السنة الرابعة والعشرون/ عدد خاص/ تموز 2026
https://doi.org/10.31272/ijes.v24.1551

المجلة العراقية للعلوم الاقتصادية
Iraqi Journal For
Economic Sciences

PISSN : 1812-8742 EISSE : 2791-092X Arcif : 0.375

Improving operational performance using prediction algorithms: A case study at an air filter plant - Challenge Site

تحسين جودة الأداء التشغيلي باستخدام خوارزميات التنبؤ: دراسة حالة في مصنع الفلاتر الهوائية- موقع التحدي

نرجس محمد كريدي الكعبي
Narges Mohammed Kredi
narjes.muhammad.kreidi@uomustansiriyah.edu.iq
وزارة الصحة

أ.د نغم علي جاسم
Nagham Ali Jassim
nagam_aja@uomustansiriyah.edu.iq
كلية الإدارة والاقتصاد/ جامعة المستنصرية

Abstract

The study aims to employ prediction algorithms to analyse, evaluate and improve operational performance quality indicators at the air filter factory/challenge site, which were represented by (defect rate, on-time delivery rate, operational efficiency, overall equipment effectiveness, operating cycle time, specification compliance rate, and resource consumption rate). The importance of the study lies in identifying the basic deviations in performance quality indicators and then predicting the likelihood of success in the coming years. The study followed an analytical methodology using algorithms to analyse (logistic regression, decision tree, Random Forest, VSM) that predict the future by analysing current data, using Python, which works on a set of libraries specialising in algorithm analysis. The Pandas library was used for data processing and cleaning, and the Scikit-learn library to apply supervised learning algorithms, in addition to the Matplotlib and Seaborn libraries to visually represent the data and analyse the results. The fundamental problem is manifested in increased unplanned downtime, higher defect rates, resource depletion, and reduced equipment reliability resulting from the operational characteristics of intermittent production patterns, where frequent changeovers and start-up and shutdown cycles impose mechanical and technical stresses that lead to repeated unplanned downtime. This imbalance is structurally reflected in the quality of operational performance. The results indicate that statistical analysis and intelligent analysis unanimously agree that 2015 was the best year in terms of performance quality, while the remaining years were classified as poor performers.

Keywords: Operational performance quality, prediction algorithms.

المستخلص

يهدف البحث إلى توظيف خوارزميات التنبؤ لتحليل وتقييم وتحسين مؤشرات جودة الأداء التشغيلي في مصنع الفلاتر الهوائية/ موقع التحدي، والتي تمثلت في (معدل العيوب، معدل التسليم في الوقت المحدد، الكفاءة

التشغيلية، الفعالية الشاملة للمعدات، وقت دورة التشغيل، معدل مطابقة المواصفات، معدل استهلاك الموارد). تكمن أهمية البحث في تحديد الانحرافات الأساسية في مؤشرات جودة الأداء، ثم التنبؤ باحتمالية النجاح في السنوات القادمة، اتبع البحث منهجية تحليلية من خلال استخدام خوارزميات التنبؤ (Logistic Regression, Decision tree, Random forest, SVM) التي تعمل على التنبؤ بالمستقبل من خلال تحليل البيانات الحالية، باعتماد لغة (Python) التي تعمل على مجموعة مكتبات متخصصة في تحليل الخوارزميات؛ حيث استخدمت مكتبة Pandas في معالجة البيانات وتنظيفها، ومكتبة Scikit-learn في تطبيق خوارزميات التنبؤ، بالإضافة إلى مكتبتي Matplotlib وSeaborn لتمثيل البيانات بصريًا وتحليل النتائج. تتجسد مشكلة الدراسة الجوهرية في زيادة أوقات التوقف غير المخطط لها، وارتفاع في معدلات العيوب واستنزاف الموارد وانخفاض مستويات موثوقية المعدات الناجم عن الخصائص التشغيلية لنمط الإنتاج المتقطع، حيث تفرض عمليات التغيير المتكرر ودورات التشغيل والإيقاف ضغوطا ميكانيكية وفنية تؤدي إلى تكرار التوقفات غير المخطط لها، وينعكس هذا الخلل بنيويا على جودة الأداء التشغيلي وتشير النتائج إلى إجماع التحليل الإحصائي والتحليل الذكي على ان سنة 2015 هي أفضل السنوات في جودة الأداء وصُنفت باقي السنوات كأداء متعثر.

الكلمات الرئيسية: جودة الأداء التشغيلي، خوارزميات التنبؤ.

