Journal of Business Economics for Applied Research, Vol. (8), No. (2): 555-574
Doi: https://dx.doi.org/10.37940/BEJAR.2026.8.2.28

Journal of Business Economics for Applied Research
مجلة اقتصاديات الاعمال للبحوث التطبيقية
ISSN 2709-6475 - E-ISSN 3079-8167

Improving the Lean Manufacturing Process Using a Genetic Algorithm
A Case Study*

Saba Star Abdullah Najm[(1)], Bushra Sabih Kadhim[(2)]
University of Baghdad - College of Administration and Economics[(1),(2)]
(1) saba.najm2205@coadec.uobaghdad.edu.iq (2) bushra.sabeeh@coadec.uobaghdad.edu.iq

Key words:
Lean Manufacturing, Genetic Algorithm, Process Improvement, Plastic Industries.

ARTICLE INFO
Article history:

Received	25 ***Nov***. 2025
Accepted	14 ***Dec***. 2025
Avaliabble online	01 ***Jun***. 2026

© 2026 THE AUTHOR(S). THIS IS AN OPEN ACCESS ARTICLE DISTRIBUTED UNDER THE TERMS OF THE CREATIVE COMMONS ATTRIBUTION LICENSE (CC BY 4.0).
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

*Corresponding author:
Saba Star Abdullah Najm
University of Baghdad

Abstract:
This research aims to improve the efficiency of manufacturing operations through the use of the genetic algorithm as an artificial intelligence technique that supports decision-making in planning and operating production processes. The significance of the research lies in its contribution to addressing the problems of unbalanced machine loads, reducing waste, and improving the flow of raw materials, which positively reflects on operational efficiency, profit maximization, and the enhancement of the competitive capability of the industrial enterprise. The research was conducted using a descriptive–applied case study approach. The research field is represented by Al-Tabiaa Company for Plastic Industries, and a group of plastic products and their corresponding production lines were selected as the research sample due to their importance in achieving the production objectives of the plant. The research relied on actual data obtained from the factory records for building the model and running the genetic algorithm. MATLAB, and Excel software were used to implement the genetic algorithm, build the databases, and process the outputs. Percentage analysis and direct arithmetic calculations were employed to analyze the results of the optimal production plan. The objectives of the model were to reduce costs, minimize waste, achieve optimal raw material flow, and maximize profits. The results of applying the genetic algorithm demonstrated its effectiveness in generating an optimal production and operating plan that contributed to improving machine utilization efficiency, achieving better balance in operational loads, reducing unnecessary downtime, and improving revenue levels and net profits, thereby enhancing the plant's ability to meet demand and strengthen its competitive position in the market.

*The research is extracted from a master's thesis of the first researcher.

Journal of Business Economics for Applied Research, Vol. (8), No. (2): 555-574
Doi: https://dx.doi.org/10.37940/BEJAR.2026.8.2.28

تحسين عملية التصنيع الرشيق باستعمال الخوارزمية الجينية
دراسة حالة*

صبا ستار عبدالله نجم
جامعة بغداد - كلية الإدارة والاقتصاد
saba.najm2205@coadec.uobaghdad.edu.iq

ا.م.د. بشرى صبيح كاظم
جامعة بغداد - كلية الإدارة والاقتصاد
bushra.sabeeh@coadec.uobaghdad.edu.iq

المستخلص

يهدف البحث إلى تحسين كفاءة عمليات التصنيع عن طريق استخدام الخوارزمية الجينية بوصفها إحدى تقنيات الذكاء الاصطناعي الداعمة لاتخاذ القرار في تخطيط وتشغيل العمليات الإنتاجية. وتكمن أهمية البحث في كونه يسهم في معالجة مشكلات عدم توازن الأحمال بين المكائن وتقليل الهدر وتحسين تدفق المواد الأولية بما ينعكس إيجابًا على كفاءة الأداء وتعظيم الربحية وتعزيز القدرة التنافسية للمنشأة الصناعية، وتم تنفيذ البحث وفق دراسة حالة ذي الطابع الوصفي-التطبيقي حيث تمثّل الميدان المبحوث في معمل شركة الطبيعة للصناعات البلاستيكية وتم اختيار مجموعة من المنتجات البلاستيكية وخطوط تشغيلها بوصفها عينة للبحث لما تمثّله من أهمية في تحقيق أهداف المعمل الإنتاجية. وقد تم الاعتماد على البيانات الفعلية المستحصلة من سجلات المعمل في بناء النموذج وتشغيل الخوارزمية الجينية، واعتمد البحث على استخدام برنامجي MATLAB وExcel في تنفيذ الخوارزمية الجينية وبناء قواعد البيانات ومعالجة المخرجات مع توظيف النسب المئوية والحسابات الحسابية المباشرة في تحليل نتائج الخطة الإنتاجية المثلى. وقد تمثّلت أهداف النموذج في تقليل الكلف وتقليل الهدر وتحقيق أفضل تدفق للمواد الأولية وتعظيم الأرباح، وأظهرت نتائج تطبيق الخوارزمية الجينية كفاءتها في توليد خطة إنتاج وتشغيل مثلى أسهمت في رفع كفاءة استغلال المكائن وتحقيق توازن أفضل في الأحمال التشغيلية وتقليل التوقفات غير الضرورية، وتحسين مستويات الإيرادات وصافي الأرباح، بما يعزّز قدرة المعمل على تلبية الطلب وتحسين موقعه التنافسي في السوق.

الكلمات المفتاحية: تحسين العمليات، التصنيع الرشيق، الخوارزمية الجينية، الصناعات البلاستيكية.

المقدمة:

تُعدّ كفاءة عمليات التصنيع من الركائز الأساسية في تعزيز الأداء التشغيلي للمصانع الصناعية ولاسيما في ظل تصاعد التحديات المرتبطة بارتفاع مستويات الهدر وضعف استغلال الموارد وعدم استقرار تدفق العمليات الإنتاجية. وتواجه العديد من المنشآت الصناعية صعوبات متزايدة في تحقيق مواءمة فعّالة بين الإمكانات التشغيلية ومتطلبات السوق نتيجة التعقيد المتزايد في بيئات التصنيع وتعدد المتغيرات المؤثرة في العملية الإنتاجية مما يستدعي تبنّي أساليب حديثة تتجاوز حدود الطرق التقليدية في التخطيط والإدارة.ويبرز في هذا السياق دور الأساليب الذكية في دعم القرارات التشغيلية ولاسيما الخوارزميات التطورية التي أثبتت كفاءتها في معالجة المشكلات التحسينية ذات الطبيعة المعقدة لما تمتلكه من قدرة عالية على البحث عن الحلول المثلى ضمن فضاءات واسعة من البدائل وبما يسهم في تحسين تخصيص الموارد ورفع مستوى كفاءة التشغيل.وانطلاقًا من ذلك يأتي هذا البحث ليسلط الضوء على إمكانية توظيف الخوارزمية الجينية

* البحث مستل من رسالة ماجستير للباحث الأول.

في تحسين واقع العمليات التشغيلية في قطاع الصناعات البلاستيكية بما يخدم توجهات التطوير الحديثة ويسهم في بناء نماذج تشغيلية أكثر مرونة وكفاءة وقابلية على الاستجابة لمتطلبات السوق.أما هيكلية البحث فقد تم تنظيمه على النحو الآتي: يتناول المبحث الأول الإطار النظري الذي تضمن المفاهيم الأساسية المرتبطة بالتصنيع الرشيق والخوارزمية الجينية في حين خصص المبحث الثاني للإطار العملي الذي يتضمن عرض بيانات الميدان المبحوث وبناء نموذج الخوارزمية الجينية وتحليل نتائجه ويُختتم البحث بعرض أهم الاستنتاجات والتوصيات.

مشكلة البحث:

يواجه معمل الصناعات البلاستيكية تحديات تشغيلية في إدارة عمليات الإنتاج تتمثل بعدم توازن الأحمال بين المكائن وارتفاع مستويات الهدر في الوقت والمواد الاولية إلى جانب غياب الأساليب العلمية الدقيقة في التخطيط واتخاذ القرار إذ يعتمد المعمل بدرجة كبيرة على الخبرة الشخصية في تقدير الكميات وتشغيل المكائن دون الاستناد إلى أدوات تحليل أو نماذج تحسين داعمة للعملية التشغيلية. وقد تم تشخيص هذه المشكلات من خلال الزيارات الميدانية المتكررة للمعمل والملاحظة المباشرة لسير العمليات الإنتاجية والاطلاع على سجلات التشغيل والإنتاج حيث أظهرت النتائج وجود اختناقات واضحة في بعض المكائن وضعف في تدفق المواد الأولية وعدم توافق بين الإنتاج الفعلي والطلب الأمر الذي انعكس سلبًا على مستوى التكاليف التشغيلية وزاد من الضغط على الموارد المتاحة. ومن هنا تبرز اهم التساؤلات الاتية :

1. هل يمكن التحول من نظام الإنتاج والخزن إلى نظام إنتاج قائم على الطلب (Pull System) لتحقيق تدفق أكثر انسيابية داخل المصنع؟
2. ما إمكانية بناء خطة تشغيل إنتاجية باستخدام الخوارزمية الجينية لتحسين الجدولة وتقليل فترات الانتظار والهدر؟
3. هل يمكن من خلال الخوارزمية الجينية رفع كفاءة تشغيل المكائن وتحسين التدفق وتقليل الاختناقات؟

هدف البحث:

يهدف هذا البحث إلى بناء نموذج تحسين ذكي يعتمد على الخوارزمية الجينية في دعم القرار التشغيلي داخل معمل الصناعات البلاستيكية عن طريق تحسين تخطيط وتشغيل العمليات الإنتاجية وفق مبادئ التصنيع الرشيق وبما يسهم في تقليل الهدر ورفع كفاءة استغلال الموارد وتحقيق التوازن في الأحمال التشغيلية. ويتفرع عن هذا الهدف الرئيس الأهداف الفرعية الآتية:

1. يهدف البحث إلى دراسة إمكانية التحول من نظام الإنتاج والخزن (Push System) إلى نظام إنتاج قائم على الطلب (Pull System) بما يحقق تدفقًا أكثر انسيابية داخل المصنع ويقلل التكدس والاختناقات التشغيلية.
2. يهدف البحث إلى بناء خطة تشغيل وإنتاج مثلى باستخدام الخوارزمية الجينية تسهم في تحسين الجدولة الإنتاجية وتقليل فترات الانتظار والهدر في الوقت والمواد.
3. يهدف البحث إلى بيان دور الخوارزمية الجينية في رفع كفاءة تشغيل المكائن وتحقيق توازن أفضل في الأحمال التشغيلية وتقليل الاختناقات داخل خطوط الإنتاج.

