

جامعة ميدأوشن
كلية الإدارة
قسم / تخصص إدارة المخاطر

"توظيف الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بحوادث القطاع التشغيلي في قطاع النفط"

إعداد الطالب: حسن عبدالحميد السمين
الرقم الجامعي: 253000462

إشراف:
د. الفيصّل عبدالحميد محمد حسن
د. فايز جراد

العام الدراسي:

2026

فهرس المحتويات

3	:مقدمة
4	: مشكلة الدراسة
4	: أهمية الدراسة
5	: أهداف الدراسة
5	: تساؤلات الدراسة
5	: فروض الدراسة
6	: الدراسات السابقة
6	: الفجوة البحثية
7	: المنطلقات النظرية للدراسة
7	: المنهجية وطرق البحث
7	: مجتمع وعينة الدراسة
8	: أداة الدراسة
8	: أساليب التحليل الإحصائي
8	: خامساً: حدود الدراسة

مقدمة

تتسم بيئة العمل في صناعة استخراج وتكرير النفط والغاز بتعقيد تقني بالغ ومخاطر تشغيلية استثنائية، حيث تدير المنشآت عمليات مستمرة تتعامل مع مواد شديدة الانفجار والسمية تحت ظروف ضغط وحرارة قاسية. تاريخياً، شهد هذا القطاع حوادث كارثية أسفرت عن خسائر بشرية مأساوية وأضرار بيئية واقتصادية فادحة. وعلى الرغم من التطور المستمر في بروتوكولات السلامة وإدارة المخاطر، إلا أن الأساليب التقليدية تعتمد بشكل أساسي على التدابير التفاعلية (Reactive Measures)، والتي أثبتت قصورها في بيئات العمل الحديثة المكتظة بالبيانات. في هذا السياق، برز الذكاء الاصطناعي (AI) وتعلم الآلة (ML) كأدوات تحويلية قادرة على إحداث نقلة نوعية في إدارة منع الخسائر، والانتقال بها من مرحلة "الإدراك المتأخر" إلى مرحلة "الاستشراف والتنبؤ". يستهدف هذا البحث تقديم إطار متكامل لتصميم وتطوير نماذج تنبؤية تعتمد على خوارزميات تعلم الآلة للتنبؤ بالحوادث والأعطال في القطاع التشغيلي النفطي.

مشكلة الدراسة

تكمّن المشكلة البحثية الرئيسية في استمرار وقوع حوادث جسيمة وأعطال كارثية مفاجئة في المنشآت النفطية بالرغم من توفر كميات هائلة من البيانات الحسية والتشغيلية التي تسجل مؤشرات التدهور قبل وقوع الفشل. تُعزى هذه الحوادث إلى الفجوة بين البيانات اللحظية وقرارات التدخل الاستباقي. وتتعمق المشكلة منهجياً عند تطبيق خوارزميات الذكاء الاصطناعي على قواعد بيانات السلامة التي تعاني من "اختلال شديد في التوازن" (**Severe Class Imbalance**)، حيث تفشل النماذج التقليدية في التنبؤ بالحوادث الخطيرة النادرة. علاوة على ذلك، يواجه القطاع تحدياً في طبيعة "الصندوق الأسود" لخوارزميات الذكاء الاصطناعي، وافتقار البيانات التاريخية إلى هيكلية موحدة. بناءً عليه، تتجسد المشكلة في كيفية بناء نموذج تنبؤي دقيق يعالج اختلال البيانات ويوفر مخرجات شفافة تدعم قرارات إدارة المخاطر.

أهمية الدراسة

الأهمية العلمية: تساهم الدراسة في إثراء الأدبيات الأكاديمية المتعلقة بهندسة السلامة عبر دمج تطبيقات الذكاء الاصطناعي مع الأطر المعيارية لهندسة الموثوقية مثل (ISO 14224). كما تقدم إسهاماً في معالجة

المعضلة الإحصائية لاختلال البيانات (Class Imbalance) في قواعد بيانات السلامة، مما يؤسس لدراسات أعمق في النمذجة الرياضية للمخاطر.

الأهمية العملية: تقدم الدراسة إطاراً تنفيذياً لشركات الطاقة للتحويل نحو "التحليلات التنبؤية للسلامة"، مما يساهم في تقليص معدلات الحوادث المميتة والحد من فترات التوقف المفاجئ. وتتقاطع مخرجات البحث بشكل مباشر مع الاستراتيجيات الرقمية للكيانات النفطية الكبرى (مثل مبادرات شركة أرامكو السعودية) لرفع الكفاءة التشغيلية وتعزيز السلامة.

