ISSN E.2958-6941 ,ISSN P.1818-1074 Vol. 20 issue 81 Sep. 2024

http://journals.uokerbala.edu.iq/index.php/ijas/index
Iraqi Journal for Administrative Sciences
المجلة العراقية للعلوم الإدارية

Fuzzy failure mode and effects analysis technique, and its role in improving the overall equipment effectiveness
(Applied research in the Union Sugar Refinery Factory/Iraq)

Majid Sahan Muhammad [1] **Prof. Dr. Bushra Abdul Hamza Abbas[2]**

تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته (الضبابي) ودورها في تحسين فاعلية المعدات الإجمالية[1]
(بحث تطبيقي في مصنع تكرير سكر الاتحاد/ العراق)

الباحث. ماجد سحان محمد[1] **أ.د. بشرى عبد الحمزة عباس[2]**
few55bt@gmail.com bushra.abbas@qu.edu.iq
2.1 قسم ادارة الاعمال/ كلية الادارة والاقتصاد/ جامعة القادسية
1.2 Department of Business Administration / College of Administration and Economics / University of Al-Qadisiyah

CC BY NC ND

Article information

Article history: DD/MM/YY
Received: 4 / 7 / 2024
Accepted : 11/ 7 /2024
Available online: 23/9/2024

Keywords: failure mode and of its effects analysis technique, risk priority number, fuzzy failure mode and of its effects analysis technique, overall equipment effectiveness, the six big losses.

تاريخ الاستلام: 4 / 7 / 2024
تاريخ قبول النشر: 11/ 7 / 2024
تاريخ النشر: 2024/9/23

الكلمات المفتاحية: تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته، رقم أولوية المخاطر، تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته (الضبابي)، فاعلية المعدات الإجمالية، الخسائر الستة الكبرى.

Abstract

The current research aims to determine the role of the fuzzy failure mode and its effects analysis technique in improving the effectiveness of the overall equipment in the Al-Ittihad Sugar Factory in Iraq. The independent variable is represented by the failure mode and its effects analysis technique consisting of the risk priority number that we obtain from multiplying the factors (severity, occurrence, and detection). Which is the main input to the fuzzy logic that evaluates and prioritizes risks, based on the fuzzy inference system consisting of three steps (fuzzification, fuzzy rules, and defuzzification), which was implemented by the (MATLAB) program according to the (Mamdani) method. The research population represented the centrifugation station, while the research sample numbered (16) batch centrifugal. The research used the applied approach to determine the reasons for the low rates of equipment effectiveness with its three indicators (availability, performance, and quality) as the dependent variable. The research adopted some statistical methods (correlation coefficient and simple and multiple linear regression equations). The results of the research showed that there is a correlation and a statistically significant effect between fuzzy failure mode and its effects analysis technique and overall effectiveness of the equipment.

Citation: Muhammad, Majid Sahan. (2024). Fuzzy failure mode and effects analysis technique, and its role in improving the overall equipment effectiveness, *Iraqi Journal for Administrative Sciences*, Vol.20 (Issue81), 166-190.

الاقتباس: محمد، ماجد سحان، عباس، بشرى عبد الحمزة. (2024). تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته (الضبابي) ودورها في تحسين فاعلية المعدات الإجمالية (بحث تطبيقي في مصنع تكرير سكر الاتحاد/ العراق)، *المجلة العراقية للعلوم الإدارية*، المجلد 20(العدد81)، 166-190.

المستخلص

يهدف البحث الحالي إلى تحديد دور تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته (الضبابي) في تحسين فاعلية المعدات الإجمالية في مصنع سكر الاتحاد في العراق، تمثل المتغير المستقل بتقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته المتكونة من رقم أولوية المخاطر الذي نحصل عليه من ضرب عوامل (الخطورة والحدوث والكشف) والتي تُعد المدخلات الرئيسة للمنطق الضبابي الذي يعمل على تقييم وترتيب أولوية المخاطر، معتمداً على نظام الاستدلال الضبابي المتكون من ثلاثة خطوات (الغموض والقواعد الضبابية وإزالة الضبابية) والذي تم تنفيذه بواسطة برنامج (MATLAB) وفقاً لطريقة (Mamdani) ، مثل مجتمع البحث (محطة الفارزات)، أما عيِّنة البحث بلغ عددها (16) فارزة، استخدم البحث المنهج التطبيقي لتحديد أسباب انخفاض معدلات فاعلية المعدات بمؤشراتها الثلاثة (التوافر والأداء والجودة) بوصفها المتغير التابع، واعتمد البحث بعض الأساليب الإحصائية (معامل الارتباط ومعادلة الانحدار الخطي البسيط والمتعدد)، اظهرت نتائج البحث عن وجود علاقة ارتباط وتأثير ذي دلالة إحصائية بين تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته (الضبابي) وفاعلية المعدات الإجمالية.

[1]مستل من رسالة ماجستير " تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته (الضبابي) ودورها في تحسين فاعلية المعدات الإجمالية"

المنهجية العلمية للبحث

تضمن هذا المبحث المنهجية العلمية للبحث والتي تتكون من مشكلة البحث وأهميته وأهدافه والانموذج الفرضي، وفرضيات البحث ومجتمع وعيِّنة ابحث ومنهج البحث وطرائق جمع المعلومات.

أولا: مشكلة البحث

تسعى تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته (FMEA) إلى تحديد أنماط الفشل في المنتجات والتصاميم والعمليات المختلفة، تتمثل المشكلة الاولى في تقنية (FMEA) التقليدية بإعتمادها على رقم أولوية المخاطر(RPN) ، والذي يتصف أحياناً بعدم الموثوقية والتكرار أثناء ترقيم الأولويات وترتيبها حسب خطورتها وعدم تقييمه لعوامل الخطر، الامر الذي دعا إلى دمج تقنية نمط الفشل وتحليل تاثيراته مع المنطق الضبابي في (Fuzzy FMEA) لانها تعطي نتائج أكثر دقة يمكن الاعتماد عليها في ترتيب أولوية المخاطر من خلال استخدام المصطلحات اللغوية لمتغيرات المدخلات (الخطورة والحدوث والكشف) التي يتم تقييمها بشكل مباشر لكل عامل مستقلاً عن العوامل الأخرى (Ishak et al.,2020:8). والمشكلة الثانية ميدانية في مصنع سكر الاتحاد تمثلت في الآتي:

1. طبيعة منتوج السكر الذي يمر بعدة عمليات إنتاج متسلسلة ليكون جاهز للاستخدام النهائي مما يحتم عدم توقف عمليات الإنتاج لاي سبب وان توقفها يعيد المنتج إلى المحطات السابقة على العكس من الصناعات الأخرى بمعنى ان خطوات عملية الإنتاج تتطلب الاستمرارية.

2. الحاجة الماسة إلى التحديد الدقيق لترتيب أولوية المخاطر التي يجب التعامل السريع معها لتجنب توقف الفارزات خاصة وان الفارزة هي الماكنة المسؤولة عن إنتاج السكر.

3.عدم توفر بعض قطع غيار الفارزات بسبب قلة حدوث الفشل فيها قياساً مع أنماط الفشل الاخرى وان توفيرها يحتاج إلى وقت انتظار لحين ورودها إلى المصنع مما يؤدي خروج الماكنة عن الخدمة احياناً.

4. حدوث نفس نمط الفشل في بعض الفارزات وبفترات متقاربة بسبب عدم جودة قطع الغيار.

وفي ضوء المشاكل انفاً ان هذا البحث يحاول فهم دور (Fuzzy FMEA) في تحسين فاعلية المعدات الإجمالية من خلال صياغة التساولات الآتية:

1. هل يمكن تحديد أنماط الفشل المحتمل حدوثها للفارزات في معمل سكر الاتحاد وفق تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته (الضبابي) (Fuzzy FMEA) ؟

2. هل أَن تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته (الضبابي) (Fuzzy FMEA) تعطي نتائج أكثر دقة فيما يتعلق بترتيب أولوية المخاطر لأنماط الفشل بشكل أفضل من تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته (FMEA) التقليدية؟

3. هل يمكن الاعتماد على النتائج التي توفرها تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته (الضبابي) لتجنب مخاطر التوقفات الغير مخططة، مما ينعكس على تحسين فاعلية المعدات؟

4. ما أنماط الفشل (الأعطال) التي يمكن عدها أنماط فشل حرجة للفارزات في المصنع وفقاً لتقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته (الضبابي) (Fuzzy FMEA) ؟

5. ما الأسباب الرئيسية المحتملة لحدوث الفشل، والإجراءات التي تُمكن تقليل الفشل والحد من تأثيراته؟

6. ما الخسائر الستة الكبرى للمعدات وكيف يمكن معرفة أَين يكون تحسين أي من مؤشرات الفاعلية له الأثر الأكبر بناءً على تحليل وتصنيف هذه الخسائر؟

7. هل يساهم فهم وتحديد أنماط الفشل التي يتكرر حدوثها في تحسين خطط الصيانة؟

8. ما طبيعة علاقة الارتباط والتأثير بين تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته (الضبابي) وفاعلية المعدات الإجمالية؟

ثانياً: أهمية البحث

تتلخص الأهمية التي يحققها هذا البحث من خلال النقاط الآتية:

1. تساهم في تخفيض أنماط الفشل لمصنع سكر الاتحاد إذ يجري من خلالها تحديد أنماط الفشل التي تتكرر والتركيز عليها ومنع أو الحد من الأسباب التي تؤدي إلى حدوثها.

2. تساهم في الكشف المبكر عن أنماط الفشل المحتملة مما يسمح بتجهيز بعض قطع الغيار في الوقت المناسب للفارزة المتوقع توقفها وبالتالي القضاء على أوقات التوقفات أو تخفيضها.

3. توجيه أنظار متخذي القرار في المصنع إلى أنماط الفشل ذات التأثير الأكبر في توقف المعدات، مما يسهم في التحديد الدقيق للخسائر الستة الكبرى ووضع المعالجات الممكنة لتخفيضها.

ثالثاً: أهداف البحث

في ضوء مشكلة البحث التي تم عرضها واهميته يمكن حصر أهداف البحث بالآتي:

1. دراسة العلاقة بين تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته الضبابي (Fuzzy FMEA) وفاعلية المعدات الإجمالية (OEE) ومعرفة مستوى تأثير (Fuzzy FMEA) في (OEE).

2. تحديد الأسباب الجوهرية المحتملة لحدوث الفشل والإجراءات الوقائية التي تقلل مخاطر الفشل من خلال تقليل احتمالية الفشل وتخفيض خطورته.

3. تحديد قدرة تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته (الضبابي) (Fuzzy FMEA) في توفير نتائج أكثر دقة فيما يتعلق بترتيب أولوية المخاطر بشكل أفضل من تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته (FMEA) التقليدية.

4. بيان مدى تأثير عوامل تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته الضبابي الثلاثة (الخطورة والحدوث والكشف) في مؤشرات فاعلية المعدات الإجمالية (التوافر والأداء والجودة)

5. العمل على تحسين فاعلية المعدات الإجمالية من خلال النتائج التي توفرها تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته الضبابي (Fuzzy FMEA) والتي تُسهم في الكشف المبكر عن المخاطر وتحديدها.

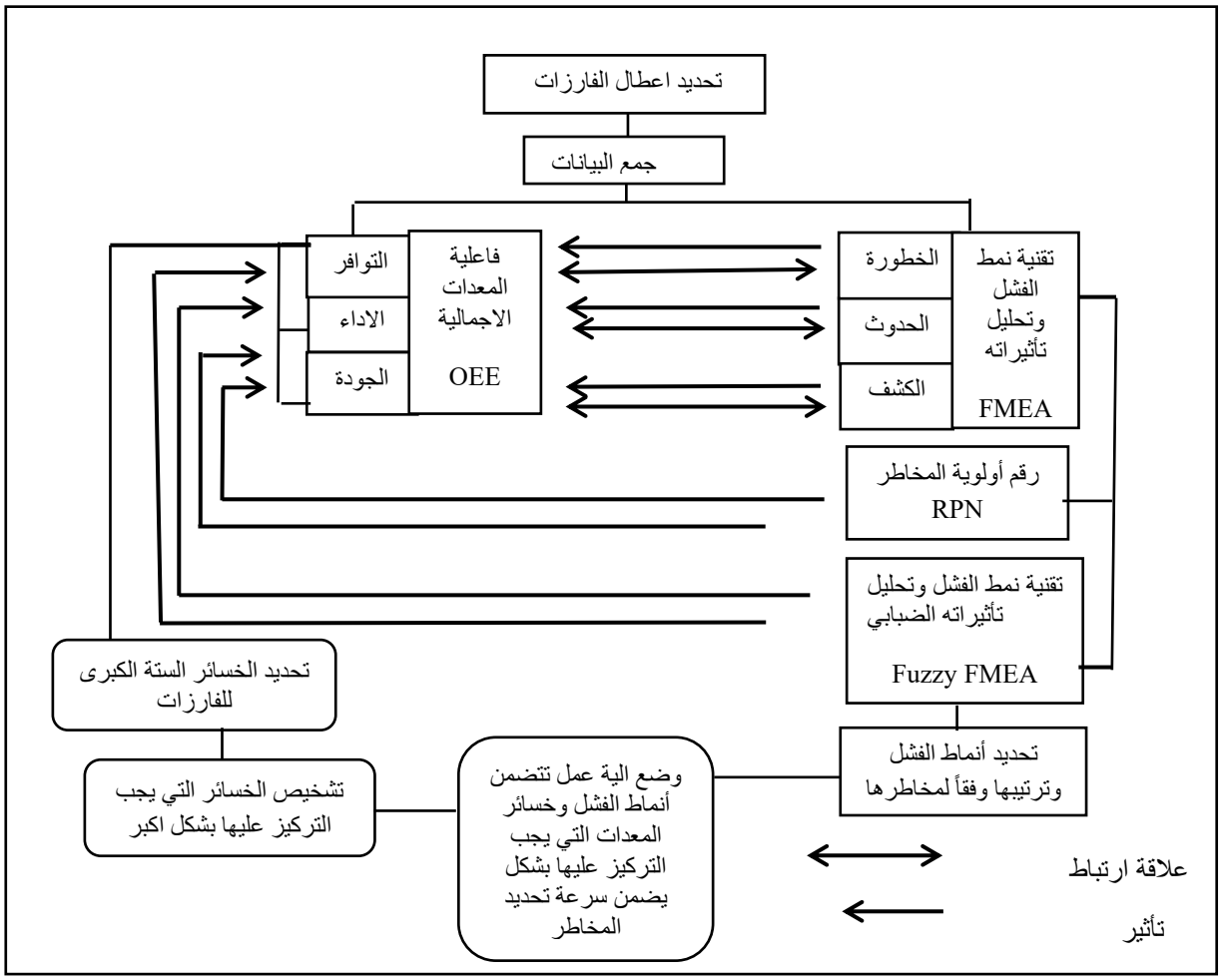
6. تحديد الخسائر الستة الكبرى للمعدات (الفارزات) ومعرفة أي الخسائر صاحبة التأثير الأكثر على فاعلية المعدات لإجراء التحسينات.