أهمية البحث:

تنبع أهمية البحث من إسهامه في سدّ الفجوات البحثية على المستويين النظري والتطبيقي، ويمكن تحديد أبرز جوانب أهميته على النحو الآتي:

1. رفع كفاءة التشغيل وتقليل مستويات الهدر عن طريق تحسين تدفق المواد وتقليل أوقات الانتظار والتوقفات غير الضرورية داخل خط الإنتاج.
2. زيادة الإنتاج الفعلي للمكائن دون الحاجة إلى إضافة معدات جديدة، عبر تحسين الجدولة الإنتاجية وتحقيق توازن أفضل في الأحمال التشغيلية.
3. تحسين زمن التسليم للزبون(Lead Time) ، بما يسهم في رفع مستوى الرضا وتعزيز قدرة المعمل على الالتزام والدقة في مواعيد التسليم.
4. اعتماد خطة تشغيلية مبنية على البيانات الدقيقة بدلاً من التقديرات البشرية، الأمر الذي يقلل من الأخطاء الناتجة عن الاجتهاد الشخصي ويدعم دقة القرارات الإدارية.
5. تحسين الربحية النهائية عن طريق تقليل الهدر في الوقت والمواد الأولية ورفع كفاءة تشغيل المكائن.

الأساليب والنماذج والبرامج المستخدمة:

1. استخدام برنامج ماتلاب في بناء واختبار النموذج.
2. استخدام برنامج الاكسل في بناء قواعد البيانات
3. استخدام الخوارزمية الجينية في تحسين العمليات الإنتاجية.

حدود البحث:

-1 الحدود المكانية: تم تطبيق البحث في معمل البلاستيك التابع لشركة الطبيعة لإنتاج الأصباغ المحدودة، والذي يُعد أحد فروع شركة الأفق للصناعات البلاستيكية في عمّان – الأردن.

-2 الحدود الزمانية: امتدت الحدود الزمانية للبحث من (2025/2/12) لغاية (2025/10/1)

مجتمع وعينة البحث:

تمثّل الميدان المبحوث عنه في هذا البحث بمعمل شركة الطبيعة للصناعات البلاستيكية. أما عينة البحث فقد شملت مجموعة من المنتجات البلاستيكية المنتجة ضمن خطوط التشغيل الرئيسة في المعمل والتي تم اختيارها اعتمادًا على أهميتها الإنتاجية وتوفر بياناتها الفعلية حيث استُخدمت هذه البيانات في تشغيل الخوارزمية الجينية وبناء الخطة التشغيلية المثلى.

منهج البحث:

اعتمد البحث على منهج دراسة الحالة ذو الطابع الوصفي–التطبيقي عن طريق دراسة واقع العمليات التشغيلية في معمل شركة الطبيعة للصناعات البلاستيكية اعتمادًا على بياناته الفعلية ثم تطبيق الخوارزمية الجينية لبناء نموذج تحسيني يهدف إلى رفع كفاءة التشغيل وتقليل الهدر.

المبحث الأول: الإطار النظري

اولاً: التصنيع الرشيق

1.1 مفهوم التصنيع الرشيق:

التصنيع الرشيق هو مجموعة من الأدوات التي تساعد في تحديد وإزالة الهدر مما يسهم في تحسين الجودة وتقليل وقت الإنتاج والتكاليف. ويُعد التصنيع الرشيق منهجية تهدف إلى تلبية الطلبات العالية للخدمات أو المنتجات مع الحفاظ على أقل قدر ممكن من المخزون. (Singh et al.,2018:1396) ويعد التصنيع الرشيق نهج فلسفي يسعى لتعظيم قيمة الزبون عبر التخلص من الهدر أو تقليله بحيث يتم إزالة أي عنصر لا يسهم في إضافة قيمة للزبون.(Sekhar et al.,2023)

كما ذكر (Sharma & Pinca-Bretotean,2023:1) التصنيع الرشيق بانه مفهوم ثوري يهدف إلى زيادة كفاءة استخدام الموارد مع تقليل الهدر وقد اثبت فاعليته في رفع كفاءة المصانع وتقليص أوقات المعالجة في العمليات التصنيعية الكبرى. وعرفه (Haddud & Khare,2020:735) بانه مفهوم إداري يُستخدم لجعل المنظمة أكثر تنافسية من خلال خلق القيمة والقضاء على أي خلل في العمليات بهدف زيادة الكفاءة وتقليل التكاليف.

2.1 مبادئ التصنيع الرشيق:

يقوم التصنيع الرشيق على خمسة مبادئ أساسية تضمن تنفيذه بالشكل الصحيح Kumar et al.,2022:2)(Ali,2024:43) (Schroeder& Goldstein,2018:115-119) يمكن تلخيصها على النحو الاتي:

1. **القيمة Value**:- تُحدد القيمة من منظور الزبون إذ تتمثل في المنتج أو الخدمة التي يحتاجها وتكون متاحة في الوقت والمكان المناسبين وبسعر يقبل دفعه فهي ليست ما تراه الشركة بل ما يحدده الزبون وفق ما يُعرف بـ "صوت الزبون".
2. **تدفق القيمة Value Stream:** يشير تدفق القيمة إلى جميع الخطوات والمهام التي يتم تنفيذها لإكمال منتج أو تقديم خدمة من البداية إلى النهاية وقد يتضمن تدفق القيمة عادةً خطوات ومهام تضيف قيمة وأخرى لا تضيف قيمة الهدف من دراسة تدفق القيمة هو التخلص من الخطوات والمهام التي لا تضيف قيمة.
3. **التدفق Flow**:- الهدف من التدفق هو جعله بسيطًا وسلسًا وخاليًا من الأخطاء لتجنّب الهدر ويعني ذلك أن تكون تدفقات الإنتاج مستقرة ومتوقعة مما يتيح تخصيص الموارد بدقة لكل خطوة.
4. **السحب Pull:-** يقوم على مبدأ أن الإنتاج لا يبدأ إلا عند وجود إشارة من الزبون أي أن الزبون هو من "يسحب" المنتج الذي يحتاجه.
5. **الكمالPerfection:-**هو توفير منتج أو خدمة بسعر مناسب وتسليم سريع يلبّي حاجة الزبون، مع فهم أن الكمال يعني مطابقة المتطلبات بأقل ضياع ممكن، وذلك عبر إزالة الهدر بشكل مستمر.

3.1 اهداف التصنيع الرشيق:

تتعدد أهداف التصنيع الرشيق وقد حدد معظم الباحثين هذه الأهداف ومنهم Mady et al.,2020:886)(Rodríguez Cornejo et al.,2020:6) (Kumar,2014:231-233) :-

1. تحسين الجودة عبر فهم احتياجات الزبون وتصميم عمليات تلبي توقعاتهم.
2. إزالة الشوائب وكل نشاط لا يضيف قيمة.
3. تقليل أزمنة التنفيذ لخفض الهدر والكلف.
4. خفض التكاليف من خلال إنتاج ما يطلبه الزبون فقط.
5. تقليل العيوب والضياع المادي والمواد المستخدمة.
6. تقليل وقت الدورة عبر تقليل أوقات الانتظار.
7. خفض المخزون خاصة المخزون قيد المعالجة.

4.1 أنواع الهدر:

يهدف التصنيع الرشيق إلى القضاء على ثلاثة أنواع من الهدر (Chen & Wang2022:2) (Udokporo et al.,2020:3) (Kumar et al.,2022:2) (Chahal& Narwal,2017:325)
وهي كالتالي:

1. **مودا(Muda):** تشمل مودا الأنشطة التي لا تضيف قيمة. عادةً ما تكون نتائج مثل هذه الأنشطة هدر، أي ما يُعرف بأنواع الهدر السبع - الإنتاج الزائد، الانتظار، النقل، المعالجة الزائدة، المخزون، الحركة غير الضرورية، وعيوب المنتجات.
2. **مورا (Mura):** تشير مورا إلى التباين، وعدم الاتساق، وعدم التساوي، أو عدم انتظام الإنتاج (في الوقت أو الكمية أو الجودة). يؤدي وجود مورا إلى الهدر السبع.
3. **موري(Muri):** يشير مفهوم موري (Muri) إلى الحالات التي يتم فيها تحميل المشغلين أو الآلات أعمالًا تفوق قدراتهم الطبيعية، أي العمل تحت ضغط زائد أو ظروف غير معقولة، وهو ما يُعرف بالحمل المفرط. وغالبًا ما ينشأ هذا النوع من الهدر نتيجة وجود مورا (Mura) أي عدم الاستقرار والتذبذب في سير العمل، أو نتيجة السعي المفرط لإزالة مودا (Muda) بطريقة غير مدروسة. وعليه فإن الأنشطة تُعدّ ذات قيمة مضافة فقط عندما تسهم في تجنب الهدر وتتيح إنتاج الكمية المطلوبة في المكان والوقت المناسبين دون تحميل الموارد فوق طاقتها.