أهداف الدراسة

1. بناء نموذج بيانات موحد يستمد خصائصه من معيار (ISO 14224) لضمان جودة المدخلات التشغيلية.
2. تطوير نماذج تعلم آلي قادرة على التعرف على أنماط التدهور التشغيلي التي تسبق حوادث السلامة.
3. معالجة ندرة الأحداث الكارثية عبر تطبيق تقنيات إعادة التوازن (مثل SMOTE) لرفع كفاءة النماذج.
4. إجراء دراسة مقارنة بين عدة خوارزميات (RF, SVM, XGBoost, LSTM) لتحديد البنية الأمثل للبيئة التشغيلية.

5. توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي القابل للتفسير (XAI) لتحويل النماذج التنبؤية إلى أدوات شفافة تدعم اتخاذ القرار.

تساؤلات الدراسة

1. ما هي المتغيرات التشغيلية والتنظيمية ذات الأهمية القصوى كمؤشرات تنبؤية، وكيف يمكن توحيدها استناداً لمعيار (ISO 14224)؟
2. ما مدى مساهمة تقنيات معالجة الاختلال الصنفي (SMOTE) في رفع حساسية النماذج لالتقاط الحوادث الجسيمة والنادرة؟
3. ما هو التقييم المقارن لأداء خوارزميات تعلم الآلة والتعلم العميق في التنبؤ باحتمالية وتصنيف خطورة الحوادث؟
4. كيف يمكن لتقنيات الذكاء الاصطناعي القابل للتفسير (SHAP و LIME) توفير تفسيرات منطقية للأسباب الجذرية المحفزة للحوادث؟

فروض الدراسة

1. توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين استخدام خوارزميات التعلم الآلي المتقدمة (مثل XGBoost و LSTM) والقدرة على التنبؤ المبكر بأعطال وحوادث القطاع التشغيلي النفطي.
2. يؤدي استخدام تقنيات توليد العينات الاصطناعية (SMOTE) إلى تحسين جوهري في دقة استدعاء (Recall) النماذج التنبؤية للحوادث الكارثية النادرة مقارنة بالبيانات غير المعالجة.
3. يساهم توحيد وهيكلة بيانات المستشعرات والصيانة وفق معيار (ISO 14224) في رفع كفاءة واستقرار النماذج التنبؤية.

4. تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي القابل للتفسير (XAI) يزيد من موثوقية وقابلية تطبيق مخرجات النماذج لدى صناع القرار التشغيلي.

الدراسات السابقة

أكدت الدراسات السابقة أن قطاع النفط يمر بمرحلة تحول استراتيجي من الإدارة التفاعلية للمخاطر إلى التحليلات التنبؤية. وقد أثبتت الأبحاث فعالية خوارزميات التعلم العميق (مثل LSTM) وخوارزميات التعزيز المتدرج (مثل XGBoost) في توقع فشل الأنابيب والمعدات بدقة تفوق النماذج التقليدية. كما سلطت الأدبيات الضوء على إنجازات المؤسسات الكبرى، كشركة أرامكو السعودية، في توظيف التوائم الرقمية ونماذج الذكاء الاصطناعي الضخمة لخفض الانبعاثات وتعزيز سلامة الأصول. وتناولت دراسات حديثة أهمية معالجة مشكلة "البيانات غير المتزنة" باستخدام تقنيات مثل (SMOTE) لرفع حساسية رصد الحوادث المميتة.

الفجوة البحثية

رغم الانتشار الواسع لدراسات تقييم المخاطر وتطبيقات الذكاء الاصطناعي، تتجلى الفجوة البحثية في ندرة الدراسات التي تدمج بشكل تكاملي بين: (أ) هيكل بيانات الموثوقية الصناعية وفق المعيار الدولي (ISO 14224)، (ب) المعالجة الإحصائية المتقدمة للندرة الشديدة في بيانات الحوادث الكارثية النفطية، و (ج) تطبيق أطر الذكاء الاصطناعي القابل للتفسير (XAI) لتبرير قرارات النماذج هندسياً. يسعى هذا البحث لسد هذه الفجوة عبر تقديم إطار عمل متكامل يجمع بين دقة التنبؤ، وشفافية القرار المعزز بمعايير دولية.