7. تقديم توصيات عملية وتطبيقية يمكن ان تحسن فاعلية المعدات الإجمالية باستخدام تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته (الضبابي).

رابعاً: الانموذج الفرضي

يُعد الانموذج الفرضي للبحث الدليل الذي يوضح مسار البحث وخطواته التي تبدأ من تحديد المشكلة وتنتهي بالنتائج والتوصيات، تم اعداد انموذج يمثل العلاقة بين المتغيرات ادناه:

1. المتغير المستقل: تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته الضبابي (Fuzzy FMEA) والتي تعتمد مدخلاتها على قيم عوامل الخطر الثلاثة (الخطورة والحدوث والكشف)، وان عملية ضرب هذه العوامل تكون رقم أولوية المخاطر (RPN) في تقنية (FMEA) التقليدية.
2. المتغير التابع: فاعلية المعدات الإجمالية والتي تتكون من ثلاثة مؤشرات (التوافر والأداء والجودة) ويضم كل مؤشر خسارتين من الخسائر الستة الكبرى للمعدات، ويوضح الشكل (1) مخطط البحث.



المصدر: إعداد الباحث

شكل (1) المخطط الفرضي

خامساً: فرضيات البحث:

تم تحديد نوعين من الفرضيات هما فرضيات الارتباط وفرضيات التأثير وحسب الآتي:

- **فرضيات الارتباط:**

1. **الفرضية الرئيسة الأولـــى**: توجد علاقة ارتباط ذات دلالة إحصائية بين تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته (FMEA) التقليدية وفاعلية المعدات الإجمالية (OEE) ومؤشراتها (التوافر والأداء والجودة).

2. الفرضية الرئيسة الثانيـــة: توجد علاقة ارتباط ذات دلالة إحصائية بين رقم أولوية المخاطر في تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته (FMEA RPN) وفاعلية المعدات الإجمالية (OEE) ومؤشراتها (التوافر والأداء والجودة).

3. **الفرضية الرئيسة الثالثـــة:** توجد علاقة ارتباط ذات دلالة إحصائية بين تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته (الضبابي) (Fuzzy FMEA) وفاعلية المعدات الإجمالية ومؤشراتها (التوافر والأداء والجودة).

- **فرضيات التأثيـــــــــر:**

1. الفرضية الرئيسة الأولـــــى: يوجد تأثير ذو دلالة إحصائية لتقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته (FMEA) على فاعلية المعدات الإجمالية (OEE) ومؤشراتها (التوافر والأداء والجودة).

2. الفرضية الرئيسة الثانيـــة: يوجد تأثير ذو دلالة إحصائية لرقم أولوية المخاطر في تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته (FMEA RPN) على فاعلية المعدات الإجمالية (OEE) ومؤشراتها (التوافر والأداء والجودة).

3. الفرضية الرئيسة الثالثـــة: يوجد تأثير ذو دلالة إحصائية لتقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته (الضبابي) (Fuzzy FMEA) على فاعلية المعدات الإجمالية ومؤشراتها (التوافر والأداء والجودة).

سادساً: منهج البحث

اعتمد البحث الحالي المنهج التطبيقي لتحديد وتقييم ومعالجة أنماط الفشل كونها تُعدُ منهجا مهماً يساعد على تحديد وتحليل وتقييم المشاكل والمعوقات وتقديم الحلول والإجراءات التصحيحية لها التي تُمكِن من تحسين فاعلية المعدات الإجمالية.

سابعاً: مجتمع وعيِّنة البحث

تمثلَ مجتمع البحث في محطة الفارزات احدى محطات قسم الإنتاج في مصنع تكرير سكر الاتحاد، والتي تتكون من (21) فارزة، أما عيِّنة البحث التي تم اعتمادها (16 فارزة) وقد تم اختيارها لانها تعمل بشكل مستمر ومرتبطة ببعضها في خط إنتاجي واحد وبما يتوافق مع أغراض البحث، وتم استبعاد (5) فارزات المتبقية لأنها تعمل بشكل متقطع ولايتناسب عملها مع متطلبات التقنية التي تتطلب استمرارية عمل الفارزة، واعتمد البحث على بيانات أنماط الفشل لـ (12 شهر لعام 2023).

ثامناً: طـرائــق جمـع البيانــات والمعلــومــات

1. الجـانب النظـــري، من اجل اثراء الجانب النظري للبحث الحالي تم الاعتماد على العديد من المصادر العلمية من الكتب والمجلات والدوريات والإطاريح والرسائل والدراسات العلمية العربية والأجنبية ذات الصلة والتي تم الحصول عليها عن طريق شبكة المعلومات العالمية (الانترنت).

2 – الجانب الميدانـــي، اعتمد الجانب الميدانـــي على الآتي:

ا. المعايشة الميدانية والملاحظة المباشرة للباحث لتحديد مسار وانشطة عملية الإنتاج لتحديد أنماط الفشل التي يعاني منها مصنع تكرير سكر الاتحاد.

ب. السجلات والوثائق

ج. المقابلات الشخصية مع مدير المصنع ورؤساء اقسام الإنتاج والجودة والصيانة والفنيين

الإطار النظري للبحث

تضمن الإطار النظري للبحث محورين: قدم المحورالأول مفهوم تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته (الضبابي) ومكوناتها، أما المحور الثاني قدم فاعلية المعدات الإجمالية ومؤشراتها والخسائر الستة الكبرى للمعدات.

المحور الأول: تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته FMEA :

1. مفهوم تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته (Failure mode and of its effects analysis technique)

طور الجيش الأمريكي تقنية (FMEA) عام 1949 في وثيقة الإجراءات العسكرية (MIL-P-1629) (Cabanes et al.,2021:4)، إذ نفذها قسم تصنيع الطيران في الولايات المتحدة في الخمسينيات من القرن الماضي لحل مشكلات الجودة والموثوقية وطُبقت في العديد من الصناعات (Wu et al.,2021:1409). ووضح (Nicolin & Nicolin,2021:205) إن (FMEA) هي تقنية لتحليل أنماط فشل المشروع أو المنتج أو العملية مع إعطاء الأولوية لأهميتها وتحليل أنماط الفشل المحتملة وتأثيرات هذه الإخفاقات متبوعة بالإجراءات التي يتم تطبيقها في مرحلة التصميم النظري والتفصيلي للمنتج، ان كل الطرق لتقنية (FMEA) في الأدبيات العلمية تتلاقى لتحقيق ثلاثة أهداف وهي القدرة على توقع نوع الفشل الذي قد يحدث والقدرة على التنبؤ بتأثيرات الفشل على نظام التشغيل ووضع خطوات منع الفشل وتأثيراته على تشغيل النظام. ووصفها (Wang et al.,2021:2) بانها تقنية هندسية تستخدمها المنظمات لتحديد أنماط الفشل المعروفة والمحتملة وتنفيذ الإجراءات التصحيحية لتخفيضها قبل حدوثها في النظام أو التصميم أو المنتج.

واستناداً لما تقدم **يمكن القول بان تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته (FMEA) هي تقنية وقائية أو علاجية تستخدمها المنظمة لتحديد وتفسير أنماط الفشل المحتملة والمعروفة في الانظمة والتصاميم والعمليات والمنتجات ليتم بعد ذلك ترتيبها حسب درجة مخاطرها وتأثيراتها والقيام بالإجراءات التصحيحية للقضاء على الفشل أو الحد من تأثيراته، وتعد ضرورية لتحقيق الجودة.**

2. رقم أولوية المخاطر (Risk priority number) (RPN)

أشار (Zheng & Tang,2020:1) إلى ان المخاطر تُعبر عن إمكانية حدوث أخطاء في النظام مما يدعو إلى تطبيق تقنية (FMEA) باعتبارها أسلوباً نموذجياً يبدأ من القاعدة إلى القمة لنمذجة وإدارة المخاطر المحتملة على نطاق واسع في العديد من الصناعات، ان الغرض الاساسي لهذه التقنية هو ضمان أخذ المخاطر في الاعتبار والتعامل معها بشكل صحيح أثناء عملية التقييم، ويمكن الحصول على رقم أولوية المخاطر (RPN) من خلال ضرب عوامل الخطر الثلاثة وفق المعادلة الآتية:

رقم أولوية المخاطر = الخطورة × الحدوث × الكشف. ..... معادلة (1)

$$\mathbf{RPN = S \times O \times D .} \qquad \mathbf{(1)}$$

ويمكن توضيح هذه العوامل بالآتي:

أ. خطورة الفشل Severity

الخطورة تشير إلى تاثير الفشل المحتمل مما يدعو إلى تقييم الفشل بناءً على تأثيراته، هناك (10) مستويات للخطورة من (1 إلى 10) المستوى (1) يشير مستوى خطورة منخفض ولا يوجد تأثير للفشل ، ويوضح المستوى (10) خطورة مرتفعة وتسبب اضرار للنظام (Priharanto et al.,2023:826).

ب. حدوث الفشل Occurrence

الحدوث يوضح عدد مرات حدوث الفشل المعروف أو المحتمل (Liu &Tang,2022:3-4). واكد Yazdi et al.,2017:114) بانه يتم تقسيمه إلى (10) مستويات بين (1 لايمكن حدوث الفشل و10 حدوث مؤكد للفشل).

ج - كشف الفشل Detection

وضح (Priharanto et al.,2023:825) الكشف بانه القدرة على كشف الفشل قبل وقوعه ، إذ يعتمد الكشف على احتمالية حدوث الفشل باستخدام مقياس من (1 إلى 10) يشير المستوى (1) إلى اكتشاف شبه مؤكد للفشل، ويشير المستوى (10) إلى أنه من المستحيل جدًا كشف الفشل في النظام.

واستناداً لما تقدم يمكن القول بان **رقم أولوية المخاطر(RPN) هو اداة مهمة ترتكز عليها تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته تُعنى بتحديد وتحليل وتقييم أنماط الفشل وترتيبها حسب اهميتها وتعطي الأولوية للفشل حسب شدة تأثيراته ويتم الحصول على رقم أولوية المخاطر من خلال ضرب عوامل الخطر (الخطورة والحدوث والكشف) وتكون قيمتها بين (1 – 1000) وكلما كان التقييم مرتفعا كانت أنماط الفشل أكثر تأثيرا وبالعكس.**

3. منافع تقنية (FMEA)

وضح (Wang et al.,2021:3) المنافع التي يمكن تحقيقها جراء استخدام تقنية (FMEA) وهي:

ا. تُعد تقنية (FMEA) فاعلة على تحديد السبب الجذري للفشل، واختيار الاداة القادرة على اكتشافه ومنع تأثيراته أو التخفيف منها وإدارة مصادر الإخفاقات.

ب. تقنية (FMEA) لديها القدرة على إتخاذ التدابير الوقائية أو التصحيحية الفاعلة لمنع حدوث حالات الفشل المحتملة أو المعروفة وتخفيف خطورتها.

ج. تُمكن من تحسين موثوقية وسلامة النظام أو التصميم أو العملية أو المنتجات قبل وصولها إلى الزبون. د - يمكن أن توفر أيضًا إرشادات للحفاظ على جودة المنتجات وقابليتها للدعم

د. يلعبُ تحليل الأهمية أو تقييم المخاطر دورًا محوريًا في التحليل الكمي للإخفاقات الحتمية والكبيرة ومحاولة القضاء على تداعياتها، إذ تقوم تقنية (FMEA) بتقييم الفشل وفقاً لاهميته بهدف تحديد أولويات أنماط الفشل بواسطة (RPN)، إذ يعتبر رقم أولوية المخاطر الأعلى أكثر أهمية لاتخاذ إجراءات وقائية أو تصحيحية من نمط الفشل مع (RPN) أقل.