5.1 أدوات التصنيع الرشيق:

يتفق معظم الباحثين على أن فلسفة التصنيع الرشيق تعتمد على مجموعة من الأدوات التي تسهم في تقليل الهدر وتحسين تدفق العمل ومن أهم هذه الأدوات:–

1. **التصنيع الخلوي Cellular manufacturing**:-هو خلايا العمل التي تُصمم لإنتاج عائلة من الأجزاء أو عدد محدود من عائلات الأجزاء مما يتيح تدفقاً مستمراً يحوّل عدة عمليات تعمل بشكل مستقل إلى خلية عمل مشتركة.(Heydari et al.,2017:39)
2. **تنظيم موقع العمل(5S) Workplace Organization**:- إن منهجية 5S هي نقطة الانطلاق لتحقيق نتائج جيدة وأنه من الصعب تطوير إجراءات تشغيلية رشيدة وواضحة وأي ابتكارات أخرى لتحسين ظروف العمل وإنتاج منتجات ذات جودة عالية دون برنامج 5S فعّال (Randhawa &Ahuja,2017:4).
3. **الصيانة الإنتاجية الشاملة Total Productive Maintenance:** ذكر (Chen & Wang2022:5) أحد عوامل نجاح التصنيع الرشيق يكمن في استقرار نظام الإنتاج خاصةً فيما يتعلق بموثوقية المعدات وتُعد TPM فلسفةً تشرك المشغلين في صيانة معداتهم بأنفسهم حيث تؤكد على أن الصيانة الوقائية والاستباقية تشكل الأساس لاستمرارية موثوقية الآلات وجودة المنتجات.
4. **الإنتاج في الوقت المناسب Just In Time**:- ذكر(Khalfallah &Lakhal,2021:4) بأن (JIT) هو منهجية شاملة تهدف إلى القضاء على جميع أشكال الهدر في عملية التصنيع. كما يمكن اعتبار تقنية (JIT) عملية "سحب" تعتمد على طلب الزبائن.
5. **بطاقة كانبان Kanban Card:-** كانبان هي كلمة يابانية تعني "إشارة" أو "بطاقة" تُعد هذه التقنية الأساسية المستخدمة لضمان تدفق العمل المستمر بين محطات العمل تُستخدم كانبان لتحديد حالة المنتج والعمليات التي تم إجراؤها عليه وتحديد المسؤول عن تنفيذه تعمل كانبان على الحفاظ على تدفق المنتج من البداية حتى النهاية(Sharma &Khatri,2021:10) .
6. **التحسين المستمر Continuous Improvement (Kaizen):-** كايزن هي استراتيجية يابانية (وتعرف أيضًا كثقافة أو فلسفة أو منهجية) تعني التحسين المستمر. تركز هذه الاستراتيجية على إشراك جميع أفراد القوى العاملة في الأنشطة المختلفة داخل المؤسسة مثل فعاليات كايزن ونظام المقترحات. كما تعطي أهمية كبيرة لمكان العمل باعتباره محور كل الأنشطة والعمليات(Ismyrlis,2021:5-6).
7. **توحيد العمل Standardized Work**:- توحيد العمل هو ممارسة تحديد المعايير وتوصيلها والالتزام بها وتحسينها باستمرار وكما جاء في أحد الاقتباسات "يجب أولاً توحيد وتثبيت العمليات قبل أن تبدأ التحسينات المستمرة" بمعنى آخر تشكل المعيار الأساسي الذي تنطلق منه جميع أنشطة التحسين في عملية التحسين المستمر(Sharma &Khatri,2021:13).

Journal of Business Economics for Applied Research, Vol. (8), No. (2): 555-574
Doi: https://dx.doi.org/10.37940/BEJAR.2026.8.2.28

ثانياً: الخوارزمية الجينية

1.2 مفهوم الخوارزمية الجينية:

الخوارزمية الجينية هي تقنية من تقنيات الذكاء الاصطناعي وأسلوب إرشادي يمكن تطبيقه كطريقة كمية لمعالجة أنواع مختلفة من المشكلات تعمل على إيجاد الحل الأمثل عن طريق تحقيق أعلى قيمة للياقة وفقًا لمبادئ الوراثة والانتقاء الطبيعي تم استخدام الخوارزميات الجينية لحل العديد من المشكلات المعقدة في مجالات تقنية متنوعة(Mouffok & Souar,2019:43) وتُصنَّف ضمن الخوارزميات التطورية حيث تعتمد على محاكاة آليات التطور الطبيعي مثل الانتقاء والطفرات لتوليد حلول فعّالة للمشكلات التحسينية وتتميز هذه الخوارزمية بقدرتها العالية على مقاومة تأثير الضوضاء إضافةً إلى تحقيق معدلات مرتفعة في الكشف عن الأنماط الشاذة يتنافس جميع أفراد المجتمع على الموارد الأساسية (Soldatos,2024:354) وتشهد الذكور تنافسًا خاصًا لجذب الإناث بغرض التزاوج نتيجة لهذا التنافس تكون فرص البقاء على قيد الحياة أقل لدى الأفراد الذين يتمتعون بأداء ضعيف أو فرص تزاوج محدودة بينما يكون الأفراد الأكثر كفاءة وتكيفًا هم الأكثر بقاءً وان الأفراد القادرون على التكيف بشكل أفضل ينتجون ذرية أكثر نسبيًا ومن خلال عملية التزاوج يمكن للصفات الجيدة من كل جيل أن تتجمع مما يؤدي إلى ظهور ذرية تتمتع بمستوى لياقة أعلى من أحد الوالدين أو كليهما ومع مرور عدة أجيال تتطور الأنواع بشكل تدريجي وطبيعي لتصبح أكثر تكيفًا مع البيئة المحيطة (Slowik&Kwasnicka,2020: 12363)

2.2 أنواع الخوارزمية الجينية:

هناك العديد من أنواع خوارزميات التطور الجيني، ذكرها(عويدات،2023 :111) وتختلف في الطريقة التي تتعامل بها مع عمليات التطور والتكيف بعض الأنواع الشائعة الخوارزميات التطور الجيني:

1- **الخوارزمية الجينية الأساسية**: تعتبر الخوارزمية الجينية الأساسية النموذج الأساسي الخوارزميات التطور الجيني تستخدم عمليات التبادل العشوائي والتحور لتوليد تنوع جديد في الأجيال اللاحقة وتستخدم وظيفة التكيف لتقييم فعالية الأفراد في البيئة.

2- **الخوارزمية الجينية المعبأة**: تستخدم الخوارزمية الجينية المعبأة للتعامل مع المشكلات التي تتطلب تمثيل حلول معقدة وهياكل بيانات غير قياسية. يتم تعبئة الحلول المعقدة داخل الجينات باستخدام تقنيات مثل الترميز المرتب أو الترميز العشوائي.

3- **الخوارزمية الجينية التوافقية**: تستخدم الخوارزمية الجينية التوافقية وظيفة التكيف المحددة بوضوح لتحقيق تطور الحلول نحو الأفضل. تتم استخدام أساليب مثل التحسين المتقدم والمحافظة على التنوع لتعزيز عملية التحسين والتكيف.

4 **الخوارزمية الجينية متعددة الهدف**: تستخدم الخوارزمية الجينية متعددة الهدف للمشكلات التي تتطلب تحقيق أكثر من هدف في الحل النهائي تستخدم تقنيات مثل السياق البيني والسياق الاقتصادي لتحقيق التوازن بين الأهداف المتعددة وتوليد مجموعة من الحلول الغير متفقة.

3.2 متغيرات الخوارزمية الجينية:

وفقاً لـ(Hassanat et al.,2019:5) هنالك عدة معلمات أساسية ومهمة تستخدمها الخوارزمية الجينية، لها تأثير مباشر على جودة الحل وان الحفاظ عليها يحسن من حل الخوارزمية الجينية وهي كالاتي.

1. معدل التقاطع :يحدد احتمال تبادل الأجزاء بين كروموسومين، ويقع بين 0 و1. ارتفاعه يزيد التنوع، وانخفاضه يجعل الأجيال الجديدة نسخة من السابقة تقريبًا.
2. معدل الطفرة :يحدد نسبة الكروموسومات التي تتغير عشوائيًا لمنع الوقوع في الحلول المحلية، لكن زيادته المفرطة تجعل البحث عشوائيًا.
3. حجم المجتمع :هو عدد الكروموسومات. الحجم الصغير يقلل مساحة البحث، والكبير يزيد الكلفة الحاسوبية، لذلك يجب أن يكون متوازنًا.

4. عدد الأجيال :يمثل عدد مرات تكرار الخوارزمية. يُحدد حسب تعقيد المشكلة، وقد يُستغنى عنه إذا كان الإيقاف يعتمد على معايير أداء ثابتة.

