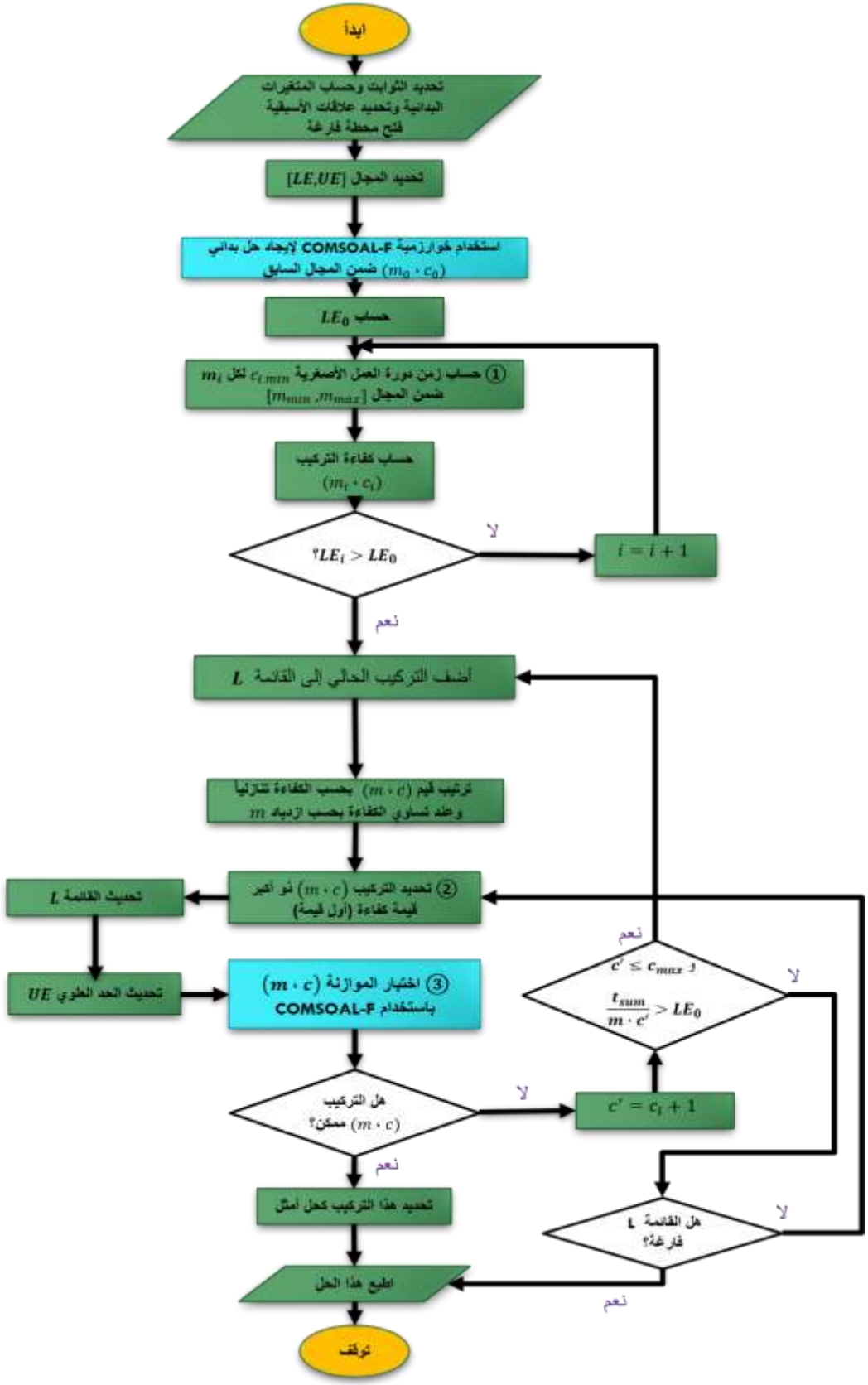
يمكن استخدام إحدى خوارزميات الترتيب في الخطوة الأولى من الخوارزمية، وذلك بغرض تسهيل عملية البرمجة باستخدام الحاسب. [8] إذ يتم إدخال عناصر المصفوفة غير المرتبة و نقوم بمقارنة كل عنصر مع العنصر الذي يليه، في النهاية يتم ترتيب هذ العناصر باستخدام متغير مؤقت (temp) حسب شروط التحقق.(الرموز المستخدمة في الخوارزمية هذه مستقلة عن بقية رموز البحث).




