العدد الخامس ـ الجزء الاول ـ يناير ـ 2026 ـ السنة الثانية

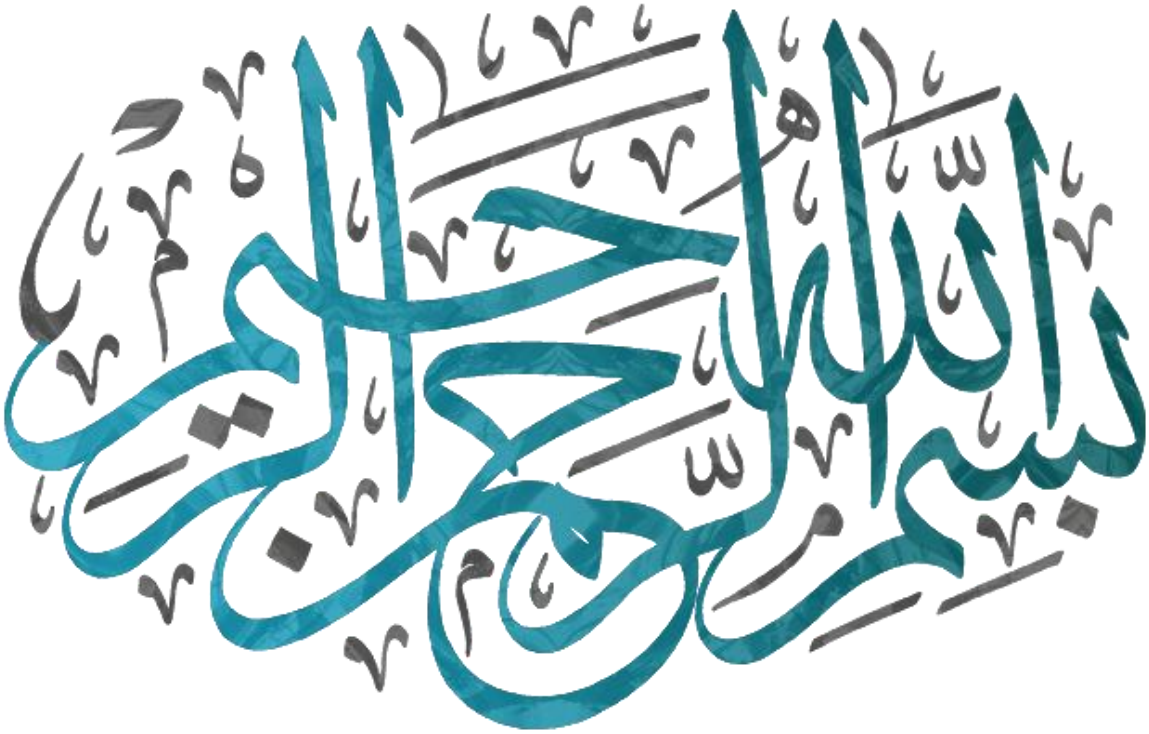
المجلة الأمريكية الدولية للعلوم التطبيقية والصرفة

تصدر عن الأكاديمية الأمريكية الدولية للتعليم العالي والتدريب

رقم الايداع في المكتبة الوطنية المغربية (2025PE0017)
النشر الالكتروني : issn (3085 - 4954)
النشر الورقي : (3085 - 4970)

رئيس التحرير
أ.د. نزهة الصبري

مجلة علمية محكمة فصلية


بسم الله الرحمن الرحيم

عنوان المجلة : المجلة الامريكية الدولية للعلوم التطبيقية والصرفة

الناشر: الاكاديمية الامريكية الدولية للتعليم العالي والتدريب – عنوان

3422 OLD CAPITOL TRL SET 700
CITY : WILMINGTON
ZIP CODE:19808
UNITED STATE – DELAWARE

هاتف : +13323226047

البريد الالكتروني : info@aiahet.us

الطبعة الاولى : 2025 – 1446

الايداع القانوني : 2025PE0017

الطبع : مطبعة الامنية – الرباط

الهاتف : 0537.72.48.39 - الفاكس : 0537.20.04.27

البريد الالكتروني : impoumina@yahoo.fr

رئيس التحرير- **أ.د.نزهة الصبري** – نائب رئيس الأكاديمية الامريكية الدولية للتعليم العالي والتدريب. المملكة المغربية

نائب رئيس التحرير **أ.د. حاتم جاسم الحسون، رئيس الاكاديمية الامريكية الدولية للتعليم العالي والتدريب. ولاية ديلاوير - الولايات المتحدة الامريكية**

مدير التحرير - **أ.د.نزهة الصبري** – نائب رئيس الأكاديمية الامريكية الدولية للتعليم العالي والتدريب. المملكة المغربية

نائب مدير التحرير(1) **أ.م.د. امنه محمد** شتيوي - استاذ مساعد قسم الصيدلة تخصص الكيمياء الفيزيائية الدوائية- تصميم الادوية - جامعة الشرق الاوسط- عمان – الاردن.

نائب مدير التحرير(2) **أ.د. هند عباس على الحمادي**-أستاذ بقسم اللغة العربية وعلومها- كلية التربية للبنات-جامعة بغداد، جمهورية العراق (مدقق اللغة العربية).

سكرتارية التحرير

1. أ . **محمد تايه محمد بخش**- وزارة التربية- المديرية العامة للتربية في محافظة النجف الاشرف – الاعداد والتدريب – جمهورية العراق.
2. **أ.سكينة ابراهيم الصبري** - الشؤون الإدارية - الأكاديمية الأمريكية الدولية للتعليم العالي والتدريب - امريكا.

أعضاء هيئة التحرير

1. **أ.د. خالد ستار القيسي** - عميد كلية الاعلام - الاكاديمية الامريكية الدولية للتعليم العالي والتدريب - امريكا. (المصمم).
2. **د. علي مولود ابراهيم** – نائب عميد المعهد الامريكي للدراسات البيولوجية والهندسية وابحاث علوم النانو تكنولوجي . (مدقق اللغة الانكليزية).
3. **أ. عقيل عدنان جيجان الخفاجي** - مدير تنفيذي في هيئة الاتصالات – جمهورية العراق . (المنضد).

أعضاء الهيئة العلمية

1. **أ.د.انعام نوري علي عود** - رئيس بيولوجيين أقدم – وزارة العلوم والتكنولوجيا – هيئة البحث العلمي – وزارة التعليم العالي والبحث العلمي – جمهورية العراق.
2. **أ.د.فراس رياض جميل** – التقانة الاحيائية– كلية العلوم التطبيقية – جامعة الفلوجة – جمهورية العراق.

3. أ.د. **نبيل محمد صالح العبيدي** - عميد كلية الدراسات العليا - الجامعة اليمنية - الجمهورية اليمنية.

4. أ.د. **وليد توفيق يونس محمد** - رئيس قسم تطبيقات الليزر معهد الليزر- جامعة القاهرة – محاضر بأكاديمية ناصر العسكرية - مصر.

5. أ.د.**عبد العزيز عبيد موسى** - قسم الفيزياء/ كلية العلوم/ جامعة بابل – جمهورية العراق .

6. أ.د. **ماجد خليف الكمر** – جامعة كربلاء – كلية التربية للعلوم الصرفة – قسم علوم الحياة – جمهورية العراق.

7. أ.د. **أشرف السيد بخيت محمد** – استاذ فيزياء جوامد – كلية التربية – جامعة عين شمس – مصر .

8. أ.د. **محمد سود العينين** – استاذ الرياضيات – المدرسة العليا للتكنولوجيا – سلا – جامعة محمد الخامس – الرباط – المملكة المغربية .

9. أ.د.**نادية حسين يونس العفون** – جامعة بغداد - كلية التربية للعلوم الصرفة ابن الهيثم - قسم علوم الحياة - العراق.

10. أ.د. **نجود فيصل يوسف حسن السراج** - جامعه بغداد - كليه التربية للعلوم الصرفة ابن الهيثم - قسم الكيمياء - مختبر الكيمياء الحياتيه. جمهورية العراق.

11. أ.د. **ناهدة بخيت حسن عطية حرث** - جامعة بابل - كلية العلوم- قسم الفيزياء– التخصص الدقيق - فيزياء الحالة الصلبة – جمهورية العراق.

12. أ.د. **نرجس هادي منصور** – قسم الكيمياء – كلية العلوم – جامعة كربلاء – جمهورية العراق.

13. أ.د.**رشيد اتوير** – تخصص فيزياء , كيمياء – المركز الجهوي لمهن التربية والتكوين – الرباط سلا القنيطرة – المملكة المغربية .

14. أ.د.**هناء حميد حداد** – قسم الكيمياء – كلية العلوم – جامعة البصرة – جمهورية العراق.

15. أ.د. **سليم عزارة حسين** – فيزياء الاغشية الرقيقة - كلية التربية – قسم الفيزياء – جامعة القادسية – العراق

16. أ.د. **جاسم حسن سالم العطبي** - طبيب عام - البصرة – العراق.

17. أ.د. **السيد عثمان عمر شعرون** - قسم الحاسوب - كلية التربية- جامعة الزاوية - التخصص- تنظيم حاسبات ليبيا .

18. أ.د./ **عبد السلام محمد احمد جعول الحجري** – استاذ دكتور في الكيمياء الحيوية - رئيس قسم الكيمياء / احياء – جامعة عدن - اليمن.

19. أ.م.د. **رغدان هاشم محسن** - عميد كلية الزراعة جامعة البصرة - رئيس مركز الابداع والابتكار العراقي في المنطقة الجنوبية – تخصص تقنات حياتية - جمهورية العراق.

20. أ.د. **حياة لغزيل** - المركز الجهوي لمهن التربية والتكوين فاس مكناس - التخصص: الكيمياء و ديداكتيكياتها- المملكة المغربية.

21. أ.د.**عبدالجاسم محيسن جاسم الجبوري** - مدير قسم الادلة الجنائية في كلية السلام الجامعة (الاهلية) .

22. أ.م.د .**أسو محمود رضا بكر**- استاذ فسيولوجيا تمارين العلاجية -- جامعة السليمانية - اقليم كردستان - جمهورية العراق.

23. .أ.م.د. **أحمد جمال الدين حسين بدوي** - أستاذ مساعد أمراض النساء والتوليد.- كلية الطب. جامعة 6 أكتوبر- مصر.

24. أ.م.د. **قاسم يحيى رحاوي** – رئيس قسم هندسة التعدين - كلية هندسة النفط والتعدين - جامعة الموصل – جمهورية العراق.

25. أ.م.د. **محمد حسن دخيل عباس الطائي** – وراثة جزيئية – كلية الطب البيطري – جامعة القاسم الخضراء – جمهورية العراق.

26. أ.م.د.**آرام نامق توفيق** - كلية العلوم - جامعة السليمانية - جمهورية العراق.

27. أ.م.د.هيثم كامل داود سلمان - جامعة الانبار - كلية الهندسة - قسم الهندسة الميكانيكيه - تخصص: علوم في الهندسة الميكانيكية - حراريات – جمهورية العراق.

28. **د.ايمان محمد مصطفى** – كلية الدراسات العليا لتكنولوجيا النانو – مدير معمل الطاقة الشمسية – جامعة القاهرة – مصر.

أعضاء الهيئة الاستشارية

1- أ.د.**عباس جاسم عطية** – قسم الكيمياء – كلية العلوم – جامعة بابل – العراق.

2- أ.د. **محمد علي عباس** – عضو الاكاديمية الامريكية الدولية للتعليم العالي والتدريب – امريكا.

3- أ.د. **رعد محمد صالح الحداد** – جامعة بغداد – كلية العلوم – قسم الفيزياء – العراق.

4- أ.د. **صادق عبد العزيز مهدي** - استاذ الرياضيات التطبيقية / تشفير البيانات - الجامعة المستنصرية - كلية التربية - قسم علوم الحاسوب - العراق.

5- أ.م.د. **مثنى عناد ماجد الشمري** - دكتوراه كيمياء حياتية سريرية/ نيوزيلندا. الجامعة المستنصرية – جمهورية العراق.

6- أ.د. **نورة محمد مستغفر** - أستاذ التعليم العالي مؤهل، المركز الجهوي لمهن التربية والتكوين، المملكة المغربية.

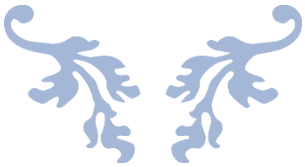
7- أ.م.د.**رشا السيد محمد أحمد** – معمل الحفازات – قسم التكرير – معهد بحوث البترول – مصر .

8- أ.م.د. **صفاء مصطفى حميد خميس الجنابي** – جامعة ساوة الاهلية –مساعد رئيس الجامعة للشؤون العلمية – محافظة المثنى – العراق.

9- أ.**اسامة مجيد ابراهيم** – هندسة برمجيات – وزارة الاتصالات – المعهد العالي للاتصالات والبريد – العراق.

10- م.د.**وفاء ناصر حسن الحسيني** – جامعة بن سينا للعلوم الطبية والصيدلانية – كلية الطب – العراق .

كلمة العدد



كلمة العدد: آفاق التنمية المستدامة في عصر الذكاء الاصطناعي.. شراكة معرفية عابرة للحدود

الحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على أشرف المرسلين، سيدنا محمد وعلى آله وصحبه أجمعين.

يسعدنا ويشرفنا أن نضع بين يدي القراء والباحثين والمهتمين بالمشهد الأكاديمي الدولي، الإصدار الخامس – الجزء الأول - من **المجلة الأمريكية الدولية للعلوم التطبيقية والصرفة** .ويأتي هذا العدد متميزاً في طياته ومضمونه، إذ يمثل ثمرة تعاون علمي وثيق وشراكة إستراتيجية رائدة بين **الأكاديمية الأمريكية الدولية للتعليم العالي والتدريب وأكاديمية الرشيد للتعليم المختلط**، متمثلة في نشر البحوث المتميزة والمشاركين في أعمال *المؤتمر العلمي الدولي الإفتراضي السابع*، والذي حظي برئاسة شرفية من الأستاذ الدكتور رشيد عباس الجزراوي، وإشراف علمي وتنسيق نخبة من قادة الفكر والأكاديميين في وطننا العربي والعالم .

لقد جاء هذا العدد متسقاً مع الرؤية الشاملة للمؤتمر التي حملت عنوان" **:إستخدام تكنولوجيا الذكاء الإصطناعي في التنمية: الواقع والحاجة للتجديد** ."وهي استجابة أكاديمية واعية ومسؤولة للتحولات التكنولوجية الكبرى التي يعيشها عالمنا اليوم، حيث لم يعد الذكاء الاصطناعي مجرد تقنيات عابرة، بل غدا محركاً رئيسياً لإعادة تشكيل النظم الاقتصادية، الإدارية، المحاسبية، القانونية والإنسانية، ورافعة أساسية من روافع التنمية الشاملة .

إن البحوث والدراسات التي يحتضنها هذا الإصدار الخامس - الجزء الأول - تمثل خلاصة فكرية وعلمية رصينة صاغتها عقول كوكبة من الخبراء والمتخصصين والباحثين من مختلف الجامعات والمؤسسات التعليمية الدولية .وقد تنوعت مقارباتها لتغطي محاور حيوية شملت سبل تعزيز التحول الرقمي، واستشراف مستقبل الإدارة والقانون والاقتصاد في ظل الثورة الرقمية، فضلاً عن تقديم حلول ونماذج عملية لتقليص الفجوة الرقمية بين المجتمعات .وخضعت جميع هذه النتاجات لتقييم وفحص دقيق من قِبل لجنة علمية دولية مشهود لها بالكفاءة والنزاهة لضمان مواكبتها لأعلى معايير الرصانة الأكاديمية .