4. عيوب تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته (FMEA)

بالرغم من المنافع العديدة التي تحققها تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته عند تنفيذها، إذ أشار (Yazici et al.,2021:3) إلى ان تطبيق تقنية (FMEA) التقليدية لدى رقم أولوية المخاطر (RPN) بعض العيوب كما يلي:

ا. عوامل الخطر الثلاثة لها نفس الأهمية أو متساوية في الوزن ومع ذلك في تطبيقات العالم الحقيقي قد يكون من المرغوب فيه أن تكون هناك أوزان ذات أهمية مختلفة لعوامل الخطر، عادة ما يتم قبول قيمة الخطورة ذات الدرجات (9 و10) على أنها شديدة الخطورة، وبالتالي يجب تعيينها لفئة الخطر الأعلى بغض النظر عن درجات الحدوث والكشف.

ب. الصيغة الرياضية لـ (RPN) حساسة للتغير البسيط في درجات العوامل وقد يؤدي الاختلاف إلى حدوث تأثيرات مختلفة على قيمة (RPN)على سبيل المثال، الفشل 1 (5×6×6) والفشل 2 (9×4×5) لهما نفس قيم (RPN) هي 18، إذا تمت زيادة درجة حدوث كلا الفشلين بمقدار واحد فإن قيمة (RPN) تبلغ 210 (5× 7 × 6) للفشل 1 أصغر من قيمة (RPN) البالغة 225 (9 × 5 × 5) للفشل 2، كما تحتوي على العديد من الارقام المكررة.

ج. الخبراء الذين هم أعضاء في فريق (FMEA)، يفضلون عادةً مصطلحات لغوية مثل "عالي" أو "عالي جدًا" بدلاً من القيم الواضحة في تقييم عوامل الخطر الثلاثة، إذ يقوم الخبراء بإجراء تقييمات للمخاطر وفقًا لآرائهم عندما تكون البيانات عادةً غير موثوقة وغير كافية، لذلك تختلف قيم عوامل الخطر من خبير إلى خبير، أي انها ذاتية وغير دقيقة وغير مؤكدة احياناً.

5. تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته الضبابي Fuzzy FMEA

المنطق الضبابي صاغه لطفي زاده في الستينيات، وهو عملية توصيف المعرفة في سياق القواعد الضبابية لتوضيح بان هناك واحدة أو أكثر من قيم المدخلات "المبهمة"، والتي يتم تقييمها باستخدام القواعد ثم يتم "إزالة التشويش" مرة أخرى للمخرجات ولذلك تم تطبيقه لتحديد المتغيرات (D وS وO) بدقة، إن الفائدة الكبرى لـ (Fuzzy FMEA) في تقييم المخاطر هي أن تقييم النظام الناتج يكون نوعياً وعملياً مع المتغيرات اللغوية ، وبما أن المنطق الضبابي يتعامل مع قواعد معرفية ذاتية أو غير كاملة أو غير موثوقة فهو مجهز جيدًا لتحديد النقاط الرئيسة لأي نظام بسهولة ودقة، فهو يأخذ مستويات عوامل الخطر ويقيمها في نفس الوقت واحدًا مقابل الآخر لتوفير معلومات حول كيفية مساهمتها بشكل عام في مؤشرات المخاطر فيما يتعلق بالأنشطة التشغيلية الخاصة بكل منها وهذا بدوره يساعد في وضع التدابير والإجراءات التصحيحية للحد من المخاطر (Ivancan&Lisjak,2021:5). ومن جانبه عرف (Priharanto et al.,2023:825) المنطق الضبابي بإنه أسلوب رياضي لتحليل العملية أو النظام الذي يتسم بعدم اليقين والغموض والذاتية، تم تطوير هذا المنطق على أساس لغوي لتحسين دقة نتائج (FMEA) من خلال تقييم قيمة (RPN) وفقاً لقيم عوامل الخطر الثلاثة الخطورة والحدوث والكشف.

واستناداً لما تقدم **يمكن القول بان استخدام المنطق الضبابي جاء لتطوير تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته التقليدية للحد من عدم الدقة واليقين والتكرار وترتيب الأهمية لعوامل الخطر الذي يعاني منه رقم أولوية المخاطر، من خلال توصيف المعرفة في القواعد والمصطلحات اللغوية التي يوضحها المنطق الضبابي عبر التشويش لقيم عوامل الخطر وبناء القواعد الضبابية وإزالة الغموض أو التشويش للحصول على رقم أولوية مخاطر ضبابي أكثر دقة وموثوقية.**

6- خطوات تطبيق تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته الضبابي Fuzzy FMEA

يوجد نوعان من (Fuzzy FMEA)، النوع الأول يستخدم لمجالات تطبيق مختلفة، أما النوع الثاني من (Fuzzy FMEA) يستخدم لتحسين الدقة في أحكام الخبراء، تم تطويره لحل مشاكل الدقة والموضوعية في قياس عوامل الخطر، ان هذا النوع من المنطق الضبابي قائم على المعرفة ومبني على الخبرة والتجربة في شكل قواعد (IF-THEN) الضبابية (Akyuz &Celik,2018:4). توجد طريقتان لتطبيق (Fuzzy FMEA) وفق نظام الاستدلال الضبابي (Fuzzy Inference System) هما:

1. طريقة (Ebrahim Mamdani)

2. طريقة (Takagi-Sugeno)

وسيتم اتباع الطريقة التي قدمها (Ebrahim Mamdani) عام 1975 والتي تعرف بطريقة (Mamdani) أو بطريقة (Max –Min) نظراً لبساطة بنيتها وتتميز بانها أكثر سهولة في الفهم وأكثر ملائمة لتطبيقات الأنظمة المتخصصة التي تعتمد على الخبرة والمعرفة البشرية (Ivancan&Lisjak,2021:5).ومن جانبه اشار (Ishak et

al.,2020:6) ان النتائج مع طريقة (Mamdani) تكون أكثر دقة. ويمكن الحصول على الناتج الضبابي لهذه الطريقة وفق نظام الاستدلال الضبابي (Immawan et al.,2018:4).

- **تنفيذ نظام الاستدلال الضبابي (Fuzzy Inference system) (FIS)**

أشار (Kharola & Singh,2014:212) إلى ان تنفيذ نظام الاستدلال الضبابي يسمح بدمج المعرفة والخبرة المتخصصة، أنه متين ضد الشك والغموض، ويسمح بالعلاقة غير الخطية بين درجة رقم أولوية المخاطر (RPN) وعوامل الخطر الثلاثة (الخطورة والحدوث والكشف. إذ عُد (Suryoputro et al.,2019:3) ومعه Balaraju et al.,2019:260) وجميع الباحثين بان نظام الاستدلال الضبابي يتضمن ثلاثة مراحل للحصول على المخرجات وان هذه المراحل يتم اجرائها بواسطة برنامج (MATLAB) وهذه المراحل هي:

أ. المرحلة الاولى : الغموض (Fuzzyfication) ويطلق عليها وحدة المدخلات (الإدخال)، وتُعدُ مرحلة الغموض أو التشويش بمثابة لحظة محددة لإدخال المتغيرات اللغوية لوظائف العضوية (Membership Functions) والمجموعات الضبابية (Fuzzy Sets) لعوامل الخطورة والحدوث والكشف ورقم أولوية المخاطر الضبابي Fuzzy (RPN)، وهذا يعني بان الغموض هو عملية تستخدم لتحويل متغيرات المدخلات إلى وظائف العضوية، والتي تعبر عن هذه المدخلات في شكل مصطلحات لغوية نوعية، يمكن استخدام القرارات والمعرفة المتخصصة لوصف درجة وظيفة العضوية (Balaraju et al.,2019:260).

ب. المرحلة الثانية: إنشاء قاعدة القواعد الضبابية (Fuzzy Rules Base) / باستخدام متغيري (IF-THEN)، إذ يُعدُ (IF) متغير المدخلات الضبابية بينما (THEN) متغير المخرجات الضبابي، يجب تجميع كافة المجموعات لإنشاء قواعد ضبابية.

ج. المرحلة الثالثة: إزالة الضبابية (Defuzzyfication) / وتسمى مرحلة المخرجات ويجري فيها إزالة ضبابية المدخلات التي كونت المجموعة الضبابية التي تم الحصول عليها من تكوين القواعد الضبابية باستخدام تقنية مركز الجاذبية (Centroid)، بينما المخرجات هي رقم المجموعة الضبابية، يتم استخدام تقنية إزالة الضبابية للعثور على قيمة المخرجات في شكل قيمة (Fuzzy RPN) بناءً على المدخلات التي تم تعريفها.

المحور الثاني: فاعلية المعدات الإجمالية (Overall equipment effectiveness)

1. مفهوم فاعلية المعدات الإجمالية (OEE)

قُدمت فاعلية المعدات الإجمالية (OEE) بواسطة (Nakajima) عام 1988 في اليابان عندما تم تطبيق الصيانة الإنتاجية الشاملة (TPM)، وهي من مؤشرات الأداء الرئيسية (KPI) الأكثر استخداما والأكثر شهرة لقياس كفاءة الإنتاج (Dobra & Josvai,2021:55). إن فاعلية المعدات الإجمالية (OEE) هي عملية حسابية يتم إجراؤها لتحديد مدى فاعلية الآلات أو المعدات الموجودة، يتم استخدام (OEE) كمقياس لأداء الآلات أو المعدات، ويمكن ملاحظة ثلاثة مكونات أو عناصر لها هي مدى توافر الآلات أو المعدات (Availability)، وكفاءة الأداء (Performance)، وجودة مخرجات المعدات (Quality) (Muthalib et al.,2020:2). ووفقاً لـ (Lindegren et al.,2022:29) تُعد فاعلية المعدات الإجمالية (OEE) مقياساً مهماً يوضح مدى كفاءة عملية التصنيع، إذ أصبح التركيز على (OEE) في الوقت الحاضر أكثر بسبب التقنيات المرتبطة بالصناعة (4.0) والتي تسمح بمراقبة الإنتاجية وصيانتها وتحسينها، اضافة على ذلك يُمكِن استخدام (OEE) في تحديد مجالات التحسين، تم إجراء العديد من التعديلات على الصيغة الأصلية لـ (OEE) إذ تم تطويرها من قبل من الممارسين والأكاديميين لتوضح أهمية قيام منظمات التصنيع بتكييف وتخصيص النموذج ليناسب إنتاجها الخاص.

ويمكن القول بان **فاعلية المعدات الإجمالية (OEE) أداة يتم من خلالها قياس فاعلية الالات أو المعدات لمعرفة مستوى الإنتاجية الامثل للمعدات وتحديد الخسائر الستة الكبرى والأسباب التي تؤدي اليها واتخاذ الإجراءات التصحيحية لمعالجتها وإجراء التحسين المستمر إذ يمكن تكييف أو تعديل فاعلية المعدات الإجمالية وفقا لعمليات التصنيع، تشمل ثلاثة عناصر هي التوافر والأداء والجودة.**

2. أهمية فاعلية المعدات الإجمالية (OEE)/ اكتسبت فاعلية المعدات الإجمالية اهتماما متزايدا باعتبارها مقياسا رائدا لتحسين الإنتاج، إذ أشار (Hartman & Moussa ,2023:18) إلى ان (OEE) تعدُ أمرًا ضروريًا لمنظمات التصنيع لما تتمتع به من أهمية تتمثل بالآتي :

ا. تُعد مقياساً اساسياً حقق استخدام واسع النطاق كمؤشر لكفاءة التصنيع وتقييم فاعلية المعدات وعمليات الإنتاج من خلال رفع نسبة المخرجات الفعلية للمعدات إلى اقصى إنتاج ممكن في ظل ظروف إنتاج مثالية.

ب. يمكن أن تكون خطوة أولى مهمة في تحديد الأسباب الجذرية لعدم فاعلية المعدات وتحديد الاستراتيجيات اللازمة لتعزيز العمليات التشغيلية وتحسين الكفاءة التي تُمكن المنظمات من استخدام مواردها بفاعلية، كما تساعد المنظمات المصنعة على تحديد مجالات التحسين وتتبع التقدم نحوها.

ج. تُعد فاعلية المعدات الإجمالية (OEE) وسيلة فاعلة تُمكن المصنعين على تحديد مجالات الهدر وعدم الفاعلية، مثل توقف الماكنة أو عيوب الإنتاج، وتحديد الاختناقات المحتملة في عملية الإنتاج.

د. تساعد فاعلية المعدات الإجمالية (OEE) المنظمات على مراقبة أداء القطع الفردية من المعدات أو خطوط الإنتاج بأكملها ومقارنة أداء الآلات أو الأدوات المختلفة من خلال صياغة استراتيجيات مناسبة يمكنها القضاء على الهدر وعدم الكفاءة بشكل عام.