**الشكل5: مخطط خوارزمية COMSOAL-2 لحل مشكلة SALB-2**




**الشكل6: مخطط خوارزمية COMSOAL-F لحل مشكلة SALB-F**




**الشكل7: مخطط الخوارزمية الهجينة لحل مشكلة SALB-E**

**اختبار الخوارزميات**

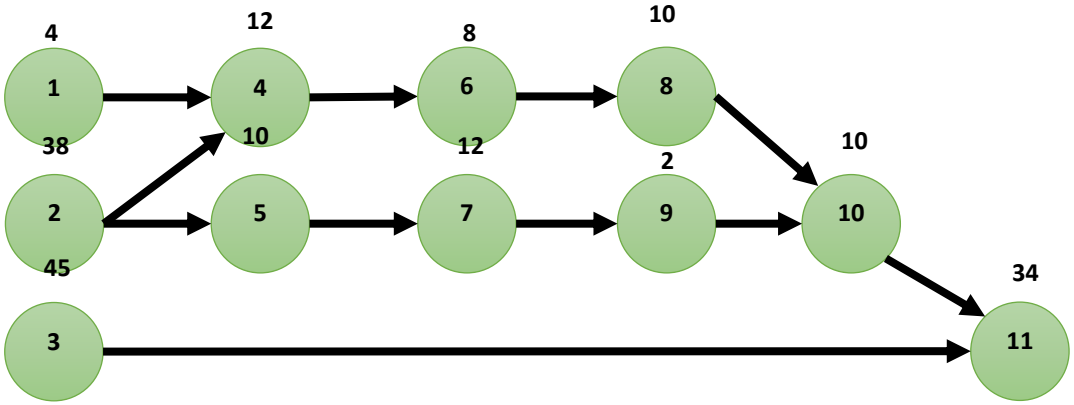
تم إجراء الاختبارات التجريبية كأداة للتحقق من صحة عمل الخوارزميات، فيما يلي قمت باختبار الخوارزميات السابقة على حالة مرجعية من الحالات المدروسة في الأبحاث سابقاً [41] . يوضح الجدول الخصائص الأساسية لمخطط الأسبقية ونتائج الموازنة للحالة المدروسة وهي للباحث **Mansoor (1964)**.

**الجدول 2: خصائص مخطط الأسبقية ونتائج الموازنة للباحث Mansoor [41]**

| | | | |
|---|---|---|---|
| عدد المهام: | $n$ = 11 مهمة | مجموع أزمنة المهام: | $t_{sum}$ = 185 دقيقة |
| أقل زمن مهمة: | $t_{min}$ = 2 دقيقة | قوة الترتيب[1]: | $OS$ = 60 % |
| أكبر زمن مهمة: | $t_{max}$ = 45 دقيقة | نسبة تغير الزمن: | $TV$ = 22.5 |

| نتائج الحل الأمثل[2] | SALB-1 | | SALB-E | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $m^*$ | $c$ | $c^*$ | $m^*$ | $idle^*$ | $\overline{m}$ | $\underline{m}$ |
| | 4 | 48 | 48 | 4 | 7 | 5 | 4 |

كما يوضح الشكل 8 مخطط الأسبقية لهذه الحالة.




**الشكل8: مخطط الأسبقية ذو 11 مهمة للباحث Mansoor (1964) [41]**

**اختبار خوارزمية COMSOAL−2**

بدايةً نقوم بحساب زمن الدورة البدائي فنجد $c_T = 47\ min$ يوضح خطوات الحل باستخدام COMSOAL−2 حيث لم نستطع في التكرار الأول أن نوزع كافة المهام على جميع المحطات.