إننا في هيئة تحرير المجلة، وفي الأكاديمية الأمريكية الدولية للتعليم العالي والتدريب، نؤمن يقيناً بأن الارتقاء بالبحث العلمي ومخرجاته لا يتحقق إلا عبر جسور التكامل والشراكة مع المؤسسات التعليمية الشقيقة؛ وفي مقدمتها أكاديمية الرشيد للتعليم المختلط .وإننا إذ نبارك للمشاركين نشر بحوثهم المتميزة، لنتقدم بخالص الشكر والتقدير لكل من ساهم في إنجاح هذا العمل العلمي المبارك، بدءاً من الهيئة الاستشارية والعلمية، واللجان التحضيرية، ووصولاً إلى الباحثين الأفاضل الذين أثروا هذا العدد بجهدهم المتميز .

ختاماً، نأمل أن يشكل هذا العدد رافداً علمياً متجدداً، وإضافة نوعية للمكتبة العربية والعالمية، وأن يفتح آفاقاً جديدة أمام الباحثين لمواصلة العطاء واستشراف معالم المستقبل التنموي.

والله ولي التوفيق والسداد،

فهرس الموضوعات

عقلنة التخطيط التنموي واستدامة التنمية في العراق دراسة مقارنة مع التجربة النرويجية,
ا.د. جاسم محمد علي الطحان / . أ.د. سهيلة عبد الزهرة مستور/. أ.م. د. شيماء رشيد محيسن.....10

قياس أثر تبني تقنيات الذكاء الاصطناعي في تعزيز التنمية المستدامة
دراسة تطبيقية في الصين للفترة (2000 - 2023)
أ.د شيماء محمد نجيب جميل.....24

الذكاء الاصطناعي والتحول نحو الحوكمة البيئية الرقمية: دراسة تنموية لحالة مصفاة الدورة النفطية في العراق
أ.د. نجم عبدالكاظم الربيعي /م.م. احمد عبد الزهرة الشرشاحي 43

التحول المالي الرقمي و أثره في تحركات أسعار الفائدة بالعراق للمدة (2012-2024)
أ.د. عبدالحسين جليل الغالبي /الباحثة رقية فاضل جمعه.....70

التخصيص المدعوم بالذكاء الاصطناعي ودوره في تحسين تجربة العملاء في البنوك
الإسلامية اليمنية: دراسة ميدانية
خولة علي محمد غالب/ خالد حسن علي الحريري.....92

أخلاقيات استخدام الذكاء الاصطناعي في التعليم الأساسي: دراسة تأصيلية في ضوء فلسفة التربية الحديثة
د. رؤى إبراهيم حسني الصلحات.....116

رؤية مقترحة لتعزيز الالتزام بالمعايير الأخلاقية لاستخدام الذكاء الاصطناعي في البحث العلمي في الجامعات الفلسطينية
من وجهة نظر أعضاء هيئة التدريس
د. صفاء عبد الله محمد بشارات.....133

اثر الدور التعديلي للذكاء الاصطناعي في تقلبات أسعار النفط
د. جمال محمد نجيب العبيدي 159

دور الذكاء الاصطناعي في تشكيل المستقبل –آليات التحول في المجالات الإدارية والمحاسبية وتحدياته
الدكتورة دانيا عدنان الحمود.....180

إشكالية الذات في مواجهة الذكاء الاصطناعي: دراسة فلسفية
م.م رشا إسماعيل داوي الكناني.....200

دور الذكاء الاصطناعي في تطوير قانون الشغل
فرح اصنيكح.....216

تحول المهن القانونية والوظائف القضائية في ظل الذكاء الاصطناعي: نحو نموذج العدالة الهجينة
محمد العربي الأنصاري.....237

الذكاء الاصطناعي والتحول نحو الحوكمة البيئية الرقمية: دراسة تنموية لحالة مصفاة الدورة النفطية في العراق

أ.د. نجم عبدالكاظم الربيعي

م.م. احمد عبد الزهرة الشرشاحي

كلية هندسة النفط والغاز، الجامعة التكنولوجية، بغداد – جمهورية العراق

uotechnology.edu.iq@100108

009647700485959

الملخص: تتناول هذه الدراسة الدور التحويلي للذكاء الاصطناعي في إعادة تصميم الحوكمة البيئية داخل قطاع التكرير النفطي من منظور تنموي. وترى أن التحول الرقمي لا يقتصر على كونه تحديثًا تقنيًا، بل يمثل آلية إصلاح مؤسسي واقتصادي تدعم مسارات التنمية المستدامة. وتتخذ الدراسة من مصفاة الدورة في بغداد نموذجًا لمصفاة حضرية تعمل ضمن إطار تنظيمي تقليدي قائم على الرصد الدوري والتقارير المتأخرة، مما يحد من الإدارة الاستباقية للمخاطر ويزيد من التعرض للمساءلة التنظيمية. تعتمد الدراسة منهجًا تحليليًا مؤسسيًا—مقارنًا، حيث تتم مقارنة حالة المصفاة بنماذج إقليمية ودولية دمجت الرصد اللحظي والتحليلات التنبؤية ضمن أطر حوكمة رقمية. وتُظهر النتائج أن التحدي الرئيس لا يتمثل في نقص التكنولوجيا، بل في فجوة حوكمة تتمثل في محدودية الجاهزية المؤسسية، وضعف الاعتراف القانوني بالأدلة الرقمية، ومحدودية توظيف آليات الإفصاح البيئي والاجتماعي والحوكمة. وتبيّن الدراسة أن الرصد المستمر المدعوم بالذكاء الاصطناعي، بما في ذلك التحليلات التنبؤية والذكاء القابل للتفسير، يسهم في خفض المخاطر التشغيلية والانبعاثات وتعزيز الكفاءة والثقة التنظيمية. كما يحقق التحول جدوى اقتصادية من خلال "تجنب التكاليف" عبر تقليل الغرامات والتوقفات غير المخطط لها، ويتطلب تنفيذًا مرحليًا يجمع بين الاستثمار التقني وبناء القدرات وتحديث الإطار القانوني.

الكلمات المفتاحية: الذكاء الاصطناعي، الحوكمة البيئية، الرصد الرقمي، تجنب التكاليف، دمج معايير الحوكمة

Artificial Intelligence and the Transition Toward Digital Environmental Governance: A Developmental Case Study of Dora Oil Refinery in Iraq

Najem A. Al–Rubaiey

Ahmed A. Al–Sharshahi

College of Petroleum and Gas Engineering, University of Technology, Baghdad – Republic of Iraq

Abstract:

This study examines the transformative role of artificial intelligence (AI) in redesigning environmental governance within the oil refining sector from a developmental perspective. It argues that digital transformation functions not merely as a technological upgrade, but as an institutional and economic reform mechanism that supports sustainable development. The Dora Oil Refinery in Baghdad is used as a case study of an urban refinery operating under a traditional regulatory model based on periodic monitoring and delayed reporting, which limits proactive risk management and increases regulatory exposure. Using an institutional–comparative analytical approach, the study benchmarks the Dora case against regional and international models that have integrated real-time monitoring and predictive analytics within digital governance frameworks. The findings indicate that the primary constraint is not technological scarcity, but a governance gap marked by limited institutional readiness, weak legal recognition of digital evidence, and insufficient integration of ESG mechanisms. The study demonstrates that AI-driven continuous monitoring, including predictive analytics and explainable AI (XAI), can reduce operational risks, lower emissions, enhance efficiency, and strengthen regulatory trust. Economically, the transition generates value through cost avoidance by reducing fines and unplanned downtime. Sustainable implementation requires phased reform integrating technology, institutional capacity, and legal modernization.

Keywords: Artificial Intelligence, Environmental Governance, Digital Monitoring, Cost Avoidance, ESG Integration

1- المقدمة

يشهد قطاع النفط والغاز تحولات هيكلية عميقة في طبيعة المخاطر والضغوط التنظيمية المحيطة به، ولا سيما في البيئات الحضرية التي تتداخل فيها الأبعاد التشغيلية مع الاعتبارات البيئية والاجتماعية والاقتصادية. فالمصافي الواقعة ضمن نسيج سكاني كثيف لم تعد تقاس فقط بمستوى إنتاجها أو كفاءتها التشغيلية، بل بقدرتها على إدارة المخاطر البيئية وتعزيز الشفافية وبناء الثقة التنظيمية. وفي هذا السياق، لم تعد إدارة الصحة والسلامة والبيئة (HSE) وظيفة تشغيلية معزولة، بل أصبحت جزءًا لا يتجزأ من منظومة الحوكمة المؤسسية، ومحددًا رئيسًا للشرعية التنظيمية والرخصة الاجتماعية للعمل. وعليه، فإن الحوادث الناتجة عن أعطال المعدات أو الأخطاء البشرية أو الانبعاثات غير المنضبطة لا تُعد مجرد إخفاقات تقنية، بل تتحول إلى مخاطر استراتيجية ذات آثار مالية وقانونية وتنظيمية ممتدة، تؤثر في سمعة المؤسسة، وجاذبية الاستثمار، واستدامة أدائها على المدى الطويل[1].

تقليديًا، اعتمدت المؤسسات الصناعية في هذا القطاع على نماذج امتثال تفاعلية تستند إلى الرصد الدوري اليدوي والتقارير المتأخرة، حيث يُدار الخطر بعد وقوعه بدل استباقه. ورغم أن هذه النماذج وفرت حدًا أدنى من الامتثال، فإنها تواجه قيودًا متزايدة في ظل تعقّد العمليات التشغيلية وتضخم حجم البيانات الناتجة عن الأنظمة الحديثة. إذ تعجز الأدوات التقليدية عن تحليل التدفقات البيانية الضخمة بصورة لحظية، ما يحد من قدرتها على التنبؤ بالمخاطر أو دعم قرارات وقائية مبنية على الأدلة. كما يخلق هذا النهج فجوة واضحة بين متطلبات الحوكمة الحديثة – القائمة على الشفافية والمساءلة والتدقيق المستمر – وبين أدوات الرقابة التقليدية التي تفتقر إلى الطابع التحليلي والاستباقي[2].

في ضوء هذه التحولات، يبرز الذكاء الاصطناعي بوصفه أداة لإعادة تصميم الحوكمة المؤسسية، وليس مجرد تقنية دعم تشغيلي. فدمج الرصد اللحظي، والتحليلات التنبؤية، والذكاء الاصطناعي القابل للتفسير (XAI) ضمن منظومات الصحة والسلامة والبيئة يمكّن المؤسسات من الانتقال من نموذج امتثال تفاعلي إلى نموذج حوكمة استباقي قائم على البيانات، يعزز قابلية التدقيق، ويقلل من عدم تماثل المعلومات بين المشغّل والجهة التنظيمية، ويدعم اتخاذ القرار الرشيد. ولا يقتصر أثر هذا التحول على تحسين مؤشرات السلامة التشغيلية، بل يمتد إلى إعادة هيكلة إدارة المخاطر المالية من خلال تقليل التوقفات غير المخطط لها، وخفض الغرامات البيئية، وتحسين كفاءة استخدام الموارد، بما يعكس منطق "تجنب التكاليف" في إدارة المخاطر الصناعية[3].

انطلاقًا من هذا المنظور، تسعى هذه الدراسة إلى تحليل الدور التنموي للذكاء الاصطناعي في إعادة تشكيل الحوكمة البيئية والاجتماعية والمؤسسية (الحوكمة– ESG) داخل قطاع التكرير، من خلال دراسة حالة مصفاة الدورة بوصفها نموذجًا لمؤسسة صناعية تعمل ضمن إطار تنظيمي تقليدي يواجه تحديات التحول الرقمي. وتركّز الورقة على ثلاثة محاور مترابطة: تقييم الجاهزية المؤسسية لاستيعاب أنظمة الذكاء الاصطناعي القابل للتفسير، وتحليل الإطار القانوني المنظم للرصد البيئي ومدى اعترافه بحجية البيانات اللحظية، واستكشاف الأثر الاقتصادي للتحول نحو الحوكمة الرقمية في سياق الاقتصادات الانتقالية. وبهذا تسعى

[1] Okeke, 2021; Barau, 2015; Constantinescu, 2021; Zatonatska, 2024; COSO, 2017; ISO, 2015.
[2] COSO, 2017; Etim, 2026; Shah, 2024; Mishra, 2025; Lyu, 2023; OECD, 2019
[3] COSO, 2017; Lyu, 2024; Rahman, 2023; Zhang, 2024; Aziza, 2023; Solanke, 2024; Jambol, 2024; Biswas, 2024; Chen, 2023

الدراسة إلى المساهمة في تطوير نموذج تحليلي يربط بين التكنولوجيا، والقانون، والحوكمة، والتنمية المستدامة، في قطاع يتسم بارتفاع المخاطر وتعقّد البيئة التنظيمية[1].

2- مراجعة الأدبيات

تشير الأدبيات المعاصرة إلى أن التحول نحو الرصد البيئي المدعوم بالذكاء الاصطناعي لم يعد مجرد تحسين تقني في أدوات القياس، بل أصبح إعادة تعريف لمنطق إدارة المخاطر البيئية في الصناعات كثيفة الانبعاثات. فقد أثبتت الدراسات التطبيقية أن دمج تعلم الآلة، التحليلات التنبؤية، وإنترنت الأشياء يعزز دقة الرصد ويُمكّن من الكشف المبكر عن الانحرافات البيئية قبل تحولها إلى مخالفات تنظيمية أو أزمات تشغيلية. كما بينت أبحاث التوأم الرقمي والتحليلات المكانية–الزمانية أن النماذج الذكية قادرة على تحديد مصادر الانبعاثات بدقة ومحاكاة سلوك الغازات في الزمن الحقيقي، مما يرسخ مفهوم "الإنذار المبكر" بدلًا من الاستجابة المتأخرة. غير أن القراءة النقدية تكشف أن معظم هذه الدراسات، رغم تقدمها التقني، تظل محصورة في نطاق الأداء الخوارزمي دون معالجة كافية لمسألة الاعتراف القانوني بمخرجات النماذج أو إدماجها ضمن أنظمة إنفاذ رسمية، ما يخلق فجوة بين القدرة التحليلية والتفعيل المؤسسي[2].

في مجال الصحة والسلامة والبيئة، انتقلت الأدبيات من التركيز على مؤشرات الحوادث المتأخرة إلى تحليل المؤشرات القيادية باستخدام تقنيات معالجة اللغة الطبيعية وتحليل البيانات غير المهيكلة. وقد أظهرت هذه الدراسات أن الذكاء الاصطناعي يعزز الطابع الوقائي للسلامة التشغيلية ويقلل احتمالية الحوادث عبر التنبؤ بالمخاطر الكامنة. إلا أن معظمها ذو طابع مراجعي أو تجريبي محدود النطاق، ولا يختبر التكامل المؤسسي طويل الأمد بين الرصد التنبؤي والامتثال التنظيمي الرسمي، كما لا يعالج التحديات المرتبطة بالتفسيرية والشفافية الخوارزمية بشكل مؤسسي كامل[3].

