

آخر التطورات والاتجاهات البحثية العالمية في مجال الصيانة الوقائية



إعداد

سليمان الجبرين

مقدمة

شهد مجال الصيانة الوقائية Preventive Maintenance تحولات جذرية في المنطلقات النظرية والتطبيقية خلال السنوات الأخيرة، حيث لم يعد هذا المفهوم مقتصرًا على الفحص الدوري التقليدي واستبدال القطع التالفة وفقًا لجداول زمنية ثابتة، بل تطور ليتقاطع مع حقول معرفية متعددة كالذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء الصناعي والتوأم الرقمي وتحليلات البيانات الضخمة. يهدف هذا التقرير إلى رصد المحاور البحثية الكبرى التي يسير فيها البحث العلمي حول الصيانة الوقائية عالميًا وعربيًا، مع تحليل الفجوات البحثية، ونقد المنهجيات السائدة، وتحديد موقع البحث الحالي من الخريطة البحثية في هذا المجال.

المحور الأول: التحول من الصيانة الوقائية التقليدية إلى الصيانة الذكية

يُعدّ التحول النموذجي (Paradigm Shift) من الصيانة الوقائية القائمة على الزمن إلى الصيانة التنبؤية القائمة على الحالة أبرز اتجاه بحثي عالمي في هذا المجال. فقد أظهرت دراسة المراجعة المنهجية التي أجراها (Sharma et al., 2025) والمنشورة في مجلة Intelligent Systems with Applications أن الأدبيات العلمية في مجال الصيانة التنبؤية تضاعفت ثلاث مرات بين عامي ٢٠٢٠ و ٢٠٢٥، مع تركيز واضح على توظيف خوارزميات التعلم الآلي والتعلم العميق في التنبؤ بالأعطال قبل وقوعها. وقد أكد تقرير شركة Siemens لعام ٢٠٢٤ حول "التكلفة الحقيقية لتوقف التشغيل" أن متوسط تكلفة التوقف غير المخطط لدى شركات Fortune 500 يبلغ نحو ٢,٨ مليار دولار سنوياً، مما يمثل قرابة ١١% من إيراداتها، وهو ما يعكس الحاجة الملحة لتطوير استراتيجيات الصيانة الوقائية..

المحور الأول: التحول من الصيانة الوقائية التقليدية إلى الصيانة الذكية

غير أن نقطة جوهرية تستحق الإشارة النقدية هنا، وهي أن كثيرًا من الأدبيات العالمية وقعت في فخ المقارنة الثنائية بين الصيانة الوقائية والصيانة التنبؤية بوصفهما نموذجين متعارضين، بينما الواقع العملي يُظهر أنهما متكاملان وليسا متنافسين. فوفقًا لتقرير حالة الصيانة الصناعية لعام ٢٠٢٥، لا تزال الصيانة الوقائية هي الاستراتيجية الأولى لدى ٧١% من المتخصصين، في حين لم تتجاوز نسبة تبني الصيانة التنبؤية ٢٧%، بل إنها انخفضت من ٣٠% عام ٢٠٢٤. هذا التناقض بين الحماس الأكاديمي للصيانة التنبؤية وبطء تبنيها عمليًا يطرح تساؤلات بحثية مهمة لم تُعالج بعمق كافٍ في الأدبيات.

المحور الثاني: الدراسات العربية وواقع الصيانة الوقائية

ركّزت الدراسات العربية في مجملها على محاور تقليدية يمكن تصنيفها في ثلاثة اتجاهات رئيسية. الاتجاه الأول يتناول العلاقة بين الصيانة الوقائية وخفض التكاليف وتحسين الإنتاجية، ومن أبرز الدراسات في هذا السياق دراسة أجريت في شركة نفط الكويت حول "أثر الرقابة على تكاليف الصيانة الوقائية المخططة في تحسين وتطوير الإنتاجية"، ودراسة جامعة محمد بوضياف بالمسيلة في الجزائر حول "أثر تكاليف الصيانة في المؤسسة الصناعية"، إضافةً إلى دراسة جامعة قاصدي مرباح بورقلة حول "دور وظيفة الصيانة في زيادة إنتاجية المؤسسة". وقد توصلت هذه الدراسات مجتمعةً إلى أن الصيانة الوقائية تُسهم بفاعلية في خفض تكاليف الإنتاج من خلال اكتشاف الأعطال قبل حدوثها وتقليل فترات التوقف غير المخطط.

