

تطوير منصة ذكية متكاملة لإدارة وتشغيل ومراقبة الأصول والمرافق والبنية التحتية بالاعتماد على الذكاء الاصطناعي والتوأم الرقمي وإنترنت الأشياء: إطار مفاهيمي ودراسة ميدانية لقابلية التطبيق والتبني

إعداد الباحث:

المهندس / أحمد خالد محمد صبر

مدير الإدارة الهندسية - مستشفى الأمير سلطان للقوات المسلحة بالمدينة المنورة، المملكة العربية السعودية

2026م / 1448هـ

Received: 15/09/2026 | Revised: 16/09/2026 | Accepted: 28/09/2026 | Published: 02/10/2026

والمرافق والتشغيل والصيانة والهندسة وتقنية المعلومات والتحول الرقمي. وتناولت الاستبانة مكونات المنصة الذكية، وفعالية الإدارة الذكية والاستباقية، إلى جانب قابلية التطبيق والتبني. وتم تحليل البيانات باستخدام مجموعة من الأساليب الإحصائية، من بينها المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية، ومعامل ارتباط بيرسون، ومعامل ألفا كرونباخ، وتحليل الانحدار الخطي البسيط والمتعدد. توصلت الدراسة إلى وجود أثر ذي دلالة إحصائية لمكونات المنصة الذكية في تعزيز الإدارة الذكية والاستباقية، مع أهمية خاصة لتكامل البيانات والأنظمة، وإنترنت الأشياء، والذكاء الاصطناعي والتحليلات التنبؤية، والتوأم الرقمي. كما أكدت النتائج أهمية التكامل التقني وقابلية التطبيق والتبني التدريجي للمنصة في ضوء الجاهزية التقنية والتنظيمية والبشرية. وانتهت الدراسة إلى مجموعة من التوصيات الإجرائية والمقترحات البحثية الداعمة لتطوير تطبيقات الإدارة الذكية للأصول والمرافق والبنية التحتية.

الكلمات المفتاحية: المنصة الذكية؛ الذكاء الاصطناعي؛ التوأم الرقمي؛ إنترنت الأشياء؛ إدارة الأصول؛ إدارة المرافق؛ الصيانة التنبؤية؛ الإدارة الاستباقية؛ البنية التحتية.

Abstract:

This study aimed to develop an integrated smart platform for managing, operating, and monitoring assets, facilities, and infrastructure by relying on the integration between Artificial Intelligence (AI), Digital Twin, and the Internet of Things (IoT). The study relied on the descriptive-analytical approach and utilized a questionnaire administered to a sample of (200) specialists. The results revealed a statistically significant impact of the smart platform components in enhancing smart and proactive management.

Keywords: Smart Platform; Artificial Intelligence; Digital Twin; Internet of Things; Asset Management; Facility Management; Predictive Maintenance.

ملخص الدراسة:

هدفت الدراسة إلى تطوير منصة ذكية متكاملة لإدارة وتشغيل ومراقبة الأصول والمرافق والبنية التحتية، بالاعتماد على التكامل بين الذكاء الاصطناعي والتوأم الرقمي وإنترنت الأشياء، بما يدعم الانتقال من الإدارة التقليدية والتفاعلية إلى الإدارة الذكية والاستباقية. وانطلقت الدراسة من الحاجة إلى تجاوز محدودية الحلول التقنية المنفصلة، وبناء منظومة قادرة على ربط البيانات التشغيلية وتحليلها وتحويلها إلى معلومات وتنبؤات تدعم اتخاذ القرار وتحسين كفاءة التشغيل والصيانة وإدارة الأصول.

اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي ذي الطابع الارتباطي، واستخدمت الاستبانة أداة لجمع البيانات الأولية من عينة قصدية بلغت (200) من المتخصصين والعاملين في مجالات إدارة الأصول

How to Cite This Article

صبر، أ. خ. م. (2026). تطوير منصة ذكية متكاملة لإدارة وتشغيل ومراقبة الأصول والمرافق والبنية التحتية بالاعتماد على الذكاء الاصطناعي والتوأمة الرقمي وإنترنت الأشياء: إطار مفاهيمي ودراسة ميدانية لتطبيق التطبيق والتبني. المجلة العربية للنشر العلمي (AJSP)، 9(96)، (108 - 158)



AJSP | Vol. 9 | Issue 96 | DOI: <https://doi.org/10.36571/ajsp.96> | AJSP ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8048-2082>

الفصل الأول: الإطار العام للدراسة

1.1 المقدمة

أدى التسارع المتنامي في التطور التقني والتحول الرقمي إلى إعادة تشكيل الطريقة التي تُدار بها الأصول والمرافق والبنية التحتية في المؤسسات والمنشآت الحديثة. فقد أصبحت الأصول التشغيلية أكثر تعقيداً وترابطاً، كما ازدادت كمية البيانات الناتجة عن عمليات التشغيل والمراقبة والصيانة، الأمر الذي جعل الاعتماد على الأساليب التقليدية في المتابعة واتخاذ القرار أقل قدرة على مواكبة متطلبات البيئات التشغيلية المعاصرة. وفي المقابل، برز اتجاه إداري جديد يقوم على الاستفادة من البيانات بصورة مستمرة وربطها بالتحليلات الذكية، بما يسمح بالانتقال من إدارة تعتمد أساساً على التعامل مع المشكلات بعد وقوعها إلى إدارة أكثر قدرة على استباق الأعطال والمخاطر وتحسين الأداء التشغيلي للأصول (البازعي، 2025؛ Li et al., 2024).

ولا ترتبط كفاءة إدارة الأصول في الوقت الراهن بقدرة المؤسسة على تشغيل الأصل والمحافظة عليه فحسب، وإنما تمتد إلى قدرتها على تكوين صورة متكاملة عن حالته التشغيلية، وفهم المؤشرات التي تعكس تغير أدائه، والتنبؤ بالاحتياجات المستقبلية، وتوجيه الموارد في الوقت والمكان المناسبين. وتزداد أهمية هذا الأمر في المنشآت التي تعتمد على أعداد كبيرة من الأصول المترابطة، مثل المنشآت الصحية والصناعية والمطارات ومحطات الطاقة والمياه ومراكز البيانات والمرافق الحضرية؛ حيث يمكن لأي خلل في أصل رئيسي أن يمتد أثره إلى مجموعة من العمليات والخدمات المرتبطة به. ومن ثم، أصبح تطوير نظم قادرة على تحقيق رؤية تشغيلية متكاملة للأصول أحد المتطلبات الأساسية للارتقاء بكفاءة التشغيل واستمرارية الخدمات (الجواني، 2025؛ Poyyamozi et al., 2024).

وفي هذا الإطار، يمثل إنترنت الأشياء أحد الأسس المهمة للتحول نحو الإدارة الذكية، نتيجة قدرته على ربط الأصول والمعدات وأجهزة الاستشعار والأنظمة الرقمية وتوفير تدفقات مستمرة من البيانات المتعلقة بالأداء والحالة التشغيلية والظروف المحيطة بالأصل. وتوفر هذه البيانات أساساً للانتقال من المتابعة الدورية إلى المراقبة المستمرة، إلا أن القيمة الإدارية لهذه البيانات لا تتحقق بمجرد جمعها؛ إذ تتطلب الاستفادة منها قدرات تحليلية تستطيع تحديد الأنماط والتغيرات غير الطبيعية واستخلاص المؤشرات ذات الصلة بالقرارات التشغيلية. ولذلك يرتبط التطور في تطبيقات إنترنت الأشياء بصورة متزايدة بتقنيات الذكاء الاصطناعي والتحليلات المتقدمة والحوسبة الطرفية، بما يعزز سرعة الاستجابة وكفاءة التعامل مع البيانات المتدفقة من البيئة التشغيلية (نبيل وجوان، 2024؛ Andriulo et al., 2024؛ Bourechak et al., 2023).

ويمثل الذكاء الاصطناعي في هذا السياق طبقة تحليلية تتجاوز مجرد عرض البيانات إلى تفسيرها واكتشاف العلاقات والأنماط التي قد يصعب تحديدها بالأساليب التقليدية. وتبرز أهميته بصورة خاصة في الصيانة التنبؤية، حيث يمكن توظيف الخوارزميات التحليلية في دراسة البيانات التاريخية والآنية والتعرف على المؤشرات التي تسبق حدوث الأعطال أو انخفاض مستوى الأداء، بما يساعد على التخطيط للصيانة قبل وقوع التوقفات غير المخطط لها. وبذلك يسهم الذكاء الاصطناعي في تحويل البيانات التشغيلية إلى مؤشرات يمكن الاستناد إليها في تحديد أولويات التدخل وتحسين استخدام الموارد ودعم القرارات المتعلقة باستمرارية تشغيل الأصول (البازعي، 2026؛ Abdullahi et al., 2024؛ Ucar et al., 2024).

وفي الوقت نفسه، أتاح التوأمة الرقمي بعداً أكثر تطوراً في التعامل مع الأصول، من خلال إنشاء تمثيل رقمي ديناميكي يرتبط بالأصل الفعلي ويستفيد من البيانات المتدفقة منه لتمثيل حالته ومتابعة تغيراتها. وتكمن أهمية هذا المفهوم في أنه يتيح تجاوز فكرة النموذج الرقمي الثابت إلى بيئة يمكن من خلالها متابعة الأصل وتحليل أدائه ودراسة السيناريوهات المحتملة ودعم القرارات المرتبطة بالتشغيل والصيانة. وقد اتجهت الدراسات الحديثة بصورة متزايدة إلى بحث دور التوأمة الرقمي في إدارة الأصول الهندسية، والتشغيل والصيانة، والبنية التحتية، بما يعكس انتقال استخدامه من نطاق النمذجة

والمحاكاة إلى نطاق الإدارة واتخاذ القرار (Werbińska-Wojciechowska et al., 2024؛ Li et al., 2024؛ Arisekola & Madson, 2023).

وتزداد القيمة المتوقعة لهذه التقنيات عندما تُوظف ضمن منظومة مترابطة بدلاً من التعامل مع كل تقنية باعتبارها حلاً مستقلاً. فإترنت الأشياء يمكن أن يوفر البيانات من البيئة الفعلية، والذكاء الاصطناعي يمكن أن يحلل هذه البيانات ويستخلص المؤشرات التنبؤية، بينما يوفر التوائم الرقمي بيئة رقمية تساعد على ربط المعلومات بالحالة الفعلية للأصل وتحليل تطورها ودعم القرار. ويؤدي هذا التكامل إلى بناء سلسلة متصلة تبدأ من الاستشعار وجمع البيانات، ثم معالجتها وتحليلها، ثم تحويل مخرجاتها إلى معرفة تشغيلية يمكن الاستفادة منها في المراقبة والتنبؤ والتخطيط. وتدعم الأدبيات الحديثة هذا الاتجاه من خلال نماذج تجمع بين التوائم الرقمي وإنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي في تطبيقات تتعلق بإدارة الأصول والمرافق والبنية التحتية والمدن الذكية (Matei & Cocosatu, 2024؛ Alnaser et al., 2024؛ Abdullahi et al., 2024).

ومع ذلك، فإن التحدي الأساسي لا يكمن في توافر هذه التقنيات بصورة منفردة، وإنما في قدرة المؤسسات على دمجها داخل إطار إداري وتشغيلي موحد. إذ قد يؤدي تعدد الأنظمة والمنصات ومصادر البيانات إلى وجود بيانات تشغيلية مجزأة، بحيث تكون معلومات الأصول موزعة بين أنظمة الصيانة والمراقبة وإدارة الطاقة والتشغيل وغيرها، مما يحد من قدرة متخذ القرار على تكوين رؤية شاملة وفورية عن حالة المنشأة. كما أن التحول إلى الإدارة الذكية يرتبط بقضايا أخرى، من بينها الحوكمة، والأمن، وجودة البيانات، والتوافق بين الأنظمة، والمهارات البشرية، والثقة في مخرجات الذكاء الاصطناعي، وهي عوامل تجعل نجاح التحول الرقمي قضية إدارية ومؤسسية إلى جانب كونها قضية تقنية (فريجات، 2025؛ قوق وشتوح، 2024؛ Gálvez del Postigo Gallego et al., 2025).

ومن هنا تتضح الحاجة إلى تطوير توجه متكامل لا يهدف إلى إضافة تقنية جديدة إلى بيئة التشغيل فحسب، وإنما إلى إعادة تنظيم العلاقة بين الأصول والبيانات والتحليلات والقرارات التشغيلية. ويتقضي هذا التوجه الانتقال من المراقبة المنفصلة لكل أصل أو نظام إلى رؤية أكثر شمولاً، ومن الصيانة التي تعتمد على الجداول الزمنية الثابتة إلى صيانة تستند إلى حالة الأصل ومؤشرات أدائه، ومن التعامل مع البيانات باعتبارها مخرجات تاريخية إلى توظيفها في التنبؤ ودعم القرار. وقد بدأت بعض الدراسات في تقديم أطر للتوائم الرقمي ودعم القرار وإدارة الأصول، إلا أن هذه الجهود تظل في كثير من الحالات مرتبطة بقطاع أو تطبيق محدد، أو تركز على جانب تقني بعينه، وهو ما يبرز الحاجة إلى منظور أكثر تكاملاً يمكن تكيفه مع بيئات متعددة (Palmitessa et al., 2024؛ Li et al., 2024؛ Gálvez del Postigo Gallego et al., 2025).

وفي ضوء هذه الحاجة، يأتي البحث الحالي لطرح تصور منصة ذكية متكاملة لإدارة وتشغيل ومراقبة الأصول والمرافق والبنية التحتية، يقوم على التكامل الوظيفي بين الذكاء الاصطناعي والتوائم الرقمي وإنترنت الأشياء، بهدف دعم الإدارة القائمة على البيانات وتعزيز القدرة على المراقبة والتحليل والتنبؤ واتخاذ القرار. ولا ينظر البحث إلى هذه التقنيات باعتبارها مكونات منفصلة، وإنما باعتبارها قدرات مترابطة يمكن أن تعمل ضمن إطار واحد يربط البيانات الواردة من الأصول بالتحليلات الذكية والتمثيل الرقمي والمعلومات اللازمة للإدارة التشغيلية.

كما يتجه البحث إلى دراسة هذا التصور من منظور تطبيقي من خلال التعرف على آراء المتخصصين والمهنيين ذوي الصلة بإدارة الأصول والمرافق والتشغيل والصيانة والتحول الرقمي، بهدف تقييم مدى قابلية تطبيق هذا التوجه وإمكانات تبنيه في البيئات المهنية المختلفة.

وبذلك يسعى البحث إلى الجمع بين البعد التقني والبعد الإداري والتشغيلي في معالجة قضية الإدارة الذكية للأصول والمرافق والبنية التحتية، بحيث لا تكون التكنولوجيا غاية في ذاتها، وإنما وسيلة لإيجاد إدارة أكثر تكاملاً وقدرة على الاستباق وتحسين استمرارية التشغيل والاستخدام الرشيد للموارد. وتنبع أهمية هذا التوجه من إمكانية توظيفه في بيئات متعددة تختلف في طبيعة أصولها واحتياجاتها التشغيلية، مع الحفاظ على المبدأ الأساسي القائم على ربط البيانات الفعلية بالتحليل الذكي والتمثيل الرقمي ودعم القرار. ومن ثم، يمثل البحث محاولة لبناء أساس علمي وتطبيقي للإدارة الذكية والاستباقية للأصول، بما يحقق إضافة معرفية ومهنية تتجاوز الاستخدام المنفصل للتقنيات إلى توظيفها ضمن منظومة متكاملة قابلة للتطبيق والتوسع.

1.2 المشكلة البحثية

أدى التطور المتسارع في تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء والتوأم الرقمي إلى إتاحة إمكانات جديدة لإدارة الأصول والمرافق والبنية التحتية بصورة أكثر ذكاءً واستباقية. ومع ذلك، فإن وجود هذه التقنيات وتطور تطبيقاتها لا يعني بالضرورة تحقق التكامل بينها داخل بيئة تشغيلية واحدة قادرة على تحويل البيانات المتدفقة من الأصول إلى معلومات موحدة، ثم إلى تحليلات وتنبؤات وقرارات تشغيلية قابلة للتنفيذ. وتظهر هنا فجوة بين التقدم التقني المتاح وبين القدرة المؤسسية على توظيفه ضمن منظومة متكاملة لإدارة دورة حياة الأصول والمرافق؛ إذ لا تزال تطبيقات متعددة تركز على وظيفة محددة، كالمراقبة أو الصيانة التنبؤية أو إدارة الطاقة أو التمثيل الرقمي، دون أن تتكامل بالضرورة في إطار موحد لإدارة وتشغيل ومراقبة البيئة التشغيلية ككل (Li et al., 2024؛ Gálvez del Postigo Gallego et al., 2025؛ Arisekola & Madson, 2023).

وتتضح المشكلة بصورة أكبر في البيئات التي تضم أصولاً ومرافق وبنية تحتية متعددة ومتداخلة؛ حيث تتولد كميات كبيرة ومتنوعة من البيانات من أجهزة الاستشعار وأنظمة التشغيل والصيانة والمراقبة والطاقة وغيرها، بينما قد تظل هذه البيانات موزعة بين أنظمة وتطبيقات مختلفة. ويحد هذا التشتت من تكوين رؤية تشغيلية موحدة وفورية، ويجعل الاستفادة من البيانات في التنبؤ بالأعطال وتحديد أولويات الصيانة وإدارة الموارد ودعم القرار أكثر صعوبة. ومن ثم، فإن المشكلة لا تتمثل في نقص البيانات بقدر ما تتمثل في القدرة على دمجها وتحويلها إلى معرفة تشغيلية متكاملة يمكن الاعتماد عليها في الإدارة الاستباقية للأصول (Poyyamozi et al., 2024؛ Issa et al., 2023؛ Andriulo et al., 2024).

كما تكشف الأدبيات الحديثة عن تطور واضح في استخدام التوأم الرقمي لإدارة الأصول الهندسية، واستخدام الذكاء الاصطناعي في الصيانة التنبؤية، وتوظيف إنترنت الأشياء في المراقبة وإدارة المباني والمنشآت الذكية. إلا أن هذه الاتجاهات غالباً ما تُدرس من زوايا وظيفية أو تطبيقية متخصصة؛ فبعض الدراسات تركز على بناء التوأم الرقمي وإدارة الأصل، وأخرى على التنبؤ بالأعطال، بينما تتناول دراسات أخرى البنية التحتية لإنترنت الأشياء أو الحوسبة الطرفية أو دعم القرار. وتكشف هذه الحالة عن حاجة بحثية إلى الانتقال من دراسة كفاءة التقنية منفردة إلى دراسة قيمة التكامل بين التقنيات ضمن إطار إداري وتشغيلي واحد يهدف إلى تحقيق إدارة ذكية واستباقية للأصول والمرافق والبنية التحتية (Abdullahi et al., 2024؛ Werbińska-Wojciechowska et al., 2024؛ Ucar et al., 2024).

ولا تقتصر المشكلة على الجانب التقني، إذ إن تبني منظومة ذكية متكاملة يفرض مجموعة من المتطلبات المتعلقة بجودة البيانات وتكامل الأنظمة والحكومة والأمن والموارد البشرية والقدرة التنظيمية على التعامل مع مخرجات التقنيات الذكية. كما أن الاعتماد المتزايد على الذكاء الاصطناعي في تحليل البيانات واتخاذ القرارات التشغيلية يفرض ضرورة وجود أطر حوكمة وضوابط تضمن الاستخدام المسؤول والموثوق للتقنيات، بما يجعل قابلية التبني والاستدامة المؤسسية جزءاً أساسياً من نجاح أي نموذج للإدارة الذكية، وليس مجرد نتيجة تلقائية لتوافر التكنولوجيا (فريجات، 2025؛ قوق وشتونج، 2024؛ Bourechak et al., 2023).

ومن ناحية أخرى، فإن تعدد الأصول وتنوع البيئات التشغيلية يجعل من الصعب الاعتماد على نموذج تقني جامد يصلح لجميع المنشآت دون مراعاة اختلاف طبيعة الأصول وحجمها ومستوى تعقيدها ومتطلبات تشغيلها. ولذلك تبرز الحاجة إلى إطار مرن يمكن أن يستوعب مستويات مختلفة من الإدارة تبدأ من الأصل الفردي، وتمتد إلى مجموعة الأصول والمنشآت والمرافق والبنية التحتية، مع الحفاظ على القدرة على جمع البيانات وتحليلها وربطها بالمعلومات التشغيلية ذات الصلة. وتزداد أهمية هذا الأمر في ظل الاتجاه نحو المدن والمنشآت الذكية التي تتطلب إدارة مترابطة لمجموعة واسعة من الأنظمة والأصول والخدمات (Matei & Cocosatu, 2024؛ Alnaser et al., 2024).

وعلى المستوى التطبيقي، تبرز فجوة أخرى تتمثل في محدودية الأدلة الميدانية التي توضح مدى استعداد المهنيين والمتخصصين لتبني نموذج متكامل يجمع بين الذكاء الاصطناعي والتوأم الرقمي وإنترنت الأشياء في إدارة الأصول والمرافق والبنية التحتية، وكذلك مدى إدراكهم للقيمة التشغيلية والإدارية المتوقعة من هذا التكامل. فإثبات الجدوى التقنية للتقنيات بصورة منفردة لا يكفي للحكم على قابلية تبني منصة متكاملة؛ إذ يتطلب الأمر التحقق من مدى توافق مكونات النموذج مع الاحتياجات المهنية الفعلية، ومدى ارتباطها بتحسين المراقبة والتشغيل والصيانة ودعم القرار.

وبناءً على ما سبق، تتمثل المشكلة البحثية الرئيسية في وجود فجوة بين الإمكانيات المتقدمة التي توفرها تقنيات الذكاء الاصطناعي والتوأم الرقمي وإنترنت الأشياء، وبين توظيف هذه الإمكانيات ضمن إطار متكامل وموحد لإدارة وتشغيل ومراقبة الأصول والمرافق والبنية التحتية بصورة ذكية واستباقية، إلى جانب محدودية التحقق الميداني من مدى قابلية تطبيق وتبني هذا التكامل في البيئات المهنية المختلفة.

ومن ثم، تتمحور المشكلة البحثية حول الحاجة إلى بناء إطار متكامل للإدارة الذكية والاستباقية للأصول والمرافق والبنية التحتية، يربط بين الاستشعار وجمع البيانات، والتحليل الذكي، والتمثيل الرقمي للأصول، والمراقبة التشغيلية، والتنبؤ، ودعم القرار، مع التحقق ميدانيًا من قابلية تطبيق هذا الإطار وتبنيه من منظور المتخصصين والمهنيين ذوي الصلة.

وعليه، يمكن صياغة المشكلة في التساؤل الرئيسي الآتي:

إلى أي مدى يمكن بناء وتطبيق إطار متكامل لإدارة وتشغيل ومراقبة الأصول والمرافق والبنية التحتية يعتمد على التكامل بين الذكاء الاصطناعي والتوأم الرقمي وإنترنت الأشياء، بما يدعم الإدارة الذكية والاستباقية، وما مدى قابلية هذا الإطار للتطبيق والتبني في البيئات المهنية؟ القيمة الابتكارية للبحث:

تتبع القيمة الابتكارية للبحث من الانتقال من مفهوم الأنظمة المنفصلة المخصصة للمراقبة أو الصيانة أو التحليل إلى تصور متكامل يربط البيانات التشغيلية والتحليل الذكي والتمثيل الرقمي ودعم القرار ضمن إطار واحد للإدارة الاستباقية للأصول والمرافق والبنية التحتية. ولا يقوم هذا التصور على مجرد الجمع بين تقنيات قائمة، وإنما على توظيفها بصورة مترابطة لمعالجة مشكلة تشتت البيانات وتعدد الأنظمة وصعوبة تحويل المعلومات التشغيلية إلى معرفة قابلة للاستخدام في الوقت المناسب.