المقدمة

شهدت السنوات الأخيرة تحولا في بيئة التصنيع العالمية والمحلية من خلال التطور الحاصل في الثورة الصناعية الرابعة (Industry 4.0) وامتدادها إلى الثورة الصناعية الخامسة (Industry 5.0)، حيث أصبح الذكاء الاصطناعي جوهر العملية التشغيلية سواء من خلال التصنيع الذكي أو عن طريق توظيفه في تحليل البيانات في الوقت الحالي أو التنبؤ بها مستقبلا، مما يتيح عدة خيارات استباقية لمتخذي القرار. وبالرغم من هذا التوجه العالمي إلا أنه لا تزال العديد من المنظمات الصناعية في البلد، ومن ضمنها مصنع الفلاتر الهوائية، تعاني من ضعف في جودة الأداء التشغيلي تتمثل في زيادة أوقات التوقف غير المخطط لها، وارتفاع معدلات العيوب، واستنزاف الموارد وانخفاض مستويات موثوقية المعدات الناجم عن الخصائص التشغيلية لنمط الإنتاج المتقطع، حيث تفرض عمليات التغيير المتكرر ودورات التشغيل والإيقاف ضغوطا ميكانيكية وفنية تؤدي الى تكرار التوقفات غير المخطط لها، وينعكس هذا الخلل بنيويا على جودة الأداء التشغيلي، مما يعني عدم قدرة المنظمة على تحقيق الكفاءة والفعالية المطلوبة في بيئة تنافسية. يسعى هذا البحث إلى تحليل مجموعة من البيانات الكمية المتمثلة بمؤشرات جودة الأداء التشغيلي، من خلال استخدام التحليل التقليدي والتحليل الذكي عبر استخدام خوارزميات التنبؤ (Logistic Regression, Decision tree, Random forest, SVM) التي تعمل على التنبؤ بالمستقبل عن طريق المدخلات الحالية وتقدير احتمالية نجاح العمليات التشغيلية، من خلال اعتماد لغة (Python) في بناء نماذج الخوارزميات التي تعمل على مجموعة من المكتبات المتخصصة في تحليل الخوارزميات، حيث استخدمت مكتبة Pandas في معالجة البيانات وتنظيفها، ومكتبة Scikit-learn في تطبيق خوارزميات التنبؤ، بالإضافة إلى مكتبتي Matplotlib وSeaborn لتمثيل البيانات بصريًا وتحليل النتائج. تحدد النطاق الزمني لبيانات الدراسة بعشر.سنوات (2015-2024)، وقد تم استبعاد بيانات سنة (2025)، نظرا لعدم اكتمالها، وذلك لأن عملية جمع البيانات وتحليلها الفعلي جرت خلال الربع الثالث من سنة 2025، فإن البيانات المتوفرة لهذا العام كانت جزئية وغير مكتملة القيد في سجلات الشركة، مما يمنع إجراء مقارنة سنوية عادلة مع السنوات السابقة، ويؤثر على نتائج الخوارزميات إذا ما قورنت ببيانات سنوات كاملة.

1. منهجية البحث

أولاً: مشكلة البحث: يعاني مصنع الفلاتر الهوائية/ موقع التحدي من تحديات تشغيلية متمثلة في زيادة أوقات التوقف غير المخطط لها، وارتفاع معدلات العيوب، واستنزاف الطاقة والمواد وانخفاض مستويات موثوقية المعدات الناجم عن الخصائص التشغيلية لنمط الإنتاج المتقطع

حيث تفرض عمليات التغيير المتكرر ودورات التشغيل والإيقاف ضغوطا ميكانيكية وفنية تؤدي إلى تكرار التوقفات غير المخطط لها، فضلا عن ازدياد أوقات دورة التشغيل مما يؤدي إلى انخفاض الكفاءة التشغيلية، وينعكس هذا الخلل بنيويا على جودة الاداء التشغيلي وينتج عن ذلك ارتفاع التكاليف وضعف المنافسة مع المنتجات المستوردة، وتتجسد مشكلة البحث الجوهرية بالإجابة عن التساؤل الرئيس: (ما مدى فعالية استخدام خوارزميات التنبؤ في تشخيص جودة الأداء التشغيلي؟) وينبثق عن هذا التساؤل الآتي:

- ما مدى دقة خوارزميات التنبؤ في تصنيف جودة الأداء بناءً على المؤشرات التاريخية للمصنع؟
- كيف تساهم النماذج الإشرافية في دعم اتخاذ القرارات الاستباقية لتقليل فجوة الأداء التشغيلي؟

ثانياً : هدف البحث: يسعى البحث إلى تحقيق الآتي:

أ- تقييم فعالية النماذج التنبؤية في تحليل مؤشرات جودة الأداء التشغيلي وتقدير احتمالية النجاح التشغيلي.

ب- تقييم القدرة التمييزية لخوارزميات التنبؤ في تصنيف مستويات جودة الأداء التشغيلي وتوصيف أنماطه الإحصائية، استناداً إلى قاعدة البيانات التاريخية لمصنع التحدي.

ت- تحديد الدور الوظيفي للنماذج الإشرافية في التنبؤ المبكر بالانحرافات التشغيلية، بما يضمن صياغة قرارات استباقية تسهم في تقليص فجوة الأداء ومعالجة مسببات الهدر قبل وقوعها.

ثالثاً: أهمية البحث: يساعد البحث في تشخيص أبعاد جودة الأداء التشغيلي في المصنع بشكل علمي، مما يساهم في تقليل معدل العيوب وتوجيه الجهود نحو الاستخدام الأمثل للمواد والطاقة وتقليل الفاقد والتكاليف المرتبطة به، وتعزيز مطابقة المواصفات القياسية للمنتج النهائي، وبالتالي رفع مستوى جودة الإنتاج.

رابعاً: مجتمع وعينة البحث: يمثل مجتمع البحث موقع التحدي، وهو إحدى شركات وزارة الصناعة والمعادن، وقد دُمجت تحت مظلة شركة الزوراء العامة. تأسست شركة التحدي سنة 1992 في بغداد، وتعمل في مجموعة من الصناعات المختلفة، يمكن ذكر بعض منها مثل إنتاج مجهزات القدرة للمرسبات العاملة في معامل الإسمنت والأسمدة، والواح الترسيب للمرسبات الكهروستاتيكية وإنتاج ملفات محركات الجهد العالي والمتوسط، وتصنيع محولات التيار والفولتية لغرض القياس والحماية، وتأهيل ونصب المرسبات الصناعية لمعامل الإسمنت والمعامل الصناعية، ونصب وتأهيل المصاعد للحمل وللأشخاص، والأبواب الحصينة، وإنتاج الفلاتر الهوائية. أما عينة البحث، فقد تم اختيار مصنع الفلاتر الهوائية المخروطية والأسطوانية نوع F9، كعينة قصدية لتمثيل الدراسة، لعدة اعتبارات منهجية، منها أهمية صناعة الفلاتر الهوائية؛ لأنها المكونات الأساسية لعمل الضاغطات التوربينية في محطات توليد الطاقة الكهربائية، مما يجعلها عصباً في الحفاظ على استمرارية الطاقة في العراق، فضلا عن ذلك، توفر هذه العينة بيانات معيارية حول العيوب واستهلاك الطاقة، ومدى مطابقة المواصفات، وهي الركائز التي قام عليها التحليل الذكي في هذا البحث.