4.2 خطوات الخوارزمية الجينية:

تمر الخوارزمية الجينية بالخطوات الأساسية التالية (Haldurai et al.,2016:140):-

1. (البدء) توليد سكان عشوائي من nكروموسوم تمثل حلولًا مناسبة للمشكلة.
2. (الملاءمة) تقييم قيمة الملاءمة f(x) لكل كروموسوم x في السكان.
3. (سكان جديد) إنشاء سكان جديد من خلال تكرار الخطوات التالية حتى يكتمل السكان الجديد:

أ. الاختيار اختيار زوج من كروموسومات الآباء من السكان وفقًا لقيم الملاءمة)كلما كانت الملاءمة أفضل، زادت فرصة الاختيار

ب. (التهجين) باستخدام احتمالية التهجين(Crossover Probability) ، يتم تهجين الآباء لإنتاج أفراد جدد (أبناء). إذا لم يتم التهجين، يكون النسل نسخة مطابقة للآباء.

ت. (الطفرة) باستخدام احتمالية الطفرة(Mutation Probability) ، يتم إحداث طفرة في الأفراد الجدد عند كل موضع (Locus) في الكروموسوم.

ث. (الإضافة) إضافة الأفراد الجدد إلى السكان الجديد.

4. (الاستبدال) استخدام السكان الجديد لمواصلة تشغيل الخوارزمية.
5. (الاختبار) إذا تحقق شرط الإيقاف، تتوقف الخوارزمية ويتم إرجاع أفضل حل في السكان الحاليين.
6. (التكرار) العودة إلى الخطوة 2.

5.2 تطبيقات الخوارزمية الجينية:

لقد تم استخدام الخوارزميات الجينية لحل المشكلات الصعبة ولأغراض تعلّم الآلة، وكذلك لتطوير برامج بسيطة. كما تم استخدامها أيضًا في بعض الفنون، مثل تطوير الصور والموسيقى. وفيما يلي بعض التطبيقات المعروفة للخوارزمية الجينية(Sivanandam&Deepa,2008:35):-

1. الأنظمة الديناميكية اللاخطية :التنبؤ وتحليل البيانات
2. تخطيط مسار الروبوتات
3. البرمجة الجينية (GP) باستخدام لغة LISP هي أسلوب ذكي يولّد برامج أو نماذج تلقائيًا اعتمادًا على مبادئ التطور الطبيعي بهدف الوصول إلى الحل الأمثل.
4. تخطيط الاستراتيجيات
5. البحث عن شكل جزيئات البروتين
6. مسألة البائع المتجول (Travelling Salesman Problem – TSP) هي إحدى مسائل التحسين الكلاسيكية، وتهدف إلى إيجاد أقصر مسار يمر بجميع النقاط (المدن أو المواقع) مرة واحدة فقط ثم يعود إلى نقطة البداية بأقل كلفة ممكنة.
7. التحكم :مثل خطوط أنابيب الغاز، توازن الأعمدة، المراوغة الصاروخية، المطاردة
8. التصميم :مثل تصميم الرقائق، تصميم الطائرات، تكوين لوحات المفاتيح، شبكات الاتصال
9. الجدولة :في التصنيع وتنظيم المرافق وتخصيص الموارد
10. التعلم الآلي :تصميم الشبكات العصبية وتحسين خوارزميات التصنيف
11. التحسين التوافقي :مثل تغطية المجموعات، TSP، جدولة التسلسلات، التوجيه، تجزئة الرسوم البيانية

المبحث الثاني: الإطار العملي

اولاً: الميدان المبحوث وعينة البحث ومصادر البيانات

تمثّل الميدان المبحوث في هذا البحث بمعمل شركة الطبيعة للصناعات البلاستيكية والذي يضم خطوط إنتاج متخصصة بإنتاج عدد من الأصناف البلاستيكية. وقد شملت عينة البحث مجموعة

Journal of Business Economics for Applied Research, Vol. (8), No. (2): 555-574
Doi: https://dx.doi.org/10.37940/BEJAR.2026.8.2.28

محددة من هذه المنتجات المتمثلة بعبوات الاصباغ وعبوات التنظيف والمواد الغذائية التي يتم إنتاجها بصورة مستمرة وتتمتع بحجم طلب مرتفع وتعدد في العمليات التشغيلية المرتبطة بها. أما مصادر الهدر فقد تم تشخيصها من خلال الزيارات الميدانية والملاحظة المباشرة وتحليل سجلات التشغيل اليومية وتمثلت بشكل رئيس في هدر الوقت الناتج عن عدم توازن الأحمال بين المكائن بسبب انتاج المنتجات بدون خطة إنتاجية مناسبة مع كميات الطلب إضافة إلى هدر المواد الأولية الناتج عن العيوب التشغيلية. وقد تم تطبيق الخوارزمية الجينية بالاعتماد على بيانات فعلية يومية وشهرية خاصة بالإنتاج والتشغيل خلال مدة البحث والتي استُخدمت في بناء النموذج التحسيني وتحليل نتائجه.

ثانياً: عملية التحسين باستعمال الخوارزمية الجينية

تعد الخوارزمية الجينية من الادوات الفعالة في امثلة (Optimization) الانظمة لما تملكه من قوة في تكوين الحلول المثلى وتحقيق دالة الهدف وفي شركة الطبيعة يتألف النظام من عمليات تصنيع مختلفة تصب في النهاية بإنتاج علب ذات احجام مختلفة تتألف كل علبة من جسم العبوة والغطاء الخاص بها لذا في الخطط الانتاجية يتعامل المصنع مع 14 منتج وتمر هذه المنتجات بمرحلة تصنيعية واحدة على ماكينة واحدة وهي اما عملية حقن الحبيبات البلاستيكية (Injection) او نفخ البلاستيك (Blowing) بعد التشكيل على نفس ماكينة النفخ وتتعدد الماكينات في المعمل تبعاً للقابلية على تركيب قوالب المنتجات. ولأعداد نموذج ذكاء اصطناعي باستعمال الخوارزمية الجينية يجب اتباع الخطوات الاتية.

1.1 تحضير البيانات: تم استخدام ملف (Excel) يتضمن ثلاث أوراق عمل لتحضير البيانات نظمت على النحو الاتي :

1. Parts يحتوي على معلومات أجزاء المنتجات بالكامل والجدول (1) يوضح هذه البيانات

جدول (1) بيانات الأجزاء لكل منتج من حيث كلفة المادة، كلفة التشغيل، وزمن التصنيع

Part _ID	Product _ID	Machine _ID	Material _cost _per _part	Running _cost _per _part	Seconds_ Per _Unit	Units Per Product	Material _ price _per _kg
x11	P1	M1	1,064.70	4.687	27.00	1.00	1,690.00
x12	P1	M5	253.50	2.500	18.00	1.00	1,690.00
x21	P2	M2	550.40	2.800	18.00	1.00	1,638.00
x22	P2	M5	144.10	1.250	9.00	1.00	1,638.00
x31	P3	M3	54.10	2.083	10.00	1.00	1,638.00
x32	P3	M4	14.70	2.083	10.00	1.00	1,638.00
x41	P4	M7	75.80	2.375	18.00	1.00	1,430.00
x51	P5	M6	190.20	2.902	22.00	1.00	1,430.00
x52	P5	M5	37.70	2.500	18.00	1.00	1,638.00
x61	P6	M6	307.50	2.902	22.00	1.00	1,430.00
x62	P6	M5	9.80	2.222	16.00	1.00	1,638.00
x71	P7	M7	121.60	2.375	18.00	1.00	1,430.00
x72	P7	M5	29.50	1.944	14.00	1.00	1,638.00
x73	P7	M5	11.50	1.944	14.00	1.00	1,638.00

المصدر: من اعداد الباحثة بالاعتماد على سجلات الشركة.

يمثل هذا الجدول البيانات التشغيلية الخاصة بكل جزء من أجزاء المنتجات إذ يوضح رقم الجزء (Part_ID) ورقم المنتج الذي ينتمي إليه (Product_ID) مما يسهّل تتبع مكونات كل منتج. كما يبين الجدول المكينة المستخدمة لإنتاج كل جزء (Machine_ID) اما العمود الرابع يمثل تكلفة المواد الاولية (Material cost per part) لكل جزء حسب عدد غرامات الجزء وسعر المادة الأولية المستخدمة لهذا الجزء، وعليه تكون تكلفة المادة الأولية للجزء الاول (630*1.69=1,064.70) حيث ان الجزء الأول للمنتج الأول عدد غراماته (غ630) وان نوعية المادة الأولية المستخدمة هي sabic وان سعر الغرام الواحد من هذه المادة هو(1.69) وهكذا لبقية

الأجزاء. اما العمود الخامس يمثل تكلفة التشغيل الفعلية (Running cost per part) الأمر الذي يساعد في حساب التكلفة الكلية للمنتج النهائي. حيث تمثلت تكلفة تشغل الماكنة M1 للساعة الواحدة 625 دينار وعليه تكون كلفة التشغيل بالثانية الواحدة هي(0.1736) وان وقت انتاج الجزء الأول للمنتج الأول هو (27ثانية) وعليه تكون تكلفة تشغيل الجزء(0.1736*27=4.687) وهكذا يمكن استخراج تكلة التشغيل لبقية أجزاء المنتجات. إضافة إلى ذلك يوضح الجدول الزمن اللازم لإنتاج الجزء الواحد بالثواني (Seconds per Unit). ويمثل العمود السابع عدد الوحدات من كل جزء المطلوبة لتجميع المنتج النهائي(Units per Product) ، فضلاً عن عرض سعر المادة الخام بالكيلو غرام (Material price per kg) الذي يدخل مباشرة في تقدير تكلفة المواد المستهلكة.