أما الأدبيات القانونية والمؤسسية فقد ركزت على تحليل فجوة "التشريع مقابل التنفيذ"، خاصة في الدول النامية المنتجة للنفط. وتبين هذه الدراسات أن المشكلة لا تكمن في غياب النصوص القانونية، بل في ضعف القدرات المؤسسية، محدودية الموارد، وتجزؤ المسؤوليات الرقابية. كما كشفت دراسات الحوكمة عن ارتباط الإفصاح البيئي بالقيمة السوقية للشركات، إلا أن هذا الارتباط يعتمد غالبًا على بيانات إفصاح ثانوية لا تعكس بالضرورة الأداء البيئي الفعلي. ومن منظور نقدي، فإن هذه الأدبيات تفتقر إلى أدوات قياس رقمية لحظية قادرة على اختبار الامتثال التشغيلي في الزمن الحقيقي، مما يجعلها غير قادرة على سد فجوة التنفيذ المؤسسي عبر التكنولوجيا[4].

في موازاة ذلك، تطورت أدبيات حوكمة الذكاء الاصطناعي والامتثال الرقمي لتقدم أطرًا متعددة المستويات لإدارة دورة حياة النماذج، وتعزيز الشفافية الخوارزمية، وتفعيل مفهوم الامتثال كقانون (Compliance-as-Code). وقد أثبتت بعض

[1] (OECD, 2019; Al-Saadi, 2024; Rahman, 2023; Dhali, 2023; Abdalla, 2013; Onoja, 2021; European Commission, 2019; United Nations, 2015; World Bank, 2023)
[2] Mishra, 2025; Lyu, 2023; OECD, 2019; Al-Saadi, 2024; Rahman, 2023; Zhang, 2024; Dhali, 2023; Zhou, 2025; Alqahtani, 2024
[3] Shah, 2024; OECD, 2019; Al-Saadi, 2024; Rahman, 2023; Zhang, 2024; Orhuebor, 2026; Iriogbe, 2024; Sofoluwe, 2024
[4] Barau, 2015; Constantinescu, 2021; Zatonatska, 2024; Dhali, 2023; Abdalla, 2013; World Bank, 2023; Olanrewaju, 2024

الدراسات أن تبني أنظمة الامتثال المدعومة بالذكاء الاصطناعي يقلل المخاطر التنظيمية ويحسن كفاءة الحوكمة المؤسسية. إلا أن هذه الأدبيات تبقى متعددة القطاعات وغير مخصصة لقطاع النفط والغاز، كما أنها لا تقدم نموذجًا تشغيليًا يدمج الرصد البيئي اللحظي مع الاعتراف القانوني بالأدلة الرقمية في سياق صناعي عالي المخاطر[1].

من جهة أخرى، دعمت الدراسات الاقتصادية والقياسية فكرة أن التحول الرقمي يرتبط بتحسن الأداء البيئي والمالي في قطاع الطاقة. كما أعادت أبحاث الإنتاجية إحياء مفهوم "الامتثال المنتج"، الذي يرى أن التشريعات البيئية قد تحفز الابتكار وترفع الكفاءة بدل أن تعيقها. غير أن هذه الأدبيات تعمل غالبًا على مستوى كلي وتعتمد بيانات مجمعة، دون اختبار مباشر لأثر الرصد التنبؤي داخل منشأة صناعية محددة، كما أنها لا تطور نموذجًا شبه كمي يربط بين تقليل احتمالية المخاطر وخفض التكاليف التنظيمية الفعلية مثل الغرامات أو التوقفات غير المخططة[2].

وعند تركيب هذه المسارات المعرفية مجتمعة، يتضح أن الأدبيات الحالية تنقسم إلى أربعة اتجاهات مترابطة: اتجاه تقني يطور أدوات الرصد الذكي، اتجاه تشغيلي يعزز إدارة المخاطر، اتجاه قانوني—مؤسسي يحلل فجوات التنفيذ، واتجاه اقتصادي يختبر أثر الحوكمة والرقمنة على القيمة المؤسسية. غير أن هذه الاتجاهات لم تُدمج بعد ضمن إطار تكاملي يعالج الرصد البيئي المدعوم بالذكاء الاصطناعي باعتباره أداة حوكمة مؤسسية شاملة تتفاعل فيها التكنولوجيا مع القانون والمؤسسة والاقتصاد في آنٍ واحد[3].

على الرغم من التطور الملحوظ في الأدبيات التي تناولت تطبيقات الذكاء الاصطناعي في الرصد البيئي، وإدارة المخاطر التشغيلية، وتحسين مؤشرات الأداء في قطاع النفط والغاز، إلا أن هذه الدراسات اتسمت بتركيزها على أبعاد منفصلة دون تطوير إطار تكاملي يربط بين البعد التقني والبعد المؤسسي والقانوني ضمن منظومة حوكمية موحدة. ففي حين ركزت الدراسات التقنية على تحسين دقة الرصد والتحليل التنبؤي، وانشغلت الأدبيات القانونية بتحليل أطر الامتثال والتنظيم، واهتمت دراسات الحوكمة البيئية والاجتماعية والمؤسسية بقياس أثر الإفصاح على الأداء المؤسسي، فإن القليل منها تناول التفاعل البنيوي بين هذه الأبعاد داخل سياق صناعي عالي المخاطر.

وعليه، تبرز فجوة معرفية واضحة تتمثل في غياب نموذج تحليلي يدمج بين الذكاء الاصطناعي، والحوكمة البيئية، والاعتراف القانوني بالبيانات الرقمية، ضمن إطار تطبيقي يعكس واقع المصافي الحضرية في الاقتصادات الانتقالية. ومن هذا المنطلق، تسعى هذه الدراسة إلى سد هذه الفجوة من خلال تطوير إطار تكاملي يربط بين التكنولوجيا، والمؤسسة، والقانون، والأثر الاقتصادي، بما يعزز فهم التحول نحو الحوكمة البيئية الرقمية كعملية مؤسسية ذات بعد تنموي شامل.

3– الفجوة البحثية

استنادًا إلى التحليل النقدي للأدبيات السابقة، يتضح أن التوسع في تطبيقات الذكاء الاصطناعي في قطاع النفط والغاز لم يُرافقه تطور مماثل في الأطر الحوكميّة والمؤسسية المنظمة لهذه التطبيقات؛ إذ ركزت غالبية الدراسات على الأبعاد التقنية والتشغيلية—كالصيانة التنبؤية، وتحسين الإنتاج، والرصد البيئي الذكي—دون تطوير إطار نظري متكامل يربط هذه التطبيقات

[1] OECD, 2019; Zhang, 2024; Aziza, 2023; Solanke, 2024; Onoja, 2021; European Commission, 2019; Bhat, 2024; Mbonigaba, 2025; Pasam, 2024
[2] Constantinescu, 2021; Biswas, 2024; Guo, 2025; Song, 2025; Işık, 2025; Berman, 1998
[3] Constantinescu, 2021; Shah, 2024; Lyu, 2023; Al-Saadi, 2024; Zhang, 2024; Dhali, 2023; United Nations, 2015; Guo, 2025

بالبنية الحوكميّة والتنظيمية للمؤسسة الصناعية، وبالاعتراف القانوني بالأدلة الرقمية ضمن منظومات الإنفاذ الرسمية. كما أن بحوث الصحة والسلامة والبيئة اعتمدت مقاربات هندسية تركز على الامتثال الفني دون دمج منظم لحوكمة البيانات والمساءلة الخوارزمية وتقليص عدم تماثل المعلومات بين المشغّل والمنظم، في حين انصرفت أدبيات حوكمة الذكاء الاصطناعي إلى قطاعات التمويل والخدمات الرقمية، تاركة القطاع الاستخراجي خارج التحليل المؤسسي المقارن بصورة كافية. ومن جهة أخرى، توسعت أدبيات الحوكمة في تحليل أثر الإفصاح على الأداء المالي، لكنها نادرًا ما عالجت التكامل البنيوي بين أنظمة الرصد اللحظي المدعومة بالذكاء الاصطناعي وآليات الإفصاح المؤسسي في الصناعات عالية المخاطر، كما يغيب نموذج تحليلي يقيس نضج الحوكمة الرقمية في المصافي الحضرية ضمن الاقتصادات الانتقالية ويربطه بالأبعاد القانونية والتنظيمية. كذلك، وعلى الرغم من تداول مفهوم "تجنب التكاليف" في أدبيات الابتكار وإدارة المخاطر، لم يُطبَّق ضمن إطار سببي يدمج التحليل القانوني والمؤسسي والاقتصادي لبيان كيف تُعيد التحليلات التنبؤية هيكلة ملف المخاطر التنظيمية وتعزز القيمة المؤسسية. انطلاقًا من هذه الفجوات، تطوّر هذه الدراسة إطارًا تكامليًا يجمع بين حوكمة الذكاء الاصطناعي، والاعتراف القانوني بالبيانات الرقمية، وتقييم نضج الحوكمة الرقمية، ومنطق إدارة المخاطر المؤسسية في حالة مصفاة حضرية باقتصاد انتقالي، ناقلةً النقاش من تطبيقات تقنية متفرقة إلى إعادة تصميم الحوكمة البيئية كآلية مؤسسية ذات بعد تنموي مستدام. وبناءً على ذلك، يعتمد هذا البحث منهجًا تحليليًا—مؤسسيًا لتجاوز هذا القصور من خلال دمج التحليل القانوني والمؤسسي والاقتصادي ضمن إطار واحد[1].

4– الإطار النظري

يرتكز هذا البحث على تقاطع ثلاث مقاربات نظرية مترابطة: حوكمة المخاطر المؤسسية، والتحول الرقمي المؤسسي، ومنظور التنمية المستدامة في الصناعات عالية الخطورة. وينطلق من فرضية مركزية مفادها أن الذكاء الاصطناعي لا ينبغي النظر إليه كأداة تقنية مستقلة، بل كآلية لإعادة تشكيل البنية الحوكميّة وإعادة هندسة إدارة المخاطر داخل المؤسسات الصناعية، بما يعزز الكفاءة التنظيمية والاستدامة طويلة الأجل[2].

أولًا، من منظور حوكمة المخاطر المؤسسية (Enterprise Risk Governance)، تُفهم إدارة الصحة والسلامة والبيئة بوصفها جزءًا من نظام رقابة استراتيجية يؤثر مباشرة في الأداء المالي والسمعة المؤسسية والامتثال التنظيمي. فالمخاطر البيئية والتشغيلية لم تعد أحداثًا معزولة، بل عناصر مدمجة في هيكل المخاطر الكلي للمؤسسة. وتشير الأدبيات الحديثة إلى أن الانتقال من نماذج الإدارة التفاعلية القائمة على الاستجابة بعد وقوع الحدث إلى نماذج استباقية مدفوعة بالبيانات يمثل تحولًا نوعيًا في إدارة المخاطر، إذ يتيح الكشف المبكر عن الانحرافات، وتقليل احتمالية الأزمات التشغيلية ذات الكلفة العالية. وفي هذا السياق، يتحول الذكاء الاصطناعي إلى أداة استشرافية تعزز القدرة المؤسسية على توقع المخاطر وإدارتها قبل أن تتحول إلى أعباء مالية أو تنظيمية[3].

[1] COSO, 2017; Al-Saadi, 2024; Rahman, 2023; Zhang, 2024; Aziza, 2023; Solanke, 2024; Jambol, 2024; Onoja, 2021; Bhat, 2024; Guo, 2025; Berman, 1998; Daramola, 2024; Ilori, 2024

[2] Okeke, 2021; Constantinescu, 2021; COSO, 2017; OECD, 2019; Al-Saadi, 2024; United Nations, 2015; Guo, 2025; Işık, 2025

[3] COSO, 2017; Shah, 2024; Lyu, 2023; Al-Saadi, 2024; Zhang, 2024; Jambol, 2024; Berman, 1998

ثانيًا، يرتبط التحليل بإطار التحول الرقمي المؤسسي الذي يؤكد أن القيمة الاستراتيجية للتكنولوجيا تتحقق عندما تُدمج ضمن بنية تنظيمية وقانونية قادرة على استيعابها. فالتقنيات الرقمية، مثل أنظمة الرصد اللحظي والتحليلات التنبؤية، تسهم في تقليل عدم تماثل المعلومات بين الإدارة والجهات الرقابية، وتعزز الشفافية وقابلية التدقيق، وهما عنصران أساسيان في الحوكمة الرشيدة. غير أن هذه الفاعلية مشروطة بوجود جاهزية مؤسسية تشمل تطوير الكفاءات البشرية، وبناء أطر حوكمة بيانات واضحة، وضمان الاعتراف القانوني بالأدلة الرقمية. وبدون هذا التكامل، قد تتحول الأنظمة الخوارزمية إلى "صناديق سوداء" تقوض المساءلة بدل أن تعززها. وعليه، فإن التحول الرقمي يُفهم هنا بوصفه إعادة تنظيم مؤسسية، لا مجرد تحديث تقني[1].

ثالثًا، يستند البحث إلى منظور التنمية المستدامة الذي يربط بين الأداء البيئي والكفاءة الاقتصادية والمسؤولية الاجتماعية ضمن إطار متكامل. ففي الصناعات الاستخراجية وعمليات التكرير الحضري، لا يُقاس النجاح فقط بحجم الإنتاج، بل بقدرة المؤسسة على تحقيق توازن بين العائد الاقتصادي وحماية البيئة وضمان السلامة العامة. وفي هذا السياق، يبرز مفهوم "تجنب التكاليف" (Cost Avoidance) كآلية تفسيرية توضح كيف يمكن للاستثمار في الحوكمة الرقمية أن يقلل من الغرامات البيئية، ويحد من التوقفات غير المخطط لها، ويحسن كفاءة استخدام الموارد، مما يعزز الاستدامة المالية ويقلل التعرض للمخاطر بعيدة المدى[2].

كما يتقاطع هذا الإطار مع أدبيات الامتثال التنظيمي القائم على البيانات، التي ترى أن فعالية الأنظمة الرقابية تتعزز عندما تنتقل من التفتيش الدوري إلى الإشراف المستمر المدعوم بالتحليلات الرقمية. فدمج الذكاء الاصطناعي ضمن منظومة الرقابة يحول وظيفة الرصد من أداة امتثال شكلي إلى أداة حوكمة وقائية تدعم صنع القرار الاستراتيجي، وتحد من المخاطر القانونية والتنظيمية، وتعزز الثقة المؤسسية[3].

انطلاقًا من هذا البناء النظري، يفترض البحث أن التحول نحو الحوكمة البيئية الرقمية في قطاع التكرير يتطلب تكاملًا بين التكنولوجيا، والجاهزية المؤسسية، والإصلاح التشريعي. ويُفهم الذكاء الاصطناعي هنا بوصفه وسيطًا تنظيميًا يعيد تشكيل العلاقة بين المؤسسة والجهة الرقابية والمجتمع، عبر تقليل عدم تماثل المعلومات، وتحسين إدارة المخاطر، ودعم مسارات التنمية المستدامة في البيئات الصناعية الحضرية[4].