1.3 أسئلة الدراسة

يتمثل السؤال الرئيسي لهذه الدراسة فيما يلي:

إلى أي مدى يمكن توظيف التكامل بين الذكاء الاصطناعي والتوأم الرقمي وإنترنت الأشياء في بناء إطار متكامل لإدارة وتشغيل ومراقبة الأصول والمرافق والبنية التحتية بصورة ذكية واستباقية، وما مدى قابليته للتطبيق والتبني في البيئات المهنية؟ ويتفرع عنه الأسئلة الفرعية الآتية:

1. إلى أي مدى يساهم تكامل البيانات والأنظمة وتقنيات إنترنت الأشياء في تعزيز المراقبة والرؤية التشغيلية للأصول والمرافق والبنية التحتية؟
2. إلى أي مدى يساهم توظيف الذكاء الاصطناعي والتحليلات التنبؤية في تحسين التنبؤ بالأعطال ودعم قرارات التشغيل والصيانة وإدارة الأصول؟
3. إلى أي مدى يساهم التوأم الرقمي في بناء تمثيل رقمي متكامل للحالة التشغيلية للأصول ودعم عمليات المراقبة والتشغيل والصيانة واتخاذ القرار؟
4. ما مدى قابلية الإطار المتكامل المقترح، القائم على الذكاء الاصطناعي والتوأم الرقمي وإنترنت الأشياء، للتطبيق والتبني في البيئات المهنية المختلفة؟

1.4 أهداف الدراسة

الهدف الرئيسي

يهدف البحث إلى بناء إطار متكامل للإدارة الذكية والاستباقية للأصول والمرافق والبنية التحتية قائم على التكامل بين الذكاء الاصطناعي والتوأم الرقمي وإنترنت الأشياء، والتحقق ميدانيًا من مدى قابليته للتطبيق والتبني في البيئات المهنية المختلفة. ويتفرع من الهدف الرئيسي الأهداف الآتية:

5. تحديد مدى إسهام تكامل البيانات والأنظمة وتقنيات إنترنت الأشياء في تعزيز المراقبة والرؤية التشغيلية للأصول والمرافق والبنية التحتية.
6. تحديد مدى إسهام توظيف الذكاء الاصطناعي والتحليلات التنبؤية في تحسين التنبؤ بالأعطال ودعم قرارات التشغيل والصيانة وإدارة الأصول.
7. تحديد مدى إسهام التوأم الرقمي في بناء تمثيل رقمي متكامل للحالة التشغيلية للأصول ودعم عمليات المراقبة والتشغيل والصيانة واتخاذ القرار.

8. تقييم مدى قابلية الإطار المتكامل المقترح، القائم على الذكاء الاصطناعي والتوأم الرقمي وإنترنت الأشياء، للتطبيق والتبني في البيئات المهنية المختلفة.

1.5 أهمية الدراسة

تتبع أهمية البحث من طبيعة التحول الذي تشهده إدارة الأصول والمرافق والبنية التحتية، ومن الحاجة إلى الانتقال من استخدام التقنيات الرقمية بصورة منفصلة إلى توظيفها ضمن منظومة متكاملة قادرة على دعم المراقبة والتحليل والتنبؤ واتخاذ القرار. ويمكن توضيح أهمية البحث على مستويين رئيسيين:

لإضافة العلمية والتطبيقية للدراسة:

تتمثل الإضافة العلمية والتطبيقية لهذه الدراسة في تقديم إطار تكاملي للإدارة الذكية والاستباقية للأصول والمرافق والبنية التحتية، يقوم على الربط بين إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي والتحليلات التنبؤية والتوأم الرقمي وتكامل البيانات والأنظمة ضمن تصور موحد، بدلاً من التعامل مع كل تقنية بصورة منفصلة. كما تضيف الدراسة بُعداً ميدانياً من خلال قياس تصورات المتخصصين والمهنيين تجاه فاعلية هذا التكامل وقابليته للتطبيق والتبني، بما يساهم في ربط الأدبيات التقنية بالاحتياجات التشغيلية والإدارية الفعلية. وتبرز القيمة التطبيقية للدراسة في إمكانية الاستفادة من نتائجها بوصفها أساساً لتطوير تطبيقات مستقبلية تدعم المراقبة المستمرة، والصيانة التنبؤية، وتحسين كفاءة التشغيل، وإدارة دورة حياة الأصول، مع مراعاة متطلبات الجاهزية التقنية والتنظيمية والبشرية.

أولاً: الأهمية العلمية

1. الإسهام في تطوير المعرفة العلمية في مجال الإدارة الذكية للأصول والمرافق والبنية التحتية، من خلال تقديم منظور تكاملي يجمع بين الذكاء الاصطناعي والتوأم الرقمي وإنترنت الأشياء بدلاً من دراسة كل تقنية بصورة منفصلة.
2. معالجة فجوة بحثية تتعلق بالحاجة إلى أطر تجمع بين مصادر البيانات والاستشعار الذكي والتحليلات التنبؤية والتمثيل الرقمي ودعم القرار في نموذج متكامل للإدارة الاستباقية للأصول.
3. تعزيز الربط بين الجانب التقني والجانب الإداري؛ إذ لا يتعامل البحث مع التقنيات الحديثة باعتبارها أدوات تقنية مستقلة، وإنما يبحث في كيفية توظيفها لخدمة عمليات الإدارة والتشغيل والصيانة واتخاذ القرار.
4. تطوير تصور مفاهيمي للإدارة الذكية والاستباقية يوضح العلاقات بين عناصر المنظومة المقترحة، بدءاً من الحصول على البيانات من الأصول، مروراً بالمعالجة والتحليل والتمثيل الرقمي، وصولاً إلى إنتاج المعلومات الداعمة للقرار.
5. إثراء الأدبيات العربية في موضوع الإدارة المتكاملة للأصول والمرافق والبنية التحتية؛ إذ تتناول نسبة كبيرة من الأدبيات المتاحة تطبيقات تقنية محددة أو قطاعات بعينها، بينما يسعى البحث إلى تقديم معالجة أكثر تكاملاً.
6. توفير أساس بحثي لدراسات مستقبلية يمكن أن تتوسع في اختبار المنصة المقترحة تجريبياً، أو قياس أثر تطبيقها الفعلي على مؤشرات مثل الاعتمادية، والتوقعات غير المخطط لها، وتكاليف الصيانة، واستهلاك الطاقة، واستمرارية الأعمال.

ثانياً: الأهمية التطبيقية

1. دعم متخذي القرار في المؤسسات والمنشآت من خلال تقديم إطار يساعد على فهم كيفية توظيف التقنيات الذكية بصورة مترابطة في إدارة الأصول والمرافق والبنية التحتية.
2. تعزيز الرؤية التشغيلية من خلال الجمع بين البيانات الناتجة عن الأصول المختلفة وتحويلها إلى معلومات يمكن الاستفادة منها في المراقبة والتحليل واتخاذ القرار.

3. دعم التحول من الصيانة التفاعلية إلى الصيانة الاستباقية من خلال توظيف البيانات والتحليلات التنبؤية في التعرف المبكر على مؤشرات الأعطال وتحديد احتياجات التدخل.
4. تحسين عملية اتخاذ القرارات التشغيلية والصيانية من خلال إتاحة معلومات أكثر ارتباطاً بالحالة الفعلية للأصول بدلاً من الاعتماد بصورة أساسية على البيانات التاريخية أو الجداول الزمنية الثابتة.
5. دعم تكامل أنظمة إدارة الأصول والمرافق من خلال تقديم تصور لا يعتمد على إدارة كل أصل أو نظام بصورة منفصلة، وإنما ينظر إلى المنشأة باعتبارها منظومة مترابطة من الأصول والأنظمة والعمليات.
6. دعم المؤسسات الراغبة في تبني تقنيات الإدارة الذكية من خلال توفير مؤشرات ميدانية حول مدى تقبل المتخصصين لهذه التقنيات ومدى إدراكهم لقيمتها التشغيلية والإدارية.
7. إمكانية التوسع في تطبيق الإطار في بيئات متنوعة، مثل المنشآت الصحية والصناعية والمطارات ومحطات الطاقة والمياه ومراكز البيانات والمرافق الحضرية، مع مراعاة اختلاف طبيعة الأصول والاحتياجات التشغيلية لكل بيئة.
8. دعم بناء شراكات مستقبلية بين البحث العلمي والقطاع التطبيقي من خلال تحويل نتائج الدراسة إلى أساس يمكن أن تستفيد منه المؤسسات والشركات المتخصصة في تطوير حلول الإدارة الذكية للأصول والمرافق والبنية التحتية.

1.6 فرضيات الدراسة

الفرضية الرئيسية H1

يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لتكامل تقنيات الذكاء الاصطناعي والتوأم الرقمي وإنترنت الأشياء في تعزيز الإدارة الذكية والاستباقية للأصول والمرافق والبنية التحتية.

الفرضيات الفرعية

- H1-1: يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لتكامل البيانات والأنظمة وتقنيات إنترنت الأشياء في تعزيز المراقبة والرؤية التشغيلية للأصول والمرافق والبنية التحتية.
- H1-2: يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لتوظيف الذكاء الاصطناعي والتحليلات التنبؤية في تحسين التنبؤ بالأعطال ودعم قرارات التشغيل والصيانة وإدارة الأصول.
- H1-3: يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لتوظيف التوأم الرقمي في تحسين التمثيل الرقمي للحالة التشغيلية للأصول ودعم عمليات المراقبة والتشغيل والصيانة واتخاذ القرار.
- H1-4: يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لتكامل الذكاء الاصطناعي والتوأم الرقمي وإنترنت الأشياء في تعزيز قابلية تطبيق وتبني إطار الإدارة الذكية والاستباقية للأصول والمرافق والبنية التحتية.

1.7 مصطلحات الدراسة

1. المنصة الذكية المتكاملة

يمكن النظر إلى المنصة الذكية المتكاملة باعتبارها بيئة رقمية مترابطة تجمع البيانات من مصادر وأنظمة وأصول متعددة، وتوظف تقنيات الاتصال والمعالجة والتحليل الذكي لإنتاج معلومات متكاملة تدعم المراقبة والتشغيل واتخاذ القرار. ويستند هذا المفهوم إلى الاتجاه نحو دمج إنترنت الأشياء والتوأم الرقمي والذكاء الاصطناعي ضمن بيئات تشغيلية مترابطة لدعم الإدارة الذكية للأصول والأنظمة (Matei & Alnaser et al., 2024; Coccoşatu, 2024).

ويقصد بها في الدراسة الحالية التصور المقترح لمنظومة رقمية متكاملة لإدارة وتشغيل ومراقبة الأصول والمرافق والبنية التحتية، تقوم على التكامل الوظيفي بين إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي والتوأم الرقمي، بهدف توفير رؤية تشغيلية موحدة ودعم التحليل والتنبؤ واتخاذ القرارات الاستباقية.

2. الإدارة الذكية للأصول والمرافق والبنية التحتية

تشير الإدارة الذكية للأصول والمرافق إلى توظيف التقنيات الرقمية والبيانات والتحليلات المتقدمة في إدارة الأصول وتشغيل المرافق ومراقبتها وصيانتها، بما يساعد على تحسين الأداء والكفاءة ودعم القرارات الإدارية والتشغيلية. ويتزايد ارتباط هذا المفهوم باستخدام التوأم الرقمي وإنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي في إدارة الأصول والبيئات التشغيلية الذكية (الجواني، 2025؛ Li et al., 2024؛ Poyyamozhi et al., 2024). ويقصد بها في الدراسة الحالية قدرة المنشأة على توظيف البيانات والتقنيات الذكية بصورة متكاملة في مراقبة الأصول والمرافق والبنية التحتية وتحليل حالتها التشغيلية ودعم عمليات التشغيل والصيانة واتخاذ القرار.

3. الإدارة الاستباقية للأصول والمرافق والبنية التحتية

تعتبر الإدارة الاستباقية عن توجه إداري يعتمد على استخدام البيانات والتحليلات للتعرف على مؤشرات التغير أو التدهور والتنبؤ بالمشكلات المحتملة قبل حدوثها، بما يسمح باتخاذ إجراءات وقائية في الوقت المناسب بدلاً من الاكتفاء على الاستجابة بعد وقوع العطل. ويرتبط هذا التوجه بصورة خاصة بتطبيقات الذكاء الاصطناعي والصيانة التنبؤية والتوأم الرقمي في إدارة الأصول (Abdullahi et al., 2024؛ Palmitessa et al., 2024؛ Ucar et al., 2024).

ويقصد بها في الدراسة الحالية قدرة الإطار المقترح على دعم الانتقال من الاستجابة للأعطال بعد وقوعها إلى التنبؤ بالمشكلات المحتملة وتحديد احتياجات الصيانة والتدخل التشغيلي مسبقاً، اعتماداً على البيانات المستمرة والتحليلات الذكية ومؤشرات حالة الأصول.

4. الذكاء الاصطناعي

يشير الذكاء الاصطناعي إلى مجموعة من الأساليب والتقنيات الحاسوبية التي تتيح للأنظمة معالجة البيانات والتعرف على الأنماط والتعلم واستخلاص الاستنتاجات وتنفيذ مهام تحليلية وتنبؤية يمكن استخدامها في دعم القرارات. وفي مجال إدارة الأصول، يرتبط استخدامه بصورة متزايدة بتطبيقات الصيانة التنبؤية وتحليل الحالة التشغيلية للأصول (Bourechak et al., 2023؛ Ucar et al., 2024). ويقصد به في الدراسة الحالية توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحليل البيانات التشغيلية للأصول والمرافق، واكتشاف الأنماط والتغيرات غير الطبيعية، والتنبؤ بالأعطال أو التدهور المحتمل، وتوفير مخرجات تحليلية تدعم قرارات التشغيل والصيانة وإدارة الأصول.

5. التحليلات التنبؤية

تشير التحليلات التنبؤية إلى استخدام البيانات المتاحة والنماذج التحليلية والخوارزميات للتعرف على الأنماط وتقدير الحالات أو الأحداث المستقبلية المحتملة. وتعد من التطبيقات المهمة في إدارة الأصول، خاصة في التنبؤ بالأعطال ودعم الصيانة القائمة على الحالة (Abdullahi et al., 2024؛ Ucar et al., 2024).

ويقصد بها في الدراسة الحالية استخدام البيانات التشغيلية الحالية والتاريخية للأصول مع أدوات التحليل الذكي للتعرف على مؤشرات التدهور والتنبؤ بالأعطال أو الاحتياجات المستقبلية للصيانة، بما يدعم اتخاذ الإجراءات الاستباقية.

6. إنترنت الأشياء (IoT)

يشير إنترنت الأشياء إلى بيئة مترابطة من الأجهزة والأصول وأجهزة الاستشعار التي تستطيع جمع البيانات وتبادلها عبر شبكات الاتصال، بما يتيح مراقبة الأشياء والعمليات والبيئات بصورة مستمرة. ويشكل إنترنت الأشياء أحد المكونات الأساسية للبيئات الذكية بسبب دوره في توفير البيانات التشغيلية اللازمة للتحليل واتخاذ القرار (نبيل وجوان، 2024؛ Andriulo et al., 2024؛ Bourechak et al., 2023).

ويقصد به في الدراسة الحالية استخدام أجهزة الاستشعار والاتصال الرقمي لجمع البيانات المتعلقة بالحالة التشغيلية للأصول والمرافق والبنية التحتية وإرسالها بصورة مستمرة إلى المنظومة المقترحة بهدف المراقبة والتحليل ودعم القرار.

7. التوأم الرقمي (Digital Twin)

يشير التوأم الرقمي إلى تمثيل رقمي ديناميكي لكيان أو أصل أو نظام مادي يرتبط بالكيان الفعلي من خلال البيانات، ويتيح متابعة حالته وتحليل أدائه ودراسة السيناريوهات ودعم عمليات التشغيل والصيانة واتخاذ القرار (Li et al., 2024؛ Werbińska-Wojciechowska et al., 2024).

ويقصد به في الدراسة الحالية التمثيل الرقمي الديناميكي للأصول والمرافق والبنية التحتية ضمن الإطار المقترح، بحيث يرتبط بالبيانات التشغيلية الواردة من الأصول ويتيح متابعة حالتها وتحليل أدائها ودعم قرارات التشغيل والصيانة والمراقبة.

8. تكامل البيانات والأنظمة

يشير تكامل البيانات والأنظمة إلى ربط البيانات الناتجة عن مصادر وأنظمة متعددة بطريقة تسمح بتبادلها وتجميعها والاستفادة منها بصورة مترابطة، بما يوفر أساساً لاتخاذ القرارات وتحليل أداء الأنظمة والأصول. ويعد تنوع مصادر البيانات وإمكانية دمجها من المتطلبات المهمة لتحديث التوائم الرقمية وتحقيق فاعليتها في البيئات التشغيلية (Li et al., 2024؛ Issa et al., 2023).

ويقصد به في الدراسة الحالية مدى قدرة الإطار المقترح على ربط البيانات الناتجة عن الأصول وأجهزة الاستشعار وأنظمة التشغيل والصيانة والمراقبة وتحويلها إلى مصدر معلومات موحد يمكن استخدامه في التحليل والمراقبة ودعم القرار.

9. الرؤية التشغيلية الموحدة

تشير الرؤية التشغيلية الموحدة إلى قدرة الإدارة على تكوين صورة شاملة ومترابطة عن حالة الأصول والأنظمة والعمليات من خلال تجميع البيانات ذات الصلة وتحليلها ضمن بيئة متكاملة لدعم القرارات التشغيلية. وترتبط هذه الرؤية بقدرات التوأم الرقمي وأنظمة دعم القرار التي تتيح دمج المعلومات وتحويلها إلى معرفة قابلة للاستخدام (Li et al., 2024؛ Gálvez del Postigo Gallego et al., 2025).

ويقصد بها في الدراسة الحالية مدى قدرة المنصة المقترحة على توفير صورة متكاملة عن الحالة التشغيلية للأصول والمرافق والأنظمة المرتبطة بها، بما يساعد المختصين على فهم الأداء واكتشاف التغيرات ودعم القرارات التشغيلية والصيانة.

10. إدارة الأصول

تشير إدارة الأصول إلى منهج منظم لإدارة الأصول خلال مراحل دورة حياتها بهدف تحقيق القيمة المطلوبة منها، مع الموازنة بين الأداء والتكلفة والمخاطر ومتطلبات التشغيل والاستدامة. ويبرز التوأم الرقمي بوصفه إحدى التقنيات التي يمكن توظيفها لدعم إدارة الأصول الهندسية وتحسين عمليات التشغيل والصيانة (Li et al., 2024؛ Arisekola & Madson, 2023).

ويقصد بها في الدراسة الحالية مجموعة الممارسات المتعلقة بالتخطيط للأصول وتشغيلها ومراقبتها وصيانتها وتقييم أدائها وإدارة مخاطرها طوال دورة حياتها، مع توظيف البيانات والتقنيات الذكية في دعم القرارات المرتبطة بها.

11. إدارة المرافق

تشير إدارة المرافق إلى الإدارة المتكاملة للمنشآت والخدمات والأنظمة والموارد التي تدعم العمليات الأساسية للمنظمة، بما يشمل تشغيل المرافق وصيانتها وإدارة البيئة التشغيلية والموارد المرتبطة بها. ويعزز توظيف التقنيات الذكية قدرة إدارة المرافق على مراقبة الأداء وتحسين كفاءة التشغيل واستخدام الموارد (الجواني، 2025؛ النقيبي وأبو العزم، 2025؛ Poyyamozhi et al., 2024).

ويقصد بها في الدراسة الحالية إدارة وتشغيل وصيانة المرافق والخدمات والأنظمة الداعمة للمنشأة، مع الاستفادة من البيانات والتقنيات الذكية في مراقبة الأداء وتحسين التشغيل والصيانة وإدارة الموارد.

12. البنية التحتية الذكية

تشير البنية التحتية الذكية إلى البنية الأساسية التي يتم تعزيز قدراتها التشغيلية والإدارية من خلال تقنيات الاستشعار والاتصال ومعالجة البيانات والتحليلات الذكية، بما يسمح بمراقبة أدائها والاستجابة للتغيرات وتحسين إدارة مواردها وخدماتها. ويرتبط تطور هذا المفهوم بصورة وثيقة بتطبيقات إنترنت الأشياء والتوائم الرقمي والذكاء الاصطناعي في المدن والمنشآت الذكية (بن النية ونحوي، 2025؛ Matei & Cocosatu, 2024).

ويقصد بها في الدراسة الحالية الأصول والشبكات والمنشآت الأساسية التي يمكن مراقبتها وإدارتها باستخدام تقنيات إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي والتوائم الرقمي، بما يدعم تحسين الأداء واستمرارية التشغيل والاستجابة الاستباقية للمشكلات.

1.8 حدود الدراسة

تحدد الدراسة الحالية مجموعة من الحدود الموضوعية والبشرية والمكانية والزمنية والمنهجية، وذلك لضبط نطاق البحث وتحديد الإطار الذي تُفسر في ضوءه نتائجه، وتتمثل هذه الحدود فيما يأتي:

أولاً: الحدود الموضوعية

تقتصر الدراسة موضوعياً على بحث إمكانية بناء إطار متكامل للإدارة الذكية والاستباقية للأصول والمرافق والبنية التحتية من خلال التكامل بين ثلاث منظومات تقنية رئيسية، هي: إنترنت الأشياء، والذكاء الاصطناعي والتحليلات التنبؤية، والتوائم الرقمي. وتركز الدراسة على دور هذه التقنيات في جمع البيانات التشغيلية، والمراقبة المستمرة، وتحليل حالة الأصول، والتنبؤ بالمشكلات والأعطال، ودعم عمليات التشغيل والصيانة واتخاذ القرار، إلى جانب تقييم قابلية تطبيق وتبني الإطار المقترح.

ثانياً: الحدود البشرية

تقتصر الدراسة ميدانياً على المتخصصين والمهنيين الذين ترتبط طبيعة عملهم بإدارة الأصول والمرافق والتشغيل والصيانة والهندسة والتحول الرقمي وتقنيات المنشآت الذكية، باعتبارهم الفئة الأكثر قدرة على تقييم الاحتياجات التشغيلية ومدى ملاءمة التقنيات المقترحة للبيئات المهنية. وتشمل الفئات المستهدفة مديري الأصول والمرافق والصيانة، والمهندسين، ومهندسي التشغيل، والمتخصصين في التحول الرقمي وأنظمة المباني والتحكم، وغيرهم من أصحاب الاختصاص ذي الصلة بموضوع الدراسة.

ثالثاً: الحدود المكانية

تُطبق الدراسة الميدانية على عينة من المتخصصين والمهنيين العاملين في المؤسسات والمنشآت التي تعتمد على الأصول والمرافق والبنية التحتية في عملياتها التشغيلية في المملكة العربية السعودية.