2. **Products** لأعداد النموذج بشكل صحيح لابد من تعريف المنتجات وتحديد اسعار البيع لكل منتج وكذلك اعلى طلب مسجل لدى المعمل لتمثل حدود القيود في العمل لدى الخوارزمية الجينية وكما يتضح في جدول (2)

جدول(2) بيانات المنتجات من حيث عدد الأجزاء، السعر للوحدة، والطلب

Product ID	Parts Per Product	Selling Price_ per _ unit	Demand _ max _units
P1	2	3000	80,000
P2	2	1700	96,000
P3	2	200	208,000
P4	2	225	120,000
P5	2	810	20,000
P6	2	900	20,000
P7	3	450	180,000

المصدر: من اعداد الباحثة بالاعتماد على سجلات الشركة.

3. **Machines** واخيرا يتطلب النموذج اعداد بيانات المكائن وتعريف اي منها للحقن والنفخ واعداد هذه المكائن والوقت المتاح للإنتاج والذي يمثل الوقت المتاح بالساعة لكل ماكينة كما في الجدول (29) واخيرا كلفت تشغيل الماكنة بالساعة الواحدة. حيث تم احتساب تكلفة تشغيل الماكينة بالاعتماد على استهلاك الطاقة الكهربائية حيث بلغ الاستهلاك الكلي للماكينة الأولى M1 (250كيلو واط/يومياً) وبسعر (60 دينارًا لكل كيلو واط) وبذلك بلغت كلفة الطاقة الكلية 15,000دينار. ونظرًا لأن الماكينة تعمل بنظام تشغيل مستمر لمدة 24ساعة يوميًا، فقد تم توزيع كلفة الطاقة على عدد ساعات التشغيل (15,000 ÷ 24 = 625) وعليه تم اعتماد 625 دينار كتكلفة تشغيل للساعة الواحدة.وهكذا تم احتساب كلفة تشغيل باقي المكائن بناء على استهلاك الماكنة للطاقة الكهربائية وساعات تشغيلها. كما في جدول (3)

جدول(3) المواصفات التشغيلية وكلفة الساعة للمكائن

Machine _ID	Type Machine	Count	Available Hours Per Period	Cost per hour
M1	Injection	1	24	625
M2	Injection	1	12	560
M3	Injection	1	12	750
M4	Injection	1	24	750
M5	Injection	1	24	500
M6	Blow	1	24	475
M7	Blow	1	24	475

المصدر: من اعداد الباحثة بالاعتماد على سجلات الشركة.

2.1 **تحديد القيود:** تتنوع القيود في معمل الطبيعة لإنتاج العلب البلاستيكية تبعا للعمليات المتعددة لكن قبل القيود يجب ترميز العمليات والمكائن والقيود ليسهل التعامل معها في المنطق الرياضي وخاصة في برنامج ماتلاب البيئة المستعملة في نمذجة الخوارزمية الجينية ويمكن كتابة القيود الخاصة بالطاقة المتاحة للإنتاج كالاتي.

$c1=t1\leq 24$
$c2=t4\leq 24$
$c3=t5\leq 24$
$c4=t6\leq 24$
$c5=t7\leq 24$
$c6=t2\leq 12$
$c7=t3\leq 12$

ويمكن التعبير عن قيود الانتاج بالشكل الاتي تبعا للمنتج والوقت المتاح للإنتاج والوقت المطلوب للإنتاج على الماكينات كالاتي.

$27\cdot u_\{M1,1\} \leq 86400$
$18\cdot u_\{M2,2\} \leq 43200$
$10\cdot u_\{M3,3\} \leq 43200$
$10\cdot u_\{M4,3\} \leq 86400$
$18u_\{M5,1\} + 9u_\{M5,2\} + 18u_\{M5,5\} + 16u_\{M5,6\} + 14u_\{M5,7\} + 14u_\{M5,7\} \leq 86400$
$22v_\{M6,5\} + 22v_\{M6,6\} \leq 86400$
$18v_\{M7,4\} + 18v_\{M7,7\} \leq 86400$

3.1 تحديد الأهداف تتعدد الاهداف في اي منظمة باختلاف الانشطة المتعددة لكن تشترك المنظمات الصناعية الانتاجية بعدة اهداف يعتبر اهمها تعظيم الارباح الا ان الهدف (تعظيم الارباح) يعتبر هدف ذو معنى عام وبعد الاطلاع على وضع المعمل ومراجعة البيانات وعمل مخطط القيمة الذي يمثل وضع كل منتج داخل المصنع يمكن صياغة الاهداف الخاصة بالنموذج للخوارزمية الجينية بالآتي.

1. تقليل الكلف.
2. تقليل الهدر.
3. أفضل تدفق للمواد الاولية.
4. تعظيم الارباح.

وللتعبير عن دالة الهدف بالشكل الرياضي ليتلاءم مع الخوارزمية الجينية يتم كتابتها كالاتي.

$$f = (w1 * x1) + (w2 * x2) + (w3 * x3) + (w4 * x4)$$

4.1 بناء واختبار النموذج: يتم استعمال برنامج ماتلاب في بناء واختبار النموذج حيث يعتبر (MATLAB) أكثر الادوات البرمجية التفاعلية شهرة بين الاوساط العليمة لما يوفره من قوة في تفصيل الانظمة ومحاكاة العمل والقدرة على بناء مخرجات يمكن الاعتماد عليها في الشقين الأكاديمي والعملي لذا تم استعمال نسخة (MATLAB R2024) في عمل نموذج الخوارزمية الجينية بناء على المعطيات فيما سبق من القيود ودالة الهدف.

5.1 مناقشة النتائج

A. بعد تنفيذ الكود البرمجي تكون المخرجات النموذج للخطة الانتاجية الشاملة التي تحقق الاهداف الاربعة والجدول (4) يوضح ذلك.

Journal of Business Economics for Applied Research, Vol. (8), No. (2): 555-574
Doi: https://dx.doi.org/10.37940/BEJAR.2026.8.2.28

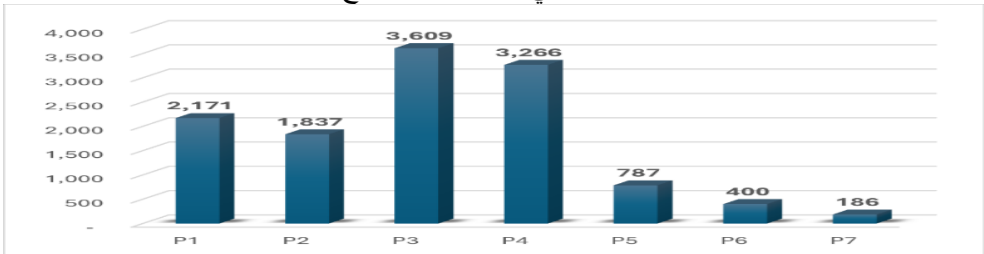
جدول(4) مخرجات النموذج

Product	Qty	Revenue	Material Cost	Running Cost	Net Profit	Used Seconds
P1	2,171	6,513,000	2,861,812	15,602.97	3,635,535.03	97,695
P2	1,837	3,122,900	1,275,797	7,439.85	1,839,663.15	49,599
P3	3,609	721,800	248,299	15,035.09	458,465.91	72,180
P4	3,266	734,850	247,563	7,756.75	479,530.25	58,788
P5	787	637,470	179,357	4,251.37	453,861.63	31,480
P6	400	360,000	126,920	2,052.4	231,027.60	15,200
P7	186	83,700	30,244	1,164.91	52,291.09	8,556

المصدر: اعداد الباحثة.

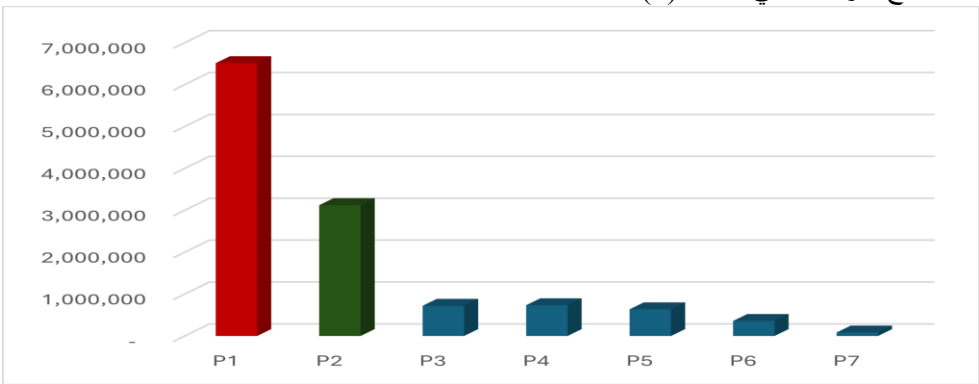
من خلال الجدول يمكن تفسير الاتي:

1- عدد الوحدات المنتجة من كل منتج في العمود الثاني (qty) ويظهر ان اعلى كمية منتج هو المنتج الثالث والمنتج الرابع بينما كان اقل منتج من حيث عدد الوحدات هو المنتج السابع كما هو موضح في الشكل (1) ويظهر هذا الاختلاف في انتاج المنتجات بناء على جميع القيود التي كانت محددة لعمل الخوارزمية الجينية في تمثيل خطة الانتاج هذه.