وتتمثل القيمة المضافة لهذه الدراسة في تطوير إطار تحليلي تكاملي يربط بين الرصد البيئي المدعوم بالذكاء الاصطناعي، والاعتراف القانوني بالأدلة الرقمية، ومنطق الجدوى الاقتصادية في إدارة المخاطر، ضمن منظور الحوكمة المؤسسية في الاقتصادات

[1] OECD, 2019; Rahman, 2023; Zhang, 2024; Onoja, 2021; European Commission, 2019; World Bank, 2023; Guo, 2025; Song, 2025; Ilori, 2024

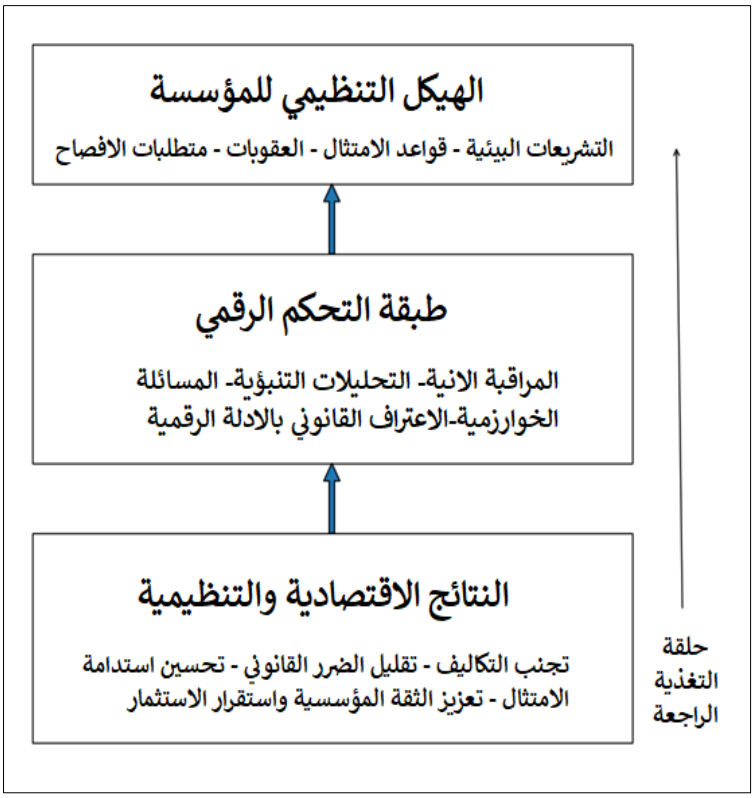
[2] Okeke, 2021; Barau, 2015; Constantinescu, 2021; Zatonatska, 2024; Al-Saadi, 2024; Biswas, 2024; United Nations, 2015; Işık, 2025; Berman, 1998

[3] COSO, 2017; OECD, 2019; Al-Saadi, 2024; Zhang, 2024; Aziza, 2023; Solanke, 2024; European Commission, 2019; Mbonigaba, 2025; Pasam, 2024

[4] COSO, 2017; OECD, 2019; Al-Saadi, 2024; Zhang, 2024; Dhali, 2023; Onoja, 2021; United Nations, 2015; World Bank, 2023; Guo, 2025

الانتقالية. وبذلك، تسعى الدراسة إلى سد فجوة قائمة في الأدبيات التي تناولت هذه الأبعاد بصورة مجزأة دون دمجها في نموذج تحليلي موحد[1].

يركز البحث على الذكاء الاصطناعي باعتباره عاملًا محوريًا في إعادة هيكلة آليات الحوكمة المؤسسية وإعادة تصميم نظم إدارة المخاطر، بحيث يصبح جزءًا من عملية صنع القرار الاستراتيجي وليس مجرد أداة تنفيذية. من خلال هذا الدور، يمكن للذكاء الاصطناعي تحسين توقع المخاطر البيئية والتشغيلية، تعزيز الشفافية المؤسسية، وتقوية الروابط بين الامتثال التنظيمي والأداء الاقتصادي، مع دعم مسارات التنمية المستدامة في الصناعات عالية الخطورة .الشكل (1) يوضح الهيكل الهرمي للرقابة الرقمية والتنظيمية كمكوّن بصري داعم للإطار النظري، مبينًا كيفية تفاعل الأطر التنظيمية مع الحوكمة الرقمية والنتائج الاقتصادية، مع وجود حلقة تغذية راجعة لتعزيز التطوير المستمر للسياسات[2].



شكل (1): هيكل الحوكمة الرقمية والتنظيمية وتأثيره على النتائج الاقتصادية والتنظيمية. (المصدر: إعداد الباحث استنادًا إلى الإطار النظري والدراسات ذات الصلة)

5– منهجية البحث

تعتمد هذه الدراسة منهجًا نوعيًا تحليليًا قائمًا على دراسة الحالة (Case Study Approach)، مدعومًا بتحليل مؤسسي ومقارن، بهدف استكشاف الدور الحوكمي للذكاء الاصطناعي في إعادة تشكيل منظومة إدارة الصحة والسلامة والبيئة داخل قطاع التكرير. ويأتي اختيار مصفاة نفط الدورة في بغداد بوصفها حالة تطبيقية تمثل مصفاة حضرية تعمل ضمن إطار

[1] COSO, 2017; Al-Saadi, 2024; Rahman, 2023; Zhang, 2024; Dhali, 2023; United Nations, 2015; World Bank, 2023; Guo, 2025; Berman, 1998

[2] Constantinescu, 2021; COSO, 2017; OECD, 2019; Al-Saadi, 2024; Rahman, 2023; Zhang, 2024; United Nations, 2015; Işık, 2025; Guo, 2025

تنظيمي تقليدي يسبق التحول الرقمي المتسارع، ما يجعلها نموذجًا مناسبًا لتحليل فجوة الحوكمة بين الإمكانات التقنية المتاحة والبنية المؤسسية والقانونية الداعمة لها. ويستند هذا الاختيار إلى منطق "الحالة الحرجة" (Critical Case) التي تسمح باختبار الفرضيات النظرية في بيئة تتسم بارتفاع المخاطر وتعقّد السياق التنظيمي[1].

وعلى الرغم من اعتماد الدراسة على منهج نوعي قائم على تحليل الحالة، فإنها تدمج إطارًا تحليليًا شبه كمي لتعزيز الصرامة التحليلية. ويتمثل ذلك في استخدام مؤشرات أداء مرجعية (KPIs) ونماذج تحليل الفجوة الرقمية، إضافة إلى توظيف منهج القيمة المتوقعة للمخاطر لتقدير الأثر الاقتصادي للتحول الرقمي. ويسمح هذا الدمج بترجمة النتائج النوعية إلى مؤشرات تحليلية قابلة للتفسير الكمي الاتجاهي، دون الادعاء بوجود قياس تجريبي مباشر.

يرتكز التحليل على ثلاثة مستويات مترابطة ومتكاملة. يتمثل المستوى الأول في التحليل المؤسسي–القانوني، حيث تم فحص نموذج الامتثال القائم في المصفاة من خلال مراجعة الوثائق التنظيمية والتشريعات الوطنية ذات الصلة، وعلى رأسها قانون حماية وتحسين البيئة العراقي رقم (27) لسنة 2009، بهدف تقييم مدى استيعاب الإطار القانوني لمخرجات الرصد الرقمي والبيانات اللحظية، ومدى وضوح حجيتها كأدلة تنظيمية قابلة للتدقيق. ويسعى هذا المستوى إلى تحديد الفجوة بين النص التشريعي التقليدي ومتطلبات الحوكمة الرقمية القائمة على البيانات[2].

أما المستوى الثاني فيتمثل في التحليل المقارن المؤسسي، من خلال مقارنة حالة مصفاة الدورة بنماذج إقليمية ودولية اعتمدت أنظمة رصد مستمر وتحليلات تنبؤية ضمن منظومات حوكمة رقمية متكاملة. وتركّز المقارنة على الأبعاد المؤسسية والتنظيمية، مثل جاهزية حوكمة البيانات، وآليات المساءلة، ودمج مؤشرات الحوكمة، وليس فقط على الجوانب التقنية. ويهدف هذا المسار إلى استخلاص عناصر النجاح القابلة للتكييف مع السياق المحلي، مع مراعاة خصوصية البيئة التنظيمية في الاقتصادات الانتقالية[3].

ويأتي المستوى الثالث في إطار التحليل الاقتصادي–الحوكمي، الذي يقيم أثر التحول نحو الرصد المدعوم بالذكاء الاصطناعي من منظور إدارة المخاطر المالية. ويرتكز التحليل على مفهوم "تجنب التكاليف" (Cost Avoidance) باعتباره آلية تفسيرية توضح كيف يمكن للتحول الرقمي أن يقلل من الغرامات التنظيمية، ويحد من التوقفات غير المخطط لها، ويحسن كفاءة استخدام الموارد. ويعتمد هذا المستوى على بناء منطق سببي يربط بين تقليل عدم تماثل المعلومات، وتحسين الكشف المبكر عن الانحرافات، وانخفاض التعرض للمخاطر القانونية والمالية[4].

تعتمد الدراسة على مصادر بيانات ثانوية تشمل الأدبيات الأكاديمية الحديثة في مجالات الحوكمة الرقمية وإدارة المخاطر، وتقارير الاستدامة المؤسسية للشركات المقارنة، والاستراتيجيات الوطنية للتحول الرقمي في بعض الدول، إضافة إلى النصوص التشريعية والتنظيمية ذات الصلة. وقد تم تحليل هذه المصادر باستخدام أسلوب التحليل الموضوعي (Thematic Analysis)

[1] COSO, 2017; Al-Saadi, 2024; Dhali, 2023; Abdalla, 2013; Onoja, 2021; United Nations, 2015; World Bank, 2023
[2] (Barau, 2015; Zhang, 2024; Onorato, 2001)
[3] (Zatonatska, 2024; Lyu, 2023; Onoja, 2021; European Commission, 2019; Olanrewaju, 2024; Guo, 2025)
[4] (Constantinescu, 2021; Biswas, 2024; Işık, 2025; Berman, 1998)

لاستخلاص الأنماط المتكررة المرتبطة بالجاهزية المؤسسية، وحوكمة البيانات، والاعتراف القانوني بالأدلة الرقمية، والعوائد الاقتصادية للتحول الرقمي[1].

ولتعزيز الاتساق المنهجي، تم اعتماد إطار تحليلي ثلاثي الأبعاد يدمج بين:

1. البعد القانوني (الاعتراف التشريعي وحجية البيانات الرقمية)،
2. البعد المؤسسي (الجاهزية التنظيمية وقدرات الكادر وحوكمة البيانات)،
3. البعد الاقتصادي (إدارة المخاطر وتعظيم الكفاءة وتقليل التعرض المالي).

ويسمح هذا الإطار بتقييم التحول نحو الحوكمة البيئية الرقمية بوصفه عملية متعددة المستويات تتجاوز حدود التحديث التقني إلى إعادة تصميم العلاقة بين التكنولوجيا والتنظيم والإدارة العامة[2].

وتقر الدراسة بحدودها المنهجية، إذ تعتمد على تحليل نوعي لحالة واحدة دون إجراء مسوح ميدانية أو الاستعانة ببيانات تشغيلية مباشرة، مما يجعل نتائجها تفسيرية وليست تعميمية. كما تعتمد الدراسة على بيانات ثانوية وتحليل نوعي مدعوم بإطارات شبه كمية، وهو ما يمنح النتائج طابعًا تحليليًا وتفسيريًا أكثر من كونها نتائج تجريبية قابلة للتعميم الإحصائي. وعلى الرغم من ذلك، فإن استخدام النماذج المرجعية ومؤشرات الأداء يعزز من القيمة التحليلية للدراسة، ويوفر أساسًا منهجيًا لتطوير دراسات مستقبلية قائمة على بيانات تشغيلية مباشرة. كما أن اعتماد المقارنة المؤسسية والإسناد إلى أطر نظرية راسخة يسهم في تعزيز القوة التفسيرية للاستنتاجات، ويجعلها قابلة للاختبار في سياقات صناعية مماثلة، خاصة في الاقتصادات الانتقالية التي تسعى إلى مواءمة التحول الرقمي مع متطلبات التنمية المستدامة وإصلاح الحوكمة البيئية. وفي هذا السياق، تم إعداد جميع الجداول والأشكال الواردة في هذه الدراسة بالاعتماد على توليف الأدبيات والنمذجة التحليلية المقارنة[3].

6– دراسة الحالة: التحول الحوكمي والرقابي في مصفاة الدورة النفطي– بغداد

تمثل مصفاة الدورة في بغداد حالة نموذجية لفهم التحديات المركبة التي تواجه المصافي الحضرية في الاقتصادات الانتقالية، حيث تتقاطع اعتبارات الكفاءة التشغيلية مع حساسية الموقع الجغرافي داخل بيئة سكانية كثيفة. وفي هذا السياق، لا تُختزل المخاطر في حدود العمليات الفنية أو كفاءة الإنتاج، بل تمتد إلى أبعاد تنظيمية واجتماعية واقتصادية تمس الثقة المؤسسية والرخصة الاجتماعية للعمل. فكل انحراف بيئي أو حادث تشغيلي لا يُقرأ بوصفه إخفاقًا تقنيًا فحسب، بل باعتباره مؤشرًا على قدرة المؤسسة على الامتثال وإدارة المخاطر ضمن بيئة تنظيمية تتسم بارتفاع مستوى التدقيق المجتمعي[4].

تعكس البنية التحتية الموروثة للمصفاة، والاعتماد التاريخي على الرصد الدوري اليدوي والتقارير الورقية المتأخرة، نموذج امتثال تفاعلي يقوم على الاستجابة بعد وقوع الحدث بدل إدارته بصورة استباقية. وضمن هذا النموذج، تُعالج الانبعاثات الهوائية أو تقلبات جودة مياه الصرف أو حوادث فقدان الاحتواء باعتبارها حالات منفصلة، لا كجزء من منظومة مخاطرة مؤسسية

[1] (Rahman, 2023; Dhali, 2023; Guo, 2025)
[2] (Ilori, 2024)
[3] (World Bank, 2023; Guo, 2025)
[4] (Okeke, 2021; Barau, 2015; Constantinescu, 2021; Zatonatska, 2024; COSO, 2017; United Nations, 2015; World Bank, 2023)

مترابطة. ويؤدي ذلك إلى بقاء فجوة بين مستوى المعلومات المتاحة لحظيًا داخل العمليات التشغيلية، ومستوى المعلومات المقدمة للجهات التنظيمية، بما يعزز عدم تماثل المعلومات ويضعف القدرة على إدارة المخاطر بصورة وقائية[1].

يكشف التحليل المقارن مع نماذج حضرية متقدمة، مثل مصفاة شيفرون ريتشموند– كالفورنيا في الولايات المتحدة، أن الانتقال إلى الرصد المستمر المدعوم بالذكاء الاصطناعي أعاد تعريف وظيفة الرقابة البيئية من آلية امتثال شكلي إلى أداة حوكمة وقائية متكاملة. ففي تلك التجارب، لم يكن التحول مجرد تركيب حساسات إضافية، بل شمل بناء منصات بيانات موحدة، ودمج التحليلات التنبؤية في دورة اتخاذ القرار، وتفعيل آليات إفصاح رقمي تقلص الفجوة المعلوماتية بين المشغل والمنظم والمجتمع المحلي. ونتج عن ذلك ارتفاع قابلية تدقيق البيانات، وتعزيز المساءلة، وتقليل احتمالية النزاعات التنظيمية[2].