3. عناصر (مؤشرات) فاعلية المعدات الإجمالية (OEE)

يمكن للمصنعين تقييم كفاءة الإنتاج وتحديد العمليات التي تعمل بفاعلية أكبر والعمليات التي تحتاج إلى تحسين من خلال مكونات أو مقاييس فاعلية المعدات الإجمالية التوافر والأداء والجودة، ويجب أن تكون فاعلية المعدات الإجمالية (OEE) في أعلى مستوى من الأداء ويتم تصنيف المنظمة رائدة عالميًا عندما تكون نسبة (OEE) (85%) وهي النسبة القياسية لفاعلية المعدات الإجمالية (OEE) المطبقة دولياً والتي حددها معهد صيانة المصانع (JIPM) وتحسب فاعلية المعدات الإجمالية وفق المعادلة الآتية: (Saputra & Radyanto,2023:7156) (Berzins,2022:13)

فاعلية المعدات الإجمالية = التوافر × الأداء × الجودة ..... معادلة (2)

$$OEE = Availability \times Performance \times Quality \qquad (2)$$

أ. معدل التوافر (الاتاحية) Availability Rate

ويعني معدل التوافر (توفر الالة) ، إذ حدد المعهد الياباني لصيانة المصانع (JIPM) المعيار الذي يبين نسبة التوافر القياسية (90%)(Djunaidi et al.,2022:163). يتم حساب معدل التوافر مع الأخذ في الاعتبار وقت التشغيل المخطط له مخصومًا منه الفترة التي تكون فيها المعدات غير متاحة للتشغيل، وهو ما يُعرف بفترة التوقف عن العمل (Sathler et al.,2023:377) وتمثل المعادلة التوافر بالآتي.

$$\text{التوافر} = \frac{\text{وقت التشغيل المخطط له – وقت التوقف عن العمل}}{\text{وقت التشغيل المخطط له}} \times 100\% \quad \text{..... معادلة (3)}$$

ويمكن حساب التوافر(الاتاحية) بمعادلة اخرى (Zubair et al.,2021:4)

$$\text{التوافر} = \text{وقت التشغيل / وقت التحميل} \times 100\% \quad \text{..... معادلة (4)}$$

ب. معدل الأداء Performance Rate

اشار (Amperajaya et al.,2022:323 إلى ان نسبة الأداء هي نسبة توضح قدرة المعدات على إنتاج المنتج . ان البيانات المستخدمة في قياس نسبة الأداء هي المخرجات الفعلية، ووقت الدورة المثالي، وقت التشغيل، وتكون النسبة العالمية للأداء هي (95%) والتي حددها المعهد الياباني لصيانة المصانع (JIPM) ويتم الحصول عليها من خلال المعادلة الآتية : (Singh et al.,2020:35).

$$\text{معدل الأداء} = \frac{\text{المخرجات الفعلية} \times \text{وقت الدورة المثالي}}{\text{وقت التشغيل}} \times 100\% \quad \text{..... معادلة (5)}$$

ومن جانبهما (السمان والداؤودي،2007: 7) و(Maideen et al.,2016:4) ويتفق معهما Haddad et al.,2021:57) بانه يمكن حساب معدل الأداء بطريقة اخرى من خلال نسبة كمية المخرجات الفعلية التي تنتجها الالة من كمية المخرجات المخططة وفق المعادلة الآتية:

معدل الأداء = المخرجات الفعلية / المخرجات المخططة × 100% ..... معادلة (6)

ج- معدل الجودة Quality Rate

يوضح معدل الجودة مدى النجاح الذي تحققه الآلة في إنتاج منتج خالٍ من العيوب، ويعني ذلك قياس الأجزاء الجيدة المنتجة مقابل إجمالي الأجزاء المنتجة (Valero et al .,2023:1187). واكد(Sathler et al.,2023:378) ان الجودة ترتبط بالمنتج النهائي نتيجة لعملية ما أو تشغيل المعدات، وتكون النسبة العالمية لمعدل الجودة (99%)، ويمكن الحصول على معدل الجودة بتطبيق المعادلة الآتية:

معدل الجودة = إجمالي الأجزاء المنتجة – الأجزاء المعيبة × 100 ..... معادلة (7)

إجمالي الأجزاء المنتجة

4. الخسائر الست الكبرى للمعدات (The six big losses)

يرتبط تقييم فاعلية المعدات الإجمالية (OEE) ارتباطًا وثيقًا بتعريف وتقييم أسباب الخسائر التي يمكن أن تحدث في العمليات، إذ يصنفها (Nakajima) إلى 6 أنواع(Marfinov&Partama,2020:26-27) al.,2022:106617) (Facchinetti et BR et al.,2023:595) وهي كالآتي :

- **خسائر فشل المعدات وتعطلها**

وتشير إلى اوقات ضياع الوقت الناجم عن فشل المعدات أو تعطلها وتحسب وفقاً للمعادلة الآتية:

خسائر فشل المعدات= وقت التوقف والاصلاح /وقت التحميل × 100 ..... معادلة (8)

- **خسائر الإعدادات والتعديلات**

وتحدث خسارة الوقت عندما تقوم وحدة الإنتاج بتغيير نوع المنتج، وبالتالي تكون الإعدادات والتعديلات مطلوبة لبدء الإنتاج الجديد وتوضح المعادلة الآتية كيفية احتساب هذه الخسائر.

خسائر الاعداد والتعديل = وقت الاعداد والتعديل / وقت التحميل × 100 ..... معادلة (9)

- **خسائر التباطؤ والتوقف البسيط**

يمكن أن تحدث توقفات طفيفة أثناء الإنتاج، تعتبر الأحداث صعبة أو مكلفة للغاية لتسجيلها، تشمل هذه الخسائر وقت جميع الأنشطة التي لا يمكن تتبعها وتحتسب وفقاً للمعادلة الآتية

خسائر التباطؤ= (المخرجات المستهدفة– المخرجات الفعلية) × وقت الدورة المثالي× 100 ..معادلة (10)

وقت التحميل

- **خسائر السرعة المنخفضة**

تشير إلى انخفاض سرعة التشغيل، مما يؤدي زيادة إلى الوقت الإضافي المستغرق في الإنتاج ، اي انها تعني فقدان السرعة في الإنتاج ، وتحتسب هذه الخسائر وفقاً للمعادلة الآتية:

خسائر السرعة المنخفضة=وقت التشغيل - (وقت الدورة المثالي×المخرجات الفعلية) ×100 ..معادلة (11)

وقت التحميل

اما (Prhananto & Sahroni,2023:481) وضح احتساب خسائر السرعة حسب المعادلة الآتية :

خسائر السرعة المنخفضة= (وقت الدورة الفعلي– وقت الدورة المثالي) × المخرجات × 100 . معادلة (12)

- **عيوب العملية (خسائر الجودة)**

وتشير إلى الحالة التي لا يتوافق فيها المنتج مع المواصفات بمعنى انها الخسائر الناتجة اثناء عملية الإنتاج (المنتجات المعيبة)، ويمكن إعادة صياغتها أو إنتاجها أو رفضها وتبين المعادلة الآتية كيفية احتساب هذه الخسائر:

خسائر العيوب = المخرجات المرفوضة أو المعاد إنتاجها × 100 ..... معادلة (13)

وقت التحميل

- **انخفاض الإنتاجية (خسائر العائد)**

هو انخفاض العائد بسبب انخفاض إنتاجية الالة، أو الوقت اللازم لإنتاج الأجزاء المرفوضة بسبب التغييرات أو الإعدادات غير الصحيحة التي قد تستغرق بعض الوقت لتحقيق إنتاج مستقر ويتم احتسابها وفقاً للمعادلة الآتية :

خسائر العائد = وقت الدورة المثالي× المنتجات المرفوضة عند الاعداد × 100 ..... معادلة (14)

وقت التحميل

واستنادا لما تقدم **يمكن القول بان الخسائر الستة الكبرى للمعدات هي خسائر تتعرض لها المعدات تؤدي إلى فشل أو انخفاض إنتاجية وكفاءة المعدات وفقدان جودتها، تتكون من 6 خسائر، تختص كل خسارتين بمؤشر واحد من فاعلية المعدات الإجمالية، إذ تتعلق خسائر فشل المعدات وتوقفها والاعدادات والتعديلات بمؤشر التوافر، وتضم خسائر الأداء خسائر التباطؤ والتوقفات البسيطة وخسائر انخفاض السرعة، وتتعلق خسائر العيوب وانخفاض العائد بمؤشر الجودة.**

الجانب التطبيقي للدراسة

يتضمن هذا المبحث الجانب العملي للدراسة الذي ابتدآ بتنفيذ تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته التقليدية وتطبيق المنطق الضبابي، وقياس فاعلية المعدات الإجمالية وتحليل الخسائر الستة الكبرى للمعدات، وانتهى باختبار فرضيات الدراسة.

أولاً: تنفيذ تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته التقليدية

سيجري تنفيذ تقنية (FMEA) في محطة الفارزات لما تمثله هذه المحطة من أهمية في عملية إنتاج السكر وكذلك لأنها المحطة الأكثر عرضة للأعطال ويؤثر توقف المعدات في هذه المحطة إلى انخفاض إنتاجية المصنع من السكر ، إذ يجري تحديد رقم أولوية المخاطر(RPN) لمعرفة أنماط الفشل والعيوب التي تحدث في الفارزة وتحديد تأثيراتها، والعمل على منع حدوث هذه العيوب، تم الحصول على البيانات بالاعتماد على اراء الخبراء والمهندسين العاملين في قسم الصيانة الميكانيكية وقسم الإنتاج من خلال المقابلات الشخصية ، والرجوع إلى سجلات الفارزة (Machine Record) الموجودة في المصنع، وتم تحديد (12) نمط فشل ميكانيكياً يحدث في الفارزة، وأثار الفشل المحتمل (الخطورة S) واحتمال حدوث الفشل (الحدوثO) ودرجة اكتشاف الفشل (الكشف D)، وتم ترتيب أنماط الفشل حسب قيمة رقم أولوية المخاطر إذ كلما كانت قيمة (RPN) صغيرة تكون أفضل ويكون الفشل أقل خطورة وتأثيراً ، ويوضح الجدول (1) الآتي قيمة (RPN) لأنماط الفشل في فارزات السكر.

جدول (1) قيم رقم أولوية المخاطر (RPN) لأنماط فشل الفارزة

ت	نمط الفشل	الخطورة S	الحدوث O	الكشف D	رقم أولوية المخاطر RPN
1	تضرر سكرين الفارزة	9	8	3	216
2	تلف بيرنكات المحرك	8	6	4	192
3	تلف بريك الفارزة	8	4	6	192
4	تضرر بساتن سكين الفارزة	5	9	4	180
5	تضرر محور التمركز	8	7	3	168
6	تلف ربل كوبلن الفارزة	7	7	3	147
7	قطع أو ارتخاء براغي الفارزة	6	7	3	126
8	تلف بوابة حساس شحن الفارزة	6	4	5	120
9	تضرر جبن الفارزة	5	8	3	120
10	تضرر موزع الفارزة	7	4	4	112
11	اختلاف المسافة بين السكين والسكرين	4	8	3	96
12	تضرر مخمدات الفارزة	5	6	3	90

المصدر: إعداد الباحث بالاعتماد على اراء المهندسين في المصنع وسجلات الفارزات

ومن خلال الجدول (1) وبالاعتماد على تصنيفات تقييم الخطرـ (زيدان والخطيب،2021: 10) نجد ان أعلى قيمة لرقم أولوية المخاطر(RPN) هي (216) والتي تمثل تضرر سكرين الفارزة إذ تصنف ضمن المستوى الثاني والذي يعد خطر معتدل ، وكذلك بالنسبة لأنماط الفشل (تلف بيرنكات المحرك192، تلف بريك الفارزة 192 تضرر بساتن سكين الفارزة 180 ، تضرر محور التمركز للفارزة 168، تضرر ربل كوبلن الفارزة 147 ، قطع أو ارتخاء براغي الفارزة 126 ، تلف بوابة حساس شحن الفارزة 120، تضرر جبن الفارزة 120، ، تضرر موزع الفارزة 112، اختلاف المسافة بين السكين والسكرين 96 ، تضرر مخمدات الفارزة 90) تصنف ايضاً ضمن المستوى الثاني (خطر معتدل) ، ولا توجد أنماط فشل تصنف ضمن المستوى الثالث من تصنيفات مصفوفة الخطر (خطر بسيط).

ثانياً : تطبيق تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته الضبابي (Fuzzy FMEA):-

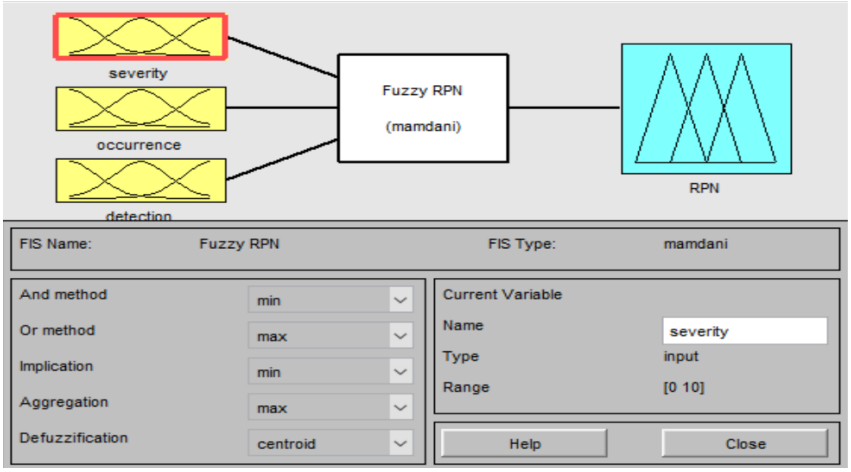
لغرض تطبيق تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته (الضبابي) (Fuzzy FMEA) يتوجب القيام بالآتي :

أ. إنشاء وظائف العضوية الضبابية (الغموض)

تستخدم مرحلة الغموض(Fuzzyfication) (5) من وظائف العضوية (Membership Functions) التي يتم فيها تحديد (3) قيم (إذ كانت الدوال مثلثية) لكل متغير من متغيرات المدخلات للعوامل (الخطورة والحدوث والشدة) وفقاً لطريقة (Mamadani) ، أما مخرجات (Fuzzy RPN) فانها تتكون من (9) متغيرات لغوية وحسب ما موضح أدناه للمدخلات والمخرجات (Immawan et al., 2018:4) :

1. وظائف العضوية الضبابية لمتغيرات المدخلات

يتم توصيف المتغيرات اللغوية لعوامل الخطر الثلاثة (الخطورة والحدوث والشدة) عند إنشاء وظائف العضوية ويجري تحديد قيم المدخلات عند تكوين قاعدة القواعد الضبابية (Suryoputro et al.,2018:3) (Rimantho&Hatta,2018:2949-2950) (Ivancan & Lisjak, 2021:9). وفي ادناه توضيح كيفية إنشاء وظائف العضوية لمتغيرات المدخلات والتي تظهرها واجهة نظام الاستدلال الضبابي، إذ يوضح الشكل (3) الآتي إنشاء وظائف العضوية المثلثية لمتغيرات المدخلات ولعوامل الخطر الثلاثة.