خامساً: منهج البحث: اتبع البحث منهج دراسة الحالة (Case Study) بوصفه المنهج الأنسب لتحليل واقع جودة الأداء التشغيلي في مصنع الفلاتر الهوائية/ موقع التحدي، وذلك لكونه يوفر إمكانية الفهم العميق للعمليات الإنتاجية في سياقها الواقعي، مما يمكنه من رصد المشكلات والتحديات التشغيلية بصورة مباشرة، من خلال استخدام خوارزميات التنبؤ (LogisticRegression, Decision tree, Random forest, SVM) التي تعمل على التنبؤ بالمستقبل، باعتماد لغة (Python) التي تعمل على مجموعة مكتبات متخصصة في تحليل الخوارزميات؛ حيث استُخدمت مكتبة Pandas في معالجة البيانات وتنظيفها، ومكتبة Scikit-learn في تطبيق خوارزميات التعلم الخاضع، بالإضافة إلى مكتبتي Matplotlib وSeaborn

لتمثيل البيانات بصريًا وتحليل النتائج.

سادساً: الإطار الزماني والمكاني: تمثل الإطار الزماني للبحث للبيانات بمدة عشر سنوات-2015) (2024 وقد تم استبعاد بيانات سنة (2025)، نظرا لعدم اكتمالها، وذلك لأن عملية جمع البيانات وتحليلها الفعلي جرت خلال الربع الثالث من سنة 2025، فإن البيانات المتوفرة لهذا العام كانت جزئية وغير مكتملة القيد في سجلات الشركة، مما يمنع إجراء مقارنة سنوية عادلة مع السنوات السابقة، ويؤثر على نتائج الخوارزميات إذا ما قورنت ببيانات سنوات كاملة. أما الإطار المكاني، فيتمثل في تطبيق البحث في العاصمة بغداد، وتحديداً في مصنع الفلاتر الهوائية/ موقع التحدي.

سابعاً: هيكلية البحث: يتضمن البحث الآتي: منهجية البحث/ المحور الأول: الجانب النظري

1،1 مفهوم جودة الأداء التشغيلي

1،2 مؤشرات جودة الأداء التشغيلي

1،3 خوارزميات التنبؤ

المحور الثاني: الجانب التطبيقي/ الاستنتاجات والتوصيات

المحور الأول : الجانب النظري

1،1 مفهوم جودة الأداء التشغيلي: إنَّ الجودة بشكل عام تعني تسليط الضوء على صفات وخصائص المنتج النهائي، أما جودة الأداء التشغيلي، فتركز على العمليات التشغيلية للمنظمة. يقصد بالعمليات التشغيلية مجموعة من الأشخاص والمواد والمعدات التي تتفاعل فيما بينها لإنتاج منتج معين سلعة أو خدمة. يمكن أن تكون المدخلات مواد خام، أو بيانات، أو معلومات، وقد تكون المخرجات أيضا بيانات ومعلومات أو منتجات، وهي عمليات تكاملية بمعنى أن مخرجات عملية معينة هي مدخلات عملية أخرى (Besterfield.et at.,2019:122). ويمثل الأداء التشغيلي قدرة المنظمة على إنتاج منتجات ذات جودة عالية، والحصول على الأرباح، بالإضافة إلى تحقيق رضا الزبائن (Hassiba&Merizek,2021:470)، ومن الجدير بالذكر أن الإنتاجية أحد أهم المؤشرات لقياس أداء الوحدات الاقتصادية، وهي تعكس العلاقة بين المخرجات والمدخلات، حيث إن تحسينها يؤدي حتما إلى تحسين كفاءة الأداء التشغيلي (Alwan &Jasim, 2023:2) يتبين مما تقدم أن جودة الأداء التشغيلي تعني قدرة المنظمة على إنجاز الأنشطة والوظائف اليومية بدقة عالية، والحصول على منتجات مطابقة لمواصفات الجودة المطلوبة.

1،2 مؤشرات جودة الأداء التشغيلي: هي مجموعة من المقاييس الكمية التي تستخدمها الشركات لقياس أدائها على مر الزمن، تستخدم هذه المؤشرات لتحديد مدى تقدم الشركة في تحقيق أهدافها الاستراتيجية والتشغيلية، وكذلك لمقارنة أدائها وبياناتها المالية مع شركات أخرى في نفس القطاع (Helmold,2022:87)، تتمثل بالآتي:

1،2،1 معدل العيوب: يعد معدل العيوب أحد المؤشرات الرئيسة لجودة العمليات التشغيلية في البيئة التصنيعية، كونه يرتبط بشكل مباشر بمقدرة النظام الصناعي على تحقيق منتجات مطابقة للمواصفات فضلا عن تقليل الفاقد (Oztemel,2021:10)، يمكن قياس معدل العيوب بدلالة المعادلة (1) استنادا إلى (الصائغ، 69:2013):

$$DR = \frac{DFu}{PQ} * 100\% \quad \dots (1)$$

حيث إنَّ DR= معدل العيوب/ DFU= عدد الوحدات المعيبة/ PQ= إجمالي الوحدات المنتجة

1،2،2 الكفاءة التشغيلية: تعني تحسين العمليات الداخلية للمنظمة من حيث الإدارة والإنتاجية والجودة والربحية(Bartuševičienė&Šakalytė,2013: 49) وتعرف الكفاءة التشغيلية بأنها نسبة الإنتاجية الى الطاقة المتاحة ويمكن قياسها بدلالة المعادلة (2)، وفقا لما جاء به (Badiru,2014:20) $0E = \frac{AOP}{TAC} * 100\% \dots (2)$ حيث إن OE= الكفاءة التشغيلية/ AOP= المخرجات الفعلية/ TAC= إجمالي الطاقة المتاحة