**الجدول 3 : خطوات الحل لخوارزمية COMSOAL-2 (التكرار الأول)**

| الخطوة 1 | الخطوة2 | الخطوة3 | الخطوة 4 | | الخطوة 5 | الخطوة 6 | الخطوة 7 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | B | C | المهمة المختارة | زمن المهمة المختارة | الزمن المتبقي | محطة العمل | زمن المحطة | الزمن الضائع | المردود (الكفاءة) |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 89% | 5 | 42 | 1 | 43 | 4 | 1 | 1,2,3 | 1,2,3 | 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11 |
| | | | 1 | 5 | 38 | 2 | 2 | 2,3 | 2,3,4,5,6,7,8,9,10,11 |
| 96% | 3 | 45 | 2 | 2 | 45 | 3 | 3,4,5 | 3,4,5 | 3,4,5,6,7,8,9,10,11 |
| 79% | 10 | 37 | 3 | 35 | 12 | 4 | 4,5 | 4,5 | 4,5,6,7,8,9,10,11 |
| | | | 3 | 25 | 10 | 5 | 5,6 | 5,6 | 5,6,7,8,9,10,11 |
| | | | 3 | 17 | 8 | 6 | 6,7 | 6,7 | 6,7,8,9,10,11 |
| | | | 3 | 5 | 12 | 7 | 7,8 | 7,8 | 7,8,9,10,11 |
| | | | 3 | 3 | 2 | 9 | 9 | 8,9 | 8,9,10,11 |
| - | - | 20 | 4 | 37 | 10 | 8 | 8 | 8 | 9,10,11 |
| | | | 4 | 27 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10,11 |
| | | | - | - | - | - | - | 11 | 11 |

في التكرار الثاني (الجدول 4)يزيد زمن الدورة بمقدار 1 فيصبح زمن الدورة الجديد= 48 دقيقة

**الجدول 4 : خطوات الحل باستخدام خورازمية COMSOAL-2 ( التكرار الثاني)**

| الخطوة 7 | | | الخطوة 6 | الخطوة 5 | الخطوة 4 | | الخطوة3 | الخطوة2 | الخطوة 1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| المردود | الزمن الضائع | زمن المحطة | محطة العمل | الزمن المتبقي | $t_i$ | المهمة المختارة | C | B | A |
| 100% | 0 | 48 | 1 | 10 | 38 | 2 | 1,2,3 | 1,2,3 | 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11 |
| | | | 1 | 0 | 10 | 5 | 1,5 | 1,3,5 | 1,3,4,5,6,7,8,9,10,11 |
| 100% | 0 | 48 | 2 | 44 | 4 | 1 | 1,3,7 | 1,3,7 | 1,3,4,6,7,8,9,10,11 |
| | | | 2 | 32 | 12 | 4 | 4,7 | 3,4,7 | 3,4,6,7,8,9,10,11 |
| | | | 2 | 24 | 8 | 6 | 6,7 | 3,6,7 | 3,6,7,8,9,10,11 |
| | | | 2 | 12 | 12 | 7 | 8,7 | 3,8,7 | 3,7,8,9,10,11 |
| | | | 2 | 2 | 10 | 8 | 8,9 | 3,8,9 | 3,8,9,10,11 |
| | | | 2 | 0 | 2 | 9 | 9 | 3,9 | 3,9,10,11 |
| 94% | 3 | 45 | 3 | 3 | 45 | 3 | 3,10 | 3,10 | 3,10,11 |
| 92% | 4 | 44 | 4 | 38 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10,11 |
| | | | 4 | 4 | 34 | 11 | 11 | 11 | 11 |

**اختبار خوارزمية COMSOAL−F**

سيتم اختبار الخوارزمية COMSOAL−F لتركيبين الأول $(m,c)=(4,47)$ والثاني $(m,c)=(4,48)$، يبين الجدول 5 أن التركيب $(4,47)$ غير ملائم لموازنة الحالة المدروسة لعدم تخصيص كافة المهام على المحطات المعينة.