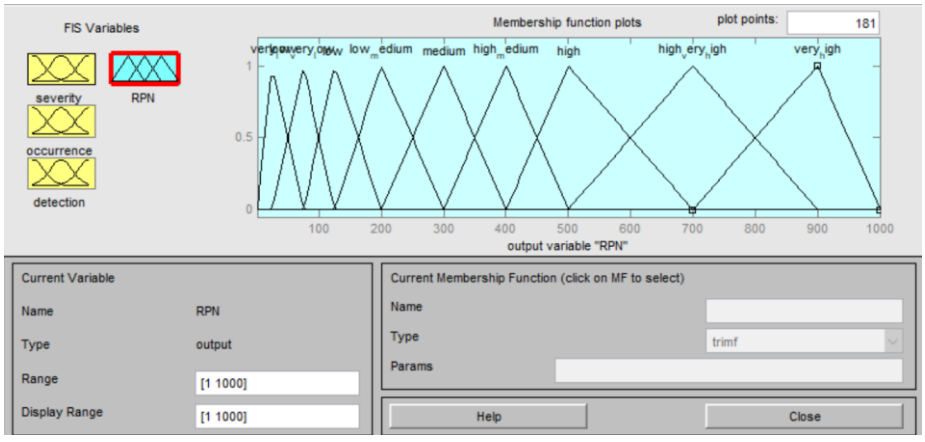


المصدر: برنامج (MATLAB)

شكل (3) إنشاء وظائف العضوية للمدخلات

2. وظائف العضوية الضبابية للمخرجات

حدد كل من (Rimantho & Hatta,2018:2950) و(Suryoputro et al.,2019:4) و (Ishak et al., 2020:6) المتغيرات اللغوية للمخرجات البالغة (9) متغيرات مع قيم هذه المتغيرات، ويوضح الشكل (4) الآتي المتغيرات اللغوية لوظائف العضوية للمخرجات.



المصدر: برنامج (MATLAB)

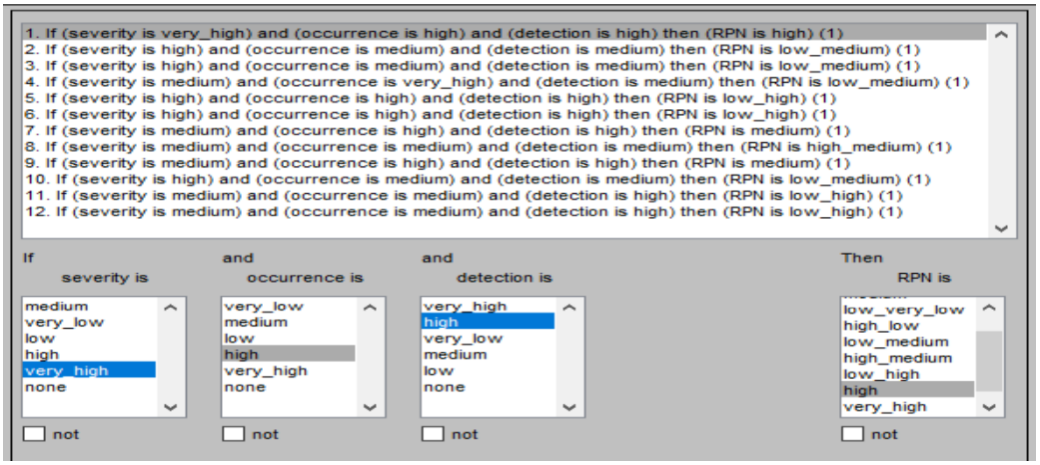
شكل (4) إنشاء وظائف العضوية للمخرجات.

3. تقييم عوامل الخطر لأنماط الفشل

يتم قياس درجات عوامل الخطر (الخطورة والحدوث والكشف) لأنماط الفشل البالغة (12) فشل وفقاً لنظام الاستدلال الضبابي (FIS) وحسب برنامج (MATLAB)، **إذ** يتم إدخال البيانات التي تتعلق بعوامل الخطر(الحدوث والحدوث والكشف) لكل نمط فشل من أنماط الفشل .

ب. **إنشاء القواعد الضبابية**

بعد إدخال المتغيرات اللغوية وقيم المدخلات لوظائف العضوية وتقدير قيم المدخلات ومتغيرات المخرجات لكل نمط من أنماط الفشل البالغة (12) فشل يتم إنشاء القواعد الضبابية(If–Then) بالاعتماد على القواعد الضبابية البالغة (125) (Kumru&Kumru,2013:731-732) (Akyuz&Celik,2018:16-17). إذ تُعد هذه القواعد الأساس الذي ترتكز عليه مخرجات (Fuzzy RPN) ويوضح الشكل (5) الآتي هذه القواعد :

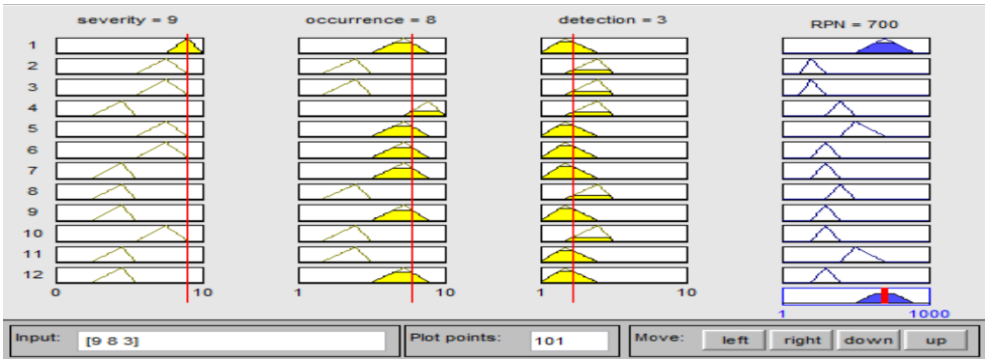


المصدر: برنامج (MATLAB)

شكل (5) إنشاء القواعد الضبابية لأنماط الفشل (12)

ج. إزالة التشويش (الغموض)

في هذه المرحلة يتم حساب قيمة (Fuzzy RPN) لكل نمط من أنماط الفشل (12) من خلال إزالة التشويش، يوضح الشكل (6) قيمة (Fuzzy RPN) التي تم الحصول عليها بعد إدخال قيم عوامل الخطر التي تم التعامل معها وتقييمها وفقاً للقواعد الضبابية في المرحلة السابقة للفشل الأول تضرر سكرين الفارزة.



المصدر: برنامج (MATLAB)

شكل (6) إنشاء القواعد الضبابية لأنماط الفشل (12)

في هذا الفشل كانت قيم عوامل الخطر لعوامل الخطر الثلاثة (الخطورة 9 ، الحدوث 8 ، الكشف 3) وقيمة (FMEA RPN هي (216)، أما في (Fuzzy RPN) بلغت (700) وحسب ما يوضح الشكل (6) والسبب يعود في ذلك لارتفاع درجات الخطورة والحدوث والكشف.

وهكذا بالنسبة لأنماط الفشل الأخرى المتبقية، ويوضح الجدول (2) قيم (Fuzzy RPN) لأنماط الفشل البالغة (12) فشل وترتيب أولوية المخاطر وفقاً لتقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته الضبابي.

جدول (2) قيم رقم أولوية المخاطر الضبابي (Fuzzy RPN)

ت	نمط الفشل	الخطورة S	الحدوث O	الكشفD	FMEA RPN	Fuzzy RPN	ترتيب الأولوية
1	تضرر سكين الفارزة	9	8	3	216	700	1
2	تلف بيرنكات المحرك	8	6	4	192	644	2
3	تلف بريك الفارزة	8	4	6	192	501	6
4	تضرر بساتن سكين الفارزة	5	9	4	180	400	7
5	تضرر محور التمركز	8	7	3	168	613	3
6	تلف ربل كوبلن الفارزة	7	7	3	147	535	5
7	قطع أو ارتخاء براغي الفارزة	6	7	3	126	544	4
8	تلف بوابة حساس شحن الفارزة	6	4	5	120	261	11
9	تضرر جبن الفارزة	5	8	3	120	334	8
10	تضرر موزع الفارزة	7	4	4	112	258	12
11	اختلاف المسافة بين السكين والسكرين	4	8	3	96	330	9
12	تضرر مخمدات الفارزة	5	6	3	90	300	10

المصدر: إعداد الباحث

يبين الجدول (2) ان فشل تضرر سكرين الفارزة والذي كانت درجته (216) في (FMEA RPN) وبترتيب أولوية المخاطر هو الأول من بين أنماط الفشل (12)، في تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته (الضبابي) كان صاحب التأثير الأكبر ايضاً في ترتيب أولوية المخاطر في تقنية (Fuzzy FMEA) بدرجة (700) لارتفاع قيم عوامل الخطر فيه (الخطورة والحدوث والكشف) والتي هي مدخلات تقنية (Fuzzy FMEA) التي تتعامل معها وفق نظام الاستدلال الضبابي (FIS). وكذلك الحال بالنسبة للفشل الثاني تلف بيرنكات المحرك والذي كانت درجته في تقنية Fuzzy (FMEA) (644) وحصل على درجة (192) في تقنية (FMEA) وكان ترتيبه في المستوى الثاني لأولوية المخاطر من حيث التأثير في الطريقتين التقليدي والضبابي، أما الفشل الثالث تلف بريك الفارزة فكان في المستوى الثالث لترتيب المخاطر الأكثر تأثيراً في تقنية (FMEA) بدرجة (192)، بلغت درجته (501) في (Fuzzy FMEA) ،اصبح بالمستوى السادس في ترتيب أولوية المخاطر الضبابي، وفي حالة الفشل الرابع تضرر بساتين سكين الفارزة كانت درجته في تقنية (FMEA) تبلغ (180) وبالمستوى الرابع في ترتيب أولوية المخاطر، أصبحت درجته في Fuzzy (FMEA) (400) وترتيب أولوية مخاطر في المستوى السابع. بعد ذلك جاء فشل تضرر محور التمركز بالمستوى الخامس وفقاً لترتيب أولوية المخاطر في تقنية (FMEA) بدرجة (168)، وحصل على المستوى الثالث لترتيب أولوية المخاطر في تقنية (Fuzzy FMEA) بدرجة (613). فيما حل فشل تلف ربل كوبلن الفارزة في المستوى السادس لترتيب أولوية المخاطر في تقنية (FMEA) بدرجة (147)، وحصل على المستوى الخامس في ترتيب أولوية المخاطر(Fuzzy FMEA) بدرجة (535). أما فشل قطع أو ارتخاء براغي الفارزة جاء بالمستوى السابع لترتيب أولوية المخاطر في تقنية (FMEA) بدرجة (126)، واصبح في المستوى الرابع في ترتيب أولوية المخاطر في تقنية (Fuzzy FMEA) بدرجة (544). بعد ذلك جاء فشل تلف بوابة حساس شحن الفارزة في المستوى الثامن لترتيب أولوية المخاطر في تقنية (FMEA) بدرجة (120)، والذي اصبح في المستوى الحادي عشر لترتيب أولوية المخاطر في تقنية (Fuzzy FMEA) بدرجة (261). وحل فشل تضرر جبن الفارزة في المستوى التاسع لترتيب أولوية المخاطر في تقنية (FMEA) بدرجة (120) ايضاً حاله كحال فشل تلف بوابة حساس شحن الفارزة بدرجة (120)، ومن خلال تقنية (Fuzzy FMEA) تم تحديد الأولوية بين الفشلين وتقييم درجات عوامل الخطر لكل فشل مستقلا عن الآخر بعد ان تم إعطائه متغيراً لغويا في مرحلة وظائف العضوية وتكوين قاعدة ضبابية لكل فشل ومن ثم إزالة الغموض لنحصل على درجة فريدة لكل فشل تختلف عن درجات بقية أنماط الفشل الأخرى وهذا ما حققته تقنية (Fuzzy FMEA) باستخدام برنامج (MATLAB). وفي فشل تضرر موزع الفارزة الذي كان في المستوى العاشر في ترتيب أولوية المخاطر في تقنية (FMEA) بدرجة (112)، حل في المستوى الأخير في ترتيب أولوية المخاطر في تقنية (Fuzzy FMEA) بدرجة (258). أما فشل اختلاف المسافة بين السكين والسكرين والذي كان في المستوى الحادي عشر في ترتيب أولوية المخاطر في تقنية (FMEA) بدرجة (96)، حل في المستوى التاسع في ترتيب أولوية المخاطر(Fuzzy FMEA) بدرجة (330). وفي فشل تضرر مخمدات الفارزة كان في المستوى الثاني عشر (الأخير) في ترتيب أولوية المخاطر في تقنية (FMEA) بدرجة (90) بلغ المستوى العاشر في ترتيب في تقنية (Fuzzy FMEA) بدرجة (300).