1،2،3 الفعالية الشاملة للمعدات: يعد مؤشرا حيويا لجودة الأداء التشغيلي، يعمل على قياس موثوقية موجودات المنظمة وقدرتها على تقديم الأداء المتميز المتوقع من العملية (Kochańska et al.,2024:3)، من خلال قياس معدل كل من التوافر والأداء والجودة بالاعتماد على المعادلة (3) وفقا لما جاء به (Singh et al., 2018:252) $0EE = A * Q * P * 100\% \quad \dots (3)$

حيث إنOEE= الفعالية الشاملة للمعدات/ A= معدل التوافر/ Q= معدل الجودة/ p= معدل الأداء

1،2،4 وقت دورة التشغيل: يشير إلى الفترة الزمنية التي يستغرقها إنتاج وحدة متكاملة من العملية الإنتاجية، أي المدة الزمنية بين خروج كل منتج نهائي والمنتج الذي يليه من خط الإنتاج الأساسي (Soliman, 2020:10)، ولفهم زمن الدورة التشغيل ضمن محطات العمل، سيتم اعتماد المعادلة (4) وفقا لما جاء به (Collier&Evans,2021:211): $CT = \frac{AOP}{UP} \dots (4)$

حيث إن CT= زمن الدورة/ AOP= وقت التشغيل الفعلي/ UP= الكمية المنتجة

1،2،5 معدل مطابقة المواصفات: يعتبر معدل مطابقة المواصفات مقياسًا لمدى نجاح المنظمة في تحقيق "الجودة من أول مرة" دون هدر أو إعادة تشغيل، ويمكن قياسها بدلالة المعادلة (5) الآتية، وفقا لما جاء به (Singhetal.,2018:252) $FPY = \frac{G}{T} * 100\% \dots (5)$ حيث إن FPY= معدل مطابقة المواصفات/ G= الوحدات الجيدة/ T= إجمالي الوحدات

1،2،6 معدل استهلاك الموارد: يعد قياس وتحليل معدل استهلاك الموارد في أنظمة التصنيع هدفًا استراتيجيًا للمنظمات الصناعية، ولا يمكن تحقيقه إلا من خلال نظم دقيقة لجمع وتحليل بيانات استهلاك الطاقة والمواد في الماكينات وخطوط الإنتاج (Gontarz et al.,2015:264) يمكن قياس معدل استهلاك الموارد من خلال المعادلة (6) استنادًا لما جاء به (Collier & Evens, 2021:288) $RC = \frac{U}{A} * 100\% \dots (6)$ حيث إن RC= معدل الاستهلاك/ U= الموارد المستخدمة فعليًا/ A= الموارد المتاحة

1،2،7 معدل التسليم في الوقت المحدد: تمثل أحد المؤشرات الأساسية في قياس كفاءة الأداء التشغيلي وجودة العمليات الإنتاجية (Oztemel,2021:13)، يتم قياس أداء التسليم من خلال توفير عمليات تسليم سريعة (Mohammed et al.,2019:80)، ويمكن قياسه استنادًا إلى المعادلة (7) وفقا لما جاء به(Peng et at., 2011:3)

معدل التسليم في الوقت المحدد = عدد الطلبات المسلمة في الوقت المحدد ÷ إجمالي الطلبات ×100% ... (7)

1،3خوارزميات التنبؤ: هي إحدى خوارزميات التعلم الآلي، والتي تمثل الخوارزميات الخاضعة للإشراف، تعمل على تقسيم البيانات للخوارزميات إلى مجموعة تدريب وأخرى اختبار، حيث تتعلم الأنماط داخل مجموعة التدريب لتطبيقها لاحقًا على مجموعة الاختبار للتنبؤ أو التصنيف بدقة (Capogrosso et al., 2023:10)، ساهمت التقنيات الذكية في تحسين الأداء المستدام عبر تقليل الهدر في المواد والطاقة، من خلال المراقبة الآنية والتحليل التنبؤي للبيانات. Jasim & Ismail, 2021:279)، هناك مجموعة خوارزميات تنتمي إلى التعلم الآلي الخاضع للإشراف، وهي: (Tran,2023:81) -

1،3،1 خوارزمية الانحدار اللوجستي Logistic Regression: هو أسلوب إحصائي يُستخدم للتنبؤ بنتيجة ثنائية، مثل حدوث الحدث أو عدم حدوثه، وهو أكثر ملاءمة من الانحدار الخطي، حيث يسمح النموذج باستخدام متغيرات متعددة مستمرة أو فئوية، مع القدرة على ضبط تأثير كل منها (LaValley, 2008:2395)

1،3،2 شجرة القرار Decision Tree: هي إحدى خوارزميات ML تعمل على المساعدة في صنع القرار، من خلال وضع الخيارات المختلفة المتعلقة بموقف معين على شكل فروع الأشجار،

في كل نهاية فرع يوجد قرار محتمل. (Chakour et al.,2025:1655)

1،3،3 متجهات الدعم الآلي Support Vector Machines SVM: من الخوارزميات الأكثر استخداماً على نطاق واسع؛ تعتمد على مبدأ حساب الهامش، حيث يتم رسم الهوامش بطريقة تجعل المسافة بين الهامش والفئات هي الحد الأقصى. (عوكل،39:2021)

1،3،4 الغابة العشوائية Random Forest: هي خوارزمية تعلم آلي للتنبؤ مصممة للحصول على تنبؤات موثوقة من خلال نظام مساحات فرعية عشوائية، وتتكون من عدة أشجار قرار، يتم تدريب كل منها بشكل مستقل على مجموعات فرعية من بيانات التدريب، وتنتج كل شجرة قرار نتيجة، والجمع بين هذه النتائج يعطي التنبؤ النهائي، ثم يتم توزيع كل نموذج عشوائياً في مجموعات فرعية من أشجار القرار.(Chakour et al.,2025:1656)