شكل(1)الكميات المنتجة من كل منتج

2- يمثل العمود الثالث العوائد (Revenue) من كل منتج بما انه الخوارزمية قدمت نموذج بخطة انتاجية لعدد الوحدات المنتجة ومع توفر سعر البيع لكل واحدة قدم النموذج الايرادات من كل منتج. موضحة في الشكل (2).



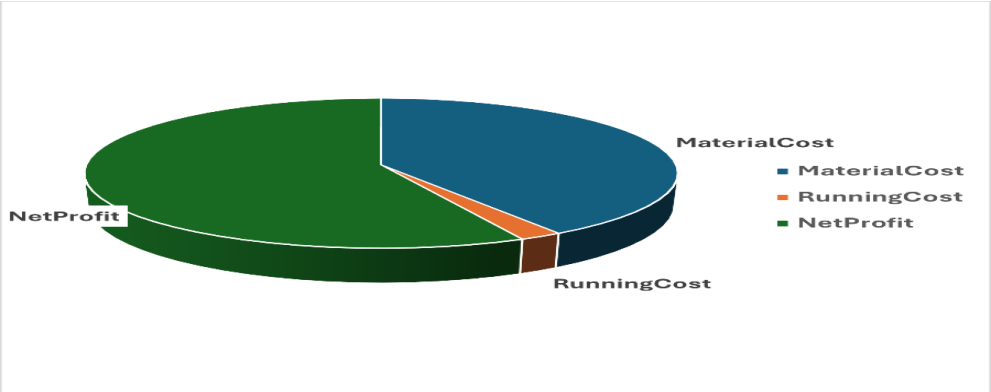
شكل(2) العوائد الخاصة بكل منتج

3- يمثل العمود الرابع تكلفة المواد للوحدات المنتجة من كل منتج تعتبر المواد الاولية من أكثر ابواب التكاليف في المؤسسات الانتاجية وخاصة في معمل الطبيعة ولأنها مواد بوليمرية بشكل حبيبات فتمثل كلفة هذه المواد بُعد اساسي في اعداد الخطة الانتاجية التي تحقق الاهداف الاربعة من وجهة نظر المصنع بناء على البيانات الخاصة بمعمل الطبيعة لإنتاج العلب البلاستيكية.

Journal of Business Economics for Applied Research, Vol. (8), No. (2): 555-574
Doi: https://dx.doi.org/10.37940/BEJAR.2026.8.2.28

4- العمود الخامس يمثل كلف التشغيل لإنتاج هذا العدد من الوحدات تعتمد كلف التشغيل بشكل اساسي على كلف تشغيل المكائن بينما تعتبر تكاليف الارض والعمل والادارة والتسويق بشكل تكاليف ثابتة تطرح في النهاية من خلال حساب الربح الصافي بعد مجموع التكاليف ولم يتم تضمين الخوارزمية الجينية هذه التكاليف لأنها تكاليف لا تتغير بالخطة الانتاجية لذا ومن منطلق الدقة والرشاقة في عمل الخوارزمية يفضل وضوح وقلة القيود التي تؤثر على الاهداف ومن باب اخر سهولة ووضح هذه الاهداف .

5- صافي الربح اعتبرت الخوارزمية ان صافي الربح هو الفرق بين الايراد والتكاليف بالنسبة للخطة الانتاجية لإنتاج هذه الكميات من المنتجات وتم وضوح ذلك في النقطة (4) سابقا والشكل (3) يوضح العلاقة بين كلف المواد الاولية وكلف التشغيل وصافي الايراد.



شكل(3)العلاقة بين كلف المواد الاولية وكلف التشغيل وصافي الايراد

B. الوقت المطلوب للإنتاج يعبر عن الوقت المطلوب لإنتاج هذه الكميات من الخطة الانتاجية وبالنسبة لتحقيق الكفاءة في تشغيل المكائن لتحقيق هذه الخطة الانتاجية يوضح الجدول (5) خطة تشغيل المكائن.

جدول(5) خطة تشغيل المكائن

Machine	Used Seconds	Available Seconds	Utilization Percent	Total Running Cost	Revenue Generated
M1	58,617.00	82,080.00	71.41	76,324.22	6,513,000.00
M2	33,066.00	41,040.00	80.57	25,718.00	3,122,900.00
M3	36,090.00	41,040.00	87.94	20,885.42	721,800.00
M4	36,090.00	82,080.00	43.97	20,885.42	721,800.00
M5	81,385.00	82,080.00	99.15	49,479.21	10,800,770.00
M6	26,114.00	82,080.00	31.82	21,056.43	997,470.00
M7	62,136.00	82,080.00	75.70	40,992.50	818,550.00

المصدر: اعداد الباحثة.

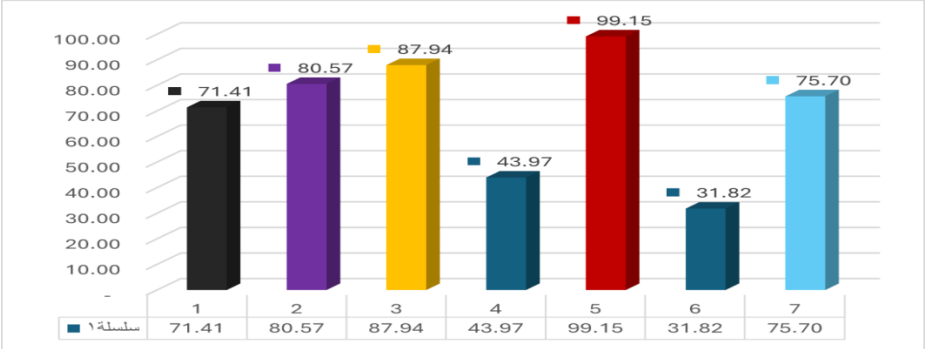
حيث يتضح من خلال الجدول الاتي:

1- وقت التشغيل لكل ماكينة بالثواني.
2- الوقت المتاح لكل ماكينة بالثواني.
3- نسبة الاستخدام من اهم النسب التي تعبر عن كفاءة تشغيل المكائن لأنها وببساطة تمثل قيمة الوقت المستهلك للإنتاج الى الوقت المتاح.
4- معامل كلفة الماكنة.

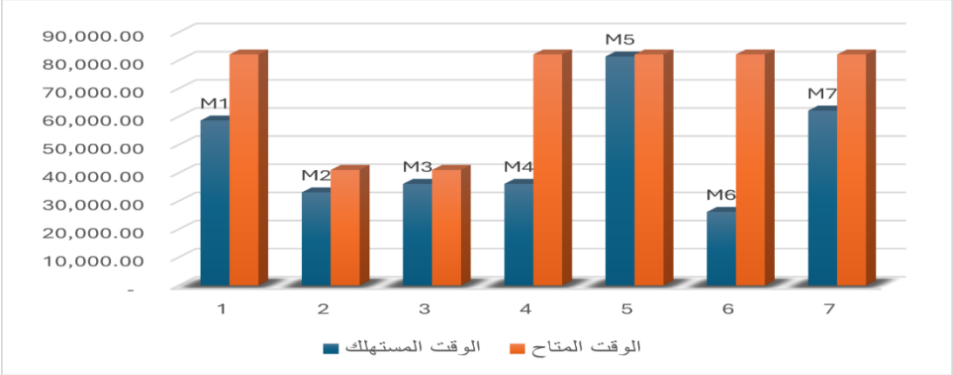
Journal of Business Economics for Applied Research, Vol. (8), No. (2): 555-574
Doi: https://dx.doi.org/10.37940/BEJAR.2026.8.2.28

5- إيرادات الماكنة.

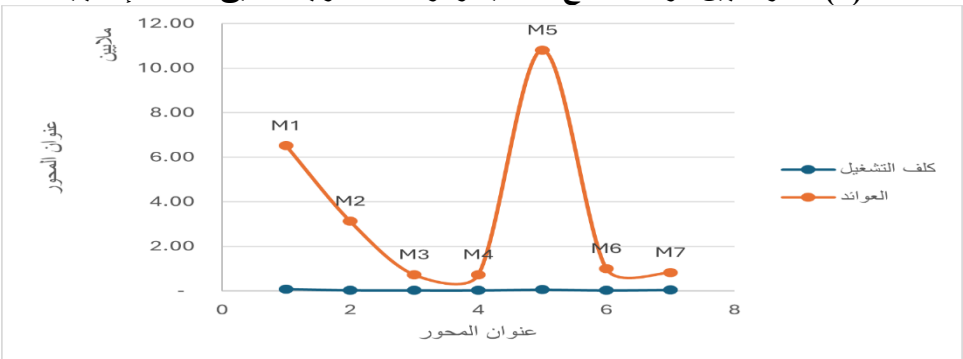
وعن طريق الشكل (4) يظهر مستوى استخدام كلا من المكائن بناء على الخطة ويظهر مستوى استخدام الماكنة الخامسة بما يقارب نسبة 100% وذلك بسبب انها تشترك في انتاج اجزاء المنتجات (الاول والثاني والخامس وجزئين من المنتج السابع) بينما كانت الماكنة في المرتبة الثانية من حيث الاستخدام هي الماكنة الثالثة بمستوى استخدام 87% وباقي المكائن. وللمقارنة بين الوقت المتاح للتشغيل والوقت المطلوب لتحقيق الخطة الانتاجية يوضح الشكل(5) هذا الفارق. وفيما يخص الايرادات لكل ماكينة مع احتساب تكاليف التشغيل يوضح الشكل (6) هذا الفارق