وعلى المستوى الإقليمي، تقدم تجربة أرامكو السعودية في المملكة العربية السعودية نموذجًا لدمج الذكاء الاصطناعي والبيانات الضخمة ضمن منظومة الصحة والسلامة والبيئة مؤسسية متكاملة، حيث تم الانتقال من التقارير المتأخرة إلى منصات تحليل لحظية تدعم الإنذار المبكر وإدارة المخاطر وتحسين مؤشرات الأداء البيئي القابلة للقياس. وتبرز في هذه الحالة العلاقة الوثيقة بين الرقمنة والحوكمة، حيث تُستخدم البيانات كأداة لتقليل المخاطر وتحسين كفاءة تخصيص الموارد، وليس فقط كوسيلة توثيق[3].

في ضوء هذه المقارنات، يمكن قراءة حالة مصفاة الدورة في العراق بوصفها فرصة تحول حوكمي أكثر من كونها تحديًا تقنيًا بحتًا. فالتقنيات اللازمة للرصد اللحظي والتحليل التنبؤي متاحة تجاريًا، غير أن فعاليتها تعتمد على مواءمتها مع إطار قانوني يعترف بحجية الأدلة الرقمية، وبنية مؤسسية قادرة على استيعاب تدفقات البيانات وتحويلها إلى قرارات تشغيلية وتنظيمية ذات أثر فعلي. إن جوهر التحول لا يكمن في تحديث المعدات فقط، بل في إعادة تصميم دورة اتخاذ القرار بحيث يصبح الكشف المبكر عن الانحرافات جزءًا مدمجًا في منظومة إدارة المخاطر المؤسسية، لا إجراءً استثنائيًا بعد وقوع المخالفة[4].

يُظهر التحول المفاهيمي من نموذج الامتثال التفاعلي إلى نموذج الحوكمة الرقمية المدعومة بالذكاء الاصطناعي أن الأثر المتوقع يتجاوز مجرد تحسين الأداء البيئي ليطال إعادة هيكلة منظومة المخاطر المؤسسية ككل. كما يبين جدول (1) أن الانتقال من أخذ العينات الدورية والتقارير المتأخرة إلى الرصد المستمر والتحليلات التنبؤية، ومن الصيانة المجدولة إلى الصيانة التنبؤية، ومن العمليات اليدوية إلى لوحات بيانات قابلة للتدقيق، يؤدي إلى تحول نوعي في إدارة الانبعاثات، وإدارة الشعلة، والتحكم في مياه الصرف، وسلامة الأصول. ولا يقتصر هذا التحول على تقليل التجاوزات، بل يسهم في خفض احتمالية الحوادث الكبرى، وتقليص التعرض للمساءلة القانونية والغرامات التنظيمية، وتعزيز السمعة المؤسسية، بما ينعكس إيجابًا على جاذبية الاستثمار واستدامة الأداء المالي. وبهذا المعنى، يتحول الذكاء الاصطناعي إلى أداة استراتيجية لإدارة المخاطر المالية طويلة الأجل، وليس مجرد وسيلة لتحسين التشغيل اليومي[5].

انطلاقًا من ذلك، فإن المسار الواقعي لتحول مصفاة الدورة ينبغي أن يكون تدريجيًا وموجّهًا بالمخاطر، يبدأ بالمصادر الأعلى مادية وتأثيرًا، مثل المداخن الحرجة ووحدات معالجة مياه الصرف، بالتوازي مع تطوير بنية بيانات موحدة وإرساء حوكمة

[1] (Etim, 2026; Shah, 2024; Mishra, 2025; Lyu, 2023; Zhang, 2024; Iriogbe, 2024)
[2] (Lyu, 2023; OECD, 2019; Al-Saadi, 2024; Zhang, 2024; Olanrewaju, 2024; Chevron, 2023; Guo, 2025)
[3] (Biswas, 2024; Olanrewaju, 2024; Guo, 2025; Işık, 2025; Kingdom of Saudi Arabia, 2016)
[4] (OECD, 2019; Al-Saadi, 2024; Rahman, 2023; Zhang, 2024; Dhali, 2023; Onoja, 2021; World Bank, 2023)
[5] (Shah, 2024; Lyu, 2023; Al-Saadi, 2024; Zhang, 2024; Jambol, 2024; Işık, 2025; Berman, 1998)

واضحة للبيانات تضمن التفسير القابل للتدقيق. ويسمح هذا النهج المرحلي بتحقيق مكاسب مبكرة في خفض المخاطر وبناء الثقة التنظيمية تدريجيًا، مع تعزيز الجاهزية المؤسسية وتطوير قدرات الكادر بالتزامن مع التوسع التقني[1].

وعليه، لا تمثل مصفاة الدورة حالة تأخر تقني بقدر ما تمثل نقطة انطلاق استراتيجية لإعادة تموضع المصافي الحضرية في العراق ضمن نموذج تشغيل رقمي قائم على الحوكمة الاستباقية. وعند تكامل التكنولوجيا مع الاعتراف القانوني وبناء القدرات المؤسسية، يمكن للمصفاة أن تتحول من أصل صناعي موروث قائم على الامتثال التفاعلي إلى نموذج مرجعي إقليمي في الحوكمة البيئية الرقمية وإدارة المخاطر المستدامة في قطاع التكرير الحضري[2].

جدول (1): التحول من الامتثال التفاعلي إلى الحوكمة البيئية الرقمية. (المصدر: إعداد الباحث استنادًا إلى الإطار النظري والدراسات ذات الصلة)

المجال	الوضع المرجعي في مصفاة الدورة	النموذج المدعوم بالذكاء الاصطناعي	ألاثر الحوكمي
انبعاثات الهواء	أخذ عينات دورية وتقارير متأخرة	رصد مستمر وتحليلات تنبؤية وتنبيهات آنية	تقليل التجاوزات وتعزيز الثقة التنظيمية
الشعلة	تحكم تفاعلي بعد ارتفاع الأحمال	تحسين نمطي قائم على تحليل البيانات	خفض الانبعاثات وتحسين كفاءة الوقود
مياه الصرف	فحوصات مخبرية متقطعة	تحكم تكيفي قائم على مؤشرات آنية	استقرار الامتثال البيئي
سلامة الأصول	صيانة مجدولة تقليدية	تنبؤ بالأعطال ومنع التسرب	تقليل الحوادث والتكاليف
التقارير والرقابة	عمليات يدوية مجزأة	لوحات بيانات مؤتمتة قابلة للتدقيق	شفافية ومساءلة أعلى

7- الأطر القانونية والتشريعية للرصد البيئي والتحول الرقمي

يشكّل الإطار القانوني والتنظيمي المحدد البنيوي لمدى قدرة تقنيات الرصد البيئي المدعومة بالذكاء الاصطناعي على الانتقال من مستوى الأداة التشغيلية إلى مستوى الركيزة الحوكميّة المؤسسية. فالعلاقة بين القانون والتكنولوجيا لا تُقاس بمجرد وجود نصوص تشريعية عامة، بل بقدرة النظام التنظيمي على استيعاب الابتكار، ومنح الحجية القانونية للأدلة الرقمية، وتحديد نطاق المسؤولية في حال الاعتماد على مخرجات الخوارزميات، إضافة إلى وضع معايير واضحة لحوكمة البيانات والتدقيق والمساءلة. ومن خلال تحليل مقارن يشمل العراق ونيجيريا ودول الخليج العربية، تتضح ثلاثة مسارات تنظيمية تعكس تباينًا في مستوى النضج المؤسسي وطبيعة الارتباط بين التحول الرقمي والتنمية الاقتصادية[3].

في الحالة العراقية، يستند التنظيم البيئي إلى قانون حماية وتحسين البيئة رقم (27) لسنة 2009، الذي يفرض التزامات عامة على المنشآت الصناعية للحد من التلوث واعتماد أنظمة للرصد البيئي. غير أن هذا القانون صيغ في سياق سابق للتسارع الرقمي، ولا يتضمن أحكامًا صريحة تنظم استخدام الذكاء الاصطناعي أو تحليلات البيانات الضخمة أو الرصد اللحظي القائم على الخوارزميات. ونتيجة لذلك، يبقى توظيف أنظمة الرصد الذكي محصورًا في نطاق تشغيلي داخلي، دون اعتراف قانوني واضح بحجية البيانات المؤتمتة أو تحديد دقيق لمسؤولية الأطراف في حال الاعتماد على مخرجاتها. كما أن غياب إطار وطني شامل لحوكمة

[1] (Lyu, 2023; OECD, 2019; Al-Saadi, 2024; Rahman, 2023; Zhang, 2024; Onoja, 2021; World Bank, 2023; Ilori, 2024)
[2] (COSO, 2017; Dhali, 2023; United Nations, 2015; World Bank, 2023; Guo, 2025)
[3] (Barau, 2015; COSO, 2017; Zhang, 2024; Dhali, 2023; Abdalla, 2013; Onoja, 2021; European Commission, 2019; World Bank, 2023; Mbonigaba, 2025; Onorato, 2001)

البيانات أو تنظيم الخوارزميات يخلق حالة من عدم اليقين القانوني، ويضعف قابلية استخدام الأدلة الرقمية في إجراءات التفتيش أو المنازعات القضائية، من منظور الإثبات والمساءلة[1].

في المقابل، يُظهر السياق النيجيري مسارًا انتقاليًا يتوسطه دور معايير الإفصاح البيئي والاجتماعي والحوكمة فعلى الرغم من استمرار تحديات الإنفاذ المؤسسي، فإن الضغوط الاستثمارية والدولية دفعت نحو تعزيز الشفافية واعتماد أدوات رقمية لتحسين الإفصاح والامتثال. وفي هذا السياق، تعمل الحوكمة بوصفها آلية شبه تنظيمية تؤثر في سلوك الشركات النفطية حتى في غياب تشريع تفصيلي ينظم الذكاء الاصطناعي مباشرة. وبذلك تؤدي الحوكمة البيئية والاجتماعية والمؤسسية دورًا وسيطًا يربط بين الالتزامات البيئية التقليدية ومتطلبات التحول الرقمي، ويوفر حافزًا مؤسسيًا لتبني أنظمة الرصد الذكي دون انتظار إصلاح تشريعي شامل[2].

أما في دول الخليج العربية، ولا سيما المملكة العربية السعودية ودولة الإمارات العربية المتحدة، فيبرز نموذج أكثر تكاملاً يقوم على إدماج الذكاء الاصطناعي ضمن استراتيجيات وطنية شاملة للتحول الرقمي والطاقة والاستدامة. وفي هذا الإطار، لا يُنظر إلى الذكاء الاصطناعي كخيار تقني منفصل، بل كجزء من بنية حوكمة مؤسسية ترتبط بإفصاحات الحوكمة، وأطر إدارة المخاطر، وسياسات التنمية الاقتصادية. ويؤدي هذا الدمج إلى منح تقنيات الرصد الذكي قوة إلزامية عملية، حتى في غياب قانون مستقل خاص بالذكاء الاصطناعي البيئي، من خلال لوائح تنظيمية مرنة وآليات إشراف مؤسسي قادرة على مواكبة الابتكار وضبطه[3].

توضح المقارنة، كما يعرضها جدول (2)، أن الفروق بين هذه النماذج لا تعود فقط إلى مستوى التطور الاقتصادي، بل إلى طبيعة العلاقة المؤسسية بين القانون والحوكمة والتكنولوجيا. فالجدول يبين أن الإطار الخليجي يتسم بتكامل تشريعي واستراتيجي يمنح تقنيات الذكاء الاصطناعي قوة مؤسسية فعلية، حيث تُستخدم الحوكمة المؤسسية ومعايير الحوكمة كأداة تسريع لدمج الحلول الرقمية ضمن منظومة تنظيمية مرنة ومتطورة. وفي المقابل، يعكس النموذج النيجيري مسارًا انتقاليًا تلعب فيه الحوكمة دور رافعة إصلاح تدريجي تسد الفجوة بين الالتزامات البيئية التقليدية ومتطلبات الرقمنة. أما في الحالة العراقية، فيظهر الجدول محدودية الاعتراف بالأدلة الرقمية وضعف جاهزية حوكمة البيانات، وهو ما يجعل التحول الرقمي أكثر بطئًا وأشد عرضة للتقلب التنظيمي[4].

انطلاقًا من هذا التحليل المقارن الوارد في جدول (2)، تتضح أبعاد الإشكالية القانونية في حالة مصفاة الدورة. فالمصفاة تعمل ضمن إطار تشريعي تقليدي لا يعترف صراحةً بحجية الرصد اللحظي أو بمخرجات التحليلات الخوارزمية في إجراءات الامتثال أو المساءلة. وعلى خلاف النماذج التي دمجت الذكاء الاصطناعي ضمن استراتيجيات وطنية للتحول الرقمي وحوكمة البيانات، أو التي وظفت الحوكمة كآلية تنظيمية انتقالية، تفتقر الحالة العراقية إلى بنية وسيطة تربط بين التكنولوجيا والاعتراف

[1] (OECD, 2019)
[2] (Okeke, 2021; Barau, 2015; Constantinescu, 2021; Zatonatska, 2024; Olanrewaju, 2024; Guo, 2025; Işık, 2025)
[3] (United Nations, 2015; Olanrewaju, 2024; Kingdom of Saudi Arabia, 2016; United Arab Emirates Government, 2017)
[4] (Constantinescu, 2021; Zatonatska, 2024; OECD, 2019; Dhali, 2023; Abdalla, 2013; World Bank, 2023; Olanrewaju, 2024)

التنظيمي المؤسسي. وعليه، فإن الانتقال إلى الرصد البيئي المدعوم بالذكاء الاصطناعي في مصفاة الدورة يتطلب إصلاحًا تنظيميًا تدريجيًا يمنح الأدلة الرقمية صفة قانونية واضحة، ويؤسس لإطار حوكمة بيانات قابل للتدقيق، ويربط مؤشرات الأداء البيئي بإفصاحات مؤسسية متسقة مع معايير الحوكمة. إن تبني هذا المسار، كما تشير المقارنة في جدول (2)، لا يعزز الامتثال البيئي فحسب، بل يرفع مستوى الثقة التنظيمية، ويقلل المخاطر القانونية، ويعزز جاذبية الاستثمار في قطاع التكرير الحضري ضمن منظور تنموي مستدام.[1]

جدول (2): مقارنة حوكمة الرصد البيئي والتحول الرقمي. (المصدر: إعداد الباحث بالاعتماد على تحليل الأطر التشريعية في العراق ونيجيريا ودول الخليج)

البعد المقارن	العراق	نيجيريا	دول الخليج العربية
طبيعة الإطار القانوني	تقليدي سابق للتحول الرقمي	تقليدي مع ضغط إصلاحي	تكاملي ومندمج ضمن استراتيجيات وطنية
الاعتراف بالأدلة الرقمية	محدود أو غير محدد	متنامٍ عبر قنوات الحوكمة	عملي ومؤسسي ضمن أنظمة الحوكمة
دور الحوكمة البيئية والاجتماعية والمؤسسية	ثانوي وغير منظم	إطار انتقالي مؤثر	مدمج ضمن الحوكمة المؤسسية
جاهزية حوكمة البيانات	منخفضة	متوسطة	مرتفعة نسبيًا
وتيرة التحول الرقمي	بطيئة وهشة	تدريجية	استباقية ومنظمة

8- الجاهزية المؤسسية وتقييم نضج الحوكمة الرقمية في مصفاة الدورة

يمثل الانتقال إلى حوكمة بيئية رقمية استباقية تحولًا تنظيميًا يعيد تعريف موقع البيانات داخل منظومة اتخاذ القرار. فالقيمة المؤسسية للذكاء الاصطناعي لا تُقاس بمدى تطور أدواته التحليلية، بل بقدرته على الاندماج ضمن الهياكل الإدارية وأنظمة الرقابة وإدارة المخاطر المؤسسية، بما يتسق مع أطر إدارة المخاطر المتكاملة والتحول الرقمي في الصناعات كثيفة المخاطر. وعليه، تصبح الجاهزية المؤسسية شرطًا هيكليًا لتحويل الرصد الذكي من أداة تقنية مساندة إلى ركيزة حوكميّة ذات أثر تنظيمي مستدام[2].