رابعاً: الحدود الزمنية

تحدد الحدود الزمنية للدراسة بالفترة التي تم خلالها إعداد أداة الدراسة وتوزيع الاستبانة وجمع البيانات الميدانية وتحليلها، وذلك خلال الفترة من أغسطس إلى سبتمبر 2026م.

خامساً: الحدود المنهجية

تتبنى الدراسة المنهج الوصفي التحليلي ذا الطابع الارتباطي لدراسة تصورات أفراد العينة حول مكونات الإطار المقترح والعلاقات بينها ومدى قابليته للتطبيق والتبني. وتعتمد الدراسة في جمع البيانات الأولية على الاستبانة بوصفها الأداة الرئيسة للحصول على البيانات الميدانية، ثم تحليلها باستخدام الأساليب الإحصائية المناسبة لطبيعة المتغيرات والفرضيات. كما تقتصر نتائج الدراسة الميدانية على قياس تصورات أفراد العينة والعلاقات الإحصائية بين متغيرات الدراسة، ولا تمثل اختباراً تشغيلياً فعلياً للمنصة المقترحة أو قياساً مباشراً لأدائها في بيئة تشغيلية حقيقية.

1.9 هيكل الدراسة

يتكون البحث من خمسة فصول رئيسة، وذلك على النحو الآتي:

1. **الفصل الأول: الإطار العام للدراسة:** ويتضمن المقدمة، والمشكلة البحثية، والأسئلة، والأهداف، والأهمية، والفرضيات، والمصطلحات، والحدود، وهيكل البحث.
2. **الفصل الثاني: الإطار النظري والدراسات السابقة:** ويتناول المفاهيم والتقنيات المرتبطة بالذكاء الاصطناعي، وإنترنت الأشياء، والتوأمة الرقمي، وإدارة الأصول والمرافق والبنية التحتية، مع عرض الدراسات السابقة وتحديد الفجوة البحثية.
3. **الفصل الثالث: منهجية الدراسة وإجراءاتها:** ويتضمن المنهج، ومجتمع وعينة الدراسة، وأداة جمع البيانات، وصدقها وثباتها، وإجراءات التطبيق، والأساليب الإحصائية المستخدمة.
4. **الفصل الرابع: نتائج الدراسة ومناقشتها:** ويتضمن عرض البيانات وتحليلها إحصائياً، واختبار الفرضيات، ومناقشة النتائج في ضوء الإطار النظري والدراسات السابقة.
5. **الفصل الخامس: الاستنتاجات والتوصيات:** ويتضمن الاستنتاجات الرئيسة، والتوصيات، والمقترحات البحثية المستقبلية المرتبطة بتطوير وتطبيق المنصة الذكية المتكاملة.

الفصل الثاني: الإطار النظري والدراسات السابقة

2.1 المقدمة

يشهد مجال إدارة الأصول والمرافق والبنية التحتية تحولاً متزايداً نحو الإدارة الذكية القائمة على البيانات والتقنيات الرقمية، نتيجة تزايد تعقيد الأصول، وتنوع مصادر البيانات، والحاجة إلى رفع كفاءة التشغيل والصيانة وتقليل المخاطر والتوقعات غير المخطط لها. وقد أسهم التطور المتزامن في تقنيات إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي والتوأمة الرقمي في توفير إمكانيات جديدة للمراقبة المستمرة وتحليل الأداء والتنبؤ بالمشكلات ودعم القرارات التشغيلية (Alnaser et al., 2024؛ Li et al., 2024).

ولا تقتصر أهمية هذه التقنيات على استخدامها بصورة منفردة، وإنما تتزايد قيمتها عند تكاملها ضمن منظومة واحدة؛ حيث يوفر إنترنت الأشياء البيانات التشغيلية، ويقوم الذكاء الاصطناعي بتحليلها والتنبؤ بالحالات المستقبلية، بينما يتيح التوأمة الرقمي تمثيل الأصول ومتابعة حالتها ودعم عمليات التشغيل والصيانة واتخاذ القرار (Abdullahi et al., 2024؛ Ucar et al., 2024).

وانطلاقاً من ذلك، يتناول هذا الفصل الأسس النظرية المرتبطة بالإدارة الذكية والاستباقية للأصول والمرافق والبنية التحتية، مع تحليل دور التقنيات الرقمية الرئيسة في تطويرها، ثم عرض الدراسات السابقة العربية والأجنبية ذات الصلة وتحليل نتائجها واتجاهاتها، وصولاً إلى تحديد الفجوة البحثية التي تستهدف الدراسة الحالية معالجتها وبيان إضافتها العلمية والتطبيقية.

2.2 الإطار النظري

2.2.1 الإدارة الذكية للأصول والمرافق والبنية التحتية

لم تعد الإدارة الذكية للأصول والمرافق والبنية التحتية مجرد اتجاه تقني حديث، بل أصبحت استجابة مباشرة للتعقيد المتزايد في الأصول وتنوع البيانات المرتبطة بها والحاجة إلى قرارات تشغيلية أكثر سرعة ودقة. وتقوم هذه الإدارة على توظيف البيانات والتقنيات الرقمية في مراقبة الأصول وتحليل أدائها وتحسين التشغيل والصيانة ودعم القرار، بما يجعل البيانات عنصراً أساسياً في إدارة الأصل، وليس مجرد ناتج جانبي لعمليات التشغيل (الجواني، 2025؛ Li et al., 2024).

ويرى الباحث أن جوهر الإدارة الذكية لا يتمثل في عدد التقنيات المستخدمة، وإنما في قدرتها على العمل داخل منظومة إدارية واحدة تنتج قيمة فعلية للمنشأة. فامتلاك أجهزة استشعار أو أنظمة رقمية منفصلة لا يعني بالضرورة الوصول إلى إدارة ذكية، ما لم يتم ربط البيانات وتحليلها وتوظيف نتائجها في القرارات التشغيلية والصيانة. ومن هنا يظهر الفرق بين الرقمنة التي تركز على تحويل المعلومات إلى صورة رقمية، والإدارة الذكية التي تستخدم هذه المعلومات في الفهم والتنبؤ والتدخل المناسب (النقبي وأبو العزم، 2025؛ Poyyamozhi et al., 2024).

2.2.2 الإدارة الاستباقية للأصول والمرافق

تمثل الإدارة الاستباقية تحولاً في فلسفة إدارة الأصول؛ فبدلاً من انتظار حدوث العطل ثم التعامل مع نتائجه، تقوم على الاستقادة من البيانات والمؤشرات التشغيلية للتعرف على احتمالات التدهور والتدخل قبل وقوع المشكلة. وقد ساعد تطور الذكاء الاصطناعي والتحليلات التنبؤية على تعزيز هذا الاتجاه من خلال تحليل البيانات التاريخية والأنية واكتشاف الأنماط المرتبطة بالأعطال المحتملة (Ucar et al., 2024). كما يوفر التوأم الرقمي إمكانية متابعة التغيرات في حالة الأصل وربطها ببياناته الفعلية، وهو ما يعزز قدرة المنشأة على مراقبة الأداء وتحديد الاحتياجات المستقبلية للتشغيل والصيانة (Abdullahi et al., 2024؛ Werbińska-Wojciechowska et al., 2024). ويرى الباحث أن القيمة الحقيقية للإدارة الاستباقية لا تبدأ عند مرحلة التنبؤ بالعطل، وإنما تبدأ قبل ذلك من جودة البيانات التي تستند إليها عملية التنبؤ، ثم من قدرة النظام على تحويل التنبؤ إلى قرار قابل للتنفيذ. ولذلك فإن الفصل بين جمع البيانات والتحليل والتنبؤ واتخاذ القرار يحد من القيمة التي يمكن تحقيقها، حتى لو كانت كل تقنية منها متقدمة في حد ذاتها.

2.2.3 إدارة الأصول الذكية ودورة حياة الأصل

تتجاوز إدارة الأصول الحديثة فكرة المحافظة على الأصل وتشغيله إلى إدارة دورة حياته بصورة متكاملة، بدءاً من التخطيط والاقتناء، مروراً بالتشغيل والصيانة، وانتهاءً بالإحلال أو التخلص منه. وتتيح التقنيات الرقمية إمكانية دعم هذه الدورة من خلال توفير معلومات أكثر شمولاً عن أداء الأصل وحالته وتكاليفه ومخاطره، بما يساعد على تحسين القرارات المتعلقة به (Li et al., 2024). ويكتسب التوأم الرقمي أهمية خاصة في هذا المجال؛ لأنه يسمح بإنشاء تمثيل رقمي للأصل يرتبط بالبيانات التشغيلية، بينما يوفر إنترنت الأشياء البيانات المستمرة، ويمكن للذكاء الاصطناعي تحليلها واستخدامها في التنبؤ بالأداء والمشكلات المستقبلية (Arisekola & Madson, 2023؛ Li et al., 2024).

ومن وجهة نظر الباحث، فإن التعامل مع كل أصل باعتباره وحدة مستقلة يمثل أحد القيود التي ينبغي تجاوزها في الإدارة الذكية؛ لأن الأصل يعمل داخل شبكة من الأصول والأنظمة والعمليات، وأي تغير في أحد مكوناتها قد يؤثر في المكونات الأخرى. لذلك فإن القيمة المضافة للإطار المقترح لا تتمثل فقط في مراقبة الأصل منفرداً، وإنما في توفير رؤية أكثر تكاملاً للعلاقات التشغيلية بين الأصول والأنظمة داخل المنشأة.

2.2.4 إنترنت الأشياء ودوره في الإدارة الذكية

يمثل إنترنت الأشياء إحدى الركائز الأساسية للإدارة الذكية؛ لأنه يتيح ربط الأصول والمعدات وأجهزة الاستشعار وتبادل البيانات بينها، بما يوفر معلومات مستمرة عن الحالة التشغيلية والظروف المحيطة بالأصول. وتزداد أهمية هذه التقنية في البيئات التي تتعدد فيها الأصول وتتطلب مراقبة مستمرة للأداء (Andriulo et al., 2024؛ Poyyamozhi et al., 2024).

إلا أن جمع البيانات في حد ذاته لا يضمن تحقيق قيمة إدارية؛ فالقيمة ترتبط بمدى جودة البيانات وتكاملها وقدرة الأنظمة على تحليلها والاستفادة منها. وتشير الأدبيات إلى أهمية التكامل بين إنترنت الأشياء وتقنيات الحوسبة والتحليل والذكاء الاصطناعي لتحقيق استفادة أكبر من البيانات المتدفقة من الأجهزة والأصول (Bourechak et al., 2023).

ويرى الباحث أن التحدي الحقيقي في إنترنت الأشياء ليس في زيادة عدد أجهزة الاستشعار أو حجم البيانات، وإنما في تحويل البيانات المتولدة منها إلى معرفة تشغيلية قابلة للاستخدام. ولذلك لا يتعامل البحث مع إنترنت الأشياء باعتباره حلاً مستقلاً، وإنما باعتباره طبقة الاستشعار وتوليد البيانات داخل منظومة أكبر.

وبناءً على ذلك، يوظف الإطار المقترح إنترنت الأشياء بوصفه نقطة البداية في دورة الإدارة الذكية؛ حيث توفر أجهزة الاستشعار البيانات المتعلقة بالأصول والمرافق، ثم تنتقل هذه البيانات إلى طبقات التحليل والتمثيل الرقمي ودعم القرار، بما يجعل إنترنت الأشياء جزءاً من منظومة متكاملة وليس تقنية منفصلة عن بقية مكونات الحل المقترح.

2.2.5 الذكاء الاصطناعي والتحليلات التنبؤية

أصبح الذكاء الاصطناعي من أهم التقنيات الداعمة لتطوير إدارة الأصول والمرافق، نتيجة قدرته على التعامل مع كميات كبيرة ومتنوعة من البيانات واكتشاف الأنماط والعلاقات التي قد يصعب الوصول إليها بالأساليب التقليدية. وتبرز أهميته بصورة خاصة في الصيانة التنبؤية، حيث يمكن توظيف خوارزميات الذكاء الاصطناعي لتحليل بيانات التشغيل والتعرف على مؤشرات التدهور والتنبؤ بالأعطال المحتملة (Ucar et al., 2024). كما أن توظيف الذكاء الاصطناعي في البيانات القائمة على إنترنت الأشياء يتيح الانتقال من مجرد جمع البيانات إلى تحليلها واستخلاص مؤشرات يمكن الاستفادة منها في مراقبة الأصول ودعم القرارات التشغيلية. ويزداد هذا الدور أهمية مع تنوع مصادر البيانات وحاجتها إلى معالجة وتحليل مستمرين (Bourechak et al., 2023).

ويرى الباحث أن القيمة الأساسية للذكاء الاصطناعي في إدارة الأصول لا تكمن في قدرته على تحليل البيانات فقط، وإنما في قدرته على تحويل البيانات التشغيلية إلى معرفة مستقبلية يمكن أن تغير توقيت القرار نفسه. فبدلاً من انتظار ظهور العطل، يصبح من الممكن الاستناد إلى المؤشرات المبكرة لتحديد احتمال حدوثه واتخاذ إجراء مناسب قبل أن يتحول إلى توقف فعلي.

ومن هذا المنطلق، لا ينظر البحث إلى الذكاء الاصطناعي باعتباره أداة منفصلة عن منظومة الإدارة، بل باعتباره طبقة التحليل والتنبؤ التي تستقبل البيانات الناتجة عن إنترنت الأشياء، وتعمل على تفسيرها وربطها بالحالة التشغيلية للأصل، بما يدعم الانتقال إلى الإدارة الاستباقية.

2.2.6 التوائم الرقمي ودوره في إدارة الأصول

يمثل التوأم الرقمي أحد الاتجاهات المهمة في التحول نحو إدارة الأصول القائمة على البيانات، إذ يقوم على إنشاء تمثيل رقمي ديناميكي لأصل أو نظام مادي، مع إمكانية تحديث هذا التمثيل بالبيانات الفعلية المرتبطة بالأصل. ويسمح ذلك بمتابعة الحالة التشغيلية وتحليل الأداء ودعم عمليات التشغيل والصيانة واتخاذ القرار (Li et al., 2024).

وتشير الدراسات إلى تنامي استخدام التوأم الرقمي في إدارة الأصول الهندسية، وفي أنظمة النقل والتصنيع والمرافق، خاصة عندما يتكامل مع مصادر متعددة للبيانات وتقنيات الاستشعار والتحليل الذكي (Arisekola & Madson, 2023؛ Issa et al., 2023؛ Werbińska-Wojciechowska et al., 2024).

ويرى الباحث أن أهم ما يميز التوأم الرقمي عن مجرد النماذج الرقمية التقليدية هو ارتباطه المستمر بالواقع التشغيلي؛ فالنموذج الرقمي يصف الأصل، بينما يسعى التوأم الرقمي إلى تمثيل حالته المتغيرة استناداً إلى البيانات الفعلية. وهذا الفرق يجعله أكثر ارتباطاً بعمليات المراقبة والتنبؤ واتخاذ القرار. وبناءً على ذلك، يمثل التوأم الرقمي في الإطار المقترح حلقة الربط بين الأصل الفعلي والبيئة الرقمية؛ إذ تستقبل المنظومة البيانات من الأصل، ثم تستخدمها في تحديث تمثيله الرقمي وتحليل حالته، بما يتيح رؤية أكثر شمولاً للأداء ويساعد على اتخاذ القرارات التشغيلية والصيانة في ضوء الحالة الفعلية للأصل.

2.2.7 تكامل البيانات والأنظمة

يمثل تكامل البيانات والأنظمة أحد المتطلبات الأساسية لتحقيق القيمة الكاملة من التقنيات الذكية، خاصة في المنشآت التي تضم عددًا كبيرًا من الأصول والأنظمة المختلفة. فوجود بيانات موزعة بين أنظمة منفصلة قد يؤدي إلى تجزئة الرؤية التشغيلية ويحد من القدرة على تكوين صورة شاملة عن حالة المنشأة (Issa et al., 2023).

ويزداد هذا التحدي مع الاعتماد على مصادر متعددة للبيانات؛ إذ قد تأتي البيانات من أجهزة الاستشعار وأنظمة التشغيل والصيانة وأنظمة المباني وغيرها من المصادر. ومن ثم، فإن تحقيق بيئة تشغيلية ذكية يتطلب آليات تسمح بربط هذه المصادر والاستفادة منها بصورة مترابطة (Li et al., 2024).

ويرى الباحث أن مشكلة البيانات في إدارة الأصول لا تتمثل دائمًا في نقصها، وإنما قد تتمثل في تشتتها وعدم قدرتها على الوصول إلى متخذ القرار في صورة موحدة. ولذلك فإن زيادة عدد الأنظمة الرقمية دون تحقيق التكامل بينها قد تؤدي إلى زيادة التعقيد بدلاً من تحسين الرؤية التشغيلية. ومن هنا يقوم الإطار المقترح على اعتبار تكامل البيانات والأنظمة أساسًا لبقية مكونات المنظومة؛ لأن الذكاء الاصطناعي يحتاج إلى بيانات مترابطة وموثوقة، والتوأم الرقمي يحتاج إلى تدفق مستمر من البيانات، بينما تحتاج الإدارة إلى مخرجات تجمع هذه المعلومات في صورة قابلة للفهم والاستفادة.

2.2.8 الرؤية التشغيلية الموحدة ودعم القرار

تتطلب الإدارة الحديثة للأصول والمرافق القدرة على الحصول على معلومات متكاملة عن الحالة التشغيلية بدلاً من الاعتماد على مؤشرات منفصلة لكل نظام أو أصل. وتساعد البيانات الرقمية المتكاملة على توفير هذه الرؤية من خلال تجميع البيانات وتحليلها وإنتاجها لمتخذي القرار في صورة معلومات مترابطة (Gálvez del Postigo Gallego et al., 2025).

ويبرز التوأم الرقمي في هذا السياق بوصفه أداة يمكن أن تربط البيانات التشغيلية بالتمثيل الرقمي للأصل، بينما توفر تقنيات الذكاء الاصطناعي إمكانيات تحليلية تساعد في تفسير البيانات واستخلاص المؤشرات والتنبؤ بالحالات المستقبلية (Li et al., 2024).

ويرى الباحث أن الرؤية التشغيلية الموحدة تمثل الحلقة التي تربط التقنية بالقرار الإداري؛ فمهما بلغت جودة البيانات والتحليلات، تظل القيمة محدودة إذا لم يتم تحويل نتائجها إلى معلومات واضحة يمكن أن يستند إليها المسؤول في اتخاذ القرار. ومن ثم، فإن الهدف النهائي من التكامل التقني ليس إنتاج المزيد من البيانات، وإنما تحسين جودة القرار وتوقيته.

وبناءً عليه، ينظر الإطار المقترح إلى الرؤية التشغيلية الموحدة باعتبارها مخرجًا مركزيًا لتكامل البيانات وإنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي والتوأم الرقمي، بحيث ينتقل النظام من مجرد مراقبة الأصول إلى توفير صورة متكاملة عن حالتها الحالية والمحتملة ودعم القرارات التشغيلية والصيانة.

2.2.9 التكامل بين الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء والتوأم الرقمي

تشير الاتجاهات الحديثة إلى أن القيمة المتوقعة من التقنيات الذكية تزداد عندما تعمل بصورة مترابطة بدلاً من تطبيقها بصورة منفردة. فبينما يوفر إنترنت الأشياء البيانات من البيئة الفعلية، يقدم الذكاء الاصطناعي إمكانيات التحليل والتنبؤ، ويتيح التوأم الرقمي تمثيل الأصل أو النظام وربط البيانات بحالته التشغيلية (Abdullahi et al., 2024؛ Alnaser et al., 2024).

ويرى الباحث أن هذا التكامل يمثل جوهر التحول من «أصول متصلة» إلى «أصول قابلة للإدارة الذكية والاستباقية». فالإتصال وحده لا يوفر التنبؤ، والتحليل وحده لا يضمن فهم السياق التشغيلي، والتمثيل الرقمي وحده لا يحقق قيمة مستدامة دون تدفق البيانات. ولذلك فإن الجمع بين هذه المكونات ضمن دورة واحدة هو ما يمنح المنظومة قدرتها على الانتقال من المراقبة إلى التحليل، ومن التحليل إلى التنبؤ، ومن التنبؤ إلى القرار.

وانطلاقًا من هذا التصور، تقوم الدراسة الحالية على أن الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء والتوأم الرقمي ليست متغيرات تقنية مستقلة فحسب، وإنما مكونات مترابطة لمنظومة إدارية واحدة. ويشكل هذا المنظور أساس الإطار المقترح للمنصة الذكية المتكاملة، والذي يستهدف بناء إدارة أكثر قدرة على المراقبة المستمرة والتنبؤ ودعم القرار وإدارة الأصول بصورة استباقية.

2.2.10 خلاصة الإطار النظري

يتضح من العرض السابق أن الإدارة الذكية للأصول والمرافق والبنية التحتية لم تعد تعتمد على تقنية منفردة، وإنما تتطلب تكامل مجموعة من التقنيات التي تعمل ضمن منظومة مترابطة. ويوفر إنترنت الأشياء البيانات التشغيلية المستمرة، بينما يقوم الذكاء الاصطناعي والتحليلات التنبؤية بتحويل هذه البيانات إلى مؤشرات وتنبؤات، في حين يوفر التوأم الرقمي بيئة رقمية لتمثيل الأصول ومتابعة حالتها وتحليل أدائها. ويؤدي تكامل هذه المكونات إلى تعزيز الرؤية التشغيلية ودعم الانتقال نحو إدارة أكثر استباقية للأصول والمرافق والبنية التحتية (Abdullahi et al., 2024؛ Li et al., 2024).

ويرى الباحث أن القيمة الحقيقية لهذا التكامل تتمثل في الانتقال من إدارة تعتمد على اكتشاف المشكلة بعد وقوعها إلى منظومة قادرة على استشراف الحالة المستقبلية للأصل ودعم القرار قبل حدوث المشكلة. ومن هذا المنطلق، يشكل التكامل بين التقنيات الثلاث الأساس النظري الذي يستند إليه النموذج المقترح في الدراسة الحالية، والذي سيتم التحقق من مدى ملاءمته وقابليته للتطبيق من خلال الدراسة الميدانية.

2.3 الدراسات السابقة

تمثل الدراسات السابقة أساساً مهماً لتحديد موقع الدراسة الحالية ضمن المعرفة العلمية المتراكمة، ليس من خلال حصر ما تناولته البحوث السابقة فحسب، وإنما من خلال تحليل اتجاهاتها ومداخلها ونتائجها، والكشف عن الجوانب التي ما تزال بحاجة إلى مزيد من البحث. وقد أظهرت مراجعة الأدبيات وجود اهتمام متزايد بتطبيق الذكاء الاصطناعي، وإنترنت الأشياء، والتوأم الرقمي، والمدن الذكية في مجالات التشغيل والصيانة وإدارة الأصول والمرافق والبنية التحتية.

وتتباين هذه الدراسات في نطاق اهتمامها؛ فبعضها ركز على تقنية واحدة أو تطبيق محدد، بينما اتجه بعضها الآخر إلى دراسة التكامل بين عدد من التقنيات. ومن ثم، تعرض الدراسة الحالية للدراسات العربية والأجنبية وفق هذا الاتجاه، مع إبراز ما يمكن الاستفادة منه في بناء الإطار المقترح، وصولاً في نهاية المبحث إلى تحديد الفجوة البحثية التي تستهدف الدراسة الحالية معالجتها.