ثالثاً: قياس فاعلية المعدات الإجمالية

1. حساب نتائج مؤشرات فاعلية المعدات الإجمالية

استخدمت هذه الدراسة معدات (Centrifugation) (الفارزات) والتي تعمل على فصل حبات السكر عن الشراب وإنتاج سكر جاهز للاستهلاك، تم تحليل بيانات اثنا عشر شهر، وحددت اوقات التوقفات المخطط لها (2 ساعة شهرياً) ، ليتم استخراج معدل التوافر ومعدل الأداء ومعدل الجودة والمعدل العام لفاعلية المعدات (الفارزات) الإجمالية، تم اعتماد شفت العمل الرئيسي (الصباحي) بوقت عمل (8) ساعة يومياً ولمدة (30) يوم عمل شهرياً ، ولعام 2023، والجدول (3) الآتي يوضح نتائج فاعلية المعدات الإجمالية.

جدول (3) معدلات فاعلية المعدات الإجمالية لعام 2023

الشهر	معدل التوافر%	معدل الأداء%	معدل الجودة%	OEE%
كانون الثاني	93.2	95.7	98.9	88.2
شباط	90.7	93.3	98.8	83.6
اذار	85.2	90	98.7	75.7
نيسان	81.5	87.5	99	70.6
أيار	90.7	92.5	98.8	82.9
حزيران	93.2	95.7	99	88.3
تموز	91.5	91.7	98.9	82.9
اب	89.4	92	98.8	81.2
أيلول	88.6	91.5	98.8	80
تشرين الأول	87.3	91.7	98.8	79
تشرين الثاني	92	94.2	98.8	85.6
كانون الأول	92.4	95	98.8	86.7
المعدل	89.6	92.5	98.8	82

المصدر: إعداد الباحث

ومن خلال الجدول (3) نلاحظ أن أعلى معدل لفاعلية المعدات الإجمالية (OEE) تحقق في شهر كانون الثاني 2023 إذ بلغ (88.2%) واقل معدل كان في شهر نيسان (70.6%).

ثم يتم مطابقة مؤشرات فاعلية المعدات الإجمالية مع المعايير العالمية لمؤشرات فاعلية المعدات الإجمالية ويوضح الجدول (4) الآتي هذه المعايير.

جدول (4) معايير فاعلية المعدات الإجمالية

مؤشرات الفاعلية	معدلات فاعلية المعدات الإجمالية الفعلية %	المعايير العالمية لفاعلية المعدات الإجمالية %
معدل التوافر(الاتاحية)	89.6	90 فأكثر
معدل الأداء	92.5	95 فأكثر
معدل الجودة	98.8	99 فأكثر
المعدل العام لفاعلية المعدات الإجمالية OEE%	%82	85 % فأكثر

المصدر: إعداد الباحث بالاعتماد على المعايير العالمية لمؤشرات فاعلية المعدات الإجمالية

2. احتساب الخسائر الست الكبرى للمعدات (الفارزات)

تم احتساب الخسائر الست الكبرى للمعدات، إذ توجد أربعة خسائر للمعدات تم استخراج معدلاتها هي (خسائر فشل المعدات وتوقفها، وخسائر تباطؤ السرعة، وخسائر السرعة المنخفضة، وخسائر العيوب)، أما خسارتي الاعدادات والتعديلات، وتقليل العائد كانت معدلاتهما (صفر) بسبب عدم وجود أوقات تم فقدانها لإجراء التعديلات كون المصنع ينتج مادة نمطية واحدة وبمواصفات ثابتة غير متغيرة، ويوضح الجدول (5) الآتي معدلات الخسائر الاربع التي تم احتسابها وفقاً لما يأتي :

جدول (5) معدلات الخسائر الكبرى للفارزات

التسلسل	نوع الخسارة	معدل الخسارة %
1	خسائر فشل المعدات وتوقفها	10.29
2	خسائر تباطؤ السرعة	7.29
3	خسائر السرعة المنخفضة	6.48
4	خسائر العيوب	2.89

المصدر: إعداد الباحث بالاعتماد على بيانات المصنع.

ومن خلال الجدول (5) يتضح لنا بان أعلى معدل للخسائر الكبرى للفارزات تحقق عن طريق خسائر فشل المعدات وتوقفها بنسبة (10.29%) وهي احدى الخسائر المرتبطة بمؤشر التوافر (الاتاحية) ، ثم تليها خسائر تباطؤ السرعة التي كانت بمعدل (7.29%)، وخسائر السرعة المنخفضة بمعدل (6.48%)، واللتان ترتبطان بمؤشر الأداء ويشكلان بمجموعهما (13.77%) وهذا يعني ان خسائر معدل الأداء كانت هي الأكثر تأثيراً ، ويأتي بعدها خسائر معدل التوافر وبعد ذلك تأتي الخسائر التي تتعلق بمؤشر الجودة وهي خسائر العيوب والتي كانت بمعدل (2.89%) .

ثالثاً: اختبار فرضيات الارتباط والتأثير:

- **فرضيات الارتباط**

يتم حساب درجة الارتباط وفقاً لمعامل بيرسون بين المتغيرات المستقلة تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته (FMEA) التقليدية من خلال العوامل (الخطورة والحدوث والكشف)، ورقم أولوية المخاطر (FMEA RPN) ،وتقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته الضبابي (Fuzzy FMEA)، والمتغيرات التابعة فاعلية المعدات الاجمالية ومؤشراتها (التوافر والأداء والجودة) لاثبات صحة فرضيات الدراسة الثلاثة وكما يأتي:

1- **فرضية الارتباط بين تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته وفاعلية المعدات الإجمالية**

يوضح جدول (6) ادناه درجة الارتباط بين عوامل الخطر الثلاثة في تقنية (FMEA) المستقلة والمتغيرات التابعة لـ (OEE)

جدول (6) درجة الارتباط بين متغيرات (FMEA) المستقلة والمتغيرات التابعة لـ (OEE)

المتغير المستقل	المتغير التابع	درجة الارتباط
S	A	0.1472
S	P	0.1996
S	Q	-0.0966
S	OEE	0.1792
O	A	0.0870
O	P	0.0522
O	Q	0.6121
O	OEE	0.0938
D	A	-0.0870
D	P	-0.5371
D	Q	-0.4443
D	OEE	-0.5963

المصدر: إعداد الباحث

يشير الجدول (6) إلى الآتي:

أ. توجد علاقة ارتباط بين المتغير المستقل الخطورة (S) والمتغيرات التابعة، كل من المتغير التابع الأول (التوافر- A) كانت علاقة ارتباط غير معنوية بمقدار (14.72%)، والمتغير التابع الثاني (الأداء - P) كانت علاقة ارتباط غير معنوية ايضاً بمقدار (19.96%)، ومع المتغير التابع الثالث (الجودة -Q) كانت علاقة ارتباط سالبة بمقدار (09.66%) ، وكانت مع المتغير التابع الرابع فاعلية المعدات الإجمالية (OEE) علاقة ارتباط غير معنوية بمقدار (17.92%).

ب. توجد علاقة ارتباط بين المتغير المستقل الحدوث (O) والمتغيرات التابعة، كل من المتغير التابع الأول (التوافر- A) كانت علاقة ارتباط غير معنوية بمقدار (8.70%)، والمتغير التابع الثاني (الأداء - P) كانت علاقة ارتباط غير معنوية أيضاً بمقدار (5.22%) ، ومع المتغير التابع الثالث (الجودة -Q) كانت علاقة ارتباط معنوية بمقدار

(61.21%)، وكانت مع المتغير التابع الرابع فاعلية المعدات الإجمالية (OEE) علاقة ارتباط غير معنوية بمقدار (09.38%).

ج. توجد علاقة ارتباط بين المتغير المستقل الكشف (D) والمتغيرات التابعة، كل من المتغير التابع الأول (التوافر-A) كانت علاقة ارتباط قوية عكسية بمقدار (08.70%)، والمتغير التابع الثاني (الأداء - P) كانت علاقة ارتباط عكسية ايضاً بمقدار (53.71%) ، ومع المتغير التابع الثالث (الجودة -Q) كانت علاقة ارتباط عكسية ايضاً بمقدار (44.43%)، وكانت مع المتغير التابع الرابع فاعلية المعدات الإجمالية (OEE) علاقة ارتباط قوية عكسية بمقدار (59.63%) تقريباً.

وهذا يثبت صحة الفرضية الاولى بوجود علاقة ذات دلالة إحصائية بين عوامل الخطر في تقنية (FMEA) المستقلة والمتغيرات التابعة لـ (OEE).

2. فرضية الارتباط بين المتغير المستقل رقم أولوية المخاطر (RPN) وفاعلية المعدات الإجمالية

توجد علاقة ارتباط بين المتغير المستقل رقم أولوية المخاطر (FMEA RPN) والمتغيرات التابعة، كل من المتغير التابع الأول (التوافر-A) كانت علاقة ارتباط سالبة بمقدار (21.72%)، والمتغير التابع الثاني (الأداء-P) كانت علاقة ارتباط سالبة ايضاً بمقدار (14.78%) ، ومع المتغير التابع الثالث (الجودة-Q) كانت علاقة ارتباط غير معنوية بمقدار (17.13%)، وكانت مع المتغير التابع الرابع فاعلية المعدات الإجمالية (OEE) علاقة ارتباط عكسية بمقدار (17.87%)، ويوضح الجدول (7) الآتي درجة الارتباط

جدول (7) درجة الارتباط بين (RPN) و(OEE) ومؤشراتها

درجة الارتباط	المتغير التابع	المتغير المستقل
-0.2172	A	RPN
-0.1478	P	RPN
0.1713	Q	RPN
-0.1787	OEE	RPN

المصدر: إعداد الباحث

وهذا يثبت صحة الفرضية الثانية بوجود علاقة ذات دلالة إحصائية بين رقم أولوية المخاطر (RPN) في تقنية (FMEA) المستقلة والمتغيرات التابعة لـ (OEE).

3. فرضية الارتباط بين تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته الضبابي (Fuzzy FMEA) وفاعلية المعدات الإجمالية

يتم حساب درجة الارتباط بين المتغير المستقل تقنية نمط الفشل وتحليل تاثيراته (الضبابي) (Fuzzy FMEA) والمتغير التابع فاعلية المعدات الإجمالية (OEE) ومؤشراتها (التوافر والأداء والجودة)، يوضح الجدول (8) الآتي درجة الارتباط بينهما.

جدول (8) درجة الارتباط بين المتغير المستقل (Fuzzy FMEA) والمتغيرات التابعة (OEE)

درجة الارتباط	المتغير التابع	المتغير المستقل
%34.53	A	Fuzzy FMEA
%31.5	P	Fuzzy FMEA
%31.5	Q	Fuzzy FMEA
%35.17	OEE	Fuzzy FMEA

المصدر: إعداد الباحث

يشير الجدول (8) إلى ان العلاقة بين المتغير المستقل والذي يمثل تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته الضبابي (Fuzzy FMEA) مع التوافر (A) المتغير التابع الأول تبين قيمة الارتباط بينهما بدرجة (34.53%) ومن خلال هذه القيمة يتضح لنا انه توجد علاقة ارتباط طردية إذ ان الزيادة في المتغير (Fuzzy FMEA) تؤدي إلى زيادة بمقدار (34.53%) في التوافر.

بالنسبة لعلاقة المتغير المستقل (Fuzzy FMEA) مع الأداء (P) المتغير التابع الثاني كانت علاقة ارتباط طردية ايضاً وقيمة الارتباط بينهما بلغت (31.5%) وان الزيادة في المتغير المستقل (Fuzzy FMEA) تؤدي إلى زيادة في الأداء بنسبة (31.5%).

وكذلك بالنسبة لعلاقة المتغير المستقل (Fuzzy FMEA) مع المتغير التابع الثالث الجودة (Y3) المتغير توجد علاقة ارتباط طردية وقيمة الارتباط بينهما بمقدار (31.5%) وان الزيادة في المتغير المستقل (Fuzzy FMEA) تؤدي إلى زيارة في الجودة بنسبة (31.5%).

وفيما يخص علاقة المتغير المستقل (Fuzzy FMEA) مع فاعلية المعدات الإجمالية (OEE) المتغير التابع الرابع والذي يمثل المعدل العام لمؤشرات فاعلية المعدات الإجمالية (التوافر والأداء والجودة) فهي علاقة ارتباط طردية أي ان علاقة الارتباط بين تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته الضبابي (Fuzzy FMEA) وفاعلية المعدات الإجمالية بينهما كانت بمقدار (35.17%) وان الزيادة في (Fuzzy FMEA) تؤدي إلى زيادة في (OEE) بنسبة (35.17%).