ويكتسب الذكاء الاصطناعي القابل للتفسير (XAI) بعدًا تنظيميًا محوريًا في هذا السياق، إذ إن فعالية التحليلات التنبؤية تتوقف على إمكانية فهم منطقها وربطه بإجراءات تشغيلية قابلة للتنفيذ والمساءلة. فالمخرجات غير القابلة للتفسير تظل محدودة الأثر المؤسسي، بينما تسهم قابلية التفسير في تعزيز الشفافية وتقليل فجوة المعلومات بين المشغّل والجهة الرقابية، بما يدعم الثقة التنظيمية، وهو ما تؤكده أدبيات الذكاء الاصطناعي الموثوق وأطر المساءلة الخوارزمية[3].

وعند إسقاط هذا الإطار على مصفاة الدورة، يتبين أن دمج التحليلات التنبؤية يستلزم إعادة تنظيم دورة القرار بحيث تصبح المؤشرات الرقمية جزءًا مدمجًا في أنظمة التخطيط والمتابعة وإدارة المخاطر، لا مرحلة تحليلية منفصلة. ويتحقق ذلك عبر تطوير قدرات تحليل البيانات داخل الهيكل الإداري، وإرساء حوكمة بيانات تضمن جودة المعلومات وقابليتها للتدقيق، وتحديد

[1] (Abdalla, 2013; Onoja, 2021; United Nations, 2015; World Bank, 2023; Guo, 2025)
[2] (COSO, 2017; OECD, 2019; Al-Saadi, 2024; Onoja, 2021; World Bank, 2023; Guo, 2025; Ilori, 2024)
[3] (Rahman, 2023)

خطوط مسؤولية واضحة عند الاعتماد على المخرجات الخوارزمية، إضافة إلى مواءمة المؤشرات الرقمية مع منظومات الإفصاح البيئي والاجتماعي والحوكمة، بما يتوافق مع الاتجاهات الحديثة في تكامل الحوكمة والتحول الرقمي المؤسسي[1].

غير أن استقرار هذا المسار يبقى مرتبطًا بوضوح الإطار التنظيمي الناظم لحجية البيانات الرقمية، إذ إن غياب معالجة تشريعية تفصيلية لمكانة البيانات اللحظية يحد من تحولها إلى عنصر ملزم ضمن منظومة الثقة المؤسسية، كما تشير أدبيات الامتثال التنظيمي المعتمد على التحليلات الذكية[2].

يعرض الشكل (2) نموذجًا تحليليًا لتقييم مستوى نضج الحوكمة الرقمية في مصفاة الدورة باستخدام مخطط شعاعي (Radar Chart) متعدد الأبعاد. ويستند هذا النموذج إلى منهجيات تقييم النضج المؤسسي المعتمدة في أطر حوكمة تكنولوجيا المعلومات وإدارة المخاطر، والتي تقوم على تحويل الأبعاد النوعية للجاهزية إلى مؤشرات تقديرية قابلة للقياس على مقياس خماسي تصاعدي (1–5)، كما هو شائع في نماذج (COBIT) وإدارة المخاطر المؤسسية. ويُستخدم هذا النهج في النماذج متعددة المعايير لإظهار الفجوات النسبية بين الأبعاد الهيكلية المكونة للمنظومة، خاصة في سياقات التحول الرقمي المؤسسي[3].

تم اختيار النموذج الشعاعي لثلاثة اعتبارات منهجية رئيسة تتمثل في الطبيعة المتعددة الأبعاد للحوكمة الرقمية، وإمكانية إظهار الفجوات النسبية بصريًا بين الأبعاد القانونية والمؤسسية والتقنية والاقتصادية وحوكمة البيانات، إضافة إلى قابلية إعادة القياس مستقبلاً لتتبع التحسن المرحلي في مستويات النضج المؤسسي[4].

ويرتكز التقييم على خمسة أبعاد مترابطة تشمل: البعد القانوني، والبعد المؤسسي، والبعد التقني، والبعد الاقتصادي–الاستدامي، إضافة إلى حوكمة البيانات الرقمية. وقد تم تقدير مستويات النضج استنادًا إلى تحليل نوعي للممارسات القائمة ومدى اتساقها مع مبادئ الحوكمة الرشيدة وإدارة المخاطر والذكاء الاصطناعي المسؤول[5].

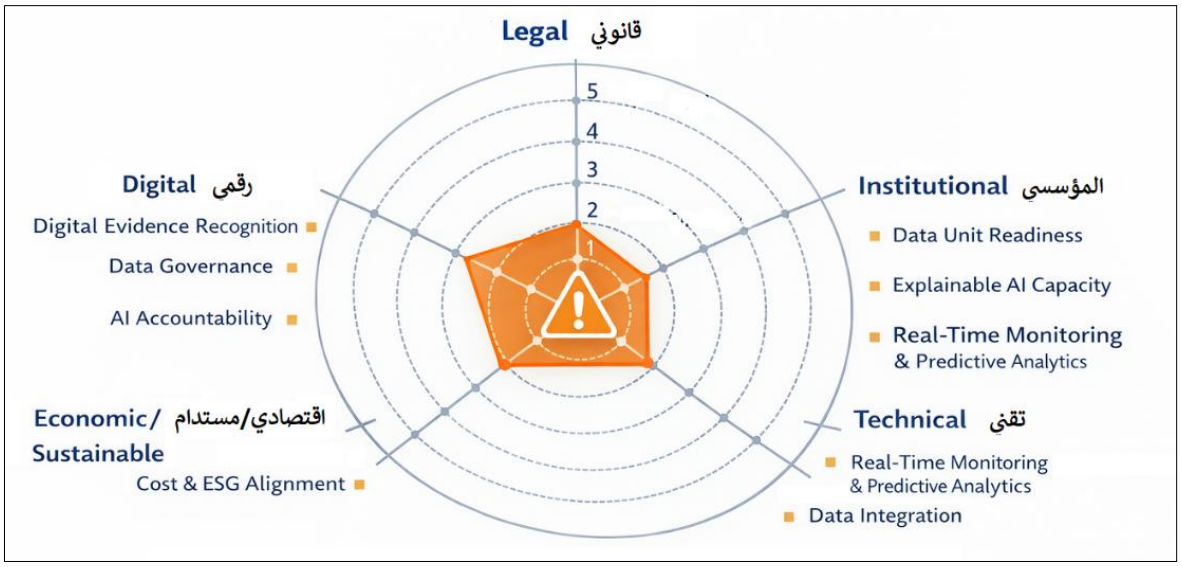
ويُظهر الشكل (2) أن مستوى النضج العام يقع ضمن النطاق المنخفض–المتوسط، مع تباين بين الأبعاد؛ إذ يتقدم البعد التقني نسبيًا مقارنة بالبعدين القانوني والمؤسسي، بينما يظهر ضعف في التكامل المنهجي بين المؤشرات الرقمية ومنظومات الإفصاح والاستدامة. وتعكس هذه القراءة فجوة تكامل حوكمي تتطلب معالجة متزامنة على المستويات التشريعية والتنظيمية والإدارية[6].

تشير نتائج النموذج إلى أن رفع مستوى النضج المؤسسي يسهم في تقليل التعرض المالي المرتبط بالأحداث عالية الكلفة عبر تعزيز القدرة على الاكتشاف المبكر والانضباط الإجرائي ضمن إطار إدارة المخاطر المتكاملة. وعندما تُدمج المؤشرات الرقمية ضمن أطر الإفصاح المؤسسي والاستدامة، تتحول البيانات إلى أصل تنظيمي يعزز الثقة والاستقرار المؤسسي، بما يتماشى مع مبادئ الحوكمة المستدامة[7].

---

[1] (European Commission, 2019)
[2] (Zhang, 2024; Mbonigaba, 2025)
[3] (COSO, 2017; Mwenge, 2026)
[4] (Onoja, 2021; World Bank, 2023)
[5] (COSO, 2017; OECD, 2019)
[6] (Zatonatska, 2024; Guo, 2025)
[7] (Constantinescu, 2021; COSO, 2017)

وعليه، فإن المسار نحو حوكمة رقمية ناضجة في مصفاة الدورة، كما يعكسه الشكل (2)، يتطلب معالجة فجوة التكامل بين الأبعاد الخمسة، بما يضمن مواءمة التكنولوجيا مع الإطار المؤسسي والقانوني، ويؤسس لنظام رقابة مستمر قائم على البيانات ومتسق مع مبادئ الحوكمة الرشيدة والتنمية المستدامة[1].



الشكل (2): التقييم الشعاعي لمستوى جاهزية الحوكمة الرقمية في مصفاة الدورة. (المصدر :إعداد الباحث بناءً على التقييم النوعي للأبعاد المؤسسية والقانونية والتقنية)

9- نموذج فجوة الأداء الرقمية (Digital Performance Gap Model)

يهدف هذا القسم إلى توصيف الفجوة التشغيلية بين نمط الرصد التقليدي ونمط الرصد المدعوم بالذكاء الاصطناعي، استنادًا إلى مؤشرات مرجعية مستمدة من تجارب مصافٍ مماثلة تبنت حلول الرقمنة الصناعية. ويُستخدم هذا النموذج لتحديد الفجوة النسبية في الأداء دون الدخول في الترجمة المالية، تمهيدًا لتحليل الأثر الاقتصادي في القسم اللاحق[2].

تتمثل الفرضية الأساسية في أن الانتقال من الرصد الدوري إلى الرصد اللحظي المستمر يعيد تشكيل جودة القرار التشغيلي من خلال تقليص التأخر في الاكتشاف وتحسين دقة المؤشرات البيئية والتشغيلية. ويعرض الجدول (3) الفجوة المرجعية بين النظامين. وتعكس هذه المؤشرات فجوة أداء ناتجة عن محدودية الرصد المتقطع مقارنة بالقياس اللحظي، حيث يؤدي النظام الذكي إلى تحسين سرعة الاستجابة، تقليل الفاقد، وتحقيق استقرار أكبر في المؤشرات البيئية. وتُفهم هذه الفجوة بوصفها فجوة تشغيلية قابلة للقياس النسبي، تمثل الأساس التحليلي لترجمة الأثر الفني إلى أثر اقتصادي، وهو ما يتناوله القسم التالي[3].

[1] (Al-Saadi, 2024; United Nations, 2015)
[2] (Lyu, 2023; World Bank, 2023)
[3] (Lyu, 2023; Zhou, 2025)

جدول (3): مقارنة مرجعية بين نظام الرصد التقليدي والنظام الذكي المقترح. (المصدر :إعداد الباحث استنادًا إلى مؤشرات مرجعية من الأدبيات الصناعية وتقارير التحول الرقمي في المصافي)

مؤشر الأداء (KPI)	النظام التقليدي (رصد دوري)	النظام الذكي (AI & IOT)	نطاق التحسن المرجعي
رصد SO_2	قراءة دورية كل 24 ساعة	رصد لحظي مستمر	زيادة التغطية الزمنية إلى >95%
كفاءة الاحتراق	~80–83%	~87–90%	تحسن 5–10%
الفاقد الهيدروكربوني	~0.7–1%	~0.4–0.6%	خفض نسبي 30–40%
زمن كشف التسرب	عدة ساعات	دقائق معدودة	تقليص >80% في زمن الاستجابة

لا تمثل الفجوة الرقمية المعروضة في الجدول (3) أعلاه مجرد فرق تقني في أدوات القياس، بل تعكس فجوة هيكلية في مستوى السيطرة المؤسسية على المخاطر التشغيلية. فالرصد المتقطع يولد تأخرًا معلوماتيًا (Information Lag) يضاعف من احتمالية تضخم الانحرافات قبل اكتشافها، في حين أن الرصد اللحظي يقلل زمن التعرض ويحد من تراكم المخاطر. ومن ثم، فإن فجوة الأداء الرقمية تتحول إلى فجوة حوكميّة تؤثر مباشرة في مستوى الانضباط التنظيمي والاستقرار المالي، ما يجعل معالجتها شرطًا لإعادة توزيع المخاطر ضمن إطار إدارة مؤسسية أكثر استباقية[1].

10– النموذج التحليلي شبه الكمي للترجمة الاقتصادية لفجوة الأداء

ينطلق هذا القسم من نتائج فجوة الأداء الرقمية الموضحة في الجدول (3)، ويعرض الشكل (3) تمثيلًا بصريًا لمسار تحويل التحسن التشغيلي إلى قيمة مالية عبر نموذج تراكمي. ويُظهر الشكل كيف ينتقل الأثر من[2]:

تحسن دقة الرصد ← تقليص زمن الاستجابة ← خفض الفاقد والانبعاثات ← تقليل احتمالية المخالفات ← تعزيز الاستقرار المالي

يستند النموذج التحليلي المقترح إلى دمج منهجين معتمدين في أدبيات إدارة المخاطر والكفاءة التشغيلية. فمن جهة، يعتمد الجزء المتعلق بتجنب الغرامات التنظيمية على إطار القيمة المتوقعة للمخاطر (Expected Risk Value) المستخدم في معايير إدارة المخاطر المؤسسية، والذي يقوم على تقدير الأثر المالي بوصفه حاصل ضرب احتمال وقوع الحدث في كلفته المحتملة، كما هو معتمد في أطر (COSO) لإدارة المخاطر ومعيار (ISO 31000) . ومن جهة أخرى، يستند تقدير الوفورات التشغيلية إلى منطق تقييم تحسين الكفاءة الصناعية المستخدم في دراسات الرقمنة في قطاع الطاقة، حيث تُقاس المكاسب المالية الناتجة عن التحسين التشغيلي من خلال ربط نسبة التحسن بحجم الإنتاج والسعر السوقي للوحدة المنتجة، وهو منهج شائع في تحليلات التحول الرقمي في المصافي وتقارير الطاقة الدولية. وعليه، فإن المعادلة المقترحة لا تمثل نموذجًا ماليًا مستقلاً بقدر ما تعكس تكاملًا منهجيًا بين إطار إدارة المخاطر المؤسسية ومنهج تقييم الكفاءة التشغيلية، بهدف تقديم تقدير اتجاهي للأثر الاقتصادي للتحول نحو الحوكمة الذكية[3].

[1] (COSO, 2017; Zhang, 2024)
[2] (COSO, 2017; Berman, 1998)
[3] (IEA, 2017; ISO, 2018)

يمثل النموذج التحليلي المقترح إطارًا شبه كمي (Conceptual Semi-Quantitative Model) يهدف إلى تقديم تقدير اتجاهي للأثر الاقتصادي للتحول الرقمي، من خلال دمج مبادئ إدارة المخاطر المؤسسية وتحليل الكفاءة التشغيلية، دون أن يشكل نموذجًا تجريبيًا معايرًا قائمًا على بيانات تشغيلية مباشرة.