المحور الثاني: الدراسات العربية وواقع الصيانة الوقائية

أما الاتجاه الثاني فيتصل بصيانة المباني والمرافق العامة، حيث نُشرت دراسة البزايعة (٢٠٢٤) في مجلة المجتمع للدراسات العلمية بعنوان "أثر الصيانة الوقائية على تقليل الأعطال في المرافق العامة"، والتي طُبِّقت على بلدية معان الكبرى بالأردن، وخلصت إلى أن غياب التدابير الوقائية هو المشكلة الجوهرية التي تُضعف أداء صيانة المباني وتؤثر سلبًا على رضا المستخدمين. كما قدّم البرمبلي (جامعة عين شمس) دراسة حول "تفعيل دور الصيانة المتكاملة لدور الرعاية الصحية (المستشفيات) في البلدان العربية"، والتي كشفت عن قصور واضح في تطبيق منظومة الصيانة الشاملة في المنشآت الصحية العربية. ويتصل الاتجاه الثالث بالصيانة الوقائية للتراث والمخطوطات، وتمثله دراسة معزوز المنشورة في المجلة الجزائرية للعلوم الاجتماعية حول "دور الصيانة الوقائية في حفظ المجموعات المتحفية"، ودراسة منشورة في مجلة بنك المعرفة المصري حول "دور الصيانة الوقائية في حماية المباني التراثية من مخاطر التغير المناخي".

المحور الثالث: التقنيات الناشئة وأثرها على مستقبل الصيانة الوقائية

يمثل التكامل بين الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء الصناعي (IIoT) والتوأم الرقمي (Digital Twin) أبرز الاتجاهات البحثية المستقبلية. فقد أجرى فريق بحثي مراجعة منهجية نُشرت في مجلة Information and Software Technology حول "الصيانة التنبؤية باستخدام التوأم الرقمي"، وأظهرت أن المؤسسات التي تطبق هذه التقنية حققت انخفاضاً بنسبة ٥٠-٧٠% في أوقات التوقف غير المخطط. كما أشارت دراسة منشورة في مجلة Engineering, Technology & Applied Science Research إلى أن دمج الذكاء الاصطناعي مع إنترنت الأشياء يُعيد تشكيل مفهوم الصيانة الذكية بالكامل. وفي السياق العربي، قدّمت رسالة ماجستير في الجامعة التقنية الجنوبية بالعراق دراسة حول "استعمال تقنية الذكاء الصناعي في الصيانة الوقائية للمحركات"، وهي من الدراسات العربية النادرة التي ربطت بين التقنيات الحديثة والصيانة الوقائية.

المحور الثالث: التوجه نحو النمذجة الرياضية والأمثلة في جدولة الصيانة الوقائية

تمثل الدراسات التي تستخدم أساليب بحوث العمليات والنمذجة الرياضية اتجاهاً بحثياً متقدماً في الأدبيات العربية وإن ظلّ محدوداً. فقد نشر هاشم صفاء محمد هادي (المعهد التقني، البصرة) دراسة بعنوان "استخدام بحوث العمليات في تقدير دورة الصيانة الوقائية وتطبيقاتها في شركة المشاريع النفطية في البصرة". كما نشر ياسين طه ياسين وأحمد ذياب أحمد (٢٠٢٤) دراسة في مجلة كلية التراث الجامعة ببغداد بعنوان "تحديد وقت الصيانة الوقائية الأمثل لمحطة توزيع كهرباء جنوب بغداد الغازية الثانية باستعمال أسلوب جدولة الصيانة"، وتوصلت إلى أن الفترة المثلى لتنفيذ الصيانة الوقائية هي أن تكون شهرية لتفادي التكاليف المرتفعة للأعطال المفاجئة. وفي العراق أيضاً، نشرت عباس غصون حربي (٢٠١٨) رسالة ماجستير بعنوان "نموذج الصيانة الوقائية باستعمال الخوارزمية الوراثة مع تطبيق عملي" في كلية الإدارة والاقتصاد بجامعة بغداد.