المحور الثاني: الجانب التطبيقي

تم تطبيق خوارزميات التنبؤ للحصول على مجموعة احتماليات عن مدى نجاح جودة الأداء التشغيلي، من خلال تدريب نماذج التعلم الآلي على التنبؤ بالمستقبل، وفق المدخلات الحالية والتي تمثل بيانات تاريخية لأداء الشركة خلال الفترة المعتمدة في البحث، متمثلة في مصفوفة مؤشرات جودة الأداء التشغيلي، وفق الجدول (1):

الجدول (1) مصفوفة مؤشرات جودة الأداء التشغيلي

السنة	معدل العيوب	التسليم في الوقت	الكفاءة التشغيلية	معدل الأداء (OEE)	وقت الدورة	استهلاك الطاقة	استهلاك المواد	مطابقة المواصفات
2015	0.0157	0.95	0.382	1.000	3.97	5.46	13	0.90
2016	0.0420	0.93	0.046	0.166	23.76	9.40	14	0.70
2017	0.0340	0.93	0.115	0.349	11.31	6.77	13	0.80
2018	0.0530	0.92	0.027	0.111	35.27	10.47	14	0.70
2019	0.0450	0.92	0.046	0.165	23.74	9.32	14	0.80
2020	0.0900	0.91	0.021	0.035	29.33	11.11	15	0.70
2021	0.1400	0.91	0.008	0.015	66.11	13.89	16	0.60
2022	0.0900	0.92	0.018	0.011	95.23	13.00	16	0.65
2023	0.0800	0.93	0.017	0.017	62.11	11.18	15	0.70
2024	0.0720	0.93	0.024	0.024	43.47	9.72	14	0.80

المصدر: من عداد الباحثين بالاعتماد على نتائج تحليل بيانات مؤشرات جودة الأداء.

يشير اللون الأخضر إلى جودة أداء تشغيلي مرتفع.

يشير اللون الأصفر إلى جودة أداء تشغيلي متوسط.

يشير اللون الأحمر إلى جودة أداء تشغيلي منخفض.

2،1 تحليل نتائج خوارزمية الانحدار اللوجستي Logistic Regression: تم تطبيق خوارزمية الانحدار اللوجستي لما تتمتع به من قدرة على تقديم النتائج بطريقة احتمالية، مما يسهل فهم أي المؤشرات أكثر تأثيرًا، مثل مدى تأثير زيادة العيوب على احتمالية نجاح العملية، يتضح من خلال مخرجات النموذج، عدة احتمالات موضحة في الجدول (2):

الجدول (2) نتائج خوارزمية الانحدار اللوجستي Logistic Regression

السنة	معدل العيوب	معدل التسليم	الكفاءة التشغيلية	الفعالية الشاملة للمعدات	وقت دورة التشغيل	استهلاك الطاقة	استهلاك المواد	معدل مطابقة المواصفات	Logistic Regression
2015	0.0157	0.95	0.382	1.000	3.97	5.46	13	0.90	0.854873

2016	0.0420	0.93	0.046	0.166	23.76	9.40	14	0.70	0.014129
2017	0.0340	0.93	0.115	0.349	11.31	6.77	13	0.80	0.074579
2018	0.0530	0.92	0.027	0.111	35.27	10.47	14	0.70	0.007757
2019	0.0450	0.92	0.046	0.165	23.74	9.32	14	0.80	0.019971
2020	0.0900	0.91	0.021	0.035	29.33	11.11	15	0.70	0.003482
2021	0.1400	0.91	0.008	0.015	66.11	13.89	16	0.60	0.000983
2022	0.0900	0.92	0.018	0.011	95.23	13.00	16	0.65	0.002665
2023	0.0800	0.93	0.017	0.017	62.11	11.18	15	0.70	0.006325
2024	0.0720	0.93	0.024	0.024	43.47	9.72	14	0.80	0.01513

المصدر: من إعداد الباحثين بناءً على الأدبيات المعيارية لخوارزميات التعلم الخاضع للإشراف.

يتضح من خلال مخرجات النموذج الاحتمالات الآتية: الاحتمالية الأولى: في سنة 2015 احتمالية النجاح عالية بلغت 85.4%الاحتمالية الثانية: في سنة 2016 احتمالية تدهور وانخفاض حاد بلغت 0.01% الاحتمالية الثالثة: السنوات (2018-2024) استمرار الانخفاض لتصل مستويات قريبة من الصفر كما في سنة 2021 التي بلغت 0.009

تفسير النتائج: يبين النموذج حساسية عالية تجاه الانخفاض في مؤشرات الجودة حيث انحدرت النسبة من سنة 2015 البالغة 8% إلى 1% في سنة 2016 مما يشير إلى أن الشركة تعرضت لانهيار أو صدمة تشغيلية، من جانب آخر يتبين أن نسبة الأداء تصل إلى أدنى مستوياتها، حيث بلغت 0.000 وهذا يتوافق تماما مع أعلى معدل عيوب في نفس السنة البالغ 14%، مما يثبت دقة النموذج في عكس الواقع.

2،2 تحليل نتائج خوارزمية شجرة القرار Decision tree: تعمل هذه الخوارزمية بطريقة تحاكي العقل البشري من ناحية التفكير المنطقي(If-Then Rules) وتتعامل مع البيانات غير الخطية بطريقة حاسمة، من خلال وضع حدود فاصلة للمؤشرات. على سبيل المثال: إذا كانت قيمة OEE> (0.50)، تصنف الخوارزمية الأداء كحالة جيدة(1) ، أما إذا انخفضت عن ذلك، فتصنف كحالة حرجة أو سلبية(0) وتظهر نتائج الجدول (3) نتائج الخوارزمية وقدرتها على تمييز عام (2015) كحالة أداء مثالية وحيدة ضمن السلسلة الزمنية.