ويعتمد التحليل على منهج القيمة المتوقعة للمخاطر، حيث يمكن تمثيل الأثر المالي التقديري وفق العلاقة:

$$EV = (\Delta E \times T \times P) + (\Delta V \times F)$$

حيث إن EV تمثل القيمة المالية المتوقعة الناتجة عن التحول الرقمي، ويتكون الحد الأول $(\Delta E \times T \times P)$ من ثلاثة عناصر مترابطة اما ΔE فهو مقدار التحسن في الكفاءة التشغيلية أو نسبة خفض الفاقد، و T معدل المعالجة أو الطاقة التكريرية اليومية، و P السعر المرجعي للبرميل، ويعبر هذا الحد عن الوفورات التشغيلية المباشرة الناتجة عن تحسين الأداء. أما الحد الثاني فهو $(\Delta V \times F)$ ويمثل الأثر التنظيمي، حيث إن ΔV هو مقدار الانخفاض المتوقع في عدد المخالفات البيئية، و F متوسط الغرامة لكل مخالفة، ويعكس هذا الجزء قيمة تجنب التكاليف التنظيمية. وبهذا تتكون المعادلة من شقين رئيسين: شق تشغيلي مرتبط بالكفاءة والإنتاج، وشق تنظيمي مرتبط بإدارة المخاطر والامتثال.

ويعتمد هذا النموذج على مجموعة من الافتراضات التبسيطية، من بينها افتراض ثبات معدل المعالجة اليومية وسعر البرميل، وافتراض علاقة خطية بين التحسن التشغيلي والعائد المالي، إضافة إلى إمكانية تقدير الانخفاض في المخالفات البيئية بصورة تقريبية، وهو ما يجعل النتائج مؤشرات تحليلية اتجاهية وليست قياسات دقيقة.

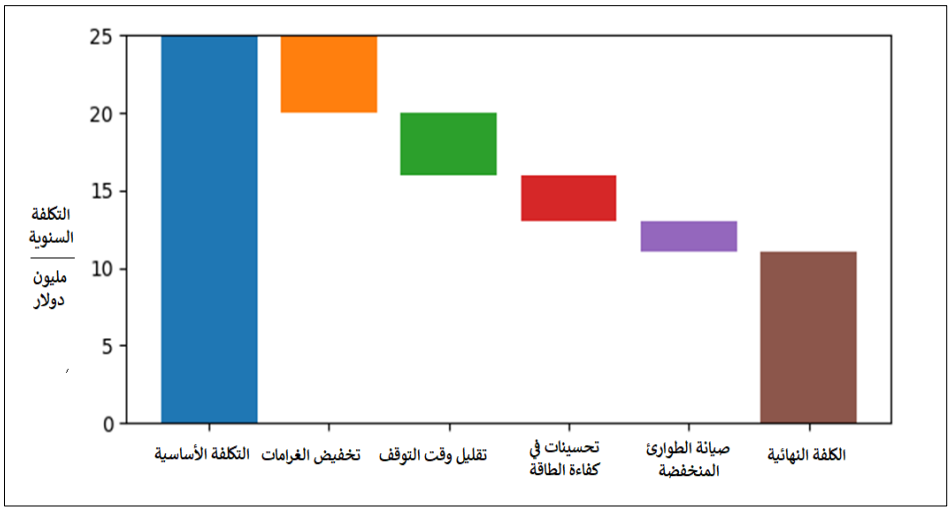
ويمثل الشكل (3) هذا الانتقال بصورة شلالية (Waterfall Logic)، توضح أن كل تحسين جزئي في الأداء الرقمي يضيف طبقة تقليل مخاطر أو زيادة كفاءة، وصولًا إلى أثر مالي تراكمي قابل للقياس الاتجاهي. وباستخدام افتراض طاقة معالجة في حدود 100,000 برميل يوميًا، فإن خفض الفاقد بنسبة 0.3% يعادل نحو 300 برميل يوميًا، وهو ما ينتج عنه أثر مالي سنوي معتبر وفق السعر المرجعي للبرميل. كما يسهم خفض المخالفات في تقليل التعرض التنظيمي المباشر وغير المباشر[1].

تمثل المعادلة المذكورة تقديرًا اتجاهيًا مبسطًا للأثر المالي للتحسن الرقمي، إذ تفترض علاقة خطية مباشرة بين زيادة الكفاءة التشغيلية أو خفض الفاقد وبين العائد المالي، مع افتراض ثبات معدل المعالجة وسعر البرميل، وهو ما قد لا يعكس التقلبات الفعلية في السوق أو التشغيل. كما أن تقدير خفض المخالفات يعتمد على افتراض إمكانية قياس الانخفاض في احتمالية التجاوزات بدقة، في حين أن هذا العامل قد يتأثر بمتغيرات تنظيمية خارج السيطرة التشغيلية. إضافة إلى ذلك، لا تتضمن المعادلة عناصر الكلفة الرأسمالية والتشغيلية للأنظمة الرقمية، ولا المنافع غير المالية مثل تعزيز الثقة المؤسسية أو تحسين تصنيف الاستدامة، وبالتالي فهي لا تمثل نموذج جدوى مالية متكاملًا، بل أداة تحليل استشرافي أولي تُستخدم لتقدير الاتجاه العام للأثر الاقتصادي في مرحلة ما قبل الدراسة التفصيلية[2].

وعليه، فأن التحول نحو الحوكمة الذكية لا يُفهم كتحسين تقني منفصل، بل كآلية إعادة توزيع للمخاطر وتعظيم للقيمة المؤسسية من خلال مسار سببي مترابط بين الأداء الرقمي والاستقرار المالي[3]. وبكلمات اخرى فانه يمكن الإشارة هنا الى إن هذا

[1] (ISO, 2018)
[2] (World Economic Forum, 2024)
[3] (Işık, 2025)

النموذج لا يُستخدم كأداة تقييم مالي تفصيلية، بل كإطار تحليلي أولي يوضح العلاقة السببية بين التحول الرقمي وتقليل المخاطر وتعظيم القيمة المؤسسية، ويمهد لتطوير نماذج كمية مستقبلية أكثر دقة تعتمد على بيانات تشغيلية فعلية.



الشكل (3): نموذج شبه كمي لتجنب التكاليف في ظل الحوكمة البيئية المدعومة بالذكاء الاصطناعي – دراسة حالة مصفاة الدورة. (المصدر :إعداد الباحث استنادًا إلى نموذج القيمة المتوقعة للمخاطر (EV) وأدبيات الكفاءة التشغيلية)

11- المناقشة التحليلية

تكشف نتائج التحليل المؤسسي والمقارن أن توصيف إشكالية التحول الرقمي في مصفاة الدورة بوصفها مسألة نقص في التكنولوجيا يُعد تبسيطًا مخلًّا بطبيعة التحدي البنيوي القائم. فالتقنيات اللازمة للرصد اللحظي، والتحليلات التنبؤية، والصيانة الاستباقية متاحة تجاريًا وقابلة للتبني من الناحية التقنية. غير أن القيمة الحوكميّة لهذه التقنيات لا تتحقق بمجرد اقتنائها، بل تتوقف على مدى مواءمتها مع الإطار المؤسسي والقانوني المنظم لإدارة المخاطر والامتثال. وعليه، فإن الإشكالية الجوهرية لا تتمثل في فجوة تقنية، بل في فجوة مواءمة مؤسسية تعكس تعارضًا بين منطق البيانات الرقمية ومنطق التنظيم التقليدي[1].

من منظور حوكمة المخاطر، يقوم النموذج التقليدي للامتثال على إدارة المخالفة بعد وقوعها، حيث تُقاس فعالية المؤسسة بمدى التزامها بالحدود القانونية استنادًا إلى تقارير دورية وإجراءات تفتيش لاحقة. في المقابل، يعمل الذكاء الاصطناعي ضمن منطق احتمالي—استشرافي يهدف إلى تقليل احتمالية الحدث قبل تحققه. هذا التباين بين منطق "الإثبات بعد الحدث" ومنطق "الإنذار قبل الحدث" يولد فجوة تنظيمية تجعل أدوات التحليل التنبؤي تعمل في فضاء تشغيلي داخلي دون أن تتحول إلى أدوات مساءلة تنظيمية معترف بها رسميًا. وهنا يتجلى التعارض البنيوي بين نظام قانوني يقيس الماضي ونظام رقمي يتعامل مع المستقبل[2].

[1] (World Bank, 2023; Bhat, 2024; Ajayi, 2026; Chutcheva, 2022; Ozowe, 2024; Sadeghi Mojarad, 2018; Schneider, 2013; Solanki, 2024; Ukato, 2024)
[2] (COSO, 2017; Onorato, 2001; ISO, 2018; Chutcheva, 2022; Ozowe, 2024; Ren, 2023; Sadeghi Mojarad, 2018; Schneider, 2013)

ويتعمق هذا التعارض عند تحليل مسألة المساءلة (Accountability). فتبني أنظمة تنبؤية دون تحديد صريح لمسؤولية القرار المعتمد على مخرجاتها يخلق ما يمكن تسميته بـ "فجوة المساءلة الخوارزمية". فإذا تجاهلت الإدارة تنبيهًا مبكرًا، فمن يتحمل المسؤولية؟ وإذا اتخذت قرارًا استنادًا إلى تحليل تنبؤي ثبت لاحقًا عدم دقته، فكيف تُحدد المسؤولية القانونية؟ في غياب إطار ينظم حجية البيانات الرقمية ويحدد أدوار الفاعلين في دورة القرار، تميل المؤسسات إلى استخدام الأنظمة الذكية بوصفها أدوات استشارية غير ملزمة، مما يحد من أثرها الحوكمي ويقيد قدرتها على إعادة هيكلة إدارة المخاطر بصورة جذرية[1].

كما أن غياب الاعتراف القانوني الصريح بالبيانات اللحظية يضعف تحول الرصد المستمر من أداة تشغيلية إلى أداة ثقة مؤسسية. ففي النماذج الرقمية الناضجة، يُعاد تعريف العلاقة بين المشغل والجهة التنظيمية على أساس إشراف مستمر قائم على بيانات قابلة للتدقيق، مما يقلل عدم تماثل المعلومات ويعزز الشفافية. أما في السياق الذي تظل فيه الأدلة الرقمية غير محددة الحجية، فإن تدفق البيانات يبقى داخليًا، ولا يتحول إلى ركيزة لبناء ثقة تنظيمية أو تقليل النزاعات المحتملة. وبذلك، تظل التكنولوجيا معزولة عن بعدها الحوكمي العام[2].

من زاوية التحول المؤسسي، تكشف الحالة أن التحدي يرتبط أيضًا بقدرة المؤسسة على دمج مخرجات الذكاء الاصطناعي ضمن دورة اتخاذ القرار. فالتحليل التنبؤي لا يولد قيمة ذاتية ما لم يُترجم إلى إجراء تشغيلي واضح ضمن سلسلة تفويض محددة ومسؤوليات قابلة للتدقيق. ويتطلب ذلك تطوير قدرات تفسيرية، خاصة في سياق الذكاء الاصطناعي القابل للتفسير(XAI) ، لضمان فهم مخرجات النماذج وربطها بمؤشرات المخاطر المؤسسية. إن الفجوة هنا ليست فجوة معرفة تقنية فحسب، بل فجوة ثقافة تنظيمية تفصل بين منطق القرار القائم على الخبرة الحدسية ومنطق القرار القائم على الأدلة الاحتمالية[3].

وعلى المستوى الاقتصادي، يبرز التحليل أن التحول نحو الحوكمة الرقمية يعيد صياغة هيكل المخاطر المالية طويلة الأجل. فالاستثمار في الرصد اللحظي والصيانة التنبؤية لا يُقاس بزيادة الإنتاج، بل بقدرته على تقليل تباين الخسائر المرتبطة بالأحداث عالية الكلفة. غير أن تحقيق هذا الأثر يتطلب إطارًا يسمح بدمج المؤشرات الرقمية ضمن تقارير الامتثال وإفصاحات الحوكمة، بحيث يتحول خفض المخاطر البيئية إلى عنصر معترف به في تقييم الأداء المؤسسي. وفي غياب هذا الربط، تبقى الوفورات المحتملة غير معبر عنها تنظيمياً أو استثماريًا، مما يقلل الحافز المؤسسي للتحول الشامل[4].

يُظهر التحليل المقارن أن النماذج التي نجحت في توظيف الذكاء الاصطناعي حوكميًا لم تعتمد على التكنولوجيا بمعزل عن السياسة العامة، بل دمجتها ضمن استراتيجيات وطنية لحوكمة البيانات والتحول الرقمي، وربطتها بأطر مساءلة واضحة. في تلك الحالات، لم يكن الذكاء الاصطناعي مجرد أداة تحسين تشغيلي، بل وسيطًا تنظيميًا أعاد تشكيل العلاقة بين المؤسسة والمنظم والمجتمع. أما في الحالة العراقية، فإن غياب إطار وسيط يربط بين التشريع، وحوكمة البيانات، ومعايير الإفصاح، يحد من الأثر البنيوي للتحول الرقمي ويجعله عرضة للتقلب التنظيمي[5].

---

[1] (COSO, 2017; Rahman, 2023; Bhat, 2024; Mbonigaba, 2025; ISO, 2018)
[2] (Chutcheva, 2022; Ozowe, 2024; Sadeghi Mojarad, 2018; Schneider, 2013)
[3] (Rahman, 2023; Chutcheva, 2022; Ozowe, 2024; Solanki, 2024; Ukato, 2024)
[4] (Ozowe, 2024; Ren, 2023; Sadeghi Mojarad, 2018; Schneider, 2013; Solanki, 2024)
[5] (Chutcheva, 2022; Sadeghi Mojarad, 2018; Schneider, 2013)

انطلاقًا من ذلك، يمكن تفسير وضع مصفاة الدورة بوصفه حالة انتقالية ذات قابلية عالية للتحول، شريطة معالجة فجوة المواءمة المؤسسية عبر ثلاثة مسارات متوازية: إرساء اعتراف قانوني واضح بحجية البيانات الرقمية، وبناء قدرات تفسيرية داخلية تدمج التحليل التنبؤي ضمن دورة القرار، وربط المؤشرات الرقمية بمنظومات الإفصاح والاستدامة. إن تكامل هذه المسارات يحول الذكاء الاصطناعي من أداة تشغيلية إلى ركيزة استراتيجية لإدارة المخاطر المؤسسية[1].

وعليه، فإن مستقبل الحوكمة البيئية في المصافي الحضرية لا يتحدد بمدى تقدم التكنولوجيا المتاحة، بل بقدرة المنظومات القانونية والمؤسسية على استيعاب منطق البيانات الاحتمالية وتكييفه ضمن إطار مساءلة وتنظيم مستدام. إن الإشكالية، في جوهرها، ليست تقنية بل بنيوية؛ وليست مسألة أدوات، بل مسألة إعادة تصميم العلاقة بين المعرفة الرقمية والسلطة التنظيمية في سياق تنموي متوازن[2].

12- الاستنتاجات

تُظهر الدراسة أن التحول نحو الحوكمة البيئية الرقمية في مصفاة الدورة يتطلب معالجة فجوة تكامل بين الأبعاد القانونية والمؤسسية والتقنية، أكثر من حاجته إلى حلول تقنية إضافية. ففاعلية الذكاء الاصطناعي في هذا السياق ترتبط بقدرته على الاندماج ضمن دورة القرار المؤسسي في إطار تنظيمي واضح وقابل للتدقيق. كما يبين تقييم نضج الحوكمة الرقمية أن التحدي الرئيس يكمن في تعزيز الاتساق بين البنية التقنية القائمة والإطار التنظيمي وحوكمة البيانات، بما يسمح بتحويل المؤشرات الرقمية إلى أدوات رقابة استراتيجية لا تقتصر على الدعم التشغيلي. وعليه، فإن المسار المستدام للتحول يتمثل في بناء نموذج تكاملي يربط بين التحليل التنبؤي، والمساءلة المؤسسية، وإدارة المخاطر، ضمن إطار تنموي يوازن بين الكفاءة التشغيلية والاستقرار التنظيمي وتعزيز الثقة المؤسسية طويلة الأجل.