**الجدول 5 : خطوات الحل باستخدام خورازمية COMSOAL−F (الحالة الأولى)**

| الخطوة 7 | | | الخطوة 6 | الخطوة 5 | الخطوة 4 | | الخطوة3 | الخطوة2 | الخطوة 1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| المردود | الزمن الضائع | زمن المحطة | محطة العمل | الزمن المتبقي | $t_i$ | المهمة المختارة | C | B | A |
| 89% | 5 | 42 | 1 | 43 | 4 | 1 | 1,2,3 | 1,2,3 | 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11 |
| | | | 1 | 5 | 38 | 2 | 2 | 2,3 | 2,3,4,5,6,7,8,9,10,11 |
| 96% | 3 | 45 | 2 | 2 | 45 | 3 | 3,4,5 | 3,4,5 | 3,4,5,6,7,8,9,10,11 |
| 79% | 10 | 37 | 3 | 35 | 12 | 4 | 4,5 | 4,5 | 4,5,6,7,8,9,10,11 |
| | | | 3 | 25 | 10 | 5 | 5,6 | 5,6 | 5,6,7,8,9,10,11 |
| | | | 3 | 17 | 8 | 6 | 6,7 | 6,7 | 6,7,8,9,10,11 |
| | | | 3 | 5 | 12 | 7 | 7,8 | 7,8 | 7,8,9,10,11 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 3 | 3 | 2 | 9 | 9 | 8,9 | 8,9,10,11 |
| - | - | 20 | 4 | 37 | 10 | 8 | 8 | 8 | 9,10,11 |
| | | | 4 | 27 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10,11 |
| | | | - | - | - | - | - | 11 | 11 |

بينما يبين الجدول 6 أن التركيب (4,48) ملائم للموازنة للحالة المدروسة.

**الجدول 6 :خطوات الحل باستخدام خوارزمية COMSOAL-F (الحالة الثانية)**

| الخطوة 7 | | | الخطوة 6 | الخطوة 5 | الخطوة 4 | | الخطوة3 | الخطوة2 | الخطوة 1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| المردود | الزمن الضائع | زمن المحطة | محطة العمل | الزمن المتبقي | $t_i$ | المهمة المختارة | C | B | A |
| 94% | 3 | 45 | 1 | 3 | 45 | 3 | 1,2,3 | 1,2,3 | 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11 |
| 100% | 0 | 48 | 2 | 10 | 38 | 2 | 1,2 | 1,2 | 1,2,4,5,6,7,8,9,10,11 |
| | | | 2 | 0 | 10 | 5 | 1,5 | 1,5 | 1,4,5,6,7,8,9,10,11 |
| 100% | 0 | 48 | 3 | 36 | 12 | 7 | 1,7 | 1,7 | 1,4,6,7,8,9,10,11 |
| | | | 3 | 32 | 4 | 1 | 1,9 | 1,9 | 1,4,6,8,9,10,11 |
| | | | 3 | 20 | 12 | 4 | 4,9 | 4,9 | 4,6,8,9,10,11 |
| | | | 3 | 12 | 8 | 6 | 6,9 | 6,9 | 6,8,9,10,11 |
| | | | 3 | 2 | 10 | 8 | 8,9 | 8,9 | 8,9,10,11 |
| | | | 3 | 0 | 2 | 9 | 9 | 9 | 9,10,11 |
| 92% | 4 | 44 | 4 | 38 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10,11 |
| | | | 4 | 4 | 34 | 11 | 11 | 11 | 11 |

### اختبار خوارزمية COMSOAL–E

بدايةً نحدد مجال البحث: $[m_{min}, m_{max}] = [4,6]$ ثم نحسب الحد الأدنى لزمن الدورة ونوجد مجال الكفاءة:

- **الحد الأدنى لزمن الدورة:** 47 دقيقة
- **الحد الأعلى للكفاءة:** % 98.40
- **الحد الأدنى للكفاءة:** % 68.52

ثم بالاعتماد على الخوارزمية COMSOAL–F نتحقق من وجود موازنة ملائمة لتركيب ما ضمن المجال وليكن مثلاً (4,47) والذي تم التحقق من عدم ملائمته فيما سبق ثم نتابع بإكمال خطوات الخوارزمية كما في الجدول 7

**الجدول 7 : القائمة L (تطبيق خوارزمية UBS-COMSOAL-E )**

| الخطوة 3 | الخطوة 2 | | الخطوة 1 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| الإجراء التالي | إمكانية الموازنة | الكفاءة | زمن الدورة | عدد المحطات | الموضع |
| أضف (48,4) إلى القائمة | غير ممكن | %98.4 | 47 | 4 | 1 |
| توقف | ممكن | %96.35 | 48 | 4 | 2 |

نلاحظ أن الخوارزمية توقفت عند التركيب (4,48) وبالتالي فهو أفضل تركيب والذي يحقق أعلى كفاءة مع إمكانية الموازنة بشكل ملائم.