الجدول (3) نتائج خوارزمية شجرة القرار Decision tree

السنة	معدل العيوب	معدل التسليم	الكفاءة التشغيلية	الفعالية الشاملة للمعدات	وقت دورة التشغيل	استهلاك الطاقة	استهلاك المواد	معدل مطابقة المواصفات	Decision tree
2015	0.0157	0.95	0.382	1.000	3.97	5.46	13	0.90	1
2016	0.0420	0.93	0.046	0.166	23.76	9.40	14	0.70	0
2017	0.0340	0.93	0.115	0.349	11.31	6.77	13	0.80	0
2018	0.0530	0.92	0.027	0.111	35.27	10.47	14	0.70	0
2019	0.0450	0.92	0.046	0.165	23.74	9.32	14	0.80	0
2020	0.0900	0.91	0.021	0.035	29.33	11.11	15	0.70	0
2021	0.1400	0.91	0.008	0.015	66.11	13.89	16	0.60	0
2022	0.0900	0.92	0.018	0.011	95.23	13.00	16	0.65	0
2023	0.0800	0.93	0.017	0.017	62.11	11.18	15	0.70	0
2024	0.0720	0.93	0.024	0.024	43.47	9.72	14	0.80	0

المصدر: من إعداد الباحثين بناءً على الأدبيات المعيارية لخوارزميات التعلم الخاضع للإشراف.

يقدم لنا النموذج احتمالين: الاحتمال الأول: سنة 2015 احتمالية نجاح بنسبة (100%).
الاحتمال الثاني: السنوات (2016-2024) احتمالية نجاح صفرية (0.0%).

تفسير النتائج: أظهر هذا النموذج سلوكًا حاسمًا في عملية تحليل مؤشرات جودة الأداء للعمليات التشغيلية، من خلال وضع حدود فاصلة تفصل سنة 2015 متمثلة بأفضل أداء عن باقي السنوات التي اعتبرتها صفرية في كافة المؤشرات، هذا يعني أن الشركة ابتعدت كليا عن نطاق السيطرة، وأن المعالجة الوسطية لم تعد مجدية.

2،3 تحليل نتائج خوارزمية الغابات العشوائية Random Forest: تم تطبيق هذا النموذج كونه أكثر تحفظًا من نموذج شجرة القرار، من خلال بناء مئات الأشجار واتخاذ القرار بالأغلبية، مما يمنحه دقة أكبر في ظل بيانات الشركة المتباينة، يوضح الجدول (4) نتائج خوارزمية الغابات العشوائية:

الجدول (4) نتائج خوارزمية الغابات العشوائية Random Forest

السنة	معدل العيوب	معدل التسليم	الكفاءة التشغيلية	الفعالية الشاملة للمعدات	وقت دورة التشغيل	استهلاك الطاقة	استهلاك المواد	معدل مطابقة المواصفات	Random Forest
2015	0.0157	0.95	0.382	1.000	3.97	5.46	13	0.90	0.56
2016	0.0420	0.93	0.046	0.166	23.76	9.40	14	0.70	0
2017	0.0340	0.93	0.115	0.349	11.31	6.77	13	0.80	0.03
2018	0.0530	0.92	0.027	0.111	35.27	10.47	14	0.70	0
2019	0.0450	0.92	0.046	0.165	23.74	9.32	14	0.80	0
2020	0.0900	0.91	0.021	0.035	29.33	11.11	15	0.70	0
2021	0.1400	0.91	0.008	0.015	66.11	13.89	16	0.60	0
2022	0.0900	0.92	0.018	0.011	95.23	13.00	16	0.65	0
2023	0.0800	0.93	0.017	0.017	62.11	11.18	15	0.70	0
2024	0.0720	0.93	0.024	0.024	43.47	9.72	14	0.80	0

المصدر: من إعداد الباحثين بناءً على الأدبيات المعيارية لخوارزميات التعلم الخاضع للإشراف.

تبين من خلال التحليل الآتي: الاحتمال الأول: أعطت سنة 2015 احتمالية نجاح بنسبة 0.56%
الاحتمال الثاني: أعطت باقي السنوات احتمالية نجاح صفرية 0.00%

تفسير النتائج: يختلف هذا النموذج في تحليل احتمالية نجاح جودة الأداء سنة 2015، حيث بلغت نسبته في هذا النموذج (56%) مما يدل على مصداقية هذا النموذج من خلال اكتشافه لبعض جوانب الإخفاقات حتى في أفضل سنة متمثلة في الهدر بالموارد رغم تحقيق إنتاجية عالية، مما يوفر للشركة رؤيا شاملة تدل على أن سنة 2015 هي جيدة وليست مثالية، مما يتطلب إجراء تحسينات تدريجية وصولا إلى مستوى جيد ثم تطوير تقنيات التحسين للوصول الى مستوى مثالي.

2،4 تحليل نتائج خوارزمية متجهات الدعم الآلي SVM : تم تطبيق نموذج VSM على البحث الحالي، وظهرت النتائج بشكل مختلف تمامًا عن جميع النماذج، فقد قامت الخوارزمية بعزل سنة 2015 وتصنيفها بأدنى نسبة، حيث بلغت (0.001%) أما باقي السنوات، فظهرت بطريقة متباينة، بنتائج قريبة من بعضها، موضحة في الجدول (5).