إن هذا الاتجاه يُعدّ الأقرب إلى الممارسة البحثية العالمية، لكنه يبقى نادراً في الأدبيات العربية مقارنةً بالدراسات الوصفية، وهو ما يُشير إلى فجوة منهجية واضحة تحتاج إلى سدّها.

المحور الرابع: تحليل الفجوات البحثية ونقد المنهجيات

يكشف التحليل النقدي للأدبيات عن عدة فجوات بحثية جوهرية. أولاً أن الدراسات العربية بقيت في معظمها وصفية تشخيصية تعتمد على المنهج المسحي والاستبانة، مع غياب شبه تام للدراسات التجريبية أو شبه التجريبية التي تقيس الأثر الفعلي لبرامج الصيانة الوقائية على مؤشرات الأداء الكمية. كما يُلاحظ أن غالبية الدراسات العربية اعتمدت منهج دراسة الحالة الواحدة دون مقارنات بين قطاعات أو دول مختلفة، مما يُضعف قابلية تعميم النتائج. وثمة ملاحظة نقدية ثانية تتعلق بالفجوة التقنية، إذ لا تزال الدراسات العربية تتعامل مع الصيانة الوقائية بمفهومها التقليدي (الفحص الدوري، التشحيم، الاستبدال المجدول)، بينما تقدّمت الأدبيات العالمية نحو مفاهيم الصيانة الذكية القائمة على البيانات والذكاء الاصطناعي. هذه الفجوة التقنية المعرفية تطرح سؤالاً مشروعاً حول مدى مواكبة البحث العربي للتطورات العالمية في هذا الميدان.

المحور الرابع: تحليل الفجوات البحثية ونقد المنهجيات

أما على الصعيد العالمي، فقد أشارت دراسة المراجعة المنهجية المنشورة عام ٢٠٢٥ في مجلة ASRC Conference Proceedings، والتي حلت ١٢٦ مقالاً محكّماً حول استراتيجيات الصيانة الوقائية في الصناعات المتقدمة، إلى غياب معايير موحدة لقياس فاعلية برامج الصيانة الوقائية عبر القطاعات المختلفة، وندرة الدراسات العابرة للقطاعات ((Cross-Sectoral Studies، فضلاً عن محدودية التكامل بين البحث الأكاديمي والتطبيق الصناعي. كما أن أحد التحديات المنهجية البارزة يتمثل في أن كثيراً من الدراسات التنبؤية تعتمد على بيانات مخبرية مُحكّمة وليس على بيانات تشغيلية حقيقية، مما يُثير تساؤلات حول صلاحيتها الخارجية.

المحور الخامس: موقع البحث الحالي من الخريطة البحثية

في ضوء التحليل السابق، يمكن القول إن بحث الدكتوراه حول الصيانة الوقائية يقع في منطقة بحثية خصبة تتقاطع فيها عدة اتجاهات. فإذا كان البحث يتناول الصيانة الوقائية في سياق المؤسسات العربية، فإنه يملأ فجوة واضحة تتمثل في ندرة الدراسات التي تربط بين الأطر النظرية الحديثة (الصيانة الذكية، التحول الرقمي، الصيانة ٥,٠) والواقع التطبيقي العربي. كما أن تبني منهجيات بحثية مختلفة عن السائد كالمناهج المختلطة (Mixed Methods) أو التصميمات شبه التجريبية أو نمذجة المعادلات البنائية من شأنه أن يُثري الأدبيات العربية ويسد ثغرة منهجية ملحوظة. ويمكن للبحث أن يُسهم إسهامًا مميزًا إذا عالج إشكالية التكامل بين الصيانة الوقائية التقليدية والصيانة التنبؤية الذكية في البيئة العربية، باعتبار أن هذا التكامل يمثل مسارًا واقعيًا أكثر من القفز المباشر نحو الصيانة التنبؤية الكاملة في ظل محدودية البنية التقنية والكوادر المتخصصة.

المراجع

تيطراوي، أمنة؛ وبرحومة، عبد الحميد (٢٠١٩). تقييم أثر تكلفة الصيانة على ربحية المؤسسة الإنتاجية: دراسة حالة مؤسسة مطاحن الحضنة بالمسيلة. *مجلة البشائر الاقتصادية*، المجلد ٥، العدد ٢، ص ١٠١٤-١٠٢٨.