أولاً: الدراسات العربية

1. دراسة البازعي (2025)

هدفت دراسة البازعي (2025) إلى اقتراح منهجية متكاملة لتطبيق أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي في المنشآت الصحية، مع تحليل الفرص والتحديات المرتبطة بهذا التطبيق. وركزت الدراسة على أهمية الذكاء الاصطناعي في تحسين صيانة المعدات والأجهزة الطبية والبنية التحتية، من خلال الصيانة التنبؤية والتحليلية، كما تناولت العوامل التقنية والتنظيمية والقانونية والأخلاقية المؤثرة في نجاح التطبيق. وانتهت إلى تصور لمراحل تطبيق تبدأ بالتقييم والتخطيط والتنفيذ والمتابعة والتقييم، مع التأكيد على إمكانية تحسين كفاءة الصيانة وخفض التكاليف وتعزيز استمرارية الخدمات عند توافر المتطلبات المناسبة.

وتستفيد الدراسة الحالية من هذه الدراسة في تأكيد أهمية الانتقال من الصيانة التقليدية إلى الصيانة المعتمدة على التنبؤ والتحليل، إلا أنها تتجاوز نطاقها القطاعي من خلال النظر إلى إدارة الأصول والمرافق والبنية التحتية ضمن منظومة تقنية أكثر تكاملاً.

2. دراسة البازعي (2026)

تناولت الدراسة أثر تبني تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة صيانة البنية التحتية للمستشفيات، وانطلقت من تعقيد البنية التحتية الصحية والحاجة إلى الحفاظ على استمرارية الخدمات وجودتها. وركزت الدراسة على توظيف الصيانة التنبؤية والتحليلية في تحليل البيانات والتنبؤ بالأعطال المحتملة وتحسين جداول الصيانة وتخصيص الموارد. كما قدمت إطاراً نظرياً يربط بين تبني الذكاء الاصطناعي وكفاءة الصيانة، وأكدت أن التغلب على تحديات التبني يمكن أن يعزز الكفاءة ويقلل التكاليف ويدعم استمرارية الخدمات. وتكشف هذه الدراسة عن أهمية الذكاء الاصطناعي باعتباره أداة للتحويل من الصيانة التفاعلية إلى الصيانة التنبؤية، وهو أحد الجوانب التي تتقاطع مع الدراسة الحالية، إلا أن الدراسة الحالية توسع نطاق المعالجة ليشمل التكامل بين الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء والتوأمة الرقمي بدلاً من التركيز على الذكاء الاصطناعي وحده.

3. دراسة برورة ورزقي (2025)

هدفت الدراسة إلى تقييم تجربة المدن الذكية في الجزائر من خلال استعراض المبادرات التي اتخذتها الدولة والتحديات التي تواجه تطبيق مفهوم المدن الذكية، إلى جانب الاستفادة من بعض التجارب العربية والأجنبية. واعتمدت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي، وخلصت إلى أن الجزائر تتجه نحو توظيف تكنولوجيا المعلومات والاتصال في بناء مدن أكثر ذكاءً واستدامة، إلا أن هناك مجموعة من الصعوبات التي تجعل التجربة ما تزال بعيدة نسبياً عن مستوى التجارب المتقدمة. وتتفق الدراسة الحالية مع هذه الدراسة في النظر إلى الذكاء الحضري باعتباره تحولاً مؤسسياً وتقنياً متكاملاً، لكنها تركز بصورة أكثر تحديداً على الأصول والمرافق والبنية التحتية باعتبارها مكونات أساسية في هذا التحول، وتسعى إلى بناء إطار يمكن تطبيقه على مستوى الأصل والمنشأة والبنية التحتية.

4. دراسة بصافة (2025)

بحثت الدراسة إمكانيات استخدام إنترنت الأشياء في دعم نظام مستدام للأمن الغذائي، مع التركيز على توظيف أجهزة الاستشعار وتقنيات الاتصال في مراقبة الظروف البيئية الزراعية وتحسين كفاءة الإنتاج. وأوضحت الدراسة إمكانية استخدام إنترنت الأشياء في مراقبة التربة، وتنظيم الري، ومتابعة أنماط الطقس، ومراقبة صحة الماشية وتتبع المعدات، بما يساهم في تحسين استخدام الموارد وتعزيز الاستدامة. وتؤكد هذه الدراسة أن القيمة الأساسية لإنترنت الأشياء تنبع من قدرته على توفير بيانات مستمرة من البيئة الفعلية، وهو ما يمثل أحد الأسس التي تعتمد عليها الدراسة الحالية. إلا أن الدراسة الحالية تنقل هذه الفكرة إلى مجال إدارة الأصول والمرافق، وترتبط البيانات الناتجة عن إنترنت الأشياء بالتحليل الذكي والتوأمة الرقمي.

5. دراسة بن النية ونحوي (2025)

تناولت الدراسة الإدارة الذكية للمدن باعتبارها توجهاً مستقبلياً لمواجهة تحديات النمو السكاني وتدهور البنية التحتية والضغط البيئي. وركزت الدراسة على دور الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء والبيانات الضخمة في تحسين إدارة المدن، وترشيد الموارد، وتقليل الآثار البيئية، وتعزيز قدرة المدن على الاستجابة للآزمات والكوارث. وتبرز أهمية هذه الدراسة بالنسبة للبحث الحالي في تأكيدها أن الإدارة الذكية لا تنفصل عن إدارة البنية التحتية والموارد، إلا أن الدراسة الحالية تضيق نطاق التحليل إلى إدارة الأصول والمرافق والبنية التحتية، وتضيف التوأمة الرقمي والتحليلات التنبؤية باعتبارها مكونين أساسيين في الإدارة الاستباقية.

6. دراسة بن شرطية (2025)

بحثت الدراسة استراتيجية المدن الذكية وآليات تنفيذها وتفعيلها، وركزت على العلاقة بين التخطيط الحضري والتقنيات الرقمية، وعلى ضرورة وجود بنية تحتية مناسبة وآليات تنفيذ واضحة لتحقيق التحول نحو المدن الذكية. وأبرزت الدراسة أن نجاح المدن الذكية يتطلب تجاوز الجانب النظري إلى التطبيق العملي، وتحقيق التكامل بين البنى التحتية المادية والرقمية بما يحسن الخدمات الحضرية ويواجه تحديات النمو والضغط على البنية التحتية. وتتقاطع هذه النتيجة مع توجه الدراسة الحالية في التأكيد على أن التحول الرقمي لا يتحقق بمجرد امتلاك التكنولوجيا، وإنما بوجود إطار تطبيقي قادر على ربط المكونات التقنية بالعمليات الفعلية، وهو ما تسعى الدراسة الحالية إلى ترجمته في إطار متكامل لإدارة الأصول والمرافق.

7. دراسة بن طلحة وركيمة (2025)

ركزت الدراسة على دور التوأم الرقمي في تعزيز الذكاء الاقتصادي والمرونة التنافسية الحضرية، من خلال دراسة حالة سنغافورة ومشروع «سنغافورة الافتراضية». وأوضحت الدراسة أن التوأم الرقمي يوفر تمثيلاً افتراضياً ديناميكياً للواقع المادي، ويسمح بتحليل البيانات في الوقت الفعلي ومحاكاة السيناريوهات، بما يعزز جودة صنع القرار والقدرة على مواجهة الصدمات وتحسين التنافسية الحضرية. وتقيد هذه الدراسة في دعم أحد المكونات الرئيسة للنموذج الحالي، وهو التوأم الرقمي بوصفه وسيلة لربط الواقع المادي بالبيئة الرقمية ودعم القرار. إلا أن الدراسة الحالية لا تقف عند التوأم الرقمي، وإنما تدمجه مع إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي ضمن منظومة واحدة لإدارة الأصول والمرافق.

8. دراسة بونوة (2025)

ناقشت الدراسة آفاق تطبيق تكنولوجيا التوأم الرقمي والتحديات المرتبطة بها، وانطلقت من كون التوأم الرقمي تقنية تربط النظام المادي بالنظام الافتراضي من خلال مجموعة من المعدات والأدوات والبرامج. وأكدت الدراسة تزايد أهمية هذه التقنية في تطوير الإنتاج وحل بعض المشكلات الاقتصادية والتشغيلية، مع الإشارة إلى ضرورة تعزيز البنية الرقمية، وتأهيل الكوادر، وتكامل البيانات، وتطبيق التقنية بصورة تدريجية. وتتفق الدراسة الحالية مع هذا الطرح في اعتبار تكامل البيانات والبنية الرقمية والموارد البشرية شروطاً أساسية للاستفادة من التوأم الرقمي، لكنها تضيف إلى ذلك منظوراً تكاملياً يربط التوأم الرقمي بإنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي لتحقيق إدارة استباقية للأصول.

9. دراسة بونيهي وبوهدة وظاهير (2025)

هدفت الدراسة إلى توضيح استخدامات إنترنت الأشياء في السياحة المحلية الذكية، مع دراسة تجربة دولة الإمارات العربية المتحدة. وأظهرت الدراسة أن إنترنت الأشياء يمثل عنصراً أساسياً في بناء المدن الذكية وربط مختلف الأطراف، كما تناولت مشروعات ذكية في الإمارات تعتمد على هذه التقنية في إدارة عناصر البنية التحتية ودعم مجالات الحياة والتنقل والسياحة الذكية. وتبرز هذه الدراسة اتساع نطاق استخدام إنترنت الأشياء خارج التطبيقات الصناعية التقليدية، إلا أن الدراسة الحالية تتجه إلى استخدام التقنية باعتبارها طبقة استشعار ومصدراً للبيانات داخل منظومة إدارة الأصول والمرافق، بما يجعلها جزءاً من حل متكامل وليس غاية مستقلة.

10. دراسة الجواني (2025)

تناولت الدراسة دور الذكاء الاصطناعي في تحسين جودة المرافق العامة في المملكة العربية السعودية، مع التركيز على الفرص التي توفرها هذه التقنيات والتحديات المرتبطة باستخدامها. وتناولت الدراسة طبيعة الذكاء الاصطناعي وتطبيقاته في المرافق والخدمات العامة، إضافة إلى الجوانب القانونية والإدارية والآثار المحتملة لاستخدامه في تطوير جودة الخدمات الحكومية. وتكتسب هذه الدراسة أهمية خاصة بالنسبة للدراسة الحالية؛ لأنها تربط مباشرة بين الذكاء الاصطناعي وجودة المرافق العامة، إلا أن الدراسة الحالية تتجاوز التركيز على الجانب الخدمي والقانوني إلى بناء إطار تقني وإداري متكامل يستهدف إدارة الأصل والمرفق والبنية التحتية من حيث المراقبة والتشغيل والصيانة والتنبؤ ودعم القرار.

ثانيًا: الدراسات الأجنبية

1. دراسة Abdullahi et al (2024)

قدمت الدراسة إطارًا موزعًا للتوأم الرقمي بهدف دعم الصيانة التنبؤية في بيئة إنترنت الأشياء الصناعية، واستخدمت توريينات الرياح كحالة تطبيقية. وركز الإطار على المراقبة اللحظية للحالة، والتحليلات التنبؤية، وإدارة صحة مكونات التوريينات، مع توظيف الحوسبة الضبابية ضمن بنية التوأم الرقمي. وأظهرت الدراسة إمكانية استخدام التوأم الرقمي في تحسين استغلال الأصول وإدارة عمليات الصيانة، مع التأكيد على الحاجة إلى مزيد من التطوير في المعايير والبنى المعمارية وآليات التنفيذ.

وتعد هذه الدراسة من أكثر الدراسات ارتباطاً بالدراسة الحالية؛ لأنها تجمع بين إنترنت الأشياء والتوأم الرقمي والصيانة التنبؤية وإدارة الأصول، إلا أن الدراسة الحالية توسع الإطار ليشمل الذكاء الاصطناعي والإدارة المتكاملة للأصول والمرافق والبنية التحتية بمستويات تطبيق أوسع.

2. دراسة Alnaser et al (2024)

أجرت الدراسة مراجعة منهجية واسعة للعلاقة بين الذكاء الاصطناعي والتوأم الرقمي وإنترنت الأشياء في بيئات المباني المستدامة والمدن الذكية، وحللت 125 دراسة بحثية. وركزت على تطبيقات التوأم الرقمي في البناء وإدارة المرافق، وتكامل الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في تحسين الطاقة، إلى جانب تطبيقات التكنولوجيا الرقمية في الصناعة والاستدامة والمرونة الحضرية. وأكدت الدراسة أن التكامل بين هذه التقنيات يمكن أن يدعم المراقبة اللحظية والتحسين والتنبؤ، مع استمرار تحديات التكامل وقابلية التوسع والأمن السيبراني.

وتتفق الدراسة الحالية معها بصورة مباشرة في منطق التكامل التقني، لكنها تنتقل من مراجعة الأدبيات إلى اختبار مكونات إطار تطبيقي ميداني يستهدف إدارة الأصول والمرافق والبنية التحتية بصورة استباقية من منظور المختصين والمهنيين.

3. دراسة Andriulo et al (2024)

تناولت الدراسة العلاقة بين الحوسبة الطرفية والحوسبة السحابية في بيئات إنترنت الأشياء، من خلال مراجعة منهجية تقارن بين معماريات المعالجة المختلفة وتطبيقاتها في بيئات إنترنت الأشياء. وأكدت الدراسة أهمية اختيار بنية المعالجة المناسبة بالنظر إلى حجم البيانات ومتطلبات السرعة والاستجابة، وهو ما يكتسب أهمية خاصة في التطبيقات التي تعتمد على البيانات المستمرة والقرارات الحساسة للوقت. وتضيف هذه الدراسة بعدًا تقنيًا مهمًا للنموذج الحالي؛ إذ توضح أن جمع البيانات لا يكفي دون وجود بنية قادرة على معالجتها في الوقت المناسب. ومن هنا تستفيد الدراسة الحالية من هذا التوجه عند تصور منظومة ذكية تحتاج إلى معالجة فعالة للبيانات التشغيلية.

4. دراسة Arisekola and Madson (2023)

قدمت الدراسة مراجعة منهجية لأبحاث التوأم الرقمي في مجال إدارة الأصول باستخدام تحليل الشبكات الاجتماعية، وشملت 32 دراسة. وأظهرت النتائج أن موضوعات مثل البيانات الآنية واتخاذ القرار تحتل موقعًا مركزيًا في مجال البحث، بينما تظل بعض الموضوعات أقل دراسة. كما حددت الدراسة مجالات رئيسة لتطبيق التوأم الرقمي شملت إدارة المرافق والبنية التحتية وإدارة الكوارث، وأكدت الحاجة إلى توجيه البحوث نحو مجالات التطبيق الأقل تناولًا.

وتستفيد الدراسة الحالية من هذه النتيجة في تأكيد مركزية البيانات الآنية ودعم القرار في تطبيقات التوأم الرقمي، كما تمثل النطاقات التي حددتها الدراسة أساسًا لتوسيع البحث الحالي من تطبيقات محددة إلى إطار متكامل لإدارة الأصول والمرافق والبنية التحتية.

5. دراسة Bourechak et al (2023)

استعرضت الدراسة التفاعل بين الذكاء الاصطناعي والحوسبة الطرفية في تطبيقات إنترنت الأشياء، وحللت 114 دراسة موزعة على مجالات متعددة، منها الصحة والزراعة والشبكات الذكية والصناعة والنقل. وركزت الدراسة على دور الذكاء الاصطناعي في تحليل البيانات الضخمة عند الحافة، وتحسين سرعة الاستجابة وجودة الخدمات، مع مناقشة تحديات الموارد والحوسبة والتزامن والأمن والخصوصية. وتكشف هذه الدراسة أن ذكاء المنظومة يرتبط ليس فقط بالخوارزميات، وإنما كذلك بمكان معالجة البيانات وسرعة الوصول إليها. وهذا يضيف إلى الدراسة الحالية بعداً مهماً عند تصور منصة تعتمد على البيانات الآنية وتحتاج إلى استجابة تشغيلية سريعة.

6. دراسة Gálvez del Postigo Gallego et al (2025)

ركزت الدراسة على دور دعم القرار داخل بيانات التوائم الرقمي في النظم التصنيعية، من خلال مراجعة منهجية للدراسات الحديثة. وناقشت الدراسة استخدام التوائم الرقمي في تخطيط الإنتاج وجدولة الصيانة وإدارة العيوب، وأكدت أن دمج دعم القرار داخل التوائم الرقمي يسمح بتحويل نتائج المحاكاة والتحليل إلى قرارات قابلة للتنفيذ، مع تحديد اتجاهات بحثية وفجوات مرتبطة بدرجة استقلالية القرار وتلقيده. وتتفق هذه الدراسة مع أحد المحاور الأساسية في البحث الحالي، وهو أن الهدف النهائي من المنظومة الرقمية ليس إنتاج المعلومات، وإنما تحويلها إلى قرارات تشغيلية. وتضيف الدراسة الحالية إلى ذلك ربط دعم القرار ببيانات إنترنت الأشياء والتحليلات القائمة على الذكاء الاصطناعي.

7. دراسة Issa et al (2023)

بحثت الدراسة تحديث التوائم الرقمي للبنية التحتية للسكك الحديدية من خلال دمج مصادر متنوعة من البيانات، بما في ذلك التعرف الآلي على العناصر من السحب النقطية والصور وبيانات إنترنت الأشياء. واستهدفت الدراسة تطوير تمثيل رقمي للبنية التحتية يوفر البيانات اللازمة لمديري الأصول والقائمين على الصيانة، بما يدعم الانتقال نحو إدارة أكثر ذكاءً للأصول. وتتوافق هذه الدراسة مع الدراسة الحالية في التركيز على دمج مصادر البيانات المختلفة داخل التوائم الرقمي لخدمة إدارة الأصول، لكنها تركز على قطاع السكك الحديدية، بينما تسعى الدراسة الحالية إلى صياغة إطار أكثر عمومية وقابلية للتوسع عبر أنواع مختلفة من الأصول والمرافق والبنية التحتية.

8. دراسة Li et al (2024)

قدمت الدراسة مراجعة وتحليلاً لأبحاث التوائم الرقمي في إدارة الأصول الهندسية، بهدف بناء إطار تحليلي يربط بين التوائم الرقمي وممارسات إدارة الأصول. وتؤكد الدراسة أهمية التوائم الرقمي في تحسين فهم حالة الأصول ودعم القرارات المتعلقة بها، كما تناقش الاتجاهات المستقبلية والتحديات المرتبطة بتطبيقه في إدارة الأصول الهندسية. وتشكل هذه الدراسة أحد المراكز المهمة للدراسة الحالية؛ لأنها تربط مباشرة بين التوائم الرقمي وإدارة الأصول الهندسية. إلا أن الإضافة التي تستهدفها الدراسة الحالية تتمثل في عدم التعامل مع التوائم الرقمي باعتباره تقنية مستقلة، وإنما دمجها مع الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء ضمن إطار متكامل للإدارة الاستباقية.

9. دراسة Matei and Cocosatu (2024)

تناولت الدراسة إمكانات دمج إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي والتوائم الرقمي والخوارزميات المعتمدة على البيانات والحوسبة السحابية في إدارة المدن الذكية المستدامة. واعتمدت الدراسة منهج المراجعة المنهجية لتحليل الأدلة المتعلقة بالشبكات الاستشعارية والحوكمة الحضرية القائمة على البيانات، وركزت على قدرة هذه التقنيات على دعم الإدارة المستدامة والمرونة الحضرية والمشاركة في اتخاذ القرار.

وتتفق الدراسة الحالية معها في منظور التكامل بين التقنيات، إلا أن الدراسة الحالية تنقل هذا التكامل إلى مستوى أكثر تحديداً يتمثل في إدارة الأصول والمرافق والبنية التحتية، مع إدخال البعد الاستباقي وقياس قابلية التطبيق والتبني ميدانياً.

10. دراسة Palmitessa et al (2024)

هدفت الدراسة إلى تطوير إطار لدعم القرار يجمع بين مشكلات الصيانة وإدارة الطاقة تحت مظلة إدارة الأصول، وذلك باستخدام التوائم الرقمي. واعتمدت الدراسة على مراجعة منهجية للأدبيات لبناء إطار مفاهيمي، ثم قدمت إثباتاً تجريبياً أولياً في بيئة مختبرية للتحقق من إمكانية دمج تدفقات المعلومات وعمليات اتخاذ القرار المتعلقة بالصيانة والطاقة.

وتبرز أهمية هذه الدراسة في أنها تنتقل من استخدام التوائم الرقمي لمهمة محددة إلى دمج أكثر من وظيفة إدارية وتشغيلية داخل إطار واحد، وهو اتجاه يتوافق بصورة واضحة مع الدراسة الحالية. ومع ذلك، يظل الإطار المقترح في الدراسة الحالية أكثر اتساعاً من حيث دمج إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي والتوائم الرقمي وإدارة الأصول والمرافق والبنية التحتية ضمن منظومة واحدة.

2.3.1 التعليق على الدراسات السابقة

تكشف مراجعة الدراسات العربية والأجنبية عن اتفاق واضح على أن التحول نحو الإدارة الذكية للأصول والمرافق والبنية التحتية يرتبط بصورة متزايدة بتوظيف التقنيات الرقمية في جمع البيانات وتحليلها ودعم القرارات التشغيلية والصيانة. فقد ركزت مجموعة من الدراسات على الذكاء الاصطناعي والصيانة التنبؤية، مثل دراستي البازعي (2025، 2026) ودراسة Ucar et al (2024)، بينما اهتمت دراسات أخرى بإنترنت الأشياء ودوره في توفير البيانات والمراقبة الذكية، مثل دراسة بصافة (2025) ودراسة Poyyamozi et al (2024).

كما ركزت مجموعة ثالثة على التوائم الرقمي وإدارة الأصول، مثل دراسة بن طلحة وركيمة (2025)، ودراسة Arisekola and Madson (2023)، ودراسة Li et al (2024). ويؤكد هذا التنوع أن مكونات المنصة المقترحة تستند إلى اتجاهات بحثية قائمة وليست تقنيات منفصلة عن الأدبيات العلمية.

وتتشابه الدراسة الحالية مع الدراسات السابقة في الاهتمام بتوظيف التقنيات الرقمية لتحسين إدارة الأصول والمرافق والبنية التحتية، والانتقال من الإدارة التقليدية إلى الإدارة القائمة على البيانات والتنبؤ ودعم القرار. كما تتفق معها في اعتبار المراقبة المستمرة وتحليل البيانات والصيانة التنبؤية من الآليات المهمة لتحسين كفاءة التشغيل وتقليل احتمالات الأعطال والتوقفات.

وتلغني كذلك مع الدراسات التي تناولت المدن الذكية في التأكيد على أهمية البنية التحتية الرقمية وتكامل الأنظمة في تحقيق إدارة أكثر كفاءة ومرونة (بن النية ونحوي، 2025؛ Alnaser et al., 2024).

ومع ذلك، تختلف الدراسة الحالية عن غالبية الدراسات السابقة في طبيعة المعالجة التكاملية لموضوع الدراسة. فقد تناولت نسبة كبيرة من الدراسات العربية تقنية واحدة أو تطبيقاً محدداً؛ فركز بعضها على الذكاء الاصطناعي في الصيانة والمرافق، بينما ركز البعض الآخر على إنترنت الأشياء أو التوائم الرقمي أو المدن الذكية.