شكل(4)مستوى استخدام المكائن بناء على الخطة الإنتاجية



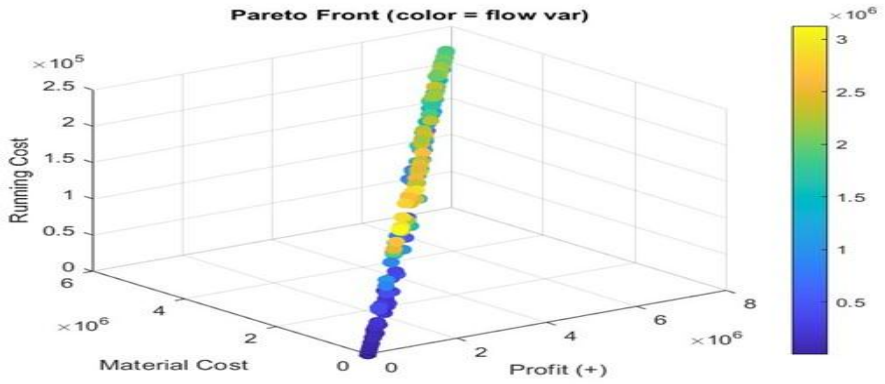
شكل(5)المقارنة بين الوقت المتاح للتشغيل والوقت المطلوب لتحقيق الخطة الإنتاجية



شكل (6) الايرادات والتكاليف بالنسبة لكل ماكينة

Journal of Business Economics for Applied Research, Vol. (8), No. (2): 555-574
Doi: https://dx.doi.org/10.37940/BEJAR.2026.8.2.28

عن طريق الشكل السابق يظهر توزيع التكاليف والايرادات بالنسبة لكل ماكينة ويظهر الاختلاف واضحا في نسبة التكاليف والعوائد بناء على ان التكاليف اقل من مليون دينار لكل ماكينة.
ومن خلال دالة الهدف المتعددة واستعمال الامر (gamultiobj) يتم تمثيل الاهداف في مخطط (Pareto front) الذي يوضح تعاقب الاجيال والحلول بناء على الاهداف المتعددة ويوضح الشكل(7) مسار الاجيال في تحقيق الأهداف.



شكل(7) مسار الاجيال في تحقيق الأهداف

6.1 مقارنة أداء المصنع قبل وبعد التحسين

لمقارنة عمليات التصنيع في معمل الطبيعة لإنتاج العبوات البلاستيكية يجب استخراج بيانات قبل وبعد تنفيذ نموذج التحسين المقترح باستخدام الخوارزمية الجينية، وقد تم استخراج بيانات النموذج في الجداول السابقة ، وعليه سوف يتم استخراج بيانات المنتجات قبل التحسين من حيث عدد الأجزاء المنتجة وكلفة المواد الأولية وكلفة التشغيل وأيضا صافي الأرباح والجدول (6) يوضح بيانات المنتجات قبل التحسين

جدول(6)بيانات المنتجات قبل التحسين

Product	Qty	Material Cost	Running Cost	Units Sold	Revenue	Net Profit
P1	900	1,170,180	6,468.3	900	2,700,000	1,523,351.7
P2	750	520,875	3,037.5	750	1,275,000	751,087.5
P3	3,461	238,116.8	14,418.52	3,461	692,200	439,664.68
P4	3,846	291,526.8	9,134.25	3,846	865,350	564,688.95
P5	4,000	911,600	21,608	769	622,890	-310,318
P6	4,000	1,269,200	20,496	769	692,100	-597,596
P7	9,500	1,544,700	59,499	6,900	3,105,000	1,500,801

المصدر: اعداد الباحثة.

يوضح الجدول أعلاه كمية الإنتاج اليومية والمبيعات الفعلية علما ان المعمل يعمل 26 يوميا شهرياً. وقد تم احتساب تكاليف الأجزاء قبل التحسين بالاعتماد على المنهجية نفسها المعتمدة في احتساب التكاليف بعد التحسين وهي عدد الأجزاء مضروباً بكلفة كل جزء (للمواد الأولية والتشغيل) واخيراً تم احتساب صافي الأرباح من خلال الفرق بين الإيرادات والتكاليف. وبعد اعتماد المنهجية نفسها في احتساب تكاليف الأجزاء لكل من حالتي قبل وبعد التحسين، تم إجراء المقارنة بهدف تحديد الأثر الفعلي لتنفيذ الخوارزمية الجينية على أداء النظام التصنيعي. وقد أظهرت نتائج المقارنة وجود فروق واضحة بين الحالتين، تمثلت في تحسن تدفق المواد، وانخفاض مستويات الهدر، وانخفاض

الكلف التشغيلية، الأمر الذي انعكس إيجاباً على تعظيم الأرباح. حيث كانت الارباح قبل التحسين (3,871,679.83) اما بعد التحسين بلغت (7,150,374.66)، وبالاعتماد على نتائج صافي الأرباح قبل وبعد التحسين تم احتساب نسبة التحسين في الأرباح وهو الهدف ذو الأهمية الأكبر في نموذج التحسين وكانت نسبة التحسين في صافي الأرباح (84%)

أمّا الكلف التشغيلية، فقد تم تحليلها قبل وبعد تطبيق الخوارزمية الجينية بوصفها أحد المؤشرات الرئيسة لقياس كفاءة النظام التصنيعي، نظرًا لارتباطها المباشر بمستويات الهدر وتدفق المواد داخل العملية الإنتاجية. وقد تم اعتماد الأسلوب نفسه في احتساب الكلف لكلا الحالتين لضمان دقة المقارنة وموضوعيتها، إذ إن أي انخفاض في الكلف التشغيلية يعكس تحسنًا في استغلال الموارد، وتقليل أوقات التشغيل غير الضرورية، وخفض الهدر، الأمر الذي يسهم بشكل مباشر في تعظيم الأرباح وتحقيق أهداف البحث. وقد بلغت تكاليف المواد الأولية والتشغيل قبل تطبيق النموذج (6,080,860.17).في حين بلغت الكلف بعد تطبيق النموذج وتحديد الخطة الإنتاجية (5,023,295.34) وتم احتساب نسبة التحسين في الكلف وكانت 17%

ولمقارنة وقت تشغيل المكائن قبل وبعد تطبيق الخوارزمية الجينية، يتم اتباع الخطوات التالية:

1. تحديد الوقت المستخدم لكل ماكينة قبل تطبيق النموذج (وهو مجموع أوقات جميع الأجزاء المنتجة على ماكينة معينة) كما هو موضح في جدول (7)
2. احتساب نسبة استخدام الماكينة كما هو موضح في جدول (7)
3. مقارنة أوقات التشغيل قبل وبعد التحسين لكل مكينة، سواء بالزيادة أو الانخفاض، لتقييم مدى التحسن في استغلال المعدات وكفاءة التشغيل. كما هو موضح في جدول(8)

جدول(7) تشغيل المكائن قبل التحسين

Machine	Used Seconds	Available Seconds	Utilization Percent
M1	24,300.00	82,080.00	29.6
M2	13,500.00	41,040.00	32.9
M3	34,610.00	41,040.00	84.3
M4	34,610.00	82,080.00	42.2
M5	414,950	82,080.00	505.7
M6	176,000	82,080.00	214.4
M7	240,228	82,080.00	292.7

المصدر: اعداد الباحثة.

جدول(8) الفرق بين تشغيل المكائن قبل وبعد التحسين

الماكينة	نسبة الاستخدام قبل تطبيق النموذج	نسبة الاستخدام بعد تطبيق النموذج
M1	29.6%	71.4%
M2	32.9%	80.6%
M3	84.3%	87.9%
M4	42.2%	44.0%
M5	505.7%	99.2%
M6	214.4%	31.8%
M7	292.7%	75.7%

المصدر: اعداد الباحثة.

أظهرت نتائج تحليل استخدام المكائن بعد تنفيذ الخوارزمية الجينية تحسناً ملحوظاً في توزيع الأحمال التشغيلية، إذ أصبحت جميع نسب الاستخدام ضمن الحدود المقبولة، بعد أن كانت بعض المكائن تعاني من استخدام مفرط قبل التحسين. كما أسهم ذلك في إزالة الاختناقات التشغيلية

في M5,M6,M7 وتحسين انسيابية العملية التصنيعية، مما انعكس إيجاباً على تقليل زمن الإنجاز والحد من تأخير تسليم طلبات الزبائن.

7.1 أثر الخوارزمية الجينية على أداء النظام التصنيعي

1. تعظيم الأرباح:-أظهرت نتائج تطبيق الخوارزمية الجينية تحقيق تحسن واضح في صافي الأرباح، إذ ارتفعت الأرباح بعد التحسين مقارنةً بحالة ما قبل التحسين، وهو ما يعكس كفاءة النموذج المقترح في تحسين قرارات التخطيط والإنتاج. ويُعزى هذا التحسن إلى الاستخدام الأمثل للموارد وتقليل الهدر في العملية الإنتاجية، الأمر الذي أسهم في تعظيم العوائد المالية للنظام التصنيعي.
2. تقليل الكلف التشغيلية:- بيّنت نتائج المقارنة انخفاض الكلف التشغيلية بعد تطبيق الخوارزمية الجينية وهو ما يدل على نجاح النموذج في تقليل التكاليف المرتبطة بالمواد الأولية وأوقات التشغيل والطاقة. ويعكس هذا الانخفاض تحسن كفاءة استخدام الموارد مما أسهم بشكل مباشر في دعم تعظيم الأرباح.
3. تقليل الهدر:-إن الارتفاع في الأرباح بالتوازي مع الانخفاض في الكلف التشغيلية يُعد مؤشرًا واضحًا على تقليل مستويات الهدر في النظام التصنيعي، سواء كان هدرًا في المواد أو الوقت أو الطاقة. وقد أسهم تقليل الهدر في رفع كفاءة العمليات الإنتاجية وتحسين الأداء التشغيلي الكلي للنظام.
4. تحسين تدفق المواد:-أدى تقليل أوقات التشغيل والحد من الهدر إلى تحسين تدفق المواد داخل العملية الإنتاجية، من خلال تقليل فترات الانتظار بين المراحل المختلفة وخفض المخزون تحت التشغيل، مما ساعد على تسريع إنجاز العمليات وتحقيق استجابة أفضل للطلب، وانعكس ذلك إيجابًا على الكلف التشغيلية والأرباح معًا.