المنطلقات النظرية للدراسة

تستند الدراسة إلى ثلاث ركائز نظرية رئيسية:

- أنظمة إدارة السلامة والموثوقية (SMS & Reliability Engineering): ** الانتقال من الصيانة التفاعلية والمجدولة إلى الصيانة الاستباقية القائمة على الحالة (CBM).
- نظرية التعلم الإحصائي والبيانات غير المتزنة: ** الأسس الرياضية لتصنيف البيانات في ظل التفاوت الحاد بين الفئات (Class Imbalance).
- الذكاء الاصطناعي القابل للتفسير (Explainable AI): ** المبادئ التي تضمن عدم عمل الخوارزميات كـ"صناديق سوداء"، مما يسمح بترجمة الأوزان الخوارزمية إلى أسباب جذرية قابلة للفهم البشري.

المنهجية وطرق البحث

تعتمد الدراسة على المنهج الكمي التطبيقي (Applied Quantitative Methodology) باستخدام تقنيات علوم البيانات وتعلم الآلة الخاضع للإشراف (Supervised Machine Learning). ستشمل المنهجية مراحل هندسة الميزات، تنظيف البيانات، معالجة الاختلال الصنف، تدريب الخوارزميات المتقدمة، وتقييم أدائها في بيئة برمجية (مثل Python).

مجتمع وعينة الدراسة

يتكون مجتمع الدراسة من السجلات التشغيلية والتاريخية للمنشآت النفطية. ستشمل العينة مجموعات بيانات مستخرجة من بيئة صناعية فعلية أو قواعد بيانات الموثوقية الصناعية مفتوحة المصدر. تتضمن البيانات قراءات أنظمة المراقبة والتحكم (SCADA)، ومستشعرات إنترنت الأشياء (IoT)، وسجلات أنظمة إدارة الصيانة المحوسبة (CMMS) التي تغطي أداء المعدات الدوارة والحوادث المسجلة.

أداة الدراسة

تعتمد الدراسة على الأدوات البرمجية والتحليلية التالية:

- أدوات معالجة البيانات: ** خوارزمية (SMOTE) لإعادة التوازن الصنفي، ومعيار (ISO 14224) لتوحيد وتصنيف الميزات التشغيلية.
- النماذج الخوارزمية: ** (Random Forest, Support Vector Machine,) (XGBoost, LSTM).
- أدوات التفسير: مكتبات (SHAP) و (LIME) لتوضيح أسباب اتخاذ النموذج لقرارات التنبؤ.

أساليب التحليل الإحصائي

لتجاوز إشكالية مقياس الدقة المضلل في البيانات غير المتزنة، سيتم الاعتماد على المقاييس الإحصائية المتقدمة التالية لتقييم النماذج:

- درجة (F1 (F1-Score): التوازن التوافقي بين الدقة والاستدعاء.
- معدل الاستدعاء / الحساسية (Recall / Sensitivity): لقياس قدرة النموذج على تجنب السلبيات الخاطئة والتقاط الحوادث الفعلية.
- مصفوفة الارتباك (Confusion Matrix): لتحليل التوزيع التفصيلي للتوقعات.
- المساحة تحت المنحنى (ROC-AUC): لقياس قدرة النموذج على التمييز بين الحالات الآمنة والخطرة.

خامساً: حدود الدراسة

- الحدود الموضوعية: يقتصر البحث على تطوير وتقييم النماذج البرمجية التنبؤية، ولا يشمل الجوانب المتعلقة بتركيب أجهزة الاستشعار الفيزيائية (Hardware implementation).
- لحدود المكانية: البيانات التشغيلية المتعلقة بقطاع استخراج وتكرير النفط، مع التركيز على بيانات العمل عالية التعقيد.
- الحدود الزمانية: سيتم تنفيذ الدراسة خلال العام الأكاديمي 2026-2027.

المراجع

- معيار المنظمة الدولية للمعايير (ISO 14224:2016): جمع وتبادل بيانات الموثوقية والصيانة لمعدات الصناعات البترولية.
- تقارير السلامة الصادرة عن الرابطة الدولية لمنتجي النفط والغاز (IOGP).
- الأبحاث العلمية المحكمة في مجالات هندسة الموثوقية (Reliability Engineering) وتطبيقات التعلم الآلي (Machine Learning) في القطاع الصناعي.
- أدبيات وتقارير مبادرات التحول الرقمي والسلامة التنبؤية في كبرى شركات الطاقة (مثل تقارير الاستدامة لشركة أرامكو السعودية).