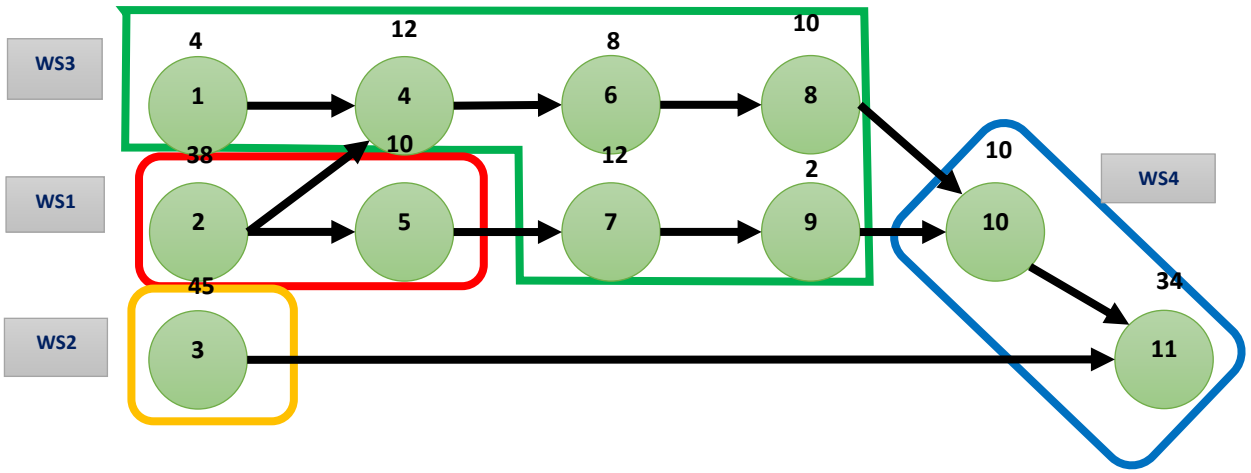
### نتائج اختبار الخوارزميات

يوضح الجدول 8 نتائج اختبار الخوارزميات السابقة، ونلاحظ أنها مطابقة تماماً لحلول الدراسة المرجعية، مما يؤكد صحة وفعالية عمل الخوارزميات الجديدة.

**الجدول 8:نتائج اختبار الخوارزميات المقترحة الجديدة**

| نتائج الحل الأمثل | SALB-2 | | SALB-F | | SALB-E | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $c^*$ | $m$ | $(m,c)=(4,47)$ | $(m,c)=(4,48)$ | $c^*$ | $m^*$ | $idle^*$ | $\overline{m}$ | $\underline{m}$ |
| | 48 | 4 | الموازنة غير ممكنة | الموازنة ممكنة | 48 | 4 | 7 | 6 | 4 |

كما يوضح الشكل 9توزيع المهام على المحطات لمخطط الأسبقية للحالة المدروسة.




**الشكل9: التوزيع الأمثل للمهام ضمن المحطات في اختبار الخوارزميات المقترحة**

## الاستنتاجات والتوصيات:

### الاستنتاجات

دُرِسَ في هذا البحث مشاكل موازنة نظم التجميع من الناحية النظرية والتطبيقية بوضوح، إذ تم الاطلاع على العديد من الدراسات المرجعية السابقة، ثم قدم البحث تصنيف شامل لمشاكل موازنة خطوط التجميع، واقترح في البحث عدة خوارزميات جديدة لموازنة خطوط التجميع، ثم تم اختبار الخوارزميات المقترحة و مقارنتها مع دراسة حالة مرجعية وكانت النتائج متطابقة بهدف تحسين الإنتاجية والتخلص من الهدر، في النهاية توصل البحث إلى نتائج مهمة وقدم توصيات عامة لتحسين أداء المنشآت الصناعية.

### التوصيات

- ✓ ينبغي إعادة ترتيب أماكن محطات العمل لتناسب الموازنة السابقة ويفضل استخدام إحدى طرق العلمية للترتيب كطريقة المسارات مثلاً، كما ينصح بإعادة توزيع الآلات على خط بشكل حرف U لما له من فوائد اقتصادية متعددة.
- ✓ ينبغي الاعتماد على الحاسوب في تخطيط وإدارة خطوط التجميع، إذ تساعد المحاكاة في حساب مقاييس الأداء لخط التجميع وهي ترصد حالة واقعية تماماً ومن الممكن إضافة المزيد من القيود ومن ثم تعديل الخوارزميات المستخدمة أو حتى برمجة خوارزميات صناعية جديدة.