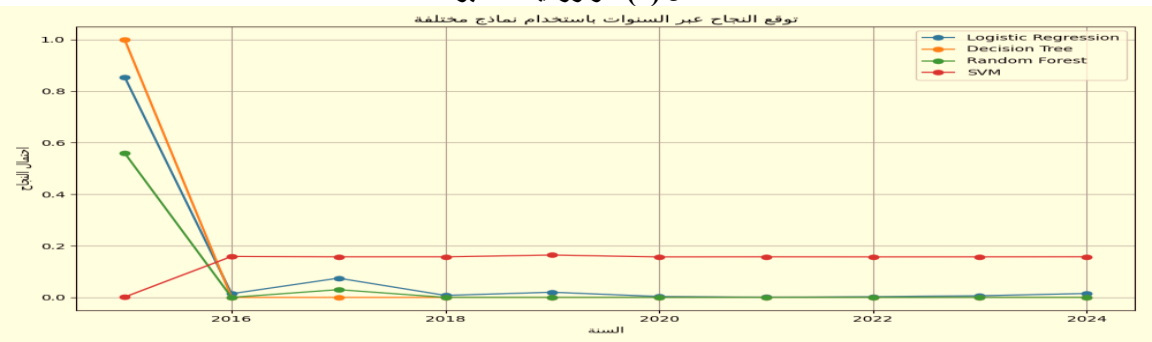
الجدول (5) نتائج خوارزمية متجهات الدعم الالي SVM

السنة	معدل العيوب	معدل التسليم	الكفاءة التشغيلية	الفعالية الشاملة للمعدات	وقت دورة التشغيل	استهلاك الطاقة	استهلاك المواد	معدل مطابقة المواصفات	SVM
2015	0.0157	0.95	0.382	1.000	3.97	5.46	13	0.90	0.001361
2016	0.0420	0.93	0.046	0.166	23.76	9.40	14	0.70	0.158865
2017	0.0340	0.93	0.115	0.349	11.31	6.77	13	0.80	0.157347
2018	0.0530	0.92	0.027	0.111	35.27	10.47	14	0.70	0.15739
2019	0.0450	0.92	0.046	0.165	23.74	9.32	14	0.80	0.164206
2020	0.0900	0.91	0.021	0.035	29.33	11.11	15	0.70	0.152032
2021	0.1400	0.91	0.008	0.015	66.11	13.89	16	0.60	0.157347
2022	0.0900	0.92	0.018	0.011	95.23	13.00	16	0.65	0.157076
2023	0.0800	0.93	0.017	0.017	62.11	11.18	15	0.70	0.157217
2024	0.0720	0.93	0.024	0.024	43.47	9.72	14	0.80	0.157511

المصدر: من إعداد الباحثين بناءً على الأدبيات المعيارية لخوارزميات التعلم الخاضع للإشراف

تفسير النتائج: يعود تفسير السلوك المغاير الذي قامت به الخوارزمية إلى طبيعتها الهندسية، كونها تميل على فصل الهوامش. ونظرا لأن الوضع الطبيعي للمنظمة غير جيد خلال تسع سنوات مقابل سنة واحدة، صنفت الخوارزمية التسع سنوات على أنها الوضع السائد للشركة وهو الوضع المتعثر، في حين صنفت سنة 2015 على أنها سنة شاذة متطرفة لا تنتمي إلى مستوى أداء الشركة، مما يدل على وجود فجوة كبيرة في أداء المنظمة خلال السنوات، بحيث أصبحت السنة الجيدة هي سنة شاذة وغريبة ويوضح الشكل1تحليل جودة الأداء للعمليات التشغيلية باستخدام خوارزميات التنبؤ

الشكل (1) خوارزميات التنبؤ



المصدر: من إعداد الباحثين بناءً على الأدبيات المعيارية لخوارزميات التعلم غير الخاضع للإشراف.

مما تقدم يتبين لنا إجماع كافة النماذج على حقيقة جوهرية، وهي أن النظام التشغيلي في الوقت الحالي متهالك ولا يُتوقع له النجاح في السنوات القليلة القادمة.

الاستنتاجات والتوصيات

أولاً : الاستنتاجات

1.اثبتت خوارزمية الانحدار اللوجستي أن الشركة لم تتعرض لانخفاض تدريجي في مستوى الأداء، بل واجهت انهياراً كاملاً في عملياتها كافة، من خلال ارتفاع معدلات العيوب وزيادة في استهلاك الموارد مقابل انخفاض الإنتاجية، مما يدل على وجود خلل جذري في سياسات الإدارة.

2.تؤكد خوارزمية متجهات الدعم الآلي (SVM) أن النمط التشغيلي للشركة هو الأداء المتعثر وتم اعتماده كقاعدة عامة، حيث تعاملت مع سنة الأداء الجيد كقيمة شاذة ومتطرفة، مما يعكس عمق الفجوة بين جودة الأداء المخطط له والواقع الفعلي.

3.كشفت خوارزمية الغابات العشوائية(Random Forest) عن استنتاج مهم جدا، وهو أن جودة الأداء التشغيلي في سنة 2015 لم تكن مثالية، ولذلك أعطت الخوارزمية نسبة متوسطة له، مما يدل على أن الشركة في أفضل حالاتها لم تبلغ المستويات المثالية، وأن العودة لأداء سنة 2015 يعتبر حلاً مؤقتًا، ومن ثم العمل على تطوير معايير النظام التشغيلي للشركة.

4.يبين التصنيف الحدي لخوارزمية شجرة القرار، الذي تمثل باحتمالية نجاح مئوية واحتمالية نجاح صفرية، أن مؤشرات جودة الأداء للعمليات التشغيلية قد تجاوزت كافة الحدود الفاصلة المسموح بها فنيا، وهي حاليا خارج نطاق السيطرة. مما يتطلب إعادة هندسة شاملة للعمليات.

5.أجمعت كل الخوارزميات الإشرافية على ضعف الأفق المستقبلي للتحسين، حيث أعطت احتمالية صفرية لأغلب السنوات، استنادا إلى عمق التحليل الكمي الذي تقوم به.

ثانياً: التوصيات

1.من خلال نتائج الانحدار اللوجستي تبين أن هناك انهياراً تشغيلياً، مما يتطلب تنفيذ خطة استثمارية عاجلة لتجديد واستدامة الأصول المادية (المكائن والمعدات).