المبحث الثالث: الاستنتاجات والتوصيات

أولًا: الاستنتاجات

1. أثبتت نتائج التحسين باستخدام الخوارزمية الجينية قدرتها على تقليل الهدر في المواد الأولية وزمن التشغيل مقارنةً بالوضع قبل التحسين، من خلال تحسين توزيع الموارد وجدولة العمليات.
2. أظهرت نتائج المقارنة بين الوضع قبل وبعد التحسين انخفاضًا واضحًا في الكلف التشغيلية نتيجة تقليل الفاقد وتحسين استغلال وقت المكائن والموارد المتاحة.
3. انعكس التحسين في الخطة الإنتاجية المحسّنة إيجابًا على تعظيم صافي الأرباح وتحسين الأداء المالي للمعمل مقارنةً بالوضع السابق.
4. أظهرت نتائج التطبيق العملي قابلية تنفيذ النموذج المقترح في بيئة العمل الواقعية، مع إمكانية تعميمه على خطوط إنتاج ومعامل صناعية مشابهة.

ثانيًا: التوصيات

1. يوصي البحث الاعتماد على الخوارزمية الجينية في إعداد خطة إنتاجية محسّنة تتلاءم مع الطلب الفعلي والطاقة الإنتاجية المتاحة، بما يضمن الاستخدام الأمثل للموارد وتقليل حالات عدم التوافق بين الإنتاج والطلب.
2. الاستمرار باستخدام الخوارزمية الجينية كأداة تحسين رئيسة لمعالجة الهدر في المواد الأولية وزمن التشغيل، مع إمكانية تحديث مدخلات النموذج بما يتناسب مع التغيرات في ظروف التشغيل.

3. توظيف نتائج التحسين المتحققة في خفض الكلف التشغيلية عن طريق المتابعة المستمرة لاستهلاك الموارد، وتقليل الفاقد، وتحسين استغلال وقت المكائن والعمالة.
4. اعتماد الخطة الإنتاجية المحسّنة كأساس لاتخاذ القرارات المتعلقة بالإنتاج وتعظيم الأرباح، بما يسهم في تحسين الأداء المالي للمعمل على المدى القصير والطويل.

المصادر:

1. عويدات، ب. (2023). استخدام الخوارزميات الجينية لضبط وتحسين المعاملات الفائقة لشبكات العصبية. مجلة العلوم الطبيعية والتطبيقية، 22(3)، 108-115.
2. Ali, M. A. (2024). The influence of lean manufacturing on firm performance through mediation of supply chain practices. South Asian Journal of Operations and Logistics, 3(1), 39-53. https://doi.org/10.57044/SAJOL.2024.3.1.2424
3. Chahal, V., & Narwal, M. (2017). An empirical review of lean manufacturing and their strategies. Management Science Letters, 7(7), 321-336. http://www.growingscience.com/msl
4. Chen, T. C. T., & Wang, Y. C. (2022). Basics in lean management. In Artificial Intelligence and Lean Manufacturing (pp. 1). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-04583-7
5. Haddud, A., & Khare, A. (2020). Digitalizing supply chains potential benefits and impact on lean operations. International Journal of Lean Six Sigma, 11(4), 731-765. https://doi.org/10.1108/IJLSS-03-2019-0026
6. Haldurai, L., Madhubala, T., & Rajalakshmi, R. (2016). A study on genetic algorithm and its applications. Int. J. Comput. Sci. Eng, 4(10), 139-143. https://www.academia.edu/download/50202846/A_Study_on_Genetic_Algorithm_and_its_Applications.pdf
7. Hassanat, A., Almohammadi, K., Alkafaween, E. A., Abunawas, E., Hammouri, A., & Prasath, V. S. (2019). Choosing mutation and crossover ratios for genetic algorithms—a review with a new dynamic approach. Information, 10(12), 390 https://doi.org/10.3390/info10120390.
8. Heydari, H., Paydar, M. M., & Mahdavi, I. (2017). An integrated model of cellular manufacturing and supplier selection considering product quality. Journal of Optimization in Industrial Engineering, 10(22), 39-48. https://www.sid.ir/fileserver/je/1029920172204.pdf
9. Ismyrlis, V. (2021). Lean and Kaizen: the past and the future of the methodologies. Lean Manufacturing. https://doi.org/10.5772/intechopen.92922
10. Khalfallah, M., & Lakhal, L. (2021). The impact of lean manufacturing practices on operational and financial performance: the mediating role of agile manufacturing. International Journal of Quality & Reliability

Management, 38(1), 147-168. https://doi.org/10.1108/IJQRM-07-2019-0244

11. Kumar, N., Hasan, S. S., Srivastava, K., Akhtar, R., Yadav, R. K., & Choubey, V. K. (2022). Lean manufacturing techniques and its implementation: A review. Materials Today: Proceedings, 64, 1188-1192. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.481

12. Kumar, S. (2014). Lean manufacturing and its implementation. International Journal of Advanced Mechanical Engineering, 4(2), 231-238. https://www.ripublication.com/ijamespl/ijamev4n2spl_13.pdf?utm_source=chatgpt.com

13. Mady, S. A., Arqawi, S. M., Al Shobaki, M. J., & Abu-Naser, S. S. (2020). Lean manufacturing dimensions and its relationship in promoting the improvement of production processes in industrial companies. https://www.researchtrend.net/ijet/pdf/Lean%20Manufacturing%20Dimensions%20and%20Its%20Relationship%20in%20Promoting%20the%20Improvement%20of%20Production%20Processes%20in%20Industrial%20Companies%202085.pdf?utm_source=chatgpt.com

14. Mouffok, O., & SOUAR, Y. (2019). Forecasting Sales Using Genetic Algorithms La prévision des ventes en utilisant les Algorithmes Génétiques. Finance and Business Economies Review, 3(2). https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=25433784&AN=140196661&h=lf2kW5dcNpTdOFD9R%2FvEH2YzhkaZ9E2uQgc6w0m%2BzVZIgXvYGql8R%2Fnurozt%2BSWceIIyev8ad0%2FHOaS7YT9Smg%3D%3D&crl=c

15. Randhawa, J. S., & Ahuja, I. S. (2017). Structural equation modeling for validating impact of 5S implementation on business excellence of manufacturing organizations. International Journal of Quality & Reliability Management, 34(9), 1592-1615. https://doi.org/10.1108/IJQRM-08-2016-0129

16. Rodríguez Cornejo, V., Cervera Paz, Á., López Molina, L., & Pérez-Fernández, V. (2020). Lean thinking to foster the transition from traditional logistics to the physical internet. Sustainability, 12(15), 6053. https://doi.org/10.3390/su12156053

17. Schroeder, R. G., & Goldstein, S. (2018). Operations Management in the Supply Chain: Decisions and Cases (7th Ed). McGraw-Hill Education. https://studentebookhub.com/wpcontent/uploads/2024/preview/9781260368109.pdf

18. Sekhar, R., Solke, N., & Shah, P. (2023). Lean manufacturing soft sensors for automotive industries. Applied System Innovation, 6(1), 22. https://doi.org/10.3390/asi6010022

19. Sharma, A. K., & Pinca-Bretotean, C. (2023). Artificial intelligence in lean manufacturing paradigm: A review. In E3S Web of Conferences (Vol. 391, p. 01163). EDP Sciences. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339101163

20. Sharma, S. S., & Khatri, R. (2021). Introduction to Lean Waste and Lean Tools. Lean Manufacturing, 29. https://doi.org/10.5772/intechopen.92922

21. Singh, J., Singh, H., & Singh, G. (2018). Productivity improvement using lean manufacturing in manufacturing industry of Northern India: A case study. International Journal of Productivity and Performance Management, 67(8),1394-1415. https://doi.org/10.1108/IJPPM-02-2017-0037

22. Sivanandam, S. N., & Deepa, S. N. (2008). Genetic algorithms. In Introduction to genetic algorithms (pp. 15-37). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-540-73190-0?utm_source=chatgpt.com

23. Slowik, A., & Kwasnicka, H. (2020). Evolutionary algorithms and their applications to engineering problems. Neural Computing and Applications, 32(16), 12363-12379. https://link.springer.com/article/10.1007/s00521-020-04832-8?utm_source=chatgpt.com

24. Soldatos, J. (2024). Artificial Intelligence in Manufacturing: Enabling Intelligent, Flexible and Cost-Effective Production Through AI (p. 505). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-031-46452-2

25. Udokporo, C. K., Anosike, A., Lim, M., Nadeem, S. P., Garza-Reyes, J. A., & Ogbuka, C. P. (2020). Impact of Lean, Agile and Green (LAG) on business competitiveness: An empirical study of fast moving consumer goods businesses. Resources, Conservation and Recycling, 156, 104714. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104714