وهذا يثبت صحة الفرضية الثالثة بوجود علاقة ذات دلالة إحصائية بين تقنية (Fuzzy FMEA) المستقلة والمتغيرات التابعة لـ (OEE).

- **فرضيات التأثير:**

1. تم استخدام معادلة الانحدار الخطي المتعدد لتفسير العلاقة بين عوامل الخطر (الخطورة، الحدوث، الكشف) في تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته وفاعلية المعدات الإجمالية ومؤشراتها (التوافر والأداء والجودة)، ولاثبات فرضية التأثير الرئيسة الأولى التي نصت على وجود تأثير للمتغير المستقل تقنية (FMEA) على المتغير التابع (OEE) ومؤشراته، وحسب ما يوضح الجدول (10) الآتي:

جدول (9) تطبيق معادلة الانحدار الخطي المتعدد بين (FMEA) وعوامل الخطر و(OEE) ومؤشراتها

:A	R^2 : 0.64	F : 5.003معنوي
: P	R^2 : 0.55	F :3.25 معنوي
:Q	R^2 : 0.38	F :1.664 معنوي
:OEE	R^2 : 0.33	F :1.326 معنوي

المصدر: إعداد الباحث

يتضح من النتائج في الجدول (9) الآتي:

أ. ان النموذج معنوي، إذ ان قيمة الخطورة كانت غير معنوية، وقيمة الحدوث كانت معنوية، وقيمة الكشف كانت معنوية إيضاً، ويستطيع تفسير المتغير التابع معدل التوافر (A) وان القدرة التفسيرية كانت معتدلة (64%)، من خلال تطبيق بعض المقاييس الإحصائية (T وF وR^2).

ب. ان النموذج ككل غير معنوي ماعدا الكشف (D) كانت قيمته معنوية، أما قيمة الخطورة كانت غير معنوية، وقيمة الحدوث كانت غير معنوية، ولم يستطيع تفسير المتغير التابع معدل الأداء (P) وان القدرة التفسيرية كانت معتدلة (55%)، من خلال تطبيق بعض المقاييس الإحصائية (T وF وR^2).

ج. المتغير التابع معدل الجودة (Q) ان النموذج كليا غير معنوي، إذ كانت قيمة الخطورة غير معنوية، وقيمة الحدوث كانت غير معنوية ، وقيمة الكشف غير معنوية، ولم يستطيع تفسير المتغير التابع معدل الجودة (Q) وان القدرة التفسيرية كانت معتدلة (38%) ، من خلال تطبيق بعض المقاييس الإحصائية (T وF وR^2).

د. ان النموذج كليا غير معنوي، إذ كانت قيمة الخطورة غير معنوية، وقيمة الحدوث كانت غير معنوية، وقيمة الكشف غير معنوية، ولم يستطيع تفسير المتغير التابع فاعلية المعدات الإجمالية (OEE) وان القدرة التفسيرية كانت ضعيفة (33%) ، من خلال تطبيق بعض المقاييس الإحصائية (T وF وR^2).

2. استخدام معادلة الانحدار الخطي البسيط لتفسير العلاقة بين رقم أولوية المخاطر في تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته (FMEA RPN)، وفاعلية المعدات الإجمالية (OEE) ومؤشراتها (التوافر والأداء والجودة)، ولاثبات فرضية التأثير الرئيسية الثانية التي نصت على وجود تأثير للمتغير المستقل (FMEA RPN) على المتغير التابع (OEE) ومؤشراتها، وحسب ما يوضح الجدول (10) الآتي:

جدول (10) معادلة الانحدار البسيط بين (RPN) في تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته و(OEE) ومؤشراتها.

47 R^2 : 0.:A	**4952F : 0.** **غير معنوي**
R^2 : 0.21 :P	**F : 0.22** **غير معنوي**
$9R^2$: 0.2 : Q	**3023F : 0.** **غير معنوي**
$10R^2$: 0. :OEE	**010F : 0.** **مرفوضة**

المصدر: من إعداد الباحث

من خلال نتائج الجدول (10) يتضح الآتي:

أ. ان النموذج غير معنوي، إذ ان قيمة (RPN) غير معنوية ولم تستطع تفسير معدل التوافر (A) كون القدرة التفسيرية معتدلة (0.47)، من خلال تطبيق بعض المقاييس الإحصائية (T و F وR^2).

ب. ان النموذج غير معنوي، إذ ان قيمة (RPN) غير معنوية ولم تستطع تفسير معدل الأداء (P) كون القدرة التفسيرية ضعيفة (0.21)، من خلال تطبيق بعض المقاييس الإحصائية (T و F وR^2).

ج. ان النموذج غير معنوي، إذ ان قيمة (RPN) غير معنوية ولم تستطع تفسير معدل الجودة (Q) كون القدرة التفسيرية ضعيفة (0.29)، من خلال تطبيق بعض المقاييس الإحصائية (T و F وR^2).

د. ان النموذج غير معنوي، إذ ان قيمة (RPN) غير معنوية ولم تستطع تفسير معدل فاعلية المعدات الإجمالية (OEE) كون القدرة التفسيرية مرفوضة (0.10) من خلال تطبيق بعض المقاييس الإحصائية (T و F وR^2).

3- استخدام معادلة الانحدار الخطي البسيط لتفسير العلاقة بين تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته (الضبابي) (Fuzzy FMEA) وفاعلية المعدات الإجمالية (OEE) ومؤشراتها (التوافر والأداء والجودة)، ولاثبات فرضية التأثير الرئيسية الثالثة التي نصت على وجود تأثير للمتغير المستقل (Fuzzy FMEA) على المتغير التابع (OEE) ومؤشراته، وحسب ما يوضح الجدول (11) الآتي:

جدول (11) قياس تأثير تقنية (Fuzzy FMEA) في (OEE) ومؤشراتها

A = 86.565 + 0.068 Fuzzy RPN SE : 3.22 6.7 T. value : 26. 85 4.006 معنوي معنوي R^2 : 0.88 F : 4.9 (معنوي)
P = 90.80 + 0.39 Fuzzy RPN SE : 2.24 0.347 T. value : 40. 57 8 .31 معنوي معنوي R^2 : 0.64 F : 6.9 (معنوي)
Q = 9.78 + 1.31 Fuzzy RPN SE : 0.084 1.77 T. value : 11. 74 7.41 معنوي معنوي R^2 : 0. 52 F : 5.496 (معنوي)
OEE = **77.57** + **1.**1782 Fuzzy RPN SE : 4.36 9.167 T. value : 17. 78 6.285 معنوي معنوي R^2 : 0.60 F : 6.652 (معنوي)

المصدر: من إعداد الباحث

من خلال نتائج الجدول (11) يتضح الآتي:

أ. ان النموذج معنوي، إذ ان قيمة (Fuzzy RPN) معنوية وهي تستطيع تفسير معدل التوافر (A) كون القدرة التفسيرية عالية (0.88)، من خلال تطبيق بعض المقاييس الإحصائية (T وF وR^2).

ب. ان النموذج معنوي، إذ ان قيمة (Fuzzy RPN) معنوية وهي تستطيع تفسير معدل الأداء (P) كون القدرة التفسيرية معتدلة (0.64)، من خلال تطبيق بعض المقاييس الإحصائية (T وF وR^2).

ج. ان النموذج معنوي، إذ ان قيمة (Fuzzy RPN) معنوية وهي تستطيع تفسير معدل الجودة (Q) كون القدرة التفسيرية معتدلة (0.52)، من خلال تطبيق بعض المقاييس الإحصائية (T وF وR^2).

د. ان النموذج معنوي، إذ ان قيمة (Fuzzy RPN) معنوية وهي تستطيع تفسير معدل فاعلية المعدات الإجمالية (OEE) كون القدرة التفسيرية معتدلة (0.60)، من خلال تطبيق بعض المقاييس الإحصائية (T وF وR^2).

ومن خلال المقارنة بين نتائج (FMEA RPN) في الجدول (11) ونتائج (Fuzzy RPN) في الجدول (12) يتبين لنا ان القدرة التفسيرية في حالة كون البيانات (ضبابية) هي أكبر من كون البيانات تقليدية (غير ضبابية)، وهذا ما يثبت أهداف البحث بان تطبيق تقنية (Fuzzy FMEA) هو أفضل من تقنية (FMEA) في الكشف الدقيق والسريع للمخاطر.

الاستنتاجات والتوصيات

أولاً: الاستنتاجات ذات الصلة بالجانب النظري:

1. إن تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته التقليدية هي تقنية مهمة في تحديد واكتشاف المخاطر من خلال تحديد رقم أولوية المخاطر (RPN)، إلا إنها قد لا تعطي نتائج دقيقة يمكن الاعتماد عليها في التقييم الدقيق للمخاطر وتحليل تأثيراتها.

2. تُعد تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته الضبابي (Fuzzy FMEA) أكثر منطقية في تصنيفات مستويات الخطر من خلال استخدام القواعد الضبابية، إذ تستطيع تجاوز الأخطاء والتقديرات الذاتية للخبراء إضافة إلى انها تستطيع ان تتعامل مع الأدوات والتقنيات التقليدية وتُمكن تطويرها.

3. تُساهم تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته الضبابي (Fuzzy FMEA) في خلق ثقافة منع وحل المشاكل بشكل استباقي من خلال تعاون كافة الافراد العاملين في المنظمة لحل المشاكل وتبادل الأفكار.

4. تُوفر تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته الضبابي (Fuzzy FMEA) منهجاً واعداً لتعزيز موثوقية المنتج في المنظمات الصناعية من خلال معالجة المعوقات التي تواجه تقنية (FMEA) التقليدية، ودمج عوامل الخطر والتقنيات والأساليب الرياضية المتقدمة.

5. تُوفر فاعلية المعدات الإجمالية القدرة على تحليل جهوزية المعدات وكفاءة أدائها وجودة منتجاتها من خلال استخدامها لثلاث مؤشرات (التوافر والأداء والجودة) لقياس فاعلية المعدات الإجمالية وتشخيص الخسائر الكبرى المرتبطة بكل مؤشر ونسبة تأثيرها عليه، مما يسمح لتحديد مجالات التحسين.

6– تُعد فاعلية المعدات الإجمالية أداة كفؤة لقياس الإنتاجية والحفاظ على المستوى الأمثل للمعدات.

ثانياً: الاستنتاجات ذات الصلة بالجانب التطبيقي:

1. في ضوء النتائج التي تم التوصل اليها في اختبار الفرضيات والتي اثبت بوجود علاقة ارتباط ذات دلالة إحصائية عكسية بين تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته (FMEA) وفاعلية المعدات الإجمالية (OEE)، إذ كلما ارتفعت قيمة رقم أولوية المخاطر لتقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته انخفضت معدلات فاعلية المعدات الإجمالية وبالعكس.
2. أوضحت النتائج أن العلاقة بين تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته الضبابي (Fuzzy FMEA) وفاعلية المعدات الإجمالية علاقة ارتباط طردية والسبب يعود أن المنطق الضبابي يعمل على منح متغيرات لغوية ويعطي قيم ضبابية لعوامل الخطر الثلاثة لإنشاء وظائف العضوية ضمن مرحلة الغموض (المدخلات) ويقوم في المرحلة الثانية بإنشاء

القواعد الضبابية لكل نمط فشل ليعطينا في المرحلة الثالثة قيم المخرجات، والتي تكون عالية في أغلب الأحيان وفقاً للقاعدة الضبابية، ولا يمكن تعميم العلاقة العكسية عليه.

3. ان تقنية (Fuzzy FMEA) تعالج الإخفاق الذي يظهر في رقم أولوية المخاطر (RPN) التقليدي في ترتيب أولوية أنماط الفشل والتكرار وعدم الدقة احياناً وتختلف دلالاتها الإحصائية عنه لأن تقنية (FMEA) التقليدية يمكن أن تنجح في أنماط الفشل البسيطة وتكون قيمها منخفضة دائماً ولا يمكن لها النجاح مع أنماط الفشل المعقدة والحرجة التي تكون قيم عوامل الخطر فيها عالية.

4. أتضح من خلال الملاحظة وتحليل النتائج إن تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته (FMEA) تعطي نفس الأهمية والتقييم لعوامل الخطر الثلاثة، مما يسبب عدم دقة ترتيب أولوية المخاطر، أما تقنية (Fuzzy FMEA) فانها تركز بالدرجة الأساس على عاملي الخطورة والحدوث عند تقييم المخاطر.

5. يُساهم تحديد أنماط الفشل بوقت مبكر من خلال الاعتماد على العمر الافتراضي لكل جزء من أجزاء المعدات في السماح للمصنع من اتخاذ الإجراءات التي تمنع توقف المعدات وتوفير قطع الغيار التي تحتاجها للحد من التوقفات المفاجئة للمعدات التي تسبب انخفاض توافر المعدات وجاهزيتها.

6. يؤدي قياس فاعلية المعدات الإجمالية إلى تحديد أي من مؤشرات الفاعلية (التوافر والأداء والجودة) أو معدل الفاعلية بشكل عام الذي تكون نسبته أقل من المعايير العالمية.

7. يؤدي تحليل الخسائر الستة الكبرى للمعدات إلى معرفة أي الخسائر المرتبطة بمؤشرات الفاعلية تسبب الانخفاض الأكثر للفاعلية لإجراء التصحيحات والتحسينات عليها.