وعلى الجانب الأجنبي، ظهرت دراسات أكثر تقدماً في الجمع بين بعض التقنيات، إلا أن معظمها ظل مرتبطاً بقطاع أو تطبيق محدد، مثل السكك الحديدية أو التصنيع أو الطاقة أو المباني. أما الدراسة الحالية فتسعى إلى الجمع بين إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي والتحليلات التنبؤية والتوائم الرقمي وتكامل البيانات داخل إطار واحد موجه لإدارة الأصول والمرافق والبنية التحتية.

كما تختلف الدراسة الحالية من حيث هدفها التطبيقي؛ إذ لا تكتفي بدراسة فاعلية تقنية معينة أو مراجعة تطبيقاتها، وإنما تسعى إلى بناء إطار لمنصة ذكية متكاملة تستهدف توفير دورة إدارية تبدأ بجمع البيانات من الأصول والمرافق، ثم تحليلها، وتمثيل حالتها رقمياً، واستخلاص مؤشرات وتنبؤات، وصولاً إلى دعم القرار والتدخل الاستباقي. ومن ثم، فإن الدراسة تنقل التركيز من دراسة التكنولوجيا في حد ذاتها إلى القيمة التي يمكن أن تنتج عن تكامل هذه التقنيات داخل منظومة إدارية واحدة.

وتختلف الدراسة الحالية كذلك في الجانب الميداني؛ فعدد من الدراسات التي تناولت التكامل التقني اتخذ شكل مراجعات أدبية أو أطر مفاهيمية أو تطبيقات في بيئات محددة، بينما تعتمد الدراسة الحالية على دراسة ميدانية تستهدف المتخصصين والمهنيين المرتبطين بإدارة الأصول والمرافق والتشغيل والصيانة والتحول الرقمي. ويسمح ذلك بقياس تصوراتهم تجاه مكونات الإطار المقترح ومدى ملاءمته وقابليته للتطبيق والتبني، بما يضيف بعداً تطبيقياً إلى الجانب النظري والتقني.

الفجوة البحثية

بناءً على المقارنة السابقة، تتمثل الفجوة البحثية الرئيسية في محدودية الدراسات التي عالجت الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء والتوائم الرقمي باعتبارها مكونات مترابطة داخل منظومة واحدة للإدارة الذكية والاستباقية للأصول والمرافق والبنية التحتية، بدلاً من دراسة كل تقنية بصورة منفصلة أو ربط بعضها بتطبيق قطاعي محدد.

كما يظهر نقص نسبي في الدراسات التي تجمع بين البعد التقني والبعد الإداري والتطبيقي من خلال بناء إطار متكامل، ثم التحقق ميدانياً من مدى ملاءمته وقابليته للتطبيق والتبني.

ومن هنا تتمثل الإضافة التي تقدمها الدراسة الحالية في تطوير إطار متكامل لمنصة ذكية موحدة يجمع بين الاستشعار وإنترنت الأشياء، والتحليل بالذكاء الاصطناعي، والتمثيل الديناميكي من خلال التوائم الرقمي، بهدف الانتقال من مجرد مراقبة الأصول إلى الإدارة الاستباقية القائمة على التنبؤ ودعم القرار.

ولا تقف الدراسة عند الجانب التصوري، وإنما تسعى إلى اختبار مكونات هذا الإطار ميدانياً وتحليل مدى قبول المختصين له وإمكان تطبيقه في بيئات مختلفة.

وعليه، يقع موقع الدراسة الحالية عند نقطة التقاء ثلاثة اتجاهات بحثية رئيسية: إدارة الأصول والمرافق، والتقنيات الذكية، والإدارة الاستباقية القائمة على البيانات. وتتمثل مساهمتها في محاولة سد المسافة بين الدراسات التي طورت تقنيات أو تطبيقات منفردة، والدراسات التي تحتاج إليها الممارسة المهنية فعلياً، أي إطار متكامل قابل للتطبيق يمكن أن يشكل أساساً لتطوير منصة ذكية لإدارة الأصول والمرافق والبنية التحتية، مع الحفاظ على التفاصيل الفنية الخاصة بالابتكار خارج نطاق الإفصاح البحثي.

الفصل الثالث: المنهجية

3.1 المقدمة

نظراً لطبيعة الدراسة الحالية التي تستهدف بناء إطار متكامل لمنصة ذكية لإدارة وتشغيل ومراقبة الأصول والمرافق والبنية التحتية، فإنها تتطلب منهجية تجمع بين التحليل النظري والتحقق الميداني، بما يسمح بقياس تصورات المتخصصين حول مكونات المنصة المقترحة ومدى ملاءمتها للاحتياجات التشغيلية والإدارية.

وانطلاقاً من ذلك، يتناول هذا الفصل الإجراءات المنهجية التي اتبعتها الدراسة، بدءاً من منهج الدراسة وتصميمها، ومجتمع الدراسة وعينها، وأداة جمع البيانات، وبناء محاورها، والتحقق من صدقها وثباتها، وإجراءات التطبيق الميداني، وصولاً إلى الأساليب الإحصائية المستخدمة في تحليل البيانات واختبار فرضيات الدراسة. وبذلك يوفر الفصل أساساً منهجياً واضحاً للحكم على النتائج التي تم التوصل إليها وربطها بأهداف الدراسة وتساؤلاتها وفروضها.

3.2 منهج الدراسة

اعتمدت الدراسة الحالية على المنهج الوصفي التحليلي ذي الطابع الارتباطي؛ لملاءمته لطبيعة الدراسة وأهدافها، إذ يتيح وصف واقع توظيف التقنيات الذكية في إدارة الأصول والمرافق والبنية التحتية، وتحليل العلاقات بين مكونات النموذج المقترح ومدى إسهامها في دعم الإدارة الذكية والاستباقية.

كما تستند الدراسة إلى مدخل كمي من خلال جمع البيانات ميدانيًا باستخدام استبانة موجهة إلى المتخصصين والمهنيين المرتبطين بإدارة الأصول والمرافق والتشغيل والصيانة والتحول الرقمي. ويتيح هذا المدخل قياس تصورات أفراد العينة بصورة كمية، واختبار فرضيات الدراسة باستخدام الأساليب الإحصائية المناسبة.

ويرى الباحث أن الجمع بين الوصف والتحليل الارتباطي يمثل الأنسب للدراسة الحالية؛ لأن الهدف لا يقتصر على التعرف إلى مستوى أهمية التقنيات محل الدراسة، وإنما يمتد إلى اختبار العلاقات بينها وتحديد مدى ارتباطها بفعالية الإدارة الذكية للأصول والمرافق، بما يدعم بناء الإطار المقترح على أساس ميداني قابل للتحقق.

3.3 مصادر جمع البيانات

اعتمدت الدراسة الحالية على مصدرين رئيسيين لجمع البيانات، بما يحقق التكامل بين الجانب النظري والجانب الميداني للدراسة:

أولاً: المصادر الثانوية

تمثلت في الكتب والدراسات والبحوث العلمية المحكمة والمقالات الأكاديمية ذات الصلة بإدارة الأصول والمرافق، والذكاء الاصطناعي، وإنترنت الأشياء، والتوأمة الرقمي، والصيانة التنبؤية، والمدن والبنية التحتية الذكية. واستُخدمت هذه المصادر في بناء الإطار النظري، وتحليل الدراسات السابقة، وتحديد أبعاد النموذج المقترح، وصياغة أداة الدراسة وفرضياتها.

ثانياً: المصادر الأولية

تمثلت في البيانات التي جرى جمعها ميدانيًا من أفراد عينة الدراسة من المتخصصين والمهنيين المرتبطين بإدارة الأصول والمرافق والتشغيل والصيانة والهندسة والتحول الرقمي. وقد تم جمع البيانات باستخدام استبانة إلكترونية صُممت في ضوء الأدبيات العلمية وأهداف الدراسة، بهدف قياس تصورات أفراد العينة حول مكونات المنصة الذكية المقترحة ومدى إسهامها في تحقيق الإدارة الذكية والاستباقية للأصول والمرافق والبنية التحتية.

3.4 مجتمع وعينة الدراسة

أولاً: مجتمع الدراسة

يتكون مجتمع الدراسة من المتخصصين والمهنيين العاملين في المجالات المرتبطة بإدارة الأصول والمرافق والتشغيل والصيانة والهندسة والتحول الرقمي في المنشآت التي تعتمد على أصول ومرافق وبنية تحتية تتطلب عمليات مستمرة للمراقبة والتشغيل والصيانة. ويشمل مجتمع الدراسة بصفة خاصة العاملين في الوظائف المرتبطة بإدارة المرافق والأصول، وإدارة الصيانة والتشغيل، والهندسة، وأنظمة المباني والتحكم، والتحول الرقمي وتقنية المعلومات، باعتبارهم الأكثر ارتباطاً بمشكلة الدراسة والأقدر على تقييم مكونات المنصة الذكية المقترحة وقابليتها للتطبيق.

ثانياً: عينة الدراسة

نظراً لاتساع مجتمع الدراسة وتنوع الجهات والمنشآت التي يضمها، تم الاعتماد على عينة غير احتمالية قصدية من المتخصصين الذين تتوافر لديهم خبرة أو معرفة عملية في أحد المجالات المرتبطة بموضوع الدراسة. وبلغ الحجم النهائي للعينة (200) مفردة من المتخصصين والمهنيين، وهو حجم مناسب لإجراء الاختبارات الإحصائية وتحليل العلاقات بين متغيرات الدراسة. وتم توزيع الاستبانة إلكترونياً على أفراد العينة من خلال القنوات المهنية المناسبة، مع مراعاة أن يكون المشاركون على صلة فعلية بمجالات إدارة الأصول أو المرافق أو التشغيل أو الصيانة أو الهندسة أو التحول الرقمي.

3.5 أداة الدراسة

اعتمدت الدراسة الحالية على الاستبانة الإلكترونية بوصفها الأداة الرئيسة لجمع البيانات الميدانية، وذلك لملاءمتها لطبيعة الدراسة وأهدافها، وقدرتها على الوصول إلى المتخصصين والمهنيين المرتبطين بمجموعات إدارة الأصول والمرافق والتشغيل والصيانة والهندسة والتحول الرقمي. وتم بناء الاستبانة في ضوء الإطار النظري والدراسات السابقة ذات الصلة، وبما يتوافق مع أهداف الدراسة وتساؤلاتها وفرضياتها، بهدف قياس تصورات أفراد العينة حول مكونات المنصة الذكية المقترحة، وفعاليتها في دعم الإدارة الذكية والاستباقية للأصول والمرافق والبنية التحتية، فضلاً عن قياس قابلية تطبيقها وتبنيها.

وتتكون الاستبانة في صورتها النهائية من خمسة أقسام رئيسة، وذلك على النحو الآتي:

1. القسم الأول: البيانات العامة والمهنية

يتضمن مجموعة من الخصائص الديموغرافية والمهنية لأفراد العينة، وتشمل: المسمى الوظيفي، سنوات الخبرة، نوع القطاع، مجال العمل الرئيسي، ومستوى المعرفة أو الخبرة بالتقنيات الذكية المرتبطة بإدارة الأصول والمرافق.

2. القسم الثاني: مكونات المنصة الذكية المقترحة

يمثل هذا القسم المتغير المستقل في الدراسة، ويتكون من أربعة أبعاد رئيسة، هي:

- إنترنت الأشياء والاستشعار الذكي.
- الذكاء الاصطناعي والتحليلات التنبؤية.
- التوأم الرقمي.
- تكامل البيانات والأنظمة.

ويتضمن هذا القسم (16) عبارة لقياس تصورات أفراد العينة حول مدى إسهام هذه المكونات في بناء منصة ذكية متكاملة لإدارة وتشغيل ومراقبة الأصول والمرافق والبنية التحتية.

3. القسم الثالث: فعالية الإدارة الذكية والاستباقية للأصول والمرافق والبنية التحتية

يمثل هذا القسم المتغير التابع الرئيسي في الدراسة، ويتكون من أربعة أبعاد، هي:

- تحسين المراقبة والمتابعة.
- دعم الصيانة التنبؤية.
- رفع الكفاءة التشغيلية.
- تحسين استغلال الموارد والأصول.

ويتضمن هذا القسم (16) عبارة لقياس مدى إسهام المنصة الذكية المقترحة في تحسين المراقبة والتشغيل والصيانة، ودعم التنبؤ بالأعطال، ورفع الكفاءة التشغيلية، وتحسين استغلال الموارد والأصول.

4. القسم الرابع: قابلية التطبيق والتبني

يهدف هذا القسم إلى قياس مدى إدراك أفراد العينة لإمكان تطبيق المنصة الذكية المقترحة وتبنيها في البيئات الفعلية لإدارة الأصول والمرافق والتشغيل والصيانة. ويتضمن (5) عبارات تقيس جوانب رئيسة تشمل: القابلية العملية للتنفيذ، وإمكان التكامل مع الأنظمة القائمة، وجودة الاستثمار، وتوافر القدرات البشرية والفنية، والاستعداد المؤسسي للتبني مستقبلاً.

5. القسم الخامس: الرأي والملاحظات

يتضمن سؤالاً مفتوحاً يتيح لأفراد العينة تقديم آرائهم وملاحظاتهم حول أبرز المتطلبات أو التحديات التي ينبغي مراعاتها عند تطبيق منصة ذكية متكاملة لإدارة وتشغيل وصيانة الأصول والمرافق. وقد استخدمت الدراسة مقياس ليكرت الخماسي لقياس استجابات أفراد العينة على العبارات المغلقة، وفق التدرج الآتي:

الدرجة	الاستجابة
5	موافق بشدة
4	موافق
3	محايد
2	غير موافق
1	غير موافق بشدة

ويسمح هذا المقياس بتحويل اتجاهات وآراء أفراد العينة إلى بيانات كمية قابلة للتحليل الإحصائي.

3.6 متغيرات الدراسة

استناداً إلى الإطار النظري والدراسات السابقة، تتكون الدراسة الحالية من متغير مستقل رئيس، ومتغير تابع رئيس، مع تقسيم كل منهما إلى أبعاد فرعية بما يتوافق مع طبيعة المنصة الذكية المقترحة.

أولاً: المتغير المستقل

مكونات المنصة الذكية المتكاملة لإدارة الأصول والمرافق والبنية التحتية، ويتكون من أربعة أبعاد رئيسية:

1. إنترنت الأشياء والاستشعار الذكي.
2. الذكاء الاصطناعي والتحليلات التنبؤية.
3. التوأّم الرقمي.
4. تكامل البيانات والأنظمة.

ثانياً: المتغير التابع

فعالية الإدارة الذكية والاستباقية للأصول والمرافق والبنية التحتية، ويُقاس من خلال مجموعة من المؤشرات المرتبطة بـ:

1. تحسين المراقبة والمتابعة.
2. دعم الصيانة التنبؤية.
3. رفع الكفاءة التشغيلية.
4. تحسين استغلال الموارد والأصول.

ويُقاس إلى جانب ذلك محور قابلية التطبيق والتبني بوصفه محوراً مستقلاً لقياس تصورات أفراد العينة تجاه إمكانية تطبيق المنصة المقترحة وتبنيها.

3.7 صدق وثبات أداة الدراسة

أولاً: صدق الأداة

تم التحقق من صدق أداة الدراسة من خلال الاعتماد على صدق الاتساق الداخلي، وذلك في ضوء الإطار النظري والدراسات السابقة المرتبطة بموضوع الدراسة، والتي تم الاستناد إليها في تحديد محاور الاستبانة وأبعادها وصياغة عباراتها بما يتناسب مع أهداف الدراسة وطبيعة المتغيرات محل القياس.

وللتحقق من مدى اتساق عبارات الاستبانة مع الأبعاد التي تنتمي إليها، تم حساب معامل ارتباط بيرسون (Pearson Correlation Coefficient) بين درجة كل عبارة والدرجة الكلية للبعد الذي تنتمي إليه، كما تم حساب معامل الارتباط بين درجات الأبعاد والدرجة الكلية للمحور الرئيسي الذي تنتمي إليه.

ويُعد ارتفاع معاملات الارتباط ودلالاتها الإحصائية مؤشراً على وجود اتساق داخلي بين العبارات والأبعاد التي تقيسها، بما يؤكد صلاحية الأداة لقياس المتغيرات المستهدفة في الدراسة. وقد تم اعتماد مستوى دلالة إحصائية قدره $\alpha \leq 0.05$ للحكم على دلالة معاملات الارتباط، وجاءت النتائج على النحو الآتي:

جدول (3-1): معاملات ارتباط بيرسون بين أبعاد الدراسة والدرجة الكلية للمتغير

المتغير	البعد	معامل الارتباط (r)	مستوى الدلالة
مكونات المنصة الذكية	إنترنت الأشياء والاستشعار الذكي	0.824	$p < .001$
مكونات المنصة الذكية	الذكاء الاصطناعي والتحليلات التنبؤية	0.887	$p < .001$
مكونات المنصة الذكية	التوأم الرقمي	0.851	$p < .001$
مكونات المنصة الذكية	تكامل البيانات والأنظمة	0.873	$p < .001$
فعالية الإدارة الذكية والاستباقية	تحسين المراقبة والمتابعة	0.861	$p < .001$
فعالية الإدارة الذكية والاستباقية	دعم الصيانة التنبؤية	0.895	$p < .001$
فعالية الإدارة الذكية والاستباقية	رفع الكفاءة التشغيلية	0.878	$p < .001$
فعالية الإدارة الذكية والاستباقية	تحسين استغلال الموارد والأصول	0.843	$p < .001$
قابلية التطبيق والتبني	قابلية التطبيق والتبني	0.912	$p < .001$

المصدر: من إعداد الباحث في ضوء نتائج التحليل الإحصائي لبيانات الدراسة الميدانية.

يتضح من نتائج جدول (3-1) أن جميع أبعاد الدراسة ترتبط بالدرجة الكلية للمتغير الذي تنتمي إليه ارتباطاً موجباً ودالاً إحصائياً عند مستوى دلالة أقل من 0.05، حيث تراوحت معاملات الارتباط بين 0.824 و0.912، وجميعها دالة إحصائياً عند $p < .001$. وبالنسبة إلى متغير مكونات المنصة الذكية، تراوحت معاملات الارتباط بين أبعاده والدرجة الكلية للمتغير بين 0.824 و0.887، وجاء أعلى ارتباط لبعد الذكاء الاصطناعي والتحليلات التنبؤية، بينما جاء أقل ارتباط لبعد إنترنت الأشياء والاستشعار الذكي، وهي جميعها معاملات ارتباط مرتفعة ودالة إحصائياً.

أما متغير فعالية الإدارة الذكية والاستباقية، فقد تراوحت معاملات الارتباط بين أبعاده والدرجة الكلية للمتغير بين 0.843 و0.895، بما يشير إلى وجود درجة مرتفعة من الاتساق بين الأبعاد ومفهوم المتغير الكلي.

وبالنسبة إلى قابلية التطبيق والتبني، فقد بلغ معامل ارتباطها بالدرجة الكلية 0.912، وهو ارتباط مرتفع ودال إحصائياً.

وبناءً على ذلك، تشير النتائج إلى تحقق مستوى مناسب من صدق الاتساق الداخلي لأبعاد أداة الدراسة، بما يدعم صلاحيتها لقياس المتغيرات والأبعاد التي صُممت لقياسها، وإمكانية استخدامها في إجراء التحليلات الإحصائية اللاحقة.

ثانياً: ثبات الأداة

تم قياس ثبات أداة الدراسة باستخدام معامل ألفا كرونباخ (Cronbach's Alpha)، وذلك لقياس مدى الاتساق الداخلي بين فقرات كل بعد من أبعاد الاستبانة، بالإضافة إلى قياس الثبات الكلي للأداة. وتُعد قيمة معامل ألفا التي تبلغ **0.70** فأكثر مؤشراً مقبولاً على ثبات الأداة وإمكانية الاعتماد عليها في الدراسات الاجتماعية والإدارية.

جدول (2-3): معاملات ثبات أداة الدراسة باستخدام معامل ألفا كرونباخ

المتغير	البعد	عدد الفقرات	معامل ألفا كرونباخ
مكونات المنصة الذكية	إنترنت الأشياء والاستشعار الذكي	4	0.861
مكونات المنصة الذكية	الذكاء الاصطناعي والتحليلات التنبؤية	4	0.889
مكونات المنصة الذكية	التوأم الرقمي	4	0.873
مكونات المنصة الذكية	تكامل البيانات والأنظمة	4	0.881
مكونات المنصة الذكية	الثبات الكلي للمتغير	16	0.934
فعالية الإدارة الذكية والاستباقية	تحسين المراقبة والمتابعة	4	0.878
فعالية الإدارة الذكية والاستباقية	دعم الصيانة التنبؤية	4	0.901
فعالية الإدارة الذكية والاستباقية	رفع الكفاءة التشغيلية	4	0.892
فعالية الإدارة الذكية والاستباقية	تحسين استغلال الموارد والأصول	4	0.869
فعالية الإدارة الذكية والاستباقية	الثبات الكلي للمتغير	16	0.947
قابلية التطبيق والتبني	قابلية التطبيق والتبني	5	0.913
أداة الدراسة ككل	الثبات الكلي لأداة الدراسة	37	0.958

المصدر: من إعداد الباحث في ضوء نتائج التحليل الإحصائي لبيانات الدراسة الميدانية.

يتضح من نتائج جدول (2-3) أن معاملات الثبات لأبعاد ومتغيرات أداة الدراسة جاءت جميعها بقيم مرتفعة، مما يشير إلى تمتع الاستبانة بدرجة جيدة من الثبات وإمكانية الاعتماد عليها في جمع البيانات الميدانية وإجراء التحليلات الإحصائية اللاحقة.

فبالنسبة إلى متغير مكونات المنصة الذكية، تراوحت معاملات ألفا كرونباخ لأبعاده الأربعة بين **0.861** و**0.889**، حيث بلغ معامل الثبات لبعد إنترنت الأشياء والاستشعار الذكي **0.861**، ولبعد الذكاء الاصطناعي والتحليلات التنبؤية **0.889**، ولبعد التوأم الرقمي **0.873**، ولبعد تكامل البيانات والأنظمة **0.881**. كما بلغ معامل الثبات الكلي للمتغير **0.934**، وهي قيمة مرتفعة تؤكد اتساق الفقرات المكونة لهذا المتغير وقدرتها على قياس مكونات المنصة الذكية بصورة متسقة.

وبالنسبة إلى متغير فعالية الإدارة الذكية والاستباقية، تراوحت معاملات ألفا كرونباخ لأبعاده بين **0.869** و**0.901**، حيث بلغ معامل الثبات لبعد تحسين المراقبة والمتابعة **0.878**، ولدعم الصيانة التنبؤية **0.901**، و لرفع الكفاءة التشغيلية **0.892**، ولتحسين استغلال الموارد والأصول **0.869**. وبلغ معامل الثبات الكلي للمتغير **0.947**، مما يدل على ارتفاع مستوى الاتساق الداخلي بين فقراته ويعزز صلاحية الاعتماد عليه في قياس فعالية الإدارة الذكية والاستباقية.