المراجع المعتمدة:

- Abdalla, Y.A., Siti-Nabiha, A.K. and Shahbudin, A. (2013) 'Examining the Regulatory Frameworks for the Oil and Gas Industry in Sudan', *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, 15(1), 1350006.
- Ajayi, A.S., Abimbola, J., Segun, S.E., Ajayi, E.I. and Bodude, A.D. (2026) 'Harnessing artificial intelligence for methane emissions control in industrial natural gas engines', *European Journal of Sustainable Development Research*, 10(1), em0345.
- Alqahtani, F., Khan, Z. and Alharthi, M. (2024) 'Artificial Intelligence Applications in Environmental Risk Assessment', *Journal of Environmental Management*, 358, 120912.

[1] (Rahman, 2023; Chutcheva, 2022; Ozowe, 2024; Sadeghi Mojarad, 2018)
[2] (Chutcheva, 2022; Sadeghi Mojarad, 2018; Schneider, 2013)

- Al-Saadi, R., Karim, L. and Mensah, P. (2024) 'AI-Enabled Environmental Governance and Sustainable Risk Management in Industrial Systems', *Environmental Systems Research*, 13(2), pp. 45–63.
- Arinze, C.A., Izionworu, V.O., Isong, D., Daudu, C.D. and Adefemi, A. (2024) 'Integrating Artificial Intelligence into Engineering Processes', *Open Access Research Journal of Engineering and Technology*, 6(1), pp. 39–51.
- Aziza, O.R., Uzougbo, N.S. and Ugwu, M.C. (2023) 'The impact of artificial intelligence on regulatory compliance in the oil and gas industry', *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 19(03), pp. 1559–1570. doi: 10.30574/wjarr.2023.19.3.1423.
- Barau, A.S. and Al Hosani, N. (2015) 'Prospects of environmental governance', *Environmental Science & Policy*, 50, pp. 145–154.
- Berman, E. and Bui, L.T.M. (1998) 'Environmental Regulation and Productivity', *NBER Working Paper*, No. 6776.
- Bhat, J., Sundar, D. and Jayaram, Y. (2024) 'AI Governance in Public Sector Enterprise Systems: Ensuring Trust, Compliance, and Ethics', *International Journal of Emerging Trends in Computer Science and Information Technology*, 5(1), pp. 128–137.
- Biswas, P., Rashid, A., Biswas, A., Al Nasim, M.A., Chakraborty, S., Gupta, K.D. and George, R. (2024) 'AI-driven approaches for optimizing power consumption: A comprehensive survey', *Discover Energy*.
- Bughin, J., Hazan, E., Ramaswamy, S., Chui, M., Allas, T., Dahlström, P., Henke, N. and Trench, M. (2017) *Artificial Intelligence: The Next Digital Frontier?* McKinsey Global Institute.
- Chevron Corporation (2023) *Corporate Sustainability Report 2022–2023*. San Ramon, CA: Chevron Corporation.
- Chutcheva, Y.V., Kuprianova, L.M., Seregina, A.A. and Kukushkin, S.N. (2022) 'Environmental management of companies in oil and gas markets based on AI', *Frontiers in Environmental Science*, 10, 952102.
- Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission (COSO) (2017) *Enterprise Risk Management: Integrating with Strategy and Performance*. COSO.
- Constantinescu, D., Caraiani, C., Lungu, C.I. and Mititean, P. (2021) 'Environmental, Social and Governance Disclosure Associated with the Firm Value: Evidence from

Energy Industry', *Journal of Accounting and Management Information Systems*, 20(1), pp. 56–75.

- Daramola, G.O., Jacks, B.S., Ajala, O.A. and Akinoso, A.E. (2024) 'AI applications in reservoir management: Optimizing production and recovery in oil and gas fields', *Computer Science and IT Research Journal*, 5(4), pp. 972–984.
- Dhali, M., Hassan, S. and Subramaniam, U. (2023) 'Comparative Analysis of Oil and Gas Legal Frameworks', *Sustainability*, 15(21), 15228.
- Etim, E.E., Samuel, H.S., Undie, D.A., Akinpelu, O.O., Ibekwe, F.A. and Onotu, O.P. (2026) 'Environmental management practices in the oil and gas industry', *Discover Environment*, 4, 8.
- European Commission (2019) *Ethics Guidelines for Trustworthy AI*. Brussels: European Commission.
- Guo, L., Chen, F. and Chen, L. (2025) 'How does digital transformation affect corporate sustainability performance? Evidence from listed energy companies in China', *PLoS One*, 20(6), e0325898.
- Hussain, M., Khan, S., Rehman, A., Kim, J. and Lee, H. (2025) 'Hydrogen and organic synthesis from wastewater with nano photocatalysts: a synergy', *Chemical Synthesis*, 5.
- Ilori, O., Nwosu, N.T. and Naiho, H.N.N. (2024) 'Advanced data analytics in internal audits: A conceptual framework for comprehensive risk assessment and fraud detection', *Finance Accounting Research Journal*, 6(6), pp. 931–952.
- International Energy Agency (IEA) (2017) *Digitalization and Energy*. Paris: IEA.
- International Organization for Standardization (2015) *ISO 14001:2015 Environmental Management Systems – Requirements with Guidance for Use*. Geneva: ISO.
- International Organization for Standardization (2018a) *ISO 45001:2018 Occupational Health and Safety Management Systems – Requirements with Guidance for Use*. Geneva: ISO.
- International Organization for Standardization (2018b) *ISO 31000: Risk Management – Guidelines*. Geneva: ISO.
- Iriogbe, H.O., Erinle, O.G., Akpe, A.T. and Solanke, B. (2024) 'Health, safety, and environmental management in high-risk industries: Best practices and strategies from the oil and gas sector', *International Journal of Engineering Research and Development*, 20(9), pp. 68–77.

- Işık, C., Ongan, S. and Islam, H. (2025) 'Driving Energy Transition Through Artificial Intelligence: Integrating Economic, Environmental, Social, and Governance (ECON-ESG) Factors in OECD Countries', *Journal of the Knowledge Economy*.
- Jambol, D.D., Sofoluwe, O.O., Ukato, A. and Ochulor, O.J. (2024) 'Transforming equipment management in oil and gas with AI-driven predictive maintenance', *Computer Science and IT Research Journal*, 5(5), pp. 1090–1112.
- Keshireddy, S.R., Jamithireddy, N.H., Jamithireddy, N.S., Sappa, A., Vandrangi, S.K., Emani, S. and Velidi, G. (2026) 'Combustion performance prediction in oil and gas plants using integrated neural network models', *Scientific Reports*.
- Kingdom of Saudi Arabia (2016) *Vision 2030*. Riyadh: Government of Saudi Arabia.
- Lin, M., Wang, D. and Jiang, S. (2026) 'The evolution, key challenges, and future prospects of volumetric stimulation theory and engineering technology for unconventional oil and gas', *Advances in Resources Research*, 6(1), pp. 432–459.
- Lyu, Y., Chen, S., Li, X. and Zhao, J. (2023) 'Artificial intelligence-driven environmental monitoring and sustainable performance', *Journal of Cleaner Production*, 412, 137320.
- Mbonigaba, C., Vinayakan, K., Hakizimana, L. and Mbonigaba, C. (2025) 'The Future of AI-Driven Legal Compliance: How Artificial Intelligence is Enhancing Corporate Governance and Regulatory Adherence', *International Journal of Current Research and Modern Education*, 10(1), pp. 26–36.
- Mishra, D., Mishra, R.K. and Agarwal, R. (2025) 'Artificial Intelligence and Big Data in Environmental Monitoring and Decision Support: Revolutionizing Ecosystem Management', *Journal of Science Research International*, 11(5), pp. 28–39.
- Mwenge, P., Bulanga, D., Rutto, H. and Seodigeng, T. (2026) 'Optimization and predictive modelling of biodiesel production from waste cooking oil catalyzed by blast furnace slag geopolymer using RSM and machine learning', *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 104(1), pp. 6–30.
- OECD (2019, updated 2023) *OECD Principles on Artificial Intelligence*. Paris: OECD Publishing.
- Ogbu, A.D., Ozowe, W. and Ikevuje, A.H. (2024) 'Oil spill response strategies: A comparative conceptual study between the USA and Nigeria', *GSC Advanced Research and Reviews*, 20(1), pp. 208–227.
- Okeke, A. (2021) 'Towards sustainability in the global oil and gas industry', *Environmental and Sustainability Indicators*, 12, 100145.

- Olanrewaju, O.I.K., Daramola, G.O. and Babayeju, O.A. (2024a) 'Harnessing big data analytics to revolutionize ESG reporting in clean energy initiatives', *World Journal of Advanced Research and Review*, 22(3), pp. 574–585.
- Olanrewaju, O.I.K., Daramola, G.O. and Babayeju, O.A. (2024b) 'Transforming business models with ESG integration: A strategic framework for financial professionals', *World Journal of Advanced Research and Review*, 22(3), pp. 554–563.
- Onoja, J.P., Hamza, O., Collins, A., Chibunna, U.B., Eweje, A. and Daraojimba, A.I. (2021) 'Digital Transformation and Data Governance', *Journal of Frontiers in Multidisciplinary Research*, 2(1), pp. 43–55.
- Onorato, W.T. and Park, J.J. (2001) 'World Petroleum Legislation', *Alberta Law Review*, 39, pp. 70–118.
- Orhuebor, E.N., Chinedu, N.B., Isangadighi, G.E., Ofoegbu, C.J., Essien, U.B. and Damilola, T.E. (2026a) 'Machine Learning-Driven Predictive Modelling of Toxic Hydrocarbon Emissions and Public Health Risks in the Port Harcourt Refining Corridor', *European Journal of Applied Science, Engineering and Technology*, 4(1), pp. 60–72.
- Orhuebor, E.N., Chinedu, N.B., Isangadighi, G.E., Udeh, J.A., Uchenna, O.A., Isangadighi, G.E. and John, A.M. (2026b) 'Occupational Health Risk Mapping in the Niger Delta Oil and Gas Fields', *European Journal of Innovative Studies and Sustainability*, 2(1), pp. 54–71.
- Ozowe, W., Ogbu, A.D. and Ikevuje, A.H. (2024) 'Data science's pivotal role in enhancing oil recovery methods while minimizing environmental footprints', *Computer Science and IT Research Journal*, 5(7), pp. 1621–1633.
- Pasam, T.P. (2024) 'An Analysis of the Regulatory Landscape and how it Impacts the Adoption of AI in Compliance', *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, 12(6), pp. 9110–9118.
- Rahman, M.M., Rahman, S.M. and Hossain, M.A. (2023) 'Explainable artificial intelligence (XAI): Concepts, applications and challenges', *IEEE Access*, 11, pp. 34567–34589.
- Ren, Y., Li, B. and Liang, D. (2023) 'Impact of digital transformation on renewable energy companies' performance: Evidence from China', *Frontiers in Environmental Science*, 10, 1105686.

- Sadeghi Mojarad, A.A., Atashbari, V. and Tantau, A. (2018) 'Challenges for sustainable development strategies in oil and gas industries', in *Proceedings of the 12th International Conference on Business Excellence*, pp. 626–638.
- Saudi Data and Artificial Intelligence Authority (SDAIA) (2020) *National Strategy for Data and Artificial Intelligence (NSDAI)*. Riyadh: SDAIA.
- Schneider, J., Ghettas, S., Merdaci, N., Brown, M., Martyniuk, J., Alshehri, W. and Trojan, A. (2013) 'Towards sustainability in the oil and gas sector', *Journal of Environmental Sustainability*, 3(3).
- Shah, I.A. and Mishra, S. (2024) 'Artificial intelligence in advancing occupational health and safety: an encapsulation of developments', *Journal of Occupational Health*, 66(1), uiad017.
- Sofoluwe, O.O., Ochulor, O.J., Ukato, A. and Jambol, D.D. (2024) 'Promoting high health, safety, and environmental standards during subsea operations', *World Journal of Biology Pharmacy and Health Sciences*, 18(2), pp. 192–203.
- Solanke, B., Onita, F.B., Ochulor, O. and Iriogbe, H. (2024) 'Comprehensive safety protocols and best practices for oil and gas drilling operations', *International Journal of Frontline Research in Engineering and Technology*, 2, pp. 10–20. doi: 10.56355/ijfret.2024.2.1.0018.
- Solanki, A. (2024) 'Leveraging Data Analytics and AI to Optimize Operational Efficiency in the Oil and Gas Industry', *International Journal of Computer Trends and Technology*, 72(5), pp. 72–81.
- Song, F. (2025) 'The effects of digital transformation on corporate energy efficiency: a supply chain spillover perspective', *Frontiers in Sustainability*, 6, 1567413.
- Ukato, A., Sofoluwe, O.O., Jambol, D.D. and Ochulor, O.J. (2024) 'Optimizing maintenance logistics on offshore platforms with AI: Current strategies and future innovations'.
- United Arab Emirates Government (2017) *UAE National Artificial Intelligence Strategy 2031*. Abu Dhabi: Government of the United Arab Emirates.
- United Nations (2015) *Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. New York: United Nations.
- World Bank (2023) *Digital Development Overview 2023: Digital Transformation for Development*. Washington, DC: World Bank.
- World Economic Forum (2024) *Global Risks Report 2024*. Geneva: World Economic Forum.

- Zatonatska, T., Soboliev, O., Zatonatskiy, D., Dluhopolska, T., Rutkowski, M. and Rak, N. (2024) 'Comprehensive Analysis of the Best Practices in Applying Environmental, Social, and Governance Criteria within the Energy Sector', *Energies*, 17, 2950.
- Zhang, Y., Li, X. and Chen, H. (2024) 'Artificial Intelligence–Driven Compliance Monitoring and Risk Governance in Regulated Industries', *Journal of Risk and Financial Management*, 17(4), p. 185.
- Zhou, Z., Wang, X., Yan, Y., Mijiddorj, L., Ding, Y., Beringer, T., Masnadi Khiabani, P., Jentner, W.G., Hu, X.-M., Wang, C., Carroll, B.M., Xue, M., Ebert, D., Li, B. and Weng, B. (2025) 'AIMNET: An IoT-Empowered Digital Twin for Continuous Gas Emission Monitoring and Early Hazard Detection', *IEEE Internet of Things Magazine* (submitted manuscript), arXiv:2512.06148.

American International Journal of Applied and Pure Sciences

Issue 5 - Part 1 - January 2026 - Year 2
Refereed Quarterly Scientific Journal
PUBLISHED BY AMERICAN INTERNATIONAL ACADEMY OF HIGHER EDUCATION AND TRAINING
Legal deposit number in the Moroccan National Library (2025PE0017)
issn (3085 - 4954) Electronic publishing
(3085 - 4970) Paper publishing

Editor-in-Chief
Prof.Dr. Nozha Essabri

A quarterly peer-reviewed scientific journal