<https://asjp.cerist.dz/en/article/101139>

2. النويعم، محمد فهاد (٢٠١٦). أثر الرقابة على تكاليف الصيانة الوقائية المخططة في تحسين وتطوير الإنتاجية في شركة نفط الكويت. رسالة ماجستير غير منشورة، قسم هندسة النظم الصناعية، جامعة مؤتة، الأردن.

<https://archive.org/download/ktp2019-tra1154/ktp2019-tra1154.pdf>

3. صبحي أمين، محمد (٢٠٢٣). دور الصيانة الوقائية في حماية المباني التراثية وذات القيمة من مخاطر التغير المناخي. *المجلة الدولية للدراسات متعددة التخصصات في العمارة والتراث الثقافي (IJMSAC)*، المجلد ٦، العدد ١، ص ١١٧-١٥٢.

https://ijmsac.journals.ekb.eg/article_305466_8dff388f3396038981e3127d4a37f022.pdf

4. البرمبلي، حسام الدين (٢٠١٦). تفعيل دور الصيانة المتكاملة لدور الرعاية الصحية (المستشفيات) في الدول العربية. كلية الهندسة، جامعة عين شمس.

https://www.researchgate.net/profile/Hossam_Elborombaly/publication/311699154

5. ياسين، طه ياسين؛ وأحمد، ذياب أحمد (٢٠٢٤). تحديد وقت الصيانة الوقائية الأمثل لمحطة توزيع كهرباء جنوب بغداد الغازية الثانية باستعمال أسلوب جدولة الصيانة. *مجلة كلية التراث الجامعة*، بغداد.

<https://scholar.google.com/citations?user=St4n48kAAAAJ&hl=en>

٦. مرجان، مجبل رفيق؛ وغلطة، علي حسين (٢٠٢٤). تحليل واقع إدارة الصيانة وخدمات الماء في مديرية ماء بابل. مجلة علمية محكمة (IASJ).
<https://iasj.rdd.edu.iq/journals/uploads/2024/12/16/baf89e1a246893258ff821e75f18947b.pdf>

٧. الياس، حسان خوري (٢٠٢١). تقنيات الصيانة التنبؤية وتطبيقاتها باستخدام أنظمة التحكم الآلي المبرمج وإنترنت الأشياء: دراسة حالة مطحنة جبلة. الجامعة الافتراضية السورية.
https://pedia.svuonline.org/pluginfile.php/3302/mod_label/intro/Hassan_148411-F21-Report.pdf

٨. (بدون مؤلف محدد). إدارة عمليات الصيانة ومدى مطابقة هذه العمليات لمعايير الجودة الشاملة في الأمانة العامة. رسالة ماجستير، الأردن.
<https://archive.org/download/ktp2019-tra2517/ktp2019-tra2517.PDF>

ثانياً: المراجع الأجنبية

٩. Psarommatis, F., May, G., Dreyfus, P.-A., & Kiritsis, D. (2023). Envisioning maintenance 5.0: Insights from a systematic literature review of Industry 4.0 and a proposed framework. Journal of Manufacturing Systems, 68, 376–399.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278612523000730>

10. Errandonea, I., Beltrán, S., & Arrizabalaga, S. (2022). Predictive maintenance using digital twins: A systematic literature review. Information and Software Technology, 151, 107008.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950584922001331>

11. Nuruzzaman, Md. (2025). A systematic review of preventive maintenance strategies in advanced manufacturing and medical device industries. ASRC Procedia: Global Perspectives in Science and Scholarship, 2(1), 1–28.
<https://global.asrcconference.com/index.php/asrc/article/view/24>

12. Siemens (2024). The True Cost of Downtime 2024: How much do leading manufacturers lose through inefficient maintenance? [https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:1b43afb5-2d07-47f7-9eb7-893fe7d0bc59/TCOD-](https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:1b43afb5-2d07-47f7-9eb7-893fe7d0bc59/TCOD-2024-original.pdf)

2024-original.pdf



13. MaintainX (2025). The State of Industrial Maintenance 2025 Report. <https://www.getmaintainx.com/state-of-industrial-maintenance-report>
14. Sharma, P. et al. (2025). Systematic review of predictive maintenance practices: Challenges and future directions. Intelligent Systems with Applications. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667305325000274>



مجموعة جامعة
الجميع الذكية
للتعليم القابضة

MIDOCEAN
UNIVERSITY



Thank You