أما قابلية التطبيق والتبني، فقد بلغ معامل ألفا كرونباخ **0.913** لعدد (5) فقرات، وهي قيمة مرتفعة تشير إلى وجود درجة مناسبة من الاتساق الداخلي بين فقرات هذا المحور وقدرتها على قياس مستوى قابلية تطبيق وتبني المنصة الذكية المقترحة. وبالنظر إلى الثبات الكلي لأداة الدراسة، فقد بلغ معامل ألفا كرونباخ **0.958** لعدد (37) فقرة، وهي قيمة مرتفعة جداً، بما يشير إلى تمتع الأداة بدرجة عالية من الثبات والاتساق الداخلي.

3.8 الأساليب الإحصائية المستخدمة

اعتمدت الدراسة على مجموعة من الأساليب الإحصائية المناسبة لطبيعة الدراسة وفرضياتها، وذلك على النحو الآتي:

1. التكرارات والنسب المئوية: لوصف الخصائص الديموغرافية والمهنية لأفراد العينة.
 2. المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية: لتحديد اتجاهات أفراد العينة نحو فقرات وأبعاد الاستبانة.
 3. معامل ارتباط بيرسون: لقياس قوة واتجاه العلاقات بين متغيرات الدراسة، والتحقق من صدق الاتساق الداخلي للأداة.
 4. معامل ألفا كرونباخ: للتحقق من ثبات أداة الدراسة وأبعادها.
 5. تحليل الانحدار الخطي المتعدد: لاختبار الفرضية الرئيسة والفرضيات التي تتضمن أكثر من متغير مستقل، وقياس أثر مكونات المنصة الذكية مجتمعة في المتغيرات التابعة ذات الصلة.
 6. تحليل الانحدار الخطي البسيط: لاختبار الفرضيات التي تتضمن متغيراً مستقلاً واحداً، وقياس أثره في المتغير التابع المرتبط به.
- واعتمدت الدراسة مستوى دلالة إحصائية $0.05 \leq \alpha$ للحكم على دلالة النتائج واختبار فرضيات الدراسة.

الفصل الرابع: الدراسة الميدانية

4.1 المقدمة

يتناول هذا الفصل عرض وتحليل نتائج الدراسة الميدانية التي تم جمعها من خلال أداة الدراسة المتمثلة في الاستبانة، بهدف التعرف على آراء أفراد العينة حول مكونات المنصة الذكية المقترحة ودورها في تعزيز الإدارة الذكية والاستباقية للأصول والمرافق والبنية التحتية، إلى جانب التعرف على مستوى قابلية تطبيق وتبني هذا الإطار.

ويبدأ الفصل بعرض الخصائص الديموغرافية والمهنية لأفراد عينة الدراسة، يلي ذلك تقديم التحليل الوصفي لاستجابات أفراد العينة على أبعاد ومتغيرات الدراسة باستخدام المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية، ثم اختبار فرضيات الدراسة باستخدام الأساليب الإحصائية المناسبة، وصولاً إلى عرض ومناقشة أهم النتائج التي توصلت إليها الدراسة في ضوء أهدافها وإطارها النظري والدراسات السابقة.

4.2 النتائج

4.2.1 الخصائص الديموغرافية

أولاً: المسمى الوظيفي

جدول (4-1): توزيع أفراد عينة الدراسة وفقاً للمسمى الوظيفي

المسمى الوظيفي	التكرار	النسبة المئوية
مدير/مسؤول إدارة أصول ومرافق	28	14%
مدير/مسؤول تشغيل وصيانة	32	16%
مهندس	55	27.5%
متخصص في تقنية المعلومات والتحول الرقمي	30	15%

11%	22	متخصص في أنظمة المباني والتحكم
9%	18	أكاديمي/باحث
7.5%	15	أخرى
100%	200	الإجمالي

المصدر: من إعداد الباحث في ضوء نتائج الدراسة الميدانية.

يتضح من الجدول (4-1) أن فئة المهندسين جاءت في المرتبة الأولى بنسبة 27.5%، تلتها فئة المديرين/المسؤولين عن التشغيل والصيانة بنسبة 16.0%، ثم المتخصصون في تقنية المعلومات والتحول الرقمي بنسبة 15.0%. ويشير ذلك إلى أن غالبية أفراد العينة ينتمون إلى تخصصات ترتبط بصورة مباشرة بإدارة الأصول والمرافق وتشغيلها وصيانتها والتقنيات الرقمية، بما يعزز ملائمة أفراد العينة لموضوع الدراسة وقدرتهم على تقييم مكونات المنصة الذكية المقترحة.

ثانياً: سنوات الخبرة

جدول (4-2): توزيع أفراد عينة الدراسة وفقاً لسنوات الخبرة

سنوات الخبرة	التكرار	النسبة المئوية
أقل من 5 سنوات	35	17.5%
من 5 إلى أقل من 10 سنوات	58	29%
من 10 إلى أقل من 15 سنة	57	28.5%
15 سنة فأكثر	50	25%
الإجمالي	200	100%

المصدر: من إعداد الباحث في ضوء نتائج الدراسة الميدانية.

يتضح من الجدول (4-2) أن الفئة التي تتراوح خبرتها بين 5 وأقل من 10 سنوات جاءت في المرتبة الأولى بنسبة 29.0%، تلتها فئة الخبرة من 10 إلى أقل من 15 سنة بنسبة 28.5%، ثم فئة 15 سنة فأكثر بنسبة 25.0%، بينما جاءت فئة الأقل من خمس سنوات في المرتبة الأخيرة بنسبة 17.5%.

وتعكس هذه النتائج أن معظم أفراد العينة يمتلكون خبرات مهنية متوسطة إلى مرتفعة، وهو ما يدعم قدرتهم على تكوين آراء قائمة على الخبرة العملية بشأن تقنيات إدارة الأصول والمرافق والتحول نحو الإدارة الذكية والاستباقية.

ثالثاً: نوع القطاع

جدول (4-3): توزيع أفراد عينة الدراسة وفقاً لنوع القطاع

نوع القطاع	التكرار	النسبة المئوية
حكومي	82	41%
شبه حكومي	48	24%
خاص	58	29%

أخرى	12	6%
الإجمالي	200	100%

المصدر: من إعداد الباحث في ضوء نتائج الدراسة الميدانية.

يتضح من الجدول (3-4) أن العاملين في القطاع الحكومي يمثلون النسبة الأكبر من أفراد العينة بواقع **41.0%**، يليهم العاملون في القطاع الخاص بنسبة **29.0%**، ثم القطاع شبه الحكومي بنسبة **24.0%**، في حين بلغت نسبة العاملين في القطاعات الأخرى **6.0%**. ويعكس هذا التوزيع تنوعاً نسبياً في القطاعات التي ينتمي إليها أفراد العينة، بما يسهم في الحصول على تصورات أكثر تنوعاً حول متطلبات تطبيق وتبني المنصات الذكية في بيئات العمل المختلفة.

رابعاً: مجال العمل الرئيسي

جدول (4-4): توزيع أفراد عينة الدراسة وفقاً لمجال العمل

مجال العمل الرئيسي	التكرار	النسبة المئوية
منشآت صحية	24	12%
منشآت ومرافق عامة	35	17.5%
قطاع صناعي	30	15%
الطاقة والمياه	28	14%
النقل والبنية التحتية	32	16%
تقنية المعلومات والاتصالات	25	12.5%
التعليم	16	8%
أخرى	10	5%
الإجمالي	200	100%

المصدر: من إعداد الباحث في ضوء نتائج الدراسة الميدانية.

يتضح من الجدول (4-4) تنوع مجالات العمل التي ينتمي إليها أفراد العينة، حيث جاءت فئة العاملين في المنشآت والمرافق العامة في المرتبة الأولى بنسبة **17.5%**، تلتها فئة النقل والبنية التحتية بنسبة **16.0%**، ثم القطاع الصناعي بنسبة **15.0%**، والطاقة والمياه بنسبة **14.0%**. ويُعد هذا التنوع مناسباً لطبيعة الدراسة، نظراً لأن إدارة الأصول والمرافق والبنية التحتية تمثل نشاطاً مشتركاً في العديد من هذه القطاعات، الأمر الذي يدعم تنوع الخبرات والتصورات الميدانية المرتبطة بتطبيق التقنيات الذكية.

خامساً: مستوى المعرفة بالتقنيات الذكية المرتبطة بإدارة الأصول والمرافق

جدول (5-4): توزيع أفراد عينة الدراسة وفقاً لمستوى المعرفة

مستوى المعرفة بالتقنيات الذكية	التكرار	النسبة المئوية
محدودة	28	14%
متوسطة	76	38%
عالية	96	48%
الإجمالي	200	100%

المصدر: من إعداد الباحث في ضوء نتائج الدراسة الميدانية.

يتضح من الجدول (4-5) أن أصحاب المستوى العالي من المعرفة بالتقنيات الذكية المرتبطة بإدارة الأصول والمرافق يمثلون النسبة الأكبر من أفراد العينة، حيث بلغت نسبتهم 48.0%، يليهم أصحاب المعرفة المتوسطة بنسبة 38.0%، بينما بلغت نسبة ذوي المعرفة المحدودة 14.0%. وتشير هذه النتائج إلى أن غالبية أفراد العينة لديهم مستوى متوسط إلى مرتفع من المعرفة بالتقنيات الذكية، وهو ما يتناسب مع طبيعة الدراسة التي تتطلب من المشاركين تقييم تقنيات مثل إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي والتوأم الرقمي وتكامل الأنظمة، ويعزز قدرتهم على تقديم تقديرات أكثر ارتباطاً بموضوع الدراسة.

4.2.2 الإحصاءات الوصفية

أولاً: الإحصاء الوصفي لأبعاد المتغير المستقل: مكونات المنصة الذكية المقترحة

البعد الأول: إنترنت الأشياء والاستشعار الذكي

جدول (4-6): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد إنترنت الأشياء والاستشعار الذكي

الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الترتيب	مستوى الاستجابة
تسهل أجهزة الاستشعار الذكية في توفير بيانات آنية عن حالة الأصول والمرافق.	4.18	0.71	1	مرتفع
تساعد تقنيات إنترنت الأشياء في المراقبة المستمرة للأصول والمرافق.	4.09	0.76	3	مرتفع
يمكن لأجهزة الاستشعار الذكية اكتشاف التغيرات غير الطبيعية في أداء الأصول والمرافق.	4.12	0.73	2	مرتفع
يسهم الربط بين أجهزة الاستشعار والمنصة المركزية في تحسين سرعة الحصول على المعلومات التشغيلية.	4.02	0.81	4	مرتفع
المتوسط الكلي للبُعد	4.10	0.75		مرتفع

المصدر: من إعداد الباحث في ضوء نتائج الدراسة الميدانية.

يتضح من نتائج جدول (4-6) أن مستوى استجابة أفراد العينة تجاه بُعد إنترنت الأشياء والاستشعار الذكي جاء مرتفعاً، حيث بلغ المتوسط الحسابي الكلي للبُعد 4.10 بانحراف معياري قدره 0.75.

وتشير هذه النتيجة إلى وجود اتفاق واضح بين أفراد العينة على أهمية توظيف أجهزة الاستشعار وتقنيات إنترنت الأشياء في توفير المعلومات التشغيلية المستمرة عن حالة الأصول والمرافق، بما يدعم الانتقال من المتابعة التقليدية إلى المراقبة الذكية القائمة على البيانات.

وجاءت الفقرة «تسهل أجهزة الاستشعار الذكية في توفير بيانات آنية عن حالة الأصول والمرافق» في المرتبة الأولى بمتوسط حسابي بلغ 4.18 وانحراف معياري 0.71، وهو ما يعكس إدراك أفراد العينة لأهمية البيانات الآنية في متابعة الحالة التشغيلية للأصول.

وجاءت في المرتبة الثانية الفقرة الخاصة بقدرة أجهزة الاستشعار على اكتشاف التغيرات غير الطبيعية بمتوسط 4.12، بينما جاءت المراقبة المستمرة باستخدام تقنيات إنترنت الأشياء في المرتبة الثالثة بمتوسط 4.09.

في حين جاءت الفقرة «يسهم الربط بين أجهزة الاستشعار والمنصة المركزية في تحسين سرعة الحصول على المعلومات التشغيلية» في المرتبة الرابعة بمتوسط 4.02. ورغم احتلالها المرتبة الأخيرة، فإن مستوى الاستجابة لها ظل مرتفعاً، بما يشير إلى اتفاق أفراد العينة على أهمية الربط المركزي للبيانات.

وبوجه عام، تعكس النتائج أن إنترنت الأشياء والاستشعار الذكي يمثلان أساساً مهماً لبناء بيئة تشغيلية قادرة على توفير بيانات مستمرة ودقيقة تساعد في سرعة اكتشاف التغيرات ودعم الإدارة الاستباقية للأصول والمرافق.

البعد الثاني: الذكاء الاصطناعي والتحليلات التنبؤية

جدول (4-7): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد الذكاء الاصطناعي والتحليلات التنبؤية

الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الترتيب	مستوى الاستجابة
يسهم الذكاء الاصطناعي في تحليل كميات كبيرة من البيانات التشغيلية للأصول والمرافق.	4.05	0.74	1	مرتفع
تساعد التحليلات التنبؤية في اكتشاف مؤشرات الأعطال المحتملة قبل حدوثها.	3.98	0.77	2	مرتفع
يمكن للذكاء الاصطناعي دعم التنبؤ باحتياجات الصيانة المستقبلية.	3.94	0.79	3	مرتفع
تسهم الخوارزميات الذكية في تحسين ترتيب أولويات أعمال الصيانة.	3.76	0.86	4	مرتفع
المتوسط الكلي للبُعد	3.93	0.79		مرتفع

المصدر: من إعداد الباحث في ضوء نتائج الدراسة الميدانية.

يتضح من نتائج جدول (4-7) أن مستوى استجابة أفراد العينة تجاه بُعد الذكاء الاصطناعي والتحليلات التنبؤية جاء مرتفعاً، حيث بلغ المتوسط الحسابي الكلي **3.93** بانحراف معياري **0.79**.

وتوضح هذه النتيجة وجود اتجاه إيجابي نحو توظيف الذكاء الاصطناعي في معالجة البيانات التشغيلية والاستفادة منها في التنبؤ بالمشكلات والاحتياجات المستقبلية للأصول والمرافق.

وجاءت الفقرة «يسهم الذكاء الاصطناعي في تحليل كميات كبيرة من البيانات التشغيلية للأصول والمرافق» في المرتبة الأولى بمتوسط حسابي بلغ **4.05** وانحراف معياري **0.74**، مما يشير إلى إدراك أفراد العينة للدور الذي يمكن أن يؤديه الذكاء الاصطناعي في التعامل مع حجم البيانات الناتج عن عمليات التشغيل والمراقبة.

وجاءت في المرتبة الثانية الفقرة المتعلقة باكتشاف مؤشرات الأعطال المحتملة قبل حدوثها بمتوسط **3.98**، تلتها القدرة على التنبؤ باحتياجات الصيانة المستقبلية بمتوسط **3.94**.

أما الفقرة المتعلقة بتحسين ترتيب أولويات أعمال الصيانة باستخدام الخوارزميات الذكية فجاءت في المرتبة الرابعة بمتوسط **3.76** وانحراف معياري **0.86**. وعلى الرغم من انخفاض متوسطها نسبياً مقارنة ببقية الفقرات، فإن مستوى الاستجابة ظل مرتفعاً، بما يدل على اتفاق أفراد العينة على أهمية هذا الدور.

وبصورة عامة، تشير النتائج إلى أن الذكاء الاصطناعي والتحليلات التنبؤية يمثلان عنصراً أساسياً في تحويل البيانات التشغيلية إلى معلومات يمكن الاستفادة منها في التنبؤ بالأعطال وتحديد احتياجات الصيانة ودعم القرارات التشغيلية.

البعد الثالث: التوأم الرقمي

جدول (4-8): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد التوأم الرقمي

الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الترتيب	مستوى الاستجابة
يسهم الذكاء الاصطناعي في تحليل كميات كبيرة من البيانات التشغيلية للأصول والمرافق.	4.05	0.74	1	مرتفع
تساعد التحليلات التنبؤية في اكتشاف مؤشرات الأعطال المحتملة قبل حدوثها.	3.98	0.77	2	مرتفع
يمكن للذكاء الاصطناعي دعم التنبؤ باحتياجات الصيانة المستقبلية.	3.94	0.79	3	مرتفع
تسهم الخوارزميات الذكية في تحسين ترتيب أولويات أعمال الصيانة.	3.76	0.86	4	مرتفع
المتوسط الكلي للبُعد	3.93	0.79		مرتفع

المصدر: من إعداد الباحث في ضوء نتائج الدراسة الميدانية.

يتضح من نتائج جدول (4-8) أن مستوى استجابة أفراد العينة تجاه بُعد التوأم الرقمي جاء مرتفعاً، حيث بلغ المتوسط الحسابي الكلي 3.71 بانحراف معياري 0.89.

وتشير هذه النتيجة إلى وجود اتجاه إيجابي نحو توظيف التوأم الرقمي في تمثيل ومتابعة الحالة التشغيلية للأصول والمرافق ودعم عمليات المحاكاة واتخاذ القرار.

وجاءت الفقرة «يساعد التوأم الرقمي في محاكاة السيناريوهات التشغيلية قبل تنفيذها فعلياً» في المرتبة الأولى بمتوسط حسابي بلغ 3.84 وانحراف معياري 0.83، وهو ما يعكس أهمية المحاكاة الافتراضية في تقليل مخاطر القرارات التشغيلية قبل تطبيقها على أرض الواقع.

وجاءت الفقرة الخاصة بإنشاء تمثيل رقمي يعكس الحالة التشغيلية للأصل أو المرفق في المرتبة الثانية بمتوسط 3.72، ثم جاءت متابعة أداء الأصول والمرافق بصورة مستمرة بمتوسط 3.69.

بينما جاءت الفقرة «يُتيح التوأم الرقمي فهم العلاقة بين مكونات الأصل أو المرفق المختلفة» في المرتبة الرابعة بمتوسط 3.58 وانحراف معياري 0.94. ويشير ذلك إلى أن هذا الاستخدام قد يكون أكثر تعقيداً من الاستخدامات المرتبطة بالمحاكاة والمتابعة المباشرة. ومع ذلك، ظل مستوى الاستجابة مرتفعاً لجميع الفقرات، بما يؤكد إدراك أفراد العينة للدور المحتمل للتوأم الرقمي في تطوير أساليب إدارة الأصول والمرافق ودعم الإدارة الذكية والاستباقية.

البعد الرابع: تكامل البيانات والأنظمة

جدول (4-9): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد تكامل البيانات والأنظمة

الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الترتيب	مستوى الاستجابة
يسهم الذكاء الاصطناعي في تحليل كميات كبيرة من البيانات التشغيلية للأصول والمرافق.	4.05	0.74	1	مرتفع
تساعد التحليلات التنبؤية في اكتشاف مؤشرات الأعطال المحتملة قبل حدوثها.	3.98	0.77	2	مرتفع
يمكن للذكاء الاصطناعي دعم التنبؤ باحتياجات الصيانة المستقبلية.	3.94	0.79	3	مرتفع
تسهم الخوارزميات الذكية في تحسين ترتيب أولويات أعمال الصيانة.	3.76	0.86	4	مرتفع
المتوسط الكلي للبُعد	3.93	0.79		مرتفع

المصدر: من إعداد الباحث في ضوء نتائج الدراسة الميدانية.

يتضح من نتائج جدول (4-9) أن مستوى استجابة أفراد العينة تجاه بُعد تكامل البيانات والأنظمة جاء مرتفعاً، حيث بلغ المتوسط الحسابي الكلي **3.84** بانحراف معياري **0.85**.

وتعكس هذه النتيجة إدراك أفراد العينة لأهمية ربط البيانات والأنظمة المختلفة في تكوين بيئة معلوماتية متكاملة تدعم المتابعة والتشغيل واتخاذ القرار. وجاءت الفقرة «يسهم تكامل بيانات الأصول والمرافق في توفير رؤية موحدة عن حالتها التشغيلية» في المرتبة الأولى بمتوسط حسابي بلغ **3.96** وانحراف معياري **0.79**، بما يعكس أهمية وجود مصدر موحد للمعلومات المتعلقة بالأصول والمرافق.

وجاءت في المرتبة الثانية الفقرة الخاصة بربط أنظمة إدارة الأصول والصيانة والتشغيل بمتوسط **3.91**، تلتها الفقرة المتعلقة بتقليل تكرار إدخال البيانات وتعدد مصادر المعلومات بمتوسط **3.82**.

أما الفقرة المتعلقة بتحسين دقة البيانات المستخدمة في اتخاذ القرار من خلال التكامل بين الأنظمة فجاءت في المرتبة الرابعة بمتوسط **3.67** وانحراف معياري **0.91**. ورغم حصولها على أدنى متوسط ضمن البُعد، فإن مستوى الاستجابة ظل مرتفعاً، مما يؤكد أهمية التكامل النظامي في تحسين جودة المعلومات المتاحة للإدارة.

وبوجه عام، تشير النتائج إلى أن تكامل البيانات والأنظمة يمثل مكوناً أساسياً في بناء منصة ذكية قادرة على توفير رؤية تشغيلية أكثر شمولاً واتساقاً، وتحسين تدفق المعلومات بين وظائف إدارة الأصول والصيانة والتشغيل.

ثانيًا: الإحصاء الوصفي لأبعاد المتغير التابع: فعالية الإدارة الذكية والاستباقية

البعد الأول: تحسين المراقبة والمتابعة

جدول (4-10): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد تحسين المراقبة والمتابعة

الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الترتيب	مستوى الاستجابة
تسهم المنصة الذكية المقترحة في تحسين المراقبة المستمرة للأصول والمرافق.	4.11	0.68	1	مرتفع
تساعد المنصة في توفير معلومات محدثة عن الحالة التشغيلية للأصول.	4.05	0.71	2	مرتفع
تسهم المنصة في سرعة اكتشاف المشكلات والانحرافات التشغيلية.	4.01	0.74	3	مرتفع
توفر المنصة رؤية موحدة وشاملة لحالة الأصول والمرافق.	3.94	0.79	4	مرتفع
المتوسط الكلي للبُعد	3.99	0.85		مرتفع

المصدر: من إعداد الباحث في ضوء نتائج الدراسة الميدانية.

يتضح من نتائج جدول (4-10) أن مستوى استجابة أفراد العينة تجاه بُعد تحسين المراقبة والمتابعة جاء مرتفعًا، حيث بلغ المتوسط الحسابي الكلي للبُعد 3.99 بانحراف معياري 0.85.

وتشير هذه النتيجة إلى وجود اتفاق مرتفع بين أفراد العينة على قدرة المنصة الذكية المقترحة على تحسين المراقبة المستمرة للأصول والمرافق، وتوفير معلومات محدثة عن حالتها التشغيلية، والمساعدة في اكتشاف المشكلات والانحرافات التشغيلية بصورة أسرع.

استكمال البعد الأول: تحسين المراقبة والمتابعة

توضح النتائج أن أفراد العينة ينظرون إلى المراقبة المستمرة وتحديث المعلومات التشغيلية باعتبارهما من أبرز المزايا المتوقعة للمنصة، بما يعزز قدرة الإدارة على الاستجابة المبكرة للمشكلات وتحسين المتابعة التشغيلية للأصول والمرافق.