- ✓ استخدام الروبوتات التعاونية (Cobots) في خط التجميع لأنها تقضي على المهام المتكررة مع زيادة دقة العمل. و تمتلك الروبوتات التعاونية أيضًا العديد من ميزات السلامة المدمجة والتي تقلل بشكل كبير من مخاطر السلامة، لذا تعد هذه الروبوتات جزءًا مهمًا من خطوط التجميع الحديثة.
- ✓ ينبغي التحقق من سلامة المعدات الخاصة بالتجميع إذ من المفترض أن يتم شراء أجهزة وأدوات خط التجميع ذات جودة عالية.

## References:


[1] W. J. Stevenson, Operations Management, vol. 14th ed, M. Education, Ed., New York: Sounders College of Business Rochester Institute of Technology, 2021, pp. 301-309.

[2] B. Rekiek and A. Delchambre, Assembly Line Design The Balancing of Mixed-Model Hybrid Assembly Lines with Genetic Algorithms, Rekiek, Brahim: Springer-Verlag London Limited, 2006.

[3] R. S. Russell and B. W. T. III, Operations Management Creating Value Along the Supply Chain, vol. 7 Th Edtion, JOHN WILEY & SONS, INC., 2011.

[4] M. K. M. Lee J. Krajewski, Operations Management PROCESSES AND SUPPLY CHAINS, vol. 13, United States: Pearson Education Limited, 2022, pp. 251-257.

[5] M. Azizoglu and Sadullah·Imat, "Workload smoothing in simple assembly line balancing," *Computers and Operations Research,* pp. 51-57, 12 August 2017.

[6] B. R. C. M. Jay Heizer**,** Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management, vol. 13th Edition, United States: Pearson Education Limited, 2020, pp. 418-423,827-844.

[7] H. Al-Ahmad and M. a. Al-Ramadan, "Increasing the Effectiveness and Efficiency of Multi-Station Assembly Lines," Aleppo University Research Journal, September 4, 2016

[8] T. H. Cormen, C. E. Leiserson, R. L. Rivest and C. Stein, Introduction to Algorithms, Cambridge, Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 2009.

[9] J. Eriksson, Application of assembly line balancing in manufacturing industry A case study on assembly line productivity, the School of Engineering at Jönköping University within Industrial Organization & Economy, Logistics and Management, 2020.

[10] C. Becker and A. Scholl, "A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing," *European Journal of Operational Research,* p. 694–715, 23 7 2004.

[11] Y.-l. Jiao, H.-q. Jin, X.-c. Xing, M.-j. Li and X.-r. Liu, "Assembly line balance research methods, literature and development review," *Concurrent Engineering: Research and Applications,* p. 183–194, 2021.

[12] A. L. Arcus, "A Computer Method Of Sequencing Operations For Assembly Lines," *International Journal Of Production Research,* pp. 259-277, 1965.

[13] G. DePuya and G. Whitehouseb, "Applying the COMSOAL computer heuristic to the constrained resource allocation problem," *Computers & Industrial Engineering,* pp. 413-422, 25 July 2000.

[14] A. Lerttira and P. K. Yarlagadda, "Assembly line balancing the comparison of COMSOAL and MSNSH technique in Motorcycle manufacturing company," *Advanced Materials Research,* pp. 166-174, 2013.

[15] O. Battaia and A. Dolgui, "A taxonomy of line balancing problems and their solution approaches," *Int. J.Production Economics*, p. 259–277, 2013.

[16] A. Otto and C. Otto, "How to design effective priority rules: Example of simple assembly line balancing," *Computers & Industrial Engineering*, pp. 43-52, 20 December 2014.

[17] N. Boysen, P. Schulze and A. Scholl, "Assembly line balancing: What happened in the last fifteen years," *European Journal of Operational Research*, 17 December 2021.

[18] A. Scholl and C. Becker, "State-of-the-art exact and heuristic solution procedures for simple assembly line balancing," *European Journal of Operational Research*, p. 666–693, 11 September 2006.

[19] P. Bukhari, R. Ahmed and M. Umer, "A Heuristic Approach for Type 2 Assembly Line Balancing Problem," *Applied Mechanics and Materials*, pp. 1296-1300, 22 May 2015.