2.من الأفضل الاستعداد لإعادة صياغة إجراءات العمليات التشغيلية، من خلال إزالة المعايير الحالية التي صنفت ضمن النتائج على أنها "أداء متعثر" للشركة، ووضع إجراءات تشغيل حازمة ترفض انخفاض مستوى الأداء.

3.استنادًا إلى نتائج خوارزمية الغابات العشوائية، يستحسن عدم الاكتفاء بمستوى أداء سنة 2015 كهدف نهائي، إنما اعتباره محطة لانطلاق جديد، بخطط مختلفة ومستويات أداء مرتفعة.

4.أظهرت شجرة القرار أن العمليات خارج حدود السيطرة، لذلك يتطلب عادة هندسة العمليات المتمثلة في تقليل وقت دورة التشغيل، وتصميم مسار عمل جديد، وإزالة الأنشطة التي لا تضيف قيمة، بهدف عودة المؤشرات داخل نطاق السيطرة الإحصائية.

5. ضرورة إدخال تقنيات الأتمتة للنظام التشغيلي الخاص بالمصنع ككل، لخلق واقع جديد يمكنه التنبؤ بالنجاح.

المصادر Reference

1-الصائغ، نغم علي جاسم، (2013)، انعكاسات تحليل مسارات العملية على اهداف أداء العمليات لتحقيق القيمة المدركة للزبون/ دراسة حالة في معمل محركات الجهد العالي/ شركة التحدي العامة- بغداد، أطروحة جزء من متطلبات نيل درجة الدكتوراه فلسفة في علوم إدارة الاعمال، الجامعة المستنصرية، العراق.

2-عوكل، لمى عدنان، (2021)، دور استخدام خوارزميات الذكاء الصنعي في عمليات ضبط الجودة/ دارسة حالة- مصنع الميسور للصناعات البلاستيكية سورية- ريف دمشق/ الجامعة الافتراضية السورية، الجمهورية العربية السورية.

3- Badiru, A. B. (Ed.). (2014). Handbook of Industrial and Systems Engineering (2nd ed.). CRC Press / Taylor & Francis. Google Books+4Gale+4HAMK Finna+4

4- Collier, D. A., & Evans, J. R. (2020). Operations and supply chain management (2nd ed.). Cengage Learning. ISBN: 978-0-357-13169-5

5- Öztemel, E. (2021). Introduction to Intelligent Quality Management. In P. Li, P. Pereira & H. V. G. Navas (Eds.), Quality Control - Intelligent Manufacturing, Robust Design and Charts (pp. 1–17). Intech Open.

6- Soliman, M. H. A. (2020). Takt Time: A Guide to the Very Basic Lean Calculation. Lean Enterprise Press.

7- Alwan, A. S., & Jasim, N. A. (2023). Measuring and Analyzing the Process Capability of Productivity – An Applied Study in the Al-Tahady Factory for the Production of Filters. *Iraqi Journal of Industrial Research*, 10(3), 1-10.

8- Bartuševičienė, I., & Šakalytė, E. (2013). Organizational assessment: Effectiveness vs. efficiency. Social Transformations in Contemporary Society, (1), 45.

9- Besterfield, D.H., Besterfield, G.H., Urdhwareshe, H., Michna, G.B., Sacree, M.B., Urdhwareshe, R., (2019), Total quality management, Pearson, India.

10-Capogrosso, L., Cunico, F., Cheng, D. S., Fummi, F., & Cristani, M. (2023). A Machine Learning-oriented Survey on Tiny Machine Learning. University of Verona. Retrieved from https://arxiv.org/pdf/2309.14918.pdf

11-Chakour, O. B., Ettaoufik, A., Aissaoui, K., & Maizate, A. (2025). Artificial intelligence algorithms to predict customer satisfaction: a comparative study. International Journal of Artificial Intelligence (IJ-AI), *14*(2), 1654-1662

12-Gontarz, A. M., Hampl, D., Weiss, L., & Wegener, K. (2015). Resource consumption monitoring in manufacturing environments. Procedia CIRP, 26, 264–269. https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.07.098

13-Hassiba, L., Merizek, A., (2021), Impact of supplier relation shape management on the company- case: Naftal company, vol15, No2, Eisen 2600-6502, Algerie.

14-Helmold, M., (2022), Strategic Performance Management/ Achieving Long-term Competitive Advantage through Performance Excellence, Springer, Cham, Switzerland.

15- Jasim, N. A., & Ismail, B. S. (2021). Measuring the possibility of smart production application for sustainable production performance. *Natural Sciences*, 9(1), 277-284

16-Kochańska, J., Musiał, K., Łapczyńska, D., Xavior, M. A., & Jeyapandiarajan, P. (2024). A hybrid method for the intelligent effectiveness management of production operators. Annals of Operations Research. https://doi.org/10.1007/s10479-024-06166-3

17-LaValley, M. P. (2008). Logistic regression. Circulation, 117(18), 2395–2399. https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.106.682658

18-Mohammed, S., Brahma, G.J., Aderaw, S., (2019), Impact of Total Quality Management (TQM) on Operational Performance of Ethiopian Pharmaceutical Manufacturing Plants, International Journal of Management Research, Addis Ababa University, ETHIOPIA.

19-Peng, X. (David), Jayanthi, S., & Heim, G. R. (2011). Drivers of On-Time Delivery for Build-to-Stock Items: An Empirical Analysis of Time Series Data on Fill Rate Performance. SSRN Electronic Journal. https://doi.org/10.2139/ssrn.1783082. SSRN+1

20-Singh, R. K., Clements, E. J., & Sonwaney, V. (2018). Measurement of overall equipment effectiveness to improve operational efficiency. International Journal of Process Management and Benchmarking, 8(2), 246–261. https://doi.org/10.1504/IJPMB.2018.10010267