وجاءت الفقرة «تسهم المنصة الذكية المقترحة في تحسين المراقبة المستمرة للأصول والمرافق» في المرتبة الأولى بمتوسط حسابي بلغ 4.11، تلتها الفقرة الخاصة بتوفير معلومات محدثة عن الحالة التشغيلية للأصول بمتوسط 4.05، ثم سرعة اكتشاف المشكلات والانحرافات التشغيلية بمتوسط 4.01. بينما جاءت الفقرة الخاصة بتوفير رؤية موحدة وشاملة لحالة الأصول والمرافق في المرتبة الرابعة بمتوسط 3.94.

وتوضح النتائج أن أفراد العينة ينظرون إلى المراقبة المستمرة وتحديث المعلومات التشغيلية باعتبارهما من أبرز المزايا المتوقعة للمنصة، بما يعزز قدرة الإدارة على الاستجابة المبكرة للمشكلات وتحسين المتابعة التشغيلية للأصول والمرافق.

البعد الثاني: دعم الصيانة التنبؤية

جدول (4-11): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد دعم الصيانة التنبؤية

الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الترتيب	مستوى الاستجابة
تسهم المنصة الذكية المقترحة في تحسين المراقبة المستمرة للأصول والمرافق.	4.11	0.68	1	مرتفع
تساعد المنصة في توفير معلومات محدثة عن الحالة التشغيلية للأصول.	4.05	0.71	2	مرتفع
تسهم المنصة في سرعة اكتشاف المشكلات والانحرافات التشغيلية.	4.01	0.74	3	مرتفع
توفر المنصة رؤية موحدة وشاملة لحالة الأصول والمرافق.	3.94	0.79	4	مرتفع
المتوسط الكلي للبُعد	3.99	0.85		مرتفع

المصدر: من إعداد الباحث في ضوء نتائج الدراسة الميدانية.

يتضح من نتائج جدول (4-11) أن مستوى استجابة أفراد العينة تجاه بُعد دعم الصيانة التنبؤية جاء مرتفعاً، حيث بلغ المتوسط الحسابي الكلي 4.04 بانحراف معياري 0.72، مما يعكس اتجاهًا إيجابيًا نحو الدور المتوقع للمنصة في تطوير ممارسات الصيانة والحد من الاعتماد على الصيانة التفاعلية.

وجاءت الفقرة «تسهم المنصة في الانتقال من الصيانة التفاعلية إلى الصيانة التنبؤية» في المرتبة الأولى بمتوسط 4.16، تلتها الفقرة الخاصة بالتنبؤ بالأعطال قبل حدوثها بمتوسط 4.09، ثم تحسين توقيت وجدولة أعمال الصيانة بمتوسط 4.06. وجاءت الفقرة المتعلقة بتقليل أعمال الصيانة غير المخططة في المرتبة الرابعة بمتوسط 4.02.

وتشير هذه النتائج إلى أن أفراد العينة يدركون أهمية توظيف التقنيات الذكية في الانتقال نحو نموذج صيانة أكثر استباقية، يعتمد على التنبؤ بالحالة المستقبلية للأصول بدلاً من الاكتفاء بالتعامل مع الأعطال بعد وقوعها، بما يمكن أن يسهم في تحسين التخطيط للصيانة وتقليل التوقفات غير المخططة.

البعد الثالث: رفع الكفاءة التشغيلية

جدول (4-12): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد رفع الكفاءة التشغيلية

الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الترتيب	مستوى الاستجابة
تسهم المنصة الذكية المقترحة في تحسين المراقبة المستمرة للأصول والمرافق.	4.11	0.68	1	مرتفع
تساعد المنصة في توفير معلومات محدثة عن الحالة التشغيلية للأصول.	4.05	0.71	2	مرتفع
تسهم المنصة في سرعة اكتشاف المشكلات والانحرافات التشغيلية.	4.01	0.74	3	مرتفع

مرتفع	4	0.79	3.94	توفر المنصة رؤية موحدة وشاملة لحالة الأصول والمرافق.
مرتفع		0.85	3.99	المتوسط الكلي للبعد

المصدر: من إعداد الباحث في ضوء نتائج الدراسة الميدانية.

يتضح من نتائج جدول (4-12) أن مستوى استجابة أفراد العينة تجاه بُعد رفع الكفاءة التشغيلية جاء مرتفعاً، حيث بلغ المتوسط الحسابي الكلي **3.85** بانحراف معياري **0.82**. وتعكس هذه النتيجة وجود اتفاق نسبي مرتفع على أن المنصة الذكية يمكن أن تسهم في تحسين كفاءة تشغيل الأصول والمرافق والاستفادة بصورة أفضل من الموارد المتاحة.

وجاءت الفقرة «تسهم المنصة في تحسين كفاءة تشغيل الأصول والمرافق» في المرتبة الأولى بمتوسط **3.96**، تلتها الفقرة الخاصة بالاستخدام الأمثل للموارد البشرية والفنية بمتوسط **3.92**، ثم تحسين استغلال الطاقة والموارد المرتبطة بتشغيل المرافق بمتوسط **3.88**. بينما جاءت الفقرة المتعلقة بتقليل الوقت والجهد اللازمين لمتابعة العمليات التشغيلية في المرتبة الرابعة بمتوسط **3.79**.

وتشير النتائج إلى أن التأثير المتوقع للمنصة لا يقتصر على توفير البيانات والمعلومات، وإنما يمتد إلى تحسين كفاءة العمليات التشغيلية واستخدام الموارد، بما يدعم توجه الدراسة نحو بناء إدارة أكثر كفاءة وقدرة على الاستفادة من البيانات والتقنيات الذكية في تحسين الأداء التشغيلي.

البعد الرابع: تحسين استغلال الموارد والأصول

جدول (4-13): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد تحسين استغلال الموارد والأصول

الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الترتيب	مستوى الاستجابة
تساعد المنصة في تحسين الاستفادة من الأصول المتاحة.	3.91	0.78	1	مرتفع
تساعد المنصة في تحديد الأصول التي تحتاج إلى تدخل أو صيانة وفقاً لحالتها الفعلية.	3.87	0.81	2	مرتفع
تسهم المنصة في تحسين إدارة دورة حياة الأصول.	3.80	0.84	3	مرتفع
تساعد المنصة في رفع القيمة التشغيلية والاستثمارية للأصول والمرافق.	3.73	0.88	4	مرتفع
المتوسط الكلي للبعد	3.83	0.83		مرتفع

المصدر: من إعداد الباحث في ضوء نتائج الدراسة الميدانية.

يتضح من نتائج جدول (4-13) أن مستوى استجابة أفراد العينة تجاه بُعد تحسين استغلال الموارد والأصول جاء مرتفعاً، حيث بلغ المتوسط الحسابي الكلي **3.83** بانحراف معياري **0.83**. وتشير هذه النتيجة إلى وجود اتجاه إيجابي لدى أفراد العينة نحو قدرة المنصة الذكية على تحسين الاستفادة من الأصول المتاحة وربط قرارات التدخل والصيانة بالحالة الفعلية للأصول.

وجاءت الفقرة «تساعد المنصة في تحسين الاستفادة من الأصول المتاحة» في المرتبة الأولى بمتوسط **3.91**، تلتها الفقرة المتعلقة بتحديد الأصول التي تحتاج إلى تدخل أو صيانة وفقاً لحالتها الفعلية بمتوسط **3.87**، ثم تحسين إدارة دورة حياة الأصول بمتوسط **3.80**. بينما جاءت الفقرة الخاصة برفع القيمة التشغيلية والاستثمارية للأصول والمرافق في المرتبة الرابعة بمتوسط **3.73**.

وتوضح هذه النتائج أن أفراد العينة يركزون بصورة أكبر على الفوائد التشغيلية المباشرة للمنصة، مثل تحسين استخدام الأصول وتحديد احتياجاتها الفعلية، في حين جاء الأثر المرتبط برفع القيمة الاستثمارية في المرتبة الأخيرة، وهو أمر منطقي باعتبار أن تحقيق القيمة الاستثمارية يمثل نتيجة أكثر امتداداً وتتأثر بعوامل أخرى إلى جانب التقنيات الذكية.

ثالثاً: الإحصاء الوصفي لمحور قابلية التطبيق والتبني

جدول (4-14): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات محور قابلية التطبيق والتبني

الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الترتيب	مستوى الاستجابة
أرى أن تطبيق المنصة الذكية المقترحة قابل للتنفيذ عملياً في بيئات إدارة الأصول والمرافق والتشغيل والصيانة.	4.02	0.76	2	مرتفع
يمكن دمج المنصة المقترحة مع الأنظمة التقنية والتشغيلية القائمة في المنشآت.	3.94	0.81	3	مرتفع
أرى أن الفوائد التشغيلية المتوقعة من المنصة تبرر الاستثمار في تطبيقها.	4.08	0.73	1	مرتفع
يمكن للمنشآت تطوير القدرات البشرية والفنية اللازمة لتطبيق وتشغيل المنصة.	3.86	0.84	4	مرتفع
أعتقد أن المنشآت ستكون مستعدة لتبني منصات ذكية متكاملة من هذا النوع مستقبلاً.	3.78	0.88	5	مرتفع
المتوسط الكلي للمحور	3.94	0.80		مرتفع

المصدر: من إعداد الباحث في ضوء نتائج الدراسة الميدانية.

يتضح من نتائج جدول (4-14) أن مستوى استجابة أفراد العينة تجاه محور قابلية التطبيق والتبني جاء مرتفعاً، حيث بلغ المتوسط الحسابي الكلي 3.94 بانحراف معياري قدره 0.80. وتشير هذه النتيجة إلى وجود اتجاه إيجابي لدى أفراد العينة نحو إمكانية تطبيق المنصة الذكية المقترحة وتبنيها في بيئات إدارة الأصول والمرافق والتشغيل والصيانة، مع توافر درجة مناسبة من القناعة بفوائدها ومتطلبات تطبيقها. وجاءت الفقرة «أرى أن الفوائد التشغيلية المتوقعة من المنصة تبرر الاستثمار في تطبيقها» في المرتبة الأولى بمتوسط حسابي بلغ 4.08 وانحراف معياري 0.73، مما يعكس إدراك أفراد العينة للقيمة التشغيلية المتوقعة من تطبيق المنصة، وأن العوائد المحتملة من تحسين المراقبة والصيانة والتشغيل يمكن أن تبرر تكاليف الاستثمار فيها.

وجاءت الفقرة المتعلقة بقابلية التنفيذ العملي للمنصة في بيئات إدارة الأصول والمرافق والتشغيل والصيانة في المرتبة الثانية بمتوسط 4.02، تلتها إمكانية دمج المنصة مع الأنظمة التقنية والتشغيلية القائمة بمتوسط 3.94. ويشير ذلك إلى أن أفراد العينة يرون إمكانية تطبيق المنصة دون أن يتطلب الأمر بالضرورة التخلي عن الأنظمة القائمة، وإنما يمكن تطوير التكامل بينها وبين المنصة المقترحة.

وفي المقابل، جاءت الفقرة الخاصة بإمكانية تطوير القدرات البشرية والفنية اللازمة لتطبيق وتشغيل المنصة في المرتبة الرابعة بمتوسط 3.86، بينما جاءت الاستعدادات المستقبلية لتبني منصات ذكية متكاملة في المرتبة الخامسة بمتوسط 3.78. وعلى الرغم من انخفاض هذين المتوسطين نسبياً

مقارنة ببقية الفقرات، فإن مستوى الاستجابة ظل مرتفعاً، بما يشير إلى وجود قبول عام لتطبيق المنصة، مع احتمال وجود بعض التحديات المرتبطة بتأهيل الموارد البشرية والاستعداد التنظيمي والفني للتبني.

وبوجه عام، تعكس النتائج وجود قابلية مرتفعة لتطبيق وتبني المنصة الذكية المقترحة من منظور أفراد العينة، وهو ما يدعم توجه الدراسة نحو توظيف التكامل بين إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي والتوأم الرقمي وتكامل البيانات والأنظمة في تطوير نموذج أكثر ذكاءً واستباقية لإدارة الأصول والمرافق والبنية التحتية.

رابعاً: الرأي والملاحظات

السؤال المفتوح:

من وجهة نظر، ما أبرز المتطلبات أو التحديات التي يجب مراعاتها عند تطبيق منصة ذكية متكاملة لإدارة وتشغيل وصيانة الأصول والمرافق؟ تم تحليل الإجابات الواردة عن السؤال المفتوح المتعلق بأبرز المتطلبات أو التحديات التي ينبغي مراعاتها عند تطبيق منصة ذكية متكاملة لإدارة وتشغيل وصيانة الأصول والمرافق والبنية التحتية، وذلك من خلال قراءة الإجابات وتصنيف الأفكار المتشابهة وتجميعها في موضوعات رئيسة تعكس وجهات نظر أفراد العينة.

وأظهر التحليل النوعي أن إجابات أفراد العينة ركزت بصورة أساسية حول عدد من الموضوعات المترابطة. تمثل أولها في ضرورة تكامل البيانات والأنظمة، حيث أشار عدد من المشاركين إلى أهمية قدرة المنصة على الربط بين أنظمة إدارة الأصول والصيانة والتشغيل والمرافق، بما يضمن وجود قاعدة معلومات موحدة ويحد من تكرار البيانات وتعدد مصادرها. وقد عكس ذلك إدراك أفراد العينة أن القيمة الحقيقية للمنصة لا تتحقق بمجرد إدخال تقنيات ذكية بصورة منفصلة، وإنما من خلال تكاملها ضمن بيئة تشغيلية واحدة.

كما برز الأمن السيبراني وحماية البيانات باعتباره أحد التحديات المهمة، خاصة في ظل اعتماد المنصة على جمع البيانات بصورة مستمرة من الأصول والمرافق وربط عدد كبير من الأنظمة والأجهزة. وأكدت بعض الإجابات ضرورة وجود آليات واضحة لحماية البيانات، وإدارة صلاحيات المستخدمين، وضمان أمن عمليات الاتصال وتبادل المعلومات.

وأشار المشاركون كذلك إلى أهمية توافر الكفاءات البشرية والتدريب المتخصص، حيث رأى عدد منهم أن تطبيق المنصة يتطلب موظفين قادرين على التعامل مع تقنيات إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي والتوأم الرقمي، إلى جانب تدريب العاملين الحاليين على استخدام النظام وتفسير مخرجاته والاستفادة منها في اتخاذ القرارات التشغيلية والصيانة.

ومن الموضوعات التي تكررت في الإجابات أيضاً جاهزية البنية التحتية التقنية، إذ أشار المشاركون إلى ضرورة توافر شبكات اتصال مستقرة، وأجهزة استشعار مناسبة، وأنظمة معلومات قادرة على التعامل مع حجم البيانات الناتج عن عمليات المراقبة المستمرة. ويشير ذلك إلى أن نجاح المنصة يرتبط بدرجة كبيرة بمستوى النضج التقني للبيئة التي سيتم تطبيقها فيها.

كما تناولت بعض الإجابات التكلفة والجدوى الاقتصادية للتطبيق، خاصة ما يرتبط بتكاليف تجهيز الأصول وتركيب أجهزة الاستشعار وتطوير الأنظمة وتدريب العاملين والصيانة المستمرة للمنصة. وفي المقابل، أشار بعض المشاركين إلى ضرورة النظر إلى هذه التكاليف في ضوء العوائد المتوقعة، مثل خفض الأعطال غير المخططة وتحسين كفاءة التشغيل وإطالة العمر التشغيلي للأصول.

وظهرت كذلك مجموعة من التحديات التنظيمية والإدارية، ومن أبرزها مقاومة التغيير، وضعف التنسيق بين الإدارات، والحاجة إلى دعم الإدارة العليا، ووجود سياسات وإجراءات واضحة تنظم استخدام البيانات والتقنيات الذكية. ويكشف ذلك عن أن التحول إلى الإدارة الذكية يمثل تحوُّلاً في أسلوب العمل واتخاذ القرار، وليس مجرد إضافة نظام تقني جديد.

وأخيراً، أكدت بعض الإجابات أهمية التدرج في التطبيق ووضوح الأهداف، من خلال البدء بتطبيق المنصة على نطاق محدود أو على مجموعة من الأصول ذات الأولوية، ثم تقييم النتائج والتوسع التدريجي وفقاً للخبرة المكتسبة. ويعكس هذا الاتجاه وعياً بأهمية إدارة مخاطر التحول الرقمي وعدم الانتقال المباشر إلى تطبيق واسع دون اختبار الجاهزية التقنية والتنظيمية.

وبصورة عامة، يكشف التحليل النوعي أن أفراد العينة ينظرون إلى تطبيق المنصة الذكية باعتباره مشروع تحول متكاملًا يتطلب توافر مجموعة من الشروط التقنية والتنظيمية والبشرية والمالية في الوقت نفسه. كما توضح الإجابات أن التحدي الأساسي لا يكمن في توافر التقنيات الذكية ذاتها بقدر ما يرتبط بقدرة المنظمة على دمج هذه التقنيات داخل منظومة تشغيلية متكاملة، وتهيئة العاملين والأنظمة والإجراءات للاستفادة منها بصورة مستدامة.

4.2.4 اختبار الفرضيات

الفرضية الرئيسة H1

يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لتكامل تقنيات الذكاء الاصطناعي والتوأم الرقمي وإنترنت الأشياء في تعزيز الإدارة الذكية والاستباقية للأصول والمرافق والبنية التحتية.

جدول (4-15): نتائج تحليل الانحدار الخطي المتعدد لاختبار الفرضية الرئيسة

المتغير المستقل	المتغير التابع	B	Beta (β)	t	p
إنترنت الأشياء والاستشعار الذكي	فعالية الإدارة الذكية والاستباقية	0.241	0.268	4.126	p < .001
الذكاء الاصطناعي والتحليلات التنبؤية	فعالية الإدارة الذكية والاستباقية	0.318	0.351	5.473	p < .001
التوأم الرقمي	فعالية الإدارة الذكية والاستباقية	0.187	0.201	3.284	.001
تكامل البيانات والأنظمة	فعالية الإدارة الذكية والاستباقية	0.226	0.247	3.917	p < .001

ملخص النموذج:

$$R = 0.812$$

$$R^2 = 0.659$$

$$F = 94.173$$

$$p < .001$$

المصدر: من إعداد الباحث في ضوء نتائج الدراسة الميدانية.

تشير نتائج الجدول إلى وجود أثر إيجابي ذي دلالة إحصائية لمكونات المنصة الذكية المقترحة في تعزيز فعالية الإدارة الذكية والاستباقية للأصول والمرافق والبنية التحتية من منظور أفراد العينة، حيث بلغت قيمة معامل الارتباط المتعدد $R = 0.812$ ، في حين بلغ معامل التحديد $R^2 = 0.659$ ، بما يعني أن مكونات المنصة الذكية مجتمعة تفسر نحو 65.9% من التباين في تصورات أفراد العينة المتعلقة بفعالية الإدارة الذكية والاستباقية، بينما تعود النسبة المتبقية إلى عوامل أخرى لم يتناولها النموذج.

كما توضح معاملات الانحدار أن الذكاء الاصطناعي والتحليلات التنبؤية جاء بأعلى تأثير نسبي ($\beta = 0.351$)، يليه إنترنت الأشياء والاستشعار الذكي ($\beta = 0.268$)، ثم تكامل البيانات والأنظمة ($\beta = 0.247$)، ثم التوأم الرقمي ($\beta = 0.201$). وجميع معاملات الانحدار دالة إحصائياً عند مستوى الدلالة المعتمد.

وبناءً على ذلك، تُقبل الفرضية الرئيسة H1 التي تنص على وجود أثر ذي دلالة إحصائية لتكامل تقنيات الذكاء الاصطناعي والتوأم الرقمي وإنترنت الأشياء في تعزيز الإدارة الذكية والاستباقية للأصول والمرافق والبنية التحتية.

الفرضية الفرعية الأولى H1-1

يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لتكامل البيانات والأنظمة وتقنيات إنترنت الأشياء في تعزيز المراقبة والرؤية التشغيلية للأصول والمرافق والبنية التحتية.

جدول (4-16): نتائج تحليل الانحدار الخطي المتعدد لاختبار الفرضية الفرعية الأولى

المتغير المستقل	المتغير التابع	B	Beta (β)	t	p
إنترنت الأشياء والاستشعار الذكي	المراقبة والرؤية التشغيلية	0.421	0.456	7.186	$p < .001$
تكامل البيانات والأنظمة	المراقبة والرؤية التشغيلية	0.367	0.402	6.241	$p < .001$

ملخص النموذج:

$$R = 0.734$$

$$R^2 = 0.539$$

$$F = 115.327$$

$$p < .001$$

المصدر: من إعداد الباحث في ضوء نتائج الدراسة الميدانية.

توضح النتائج وجود أثر إيجابي ذي دلالة إحصائية لكل من إنترنت الأشياء والاستشعار الذكي وتكامل البيانات والأنظمة في تعزيز المراقبة والرؤية التشغيلية. وقد بلغت قيمة معامل الارتباط المتعدد $R = 0.734$ ، بينما بلغ معامل التحديد $R^2 = 0.539$ ، مما يشير إلى أن المتغيرين المستقلين يفسران نحو 53.9% من التباين في مستوى المراقبة والرؤية التشغيلية.

ويتضح كذلك أن إنترنت الأشياء والاستشعار الذكي يمثل المتغير الأكثر تأثيراً في المراقبة والرؤية التشغيلية ($\beta = 0.456$)، وهو ما يمكن تفسيره بقدرته على توفير بيانات آنية ومستمرة عن حالة الأصول والمرافق، في حين يسهم تكامل البيانات والأنظمة ($\beta = 0.402$) في تجميع هذه البيانات وربطها ضمن رؤية تشغيلية موحدة.

وبناءً عليه، تُقبل الفرضية الفرعية الأولى H1-1 بوجود أثر ذي دلالة إحصائية لتكامل البيانات والأنظمة وتقنيات إنترنت الأشياء في تعزيز المراقبة والرؤية التشغيلية.

الفرضية الفرعية الثانية H1-2

يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لتوظيف الذكاء الاصطناعي والتحليلات التنبؤية في تحسين التنبؤ بالأعطال ودعم قرارات التشغيل والصيانة وإدارة الأصول.

جدول (4-17): نتائج تحليل الانحدار الخطي البسيط لاختبار الفرضية الفرعية الثانية

المتغير المستقل	المتغير التابع	B	Beta (β)	t	p
الذكاء الاصطناعي والتحليلات التنبؤية	التنبؤ بالأعطال ودعم قرارات التشغيل والصيانة	0.716	0.728	14.982	$p < .001$

ملخص النموذج:

$$R = 0.728$$

$$R^2 = 0.530$$

$$F = 224.461$$

$$p < .001$$

المصدر: من إعداد الباحث في ضوء نتائج الدراسة الميدانية.

تشير النتائج إلى وجود أثر إيجابي ذي دلالة إحصائية للذكاء الاصطناعي والتحليلات التنبؤية في تحسين التنبؤ بالأعطال ودعم قرارات التشغيل والصيانة وإدارة الأصول. فقد بلغت قيمة معامل الارتباط $R = 0.728$ ، في حين بلغ معامل التحديد $R^2 = 0.530$ ، مما يعني أن الذكاء الاصطناعي والتحليلات التنبؤية تفسر نحو 53.0% من التباين في المتغير التابع.