[20] S. Khlil, H. Al-Khazraji and Z. Alabacy, "Solving Assembly Production Line Balancing Problem Using Greedy Heuristic Method," in *The Fourth Postgraduate Engineering Conference,Series: Materials Science and Engineering*, Baghdad, 2020.

[21] M. Amen, "An exact method for cost-oriented assembly line balancing," *Int. J. Production Economics*, pp. 187-195, 2000.

[22] W. Grzechca, "Estimation of Time and Cost Oriented Assembly Line Balancing Problem," *19th International Conference on Systems Engineering*, pp. 248-253, 2008.

[23] W. GRZECHCA, "Methodology For Cost Oriented Assembly Line Balancing Problems," *Total Logistic Management*, p. 57–67, 2011.

[24] A. A. ADHAM, H. B. ZAINUDDIN, F. B. SIALI and N. A. B. AZIZAN, "Assembly Line Balancing in Manufacturing Processes: Using Simulation Model," *Advanced Materials Research,Trans Tech Publications, Switzerland*, pp. 1183-1187, 30 August 2013.

[25] H. A. M. Al-Janabi, Design and arrangement of the assembly line to improve the production process using the simulation method, Baghdad: University of Baghdad, College of Administration and Economics, Department of Industrial Management, 2017

[26] M. H. Kharuddin, M. F. Ramli and M. H. Masran, "Line balancing using heuristic procedure and simulation of assembly line," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, pp. 774-782, 2 February 2020.

[27] Saud and Abacus, Assembly Systems, Aleppo: University of Aleppo, 2012.

[28] P. Butalaa and K. Mpofu, "Assembly Systems," in CIRP Encyclopedia of Production Engineering, Slovenia, 2015.

[29] Al-Jarf, Industrial Painter's Guide, Damascus: Higher Institute of AppliedSciences and Technology, 2017

[30] A. Scholl, Balancing and Sequencing of Assembly Lines, vol. Second revised edition, New York : Heidelberg:A Springer Physica-Verlag, 1999.

[31] N. Kumar and D. Mahto, "Assembly Line Balancing: A Review of Developments and Trends in Approach to Industrial Application," *Global Journal of Researches in Engineering Industrial Engineering*, pp. 29-50, 2013.

[32] J. I. Anel, P. Catala, M. Serra and B. Domenech, "New Matrix Methodology for Algorithmic Transparency in Assembly Line Balancing Using a Genetic Algorithm," *Elsevier Operations Research Perspectives*, 11 January 2022.

[33] M. P. Groover, Automation,Production Systems,and Computer-Integrated Manufacturing, vol. 4th ed., Uttar Pradesh, India.: Pearson India Education Services Pvt. Ltd, 2016.

[34] I. Kucukkoc and D. Z. Zhang, "Balancing of Parallel U-shaped Assembly Lines," *Computers & Operations Research*, 30 May 2015.

[35] S. Ö. TAŞAN, Solving Simple And Mixed-Model Assembly Line Balancing Problems Using Hybrid Meta-Heuristic Approaches, İZMİR: Dokuz Eylül Universityin, Industrial Engineering, 2007.

[36] W. Grzechca, Assembly Line – Theory and Practice, Croatia: InTech, 2011.

[37] S. M. Al-Najjar and Dr. A. a. Mohsen, Production and Operations Management, Baghdad: Al-Zakira Publishing and Distribution, 2012

[38] N. Gaither and G. Frazier, Operations Management, South-Western; 8th edition , 2002.

[39] H. Øystese, A Framework for the Implementation of Takt Time in High-Variety, Low-Volume Manufacturing Environments, Norwegian University of Science and Technology: Department of Mechanical and Industrial Engineering, 2019.

[40] M. Amen, "Heuristic methods for cost-oriented assembly line balancing: A survey," *Int. J. Production Economics*, pp. 1-14, 21 September 2000.

[41] A. Scholl, "Data of Assembly Line Balancing Problems," *Operations Reserach*, pp. 1-32, November 1997.

[42] A. Anvari, M. Mojahed, N. Zulkifli, R. Yusuff, Y. Ismail and S. Hojjati, "A Group AHP-based Tool to Evaluate Effective Factors Toward Leanness in Automotive Industries," *Journal of Applied Sciences*, pp. 3142-3151, 16 September 2011.