8. اسفر البحث أَن إجراء الفحص الدوري للمعدات يتم مرة واحدة أسبوعياً، وهذا يعني ان المعدات يتم فحصها كل (168) ساعة عمل كونها تعمل بثلاث شفتات يومياً وهو وقت طويل بالنسبة لفحص قسم من أنماط الفشل وخصوصاً الأنماط الأكثر خطورةٌ التي تحتاج الفحص المستمر بفترات زمنية اقصر لاكتشاف الفشل المحتمل قبل حدوثه.

9. كشفت نتائج البحث أن مؤشر الجودة هو الأقل انخفاض عن المعايير العالمية بنسبة أقل من (0.2%) والسبب يعود إلى جودة المعدات وجودة العمليات في المصنع ككل، وأن الخسائر المرتبطة بمؤشر الجودة فقط (خسائر العيوب بمعدل 2.89%) والتي تمثل المنتجات المرفوضة في المصنع التي يتم إعادة تدويرها إلى معمل إنتاج الاعلاف للاستفادة منها في الإنتاج الحيواني.

ثالثاً: التوصيات:

1. ضرورة تطبيق تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته الضبابي (Fuzzy FMEA) لدورها الفاعل في تحديد أنماط الفشل الأكثر خطورة والتي ممكن أن تسبب توقف المعدات، ويمكن تحقيق ذلك من خلال الآتي:

ا. إعداد برنامج تدريبي الهدف منه تعريف الأفراد العاملين بدور تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته (الضبابي) في القضاء على ألمخاطر التي تتعرض لها المعدات، مع تعريف الأدوات التي يمكن من خلالها تطبيق هذه التقنية.

ب. تشكيل فريق متخصص من العاملين ذوي الخبرة والمهارة والتخصصات المتنوعة للبدء بتطبيق تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته (الضبابي).

ج. اختيار شخص يمتلك خبرة ومهارة يتمكن من إدارة الفريق.

د. بالإمكان الاستعانة بخبير من خارج المصنع من الباحثين، وأساتيذ الجامعات ممن يمتلكون الخبرة في تطبيق التقنيات والأساليب الحديثة.

2. إمكانية الاستفادة من النتائج التي تقدمها تقنية نمط الفشل وتحليل تأثيراته (الضبابي) في تحديد أنماط الفشل المحتملة للمعدات.

3. إجراء الفحص الدوري للمعدات وبفترات متقاربة كونه يساهم في الاكتشاف المبكر لأنماط الفشل المحتملة واتخاذ الإجراءات التي تمنع حدوث الفشل أو تخفيض تأثيراته على المعدات.

4. إجراء الصيانة الدورية للمعدات وتسهيل إجراءات تطبيق الصيانة الوقائية التي من شانها الحفاظ على المعدات وتساعد على زيادة عمرها الإنتاجي.

5. يتوجب على المصنع ملاحظة العمر الافتراضي لكل جزء من أجزاء المعدات وتوفير قطع الغيار البديلة تحسباً لاي طارى يحدث والعمل على استبدال الأجزاء المتاكلة والتالفة قبل أن تسبب توقف المعدات وفقدان فاعليتها.

6. إجراء التحسينات المستمرة والتي منها تدريب العاملين المشغلين للمعدات عن كيفية التشغيل المثالي وإجراء الصيانة، وكيفية تبديل الأجزاء المتضررة، وتوفير ظروف التشغيل المناسبة للمعدات.

7. التركيز على الصيانة الإجمالية للمعدات مع الاهتمام بالأنماط الأكثر خطورة وإعطائها الأولوية عند إجراء عمليات التحسين.

8. توفير قطع غيار ذات جودة عالية للمعدات من مناشى عالمية رصينة لتجنب أنماط الفشل التي يتكرر حدوثها قدر الأمكان.

9. إمكانية تطبيق موضوع الدراسة في مجالات صناعية مختلفة.

10. ضرورة توثيق وتصنيف المخاطر والمشاكل التي تسبب الفشل لغرض التعلم منها من خلال التشخيص الدقيق للأسباب الرئيسة لهذه المخاطر، والمشاكل وضمان عدم تكرارها مستقبلاً.

11. ضرورة إعداد خطة تحسين لمواجهة الإخفاقات بأسرع وقت ممكن والحد من تفاقمها ويجب ان تأخذ الخطة ما يأتي بنظر الاعتبار:

ا. تحديد العملية أو المنتج المراد تحليله من خلال اعداد مخطط انسيابي يركز على تجزئة التأثيرات وأنماط الفشل قبل البدء بتحليلها.

ب. تحديد حالات الفشل وترتيبها حسب أولوياتها ووفقا لدرجة خطورتها، ومدى تكرارها وسهولة اكتشافها.

المصادر References

1. السمان، ثائر احمد سعدون، الداؤودي رياض جميل وهاب، (2007) تصميم برنامج لقياس فاعلية المعدة العامة بالتطبيق في معمل الألبسة الولادية في الموصل، مجلة تنمية الرافدين، كلية الإدارة والاقتصاد، جامعة الموصل 87 (29).
2. زيدان، إبراهيم محمد ، الخطيب سمير كامل سعيد، (2021) تقييم المخاطر البيئية باستخدام اداة (FMEA) دراسة حالة في شركة مصافي الوسط / مصفى الدورة 2021 ،مجلة البحوث والدراسات البترولية، العدد 32.
3. Akyuz, E., & Celik, E. (2018). A quantitative risk analysis by using interval type-2 fuzzy FMEA approach: the case of oil spill. *Maritime Policy & Management*, *45*(8), 979-994.
4. Amperajaya, M. D., Murdopo, R., Erni, N., Rahman, T., Adnan, S. R., & Gaffara, G. R. (2022, December). Measurement and Effort to Improve OEE Value of SMC 2000 DST Machinery A PT. XYZ with PDCA Method. In *First Mandalika International Multi-Conference on Science and Engineering 2022, MIMSE 2022 (Mechanical and Electrical)(MIMSE-MEI-2022)* (pp. 320-333). Atlantis Press.
5. Balaraju, J., Raj, M. G., & Murthy, C. S. (2019). Fuzzy-FMEA risk evaluation approach for LHD machine–A case study. *Journal of Sustainable Mining*, *18*(4), 257-268.

6. Berzins, L. (2022). Digitalising Maintenance Organisation through Benchmarking OEE Measurement: A case study.
7. BR, K. S., & Alim, S. (2023). Increasing Oee Through Six Big Losses Analysis In The Machining Process Of Automotive Company. *JURNAL ILMIAH GLOBAL EDUCATION*, *4*(2), 594-602.
8. Cabanes, B., Hubac, S., Le Masson, P., & Weil, B. (2021). Improving reliability engineering in product development based on design theory: the case of FMEA in the semiconductor industry. *Research in Engineering Design*, *32*, 309-329.
9. Djunaidi, M., Athallaric, C., & Munawir, H. (2022). The Effectiveness Level Analysis of Flask Less Molding Machine Using Overall Equipment Effectiveness (OEE) as An Improvement of Machine Productivity. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, *21*(2), 162-168.
10. Dobra, P., & Jósvai, J. (2021). Correlation between Overall Equipment Effectiveness (OEE) and Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) at the semi – automatic assembly lines. *Proceedings of the IAC, Budapest, Hungary*, 26-27.
11. Facchinetti, T., & Citterio, G. (2022). Application of the overall equipment effectiveness to a service company. *IEEE Access*, *10*, 106613-106640.
12. Haddad, T., Shaheen, B. W., & Németh, I. (2021). Improving overall equipment effectiveness (OEE) of extrusion machine using lean manufacturing approach. *Manuf. Technol*, *21*(1), 56-64.
13. Immawan, T., Sutrisno, W., & Rachman, A. K. (2018). Operational risk analysis with fuzzy FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) approach (case study: optimus creative bandung). In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 154, p. 01084). EDP Sciences.
14. Ishak, A., Siregar, K., Ginting, R., & Manik, A. (2020). The fuzzy failure mode and effect analysis (FMEA) method to improve roofing product's quality (case study: XYZ Company). In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 1003, No. 1, p. 012092). IOP Publishing.
15. Ivančan, J., & Lisjak, D. (2021). New FMEA risks ranking approach utilizing four fuzzy logic SYSTEMS. *Machines*, *9*(11), 292.
16. Kharola, A., & Singh, S. B. (2014). Development of Fuzzy Failure mode effect analysis (FFMEA) model for Risk Priority Number (RPN) analysis. *Advance Modelling and Optimization*, *16*(1), 211-222.
17. Kumru, M., & Kumru, P. Y. (2013). Fuzzy FMEA application to improve purchasing process in a public hospital. *Applied soft computing*, *13*(1), 721-733.
18. Lindegren, M. L., Lunau, M. R., Mafia, M. M. P., & da Silva, E. R. (2022). Combining simulation and data analytics for OEE improvement. *International Journal of Simulation Modelling (IJSIMM)*, *21*(1).
19. Liu, Y., & Tang, Y. (2022). Managing uncertainty of expert's assessment in FMEA with the belief divergence measure. *Scientific Reports*, *12*(1), 6812.
20. Maideen, N. C., Sahudin, S., Yahya, N. M., & Norliawati, A. O. (2016). Practical framework: Implementing OEE method in manufacturing process environment. In *IOP conference series: materials science and engineering* (Vol. 114, No. 1, p. 012093). IOP Publishing

21. Marfinov, B. F. P. A., & Pratama, A. J. (2020). Overall equipment effectiveness (OEE) analysis to minimize six big losses in continuous blanking machine. *IJIEM-Indonesian Journal of Industrial Engineering and Management*, *1*(1), 25.
22. Moussa, P., & Hartman, R. (2023). Improvement of Operational Efficiency by Optimising the OEE Score.: A Case Study of a Large Manufacturer.
23. Muthalib, I. S., Rusman, M., & Griseldis, G. L. (2020, July). Overall Equipment Effectiveness (OEE) analysis and failure mode and effect analysis (FMEA) on Packer machines for minimizing the six big losses-a cement industry case. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 885, No. 1, p. 012061). IOP Publishing.
24. Nicolin, I., & Nicolin, B. A. (2021). Failure Mode and Effect Analysis for a military nose landing gear project. *INCAS Bulletin*, *13*(4), 205-212.
25. Prihananto, D., & Sahroni, T. R. (2023). Effectiveness Analysis of Hydraulic Torque Wrench Machine Using Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) and Logic Tree Analysis Study Case on Heavy Equipment Manufacturing. *Journal of Applied Engineering and Technological Science (JAETS)*, *5*(1), 474-494.
26. Priharanto, Y. E., Yaqin, R. I., Marjianto, G., Siahaan, J. P., & Abrori, M. Z. L. (2023). Risk assessment of the fishing vessel main engine by fuzzy-fmea approach. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, *23*(2), 822-836.
27. Rimantho, D., & Hatta, M. (2018). Risk analysis of drinking water process in drinking water treatment using fuzzy FMEA Approach. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, *13*(8), 2947-2956.
28. Saputra, F. A., & Rady, M. R. (2023). Increased Productivity of Packing Machines Through Implementation of Total Productive Maintenance Using the Overall Equipment Effectiveness Method Case Study of PT. GFPJ. *Jurnal Serambi Engineering*, *8*(4).
29. Sathler, K. P. B., Salonitis, K., & Kolios, A. (2023). Overall equipment effectiveness as a metric for assessing operational losses in wind farms: a critical review of literature. *International Journal of Sustainable Energy*, *42*(1), 374-396.
30. Singh, S., Singh, K., Mahajan, V., & Singh, G. (2020). Justification of overall equipment effectiveness (OEE) in Indian sugar mill industry for attaining core excellence. *International Journal of Advance Research and Innovation*, *8*(1), 34-36..
31. Suryoputro, M. R., Sari, A. D., & Widiatmaka, N. W. (2019). Failure Mode and Effect Analysis (Fuzzy FMEA) Implementation for Forklift Risk Management in Manufacturing Company PT. XYZ. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 528, No. 1, p. 012027). IOP Publishing.
32. Valero, C. I., Boronat, F., Esteve, M., & Palau, C. E. (2023). Ai For Detecting Variations In The Oee Data Reception Rate In The Manufacturing Industry.
33. Wang, Z., Ran, Y., Yu, H., Jin, C., & Zhang, G. (2021). Failure mode and effects analysis using function–motion–action decomposition method and integrated risk priority number for mechatronic products: FMEA using FMA decomposition method and IRPN for MPs. *Quality and Reliability Engineering International*, *37*(6), 2875-2899.

34. Wu, Z., Liu, W., & Nie, W. (2021). Literature review and prospect of the development an application of FMEA in manufacturing industry. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *112*, 1409-1436.
35. Yazdi, M., Daneshvar, S., & Setareh, H. (2017). An extension to fuzzy developed failure mode and effects analysis (FDFMEA) application for aircraft landing system. *Safety science*, *98*, 113-123.
36. Yazıcı, K., Gökler, S. H., & Boran, S. (2021). An integrated SMED-fuzzy FMEA model for reducing setup time. *Journal of Intelligent Manufacturing*, *32*(6), 1547-1561.
37. Zheng, H., & Tang, Y. (2020). Deng entropy weighted risk priority number model for failure mode and effects analysis. *Entropy*, *22*(3), 280.
38. Zubair, M., Maqsood, S., Habib, T., Usman Jan, Q. M., Nadir, U., Waseem, M., & Yaseen, Q. M. (2021). Manufacturing productivity analysis by applying overall equipment effectiveness metric in a pharmaceutical industry. *Cogent Engineering*, *8*(1).