كما بلغت قيمة معامل الانحدار $B = 0.716$ ، ومعامل التأثير المعياري $\beta = 0.728$ ، وبلغت قيمة $t = 14.982$ عند مستوى دلالة $p < .001$ ، بما يؤكد دلالة الأثر إحصائياً.

وبناءً عليه، تُقبل الفرضية الفرعية الثانية H1-2 التي تؤكد وجود أثر ذي دلالة إحصائية لتوظيف الذكاء الاصطناعي والتحليلات التنبؤية في تحسين التنبؤ بالأعطال ودعم قرارات التشغيل والصيانة وإدارة الأصول.

الفرضية الفرعية الثالثة H1-3

يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لتوظيف التوأم الرقمي في تحسين التمثيل الرقمي للحالة التشغيلية للأصول ودعم عمليات المراقبة والتشغيل والصيانة واتخاذ القرار.

جدول (4-18): نتائج تحليل الانحدار الخطي البسيط لاختبار الفرضية الفرعية الثالثة

المتغير المستقل	المتغير التابع	B	Beta (β)	t	p
التوأم الرقمي	التمثيل الرقمي للحالة التشغيلية ودعم المراقبة والتشغيل والصيانة	0.681	0.690	13.417	$p < .001$

ملخص النموذج:

$$R = 0.690$$

$$R^2 = 0.476$$

$$F = 179.999$$

$$p < .001$$

المصدر: من إعداد الباحث في ضوء نتائج الدراسة الميدانية.

توضح نتائج التحليل وجود أثر إيجابي ذي دلالة إحصائية لتوظيف التوأم الرقمي في تحسين التمثيل الرقمي للحالة التشغيلية للأصول ودعم عمليات المراقبة والتشغيل والصيانة واتخاذ القرار.

وبلغ معامل الارتباط $R = 0.690$ ، بينما بلغ معامل التحديد $R^2 = 0.476$ ، بما يشير إلى أن التوأم الرقمي يفسر نحو 47.6% من التباين في المتغير التابع.

وتشير قيمة معامل الانحدار $B = 0.681$ ، ومعامل التأثير المعياري $\beta = 0.690$ ، وقيمة $t = 13.417$ عند $p < .001$ إلى وجود أثر إيجابي ودال إحصائياً.

وبناءً عليه، تُقبل الفرضية الفرعية الثالثة H1-3 التي تنص على وجود أثر ذي دلالة إحصائية لتوظيف التوأم الرقمي في تحسين التمثيل الرقمي للحالة التشغيلية ودعم عمليات المراقبة والتشغيل والصيانة واتخاذ القرار.

الفرضية الفرعية الرابعة H1-4

يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لتكامل الذكاء الاصطناعي والتوأم الرقمي وإنترنت الأشياء في تعزيز قابلية تطبيق وتبني إطار الإدارة الذكية والاستباقية للأصول والمرافق والبنية التحتية.

جدول (4-19): نتائج تحليل الانحدار الخطي المتعدد لاختبار الفرضية الفرعية الرابعة

المتغير المستقل	المتغير التابع	B	Beta (β)	t	p
إنترنت الأشياء والاستشعار الذكي	قابلية التطبيق والتبني	0.214	0.238	3.764	$p < .001$
الذكاء الاصطناعي والتحليلات التنبؤية	قابلية التطبيق والتبني	0.293	0.347	5.116	$p < .001$
التوأم الرقمي	قابلية التطبيق والتبني	0.256	0.286	4.483	$p < .001$

ملخص النموذج:

$$R = 0.716$$

$$R^2 = 0.513$$

$$F = 68.821$$

$$p < .001$$

المصدر: من إعداد الباحث في ضوء نتائج الدراسة الميدانية.

تشير نتائج الانحدار إلى وجود أثر إيجابي ذي دلالة إحصائية لكل من إنترنت الأشياء والاستشعار الذكي، والذكاء الاصطناعي والتحليلات التنبؤية، والتوأم الرقمي في تعزيز قابلية تطبيق وتبني إطار الإدارة الذكية والاستباقية.

وقد بلغ معامل الارتباط المتعدد $R = 0.716$ ، بينما بلغ معامل التحديد $R^2 = 0.513$ ، بما يعني أن المتغيرات المستقلة مجتمعة تفسر نحو 51.3% من التباين في قابلية التطبيق والتبني.

وتظهر معاملات الانحدار أن الذكاء الاصطناعي والتحليلات التنبؤية كان الأكثر تأثيراً ($\beta = 0.347$)، يليه التوأم الرقمي ($\beta = 0.286$)، ثم إنترنت الأشياء والاستشعار الذكي ($\beta = 0.238$)، مع دلالة إحصائية لجميع المتغيرات عند $p < .001$. وبناءً على ذلك، تُقبل الفرضية الفرعية الرابعة H1-4 التي تنص على وجود أثر ذي دلالة إحصائية لتكامل الذكاء الاصطناعي والتوأم الرقمي وإنترنت الأشياء في تعزيز قابلية تطبيق وتبني إطار الإدارة الذكية والاستباقية للأصول والمرافق والبنية التحتية.

4.3 مناقشة النتائج

مناقشة نتائج الفرضية الرئيسية في ضوء الدراسات السابقة

أظهرت نتائج اختبار الفرضية الرئيسية وجود أثر ذي دلالة إحصائية لتكامل تقنيات الذكاء الاصطناعي والتوأم الرقمي وإنترنت الأشياء في تعزيز الإدارة الذكية والاستباقية للأصول والمرافق والبنية التحتية. وتعكس هذه النتيجة أن القيمة الإدارية لهذه التقنيات لا تتحقق بصورة كاملة عند استخدامها بصورة منفردة، وإنما تتعاضد عندما تعمل ضمن منظومة مترابطة تحول البيانات التشغيلية إلى معلومات تحليلية ثم إلى قرارات قابلة للتنفيذ. ويرى الباحث أن هذه النتيجة تمثل جوهر الإضافة التي تستهدفها الدراسة الحالية؛ إذ إن المشكلة في إدارة الأصول الحديثة لم تعد تتمثل في نقص البيانات بقدر ما تتمثل في قدرة المنظمة على ربط مصادر البيانات المختلفة وتحليلها وفهمها واستخدامها في الوقت المناسب. وتتفق هذه النتيجة مع ما توصلت إليه دراسة Alnaser et al (2024) من أن التكامل بين الذكاء الاصطناعي والتوأم الرقمي وإنترنت الأشياء يمكن أن يدعم المراقبة اللحظية والتحسين والتنبؤ، كما تتسجم مع دراسة Matei and Cocosatu (2024) التي أكدت أهمية الجمع بين هذه التقنيات في دعم الإدارة الذكية والمستدامة. كما تتقاطع مع دراسة Abdullahi et al (2024) التي أظهرت إمكانية توظيف إنترنت الأشياء والتوأم الرقمي والتحليلات التنبؤية بصورة مترابطة في دعم صيانة الأصول.

ومن وجهة نظر الباحث، فإن ارتفاع مستوى التأثير يرجع إلى التكامل الوظيفي بين التقنيات وليس مجرد الجمع بينها؛ فالأصل المادي يولد البيانات من خلال أجهزة الاستشعار وإنترنت الأشياء، ثم يتولى الذكاء الاصطناعي تحليل هذه البيانات واكتشاف الأنماط ومؤشرات الخلل، بينما يوفر التوأم الرقمي بيئة قادرة على تمثيل الحالة التشغيلية ومحاكاة السيناريوهات المختلفة. وبهذا يصبح القرار الإداري قائماً على دورة متكاملة تبدأ من الواقع المادي وتنتهي بالتدخل الاستباقي في الأصل.

وهذا يفسر، في تقدير الباحث، لماذا كان أثر المنظومة المتكاملة أعلى من المتوقع لو تم النظر إلى كل تقنية باعتبارها أداة مستقلة. كما يرى الباحث أن النتيجة تكشف تحولاً مهماً في فلسفة إدارة الأصول؛ إذ تنتقل الإدارة من متابعة ما حدث إلى فهم ما يحدث والتنبؤ بما يمكن أن يحدث. ومن ثم، فإن الذكاء الحقيقي للمنصة المقترحة لا يكمن في قدرتها على عرض حالة الأصل، وإنما في قدرتها على تحويل البيانات التشغيلية المتدفقة إلى معرفة تساعد على اتخاذ القرار قبل وقوع المشكلة.

ولذلك فإن الدراسة الحالية لا تنظر إلى التقنيات الثلاث باعتبارها أهدافاً تقنية في حد ذاتها، بل باعتبارها مكونات مترابطة لبناء إدارة استباقية أكثر قدرة على التنبؤ والاستجابة وتحسين استغلال الموارد.

ويضيف الباحث أن هذه النتيجة تبرر الاتجاه نحو بناء منصة متكاملة بدلاً من تبني حلول تقنية منفصلة لكل وظيفة؛ لأن تعدد الأنظمة غير المترابطة قد يؤدي إلى استمرار مشكلة تجزؤ المعلومات حتى مع ارتفاع مستوى الرقمنة. ومن هنا فإن القيمة الحقيقية للإطار المقترح تتمثل في بناء علاقة تشغيلية بين البيانات والاستشعار والتحليل والتمثيل الرقمي والقرار، بما يجعله أكثر ارتباطاً بطبيعة التحديات الفعلية لإدارة الأصول والمرافق والبنية التحتية.

مناقشة نتائج الفرضية الفرعية الأولى في ضوء الدراسات السابقة

أظهرت النتائج وجود أثر ذي دلالة إحصائية لتقنيات إنترنت الأشياء والاستشعار الذكي وتكامل البيانات والأنظمة في تعزيز المراقبة والرؤية التشغيلية للأصول والمرافق والبنية التحتية.

وتشير هذه النتيجة إلى أن تحقيق الرؤية التشغيلية لا يرتبط فقط بتوافر أجهزة الاستشعار، وإنما يتوقف على قدرة المنظمة على تحويل البيانات المتولدة عنها إلى صورة موحدة ومستمرة عن حالة الأصول.

وتتفق هذه النتيجة مع دراسة بصافة (2025) التي أوضحت أن القيمة الأساسية لإنترنت الأشياء ترتبط بقدرته على توفير بيانات مستمرة من البيئة الفعلية، كما تتفق مع دراسة Issa et al (2023) التي أبرزت أهمية دمج مصادر البيانات المتنوعة في بناء تمثيل رقمي يخدم مديري الأصول

والصيانة. كذلك تتسق مع دراسة Andriulo et al (2024) التي أكدت أن جمع البيانات في بيئات إنترنت الأشياء يحتاج إلى بنية معالجة قادرة على التعامل معها بالسرعة المناسبة.

ويرى الباحث أن تفسير هذه النتيجة يرتبط بطبيعة المراقبة التشغيلية نفسها؛ فالأصول والمرافق لا تعمل في ظروف ثابتة، وإنما تتغير حالتها بصورة مستمرة نتيجة الاستخدام والتحميل والظروف البيئية ومستوى التشغيل. وبالتالي فإن الاعتماد على عمليات الفحص الدوري وحدها قد يؤدي إلى اكتشاف التغير بعد حدوثه، بينما تسمح أجهزة الاستشعار الذكية بانتقال المراقبة من نموذج قائم على الفحص المتقطع إلى الرصد المستمر. إلا أن الباحث يرى أن وجود البيانات بصورة مستمرة لا يعني بالضرورة تحقق الرؤية التشغيلية؛ فالبيانات المتفرقة بين أنظمة الصيانة والتشغيل وإدارة الأصول قد تظل محدودة القيمة إذا لم يتم توحيدها وربطها. ولذلك فإن ظهور تكامل البيانات والأنظمة كعامل مؤثر إلى جانب إنترنت الأشياء يعد نتيجة منطقية؛ لأن الرؤية التشغيلية الحقيقية تنشأ من تكامل البيانات وليس من كثرتها.

وهذا يوضح أهمية تصميم المنصة المقترحة على أساس وجود مصدر موحد للمعلومات بدلاً من إضافة نظام جديد إلى مجموعة أنظمة منفصلة. وتختلف زاوية الدراسة الحالية هنا عن بعض الدراسات التي تناولت إنترنت الأشياء بوصفه وسيلة لجمع البيانات أو تحسين المراقبة في قطاع معين؛ إذ يرى الباحث أن أهمية التقنية في مجال إدارة الأصول تتحدد بمدى اندماجها في منظومة القرار. فالمستشعر الذي يكتشف تغيراً في أداء أصل معين لا يحقق قيمة إدارية كافية ما لم تنتقل هذه المعلومة إلى النظام المناسب، ويتم تفسيرها وربطها بسجل الأصل وتاريخه التشغيلي، ثم استخدامها في تحديد الإجراء المناسب.

وعليه، يرى الباحث أن النتيجة تدعم بناء المنصة المقترحة على ثلاث حلقات مترابطة: الاستشعار، وتكامل البيانات، وتكوين الرؤية التشغيلية، بما يسمح للإدارة بالانتقال من معرفة حالة الأصل عند السؤال عنه إلى امتلاك صورة تشغيلية مستمرة تمكنها من التدخل في الوقت المناسب.

مناقشة نتائج الفرضية الفرعية الثانية في ضوء الدراسات السابقة

أثبتت النتائج وجود أثر ذي دلالة إحصائية للذكاء الاصطناعي والتحليلات التنبؤية في تحسين التنبؤ بالأعطال ودعم قرارات التشغيل والصيانة وإدارة الأصول. وتكتسب هذه النتيجة أهمية خاصة؛ لأنها تشير إلى أن استخدام الذكاء الاصطناعي في إدارة الأصول يتجاوز أتمتة الإجراءات أو تسريع تحليل البيانات إلى التنبؤ بالحالة المستقبلية للأصل، وهو ما يمثل أساساً للتحويل نحو الإدارة الاستباقية.

وتتفق هذه النتيجة بصورة واضحة مع دراسة البازعي (2025) التي أكدت أهمية الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي والتحليل التنبؤي في تحسين كفاءة صيانة المنشآت الصحية، كما تتفق مع دراسة البازعي (2026) التي ربطت توظيف الذكاء الاصطناعي بالتنبؤ بالأعطال وتحسين جداول الصيانة وتخصيص الموارد. كذلك تدعمها دراسة Abdullahi et al (2024) التي ربطت بين التحليلات التنبؤية والتوأم الرقمي وإنترنت الأشياء في إدارة صحة الأصول.

ويرى الباحث أن قوة هذا التأثير يمكن تفسيرها بأن الصيانة التقليدية تعتمد بدرجة كبيرة على الاستجابة للحدث بعد وقوعه أو الالتزام بجداول زمنية ثابتة، بينما يسمح الذكاء الاصطناعي بالاستفادة من الأنماط المتراكمة في البيانات التشغيلية للتعرف على مؤشرات التدهور قبل تحولها إلى عطل فعلي. ومن ثم، فإن القرار لم يعد قائماً فقط على سؤال: متى تتم الصيانة؟ وإنما يصبح قائماً على سؤال أكثر دقة: متى يحتاج الأصل فعلاً إلى التدخل، وما مستوى التدخل المطلوب؟

كما يرى الباحث أن أهمية الذكاء الاصطناعي لا تقتصر على التنبؤ بوقوع العطل، وإنما تمتد إلى ترتيب أولويات التدخل. فوجود عدد كبير من الأصول يعني أن المنظمة قد تواجه في الوقت نفسه مؤشرات مختلفة لمشكلات محتملة، ومن ثم فإن القيمة الإدارية للتحليلات التنبؤية تظهر عندما تساعد في تحديد الأصول الأكثر خطورة أو الأكثر تأثيراً على استمرارية التشغيل، بما يسمح بتوجيه الموارد المحدودة نحو الحالات ذات الأولوية. وتتفق هذه النتيجة كذلك مع الاتجاه الذي أكدته دراسة Gálvez del Postigo Gallego et al (2025) بشأن أهمية تحويل مخرجات التحليل والمحاكاة إلى قرارات قابلة للتنفيذ. ويرى الباحث أن هذا الجانب يمثل شرطاً أساسياً حتى لا تتحول المنصة الذكية إلى مجرد نظام متقدم لإنتاج التقارير؛ فالتنبؤ لا يحقق قيمته إلا إذا ترتب عليه إجراء إداري أو فني مناسب.

ومن هنا يخلص الباحث إلى أن الذكاء الاصطناعي يمثل العقل التحليلي للمنصة المقترحة؛ فبينما يوفر إنترنت الأشياء البيانات، يقوم الذكاء الاصطناعي بتحويلها إلى مؤشرات وتوقعات تساعد الإدارة على التصرف قبل حدوث الأعطال. ولذلك فإن ارتفاع تأثير هذا المتغير يدعم التوجه نحو إعطاء التحليلات التنبؤية دوراً محورياً في الانتقال من إدارة الصيانة التفاعلية إلى إدارة أكثر استباقية تعتمد على التنبؤ والأولوية والمخاطر.

مناقشة نتائج الفرضية الفرعية الثالثة في ضوء الدراسات السابقة

أظهرت نتائج الدراسة وجود أثر ذي دلالة إحصائية لتوظيف التوأم الرقمي في تحسين التمثيل الرقمي للحالة التشغيلية للأصول ودعم عمليات المراقبة والتشغيل والصيانة واتخاذ القرار.

وتوضح هذه النتيجة أن أهمية التوأم الرقمي لا تتمثل في إنشاء نسخة رقمية من الأصل فحسب، وإنما في قدرته على إنشاء بيئة مترابطة تسمح بفهم العلاقة بين الحالة الفعلية للأصل وما يمكن أن يحدث له في سيناريوهات تشغيلية مختلفة.

وتتفق هذه النتيجة مع دراسة بن طلحة وركيمة (2025) التي أبرزت قدرة التوأم الرقمي على توفير تمثيل افتراضي ديناميكي للواقع المادي وتحليل البيانات ومحاكاة السيناريوهات، كما تتفق مع دراسة Li et al (2024) التي أكدت أهمية التوأم الرقمي في فهم حالة الأصول الهندسية ودعم القرارات المتعلقة بها. كذلك تتسجم مع دراسة Palmitessa et al (2024) التي وظفت التوأم الرقمي لدمج معلومات الصيانة والطاقة ضمن إطار لدعم القرار.

ويرى الباحث أن السبب الرئيسي وراء هذه النتيجة يتمثل في أن التوأم الرقمي يضيف بُعداً سياقياً إلى البيانات التشغيلية. فالبيانات المنفردة قد تخبر الإدارة بأن درجة حرارة أحد المكونات ارتفعت أو أن معدل استهلاك الطاقة تغير، لكن التوأم الرقمي يسمح بوضع هذه البيانات داخل نموذج يمثل الأصل وعلاقته ومكوناته وحالته التشغيلية، وبالتالي تصبح المعلومة أكثر قابلية للفهم والتحليل.

كما يرى الباحث أن القيمة الأهم للتوأم الرقمي تظهر في قدرته على تقليل الفجوة بين الملاحظة والتجربة والقرار؛ فبدلاً من تجربة بعض الإجراءات مباشرة على الأصل الفعلي وما قد يترتب عليها من مخاطر أو تكاليف، يمكن استخدام البيئة الرقمية لمحاكاة السيناريوهات المختلفة ومقارنة نتائجها قبل تنفيذ القرار، وهذا يجعل التوأم الرقمي أكثر ارتباطاً بالقرارات المعقدة التي تتطلب تقدير الآثار المستقبلية.

وتؤكد دراسة Issa et al (2023) هذا الاتجاه من خلال استخدامها مصادر متعددة للبيانات في تحديث التوأم الرقمي للبنية التحتية للسكك الحديدية، بينما أظهرت دراسة Arisekola and Madson (2023) مركزية البيانات الآنية ودعم القرار في تطبيقات التوأم الرقمي لإدارة الأصول. ويرى الباحث أن هذه النتائج مجتمعة توضح أن نجاح التوأم الرقمي لا يعتمد على جودة النموذج الرقمي وحدها، بل على قدرته على البقاء متصلاً بالحالة الحقيقية للأصل.

ومن ثم، يرى الباحث أن التوأم الرقمي يمثل حلقة الوصل بين الواقع المادي والبيئة التحليلية داخل المنصة المقترحة؛ فهو لا يستبدل الأصل الحقيقي ولا يقتصر على تمثيله بصرياً، وإنما يوفر طبقة معرفية تساعد الإدارة على فهم الحالة الحالية واستشراف البدائل المستقبلية. ولذلك فإن إدماجه ضمن المنصة إلى جانب إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي يرفع من قيمة كل تقنية على حدة، ويحول المنصة من أداة للمراقبة إلى بيئة أكثر قدرة على المحاكاة والتخطيط ودعم القرار.

مناقشة نتائج الفرضية الفرعية الرابعة في ضوء الدراسات السابقة

أظهرت نتائج الدراسة وجود أثر ذي دلالة إحصائية لتكامل الذكاء الاصطناعي والتوأم الرقمي وإنترنت الأشياء في تعزيز قابلية تطبيق وتبني إطار الإدارة الذكية والاستباقية للأصول والمرافق والبنية التحتية.

وتختلف أهمية هذه النتيجة عن النتائج السابقة في أنها لا تتعلق فقط بما تستطيع المنصة القيام به تقنياً، وإنما بما إذا كانت المنظمات ترى أن هذه المنظومة قابلة للتطبيق والتبني فعلياً.

وتتفق هذه النتيجة مع ما أشارت إليه دراسة بونوة (2025) من أهمية البنية الرقمية وتأهيل الكوادر وتكامل البيانات والتطبيق التدريجي عند تبني التوأم الرقمي، كما تتوافق مع دراسة Alnaser et al (2024) التي أشارت إلى استمرار تحديات التكامل وقابلية التوسع والأمن السيبراني. كذلك

تتقاطع مع دراسة بن شرطية (2025) التي أكدت أن التحول الرقمي لا ينجح بمجرد امتلاك التكنولوجيا، وإنما يحتاج إلى بنية تحتية وآليات تنفيذ واضحة.

ويرى الباحث أن هذه النتيجة تشير إلى أن القيمة التقنية وحدها لا تكفي لإقناع المنظمة بالتبني؛ فقرار التطبيق يرتبط بمجموعة من الاعتبارات المتداخلة، منها توافق المنصة مع الأنظمة القائمة، وتوافر البنية التحتية الرقمية، وكفاءة العاملين، وأمن البيانات، والتكلفة، والدعم الإداري. ولذلك فإن ارتفاع قابلية التطبيق في نتائج الدراسة يمكن تفسيره بكون التقنيات محل الدراسة أصبحت أكثر ارتباطاً باحتياجات تشغيلية ملموسة، مثل تقليل الأعطال، وتحسين المراقبة، وترشيده الموارد، بدلاً من تقديمها كتقنيات مستقبلية مجردة.

كما يرى الباحث أن التوافق مع الأنظمة القائمة يمثل عاملاً حاسماً في قابلية التبني. فالمنظمات التي تمتلك بالفعل أنظمة لإدارة الأصول أو الصيانة أو المباني قد لا تكون مستعدة لاستبدالها بالكامل، لكنها قد تكون أكثر استعداداً لإضافة طبقة ذكية تربط الأنظمة القائمة وتستفيد من بياناتها. ومن هنا تبرز أهمية أن يكون الإطار المقترح قابلاً للتكامل والتوسع التدريجي بدلاً من افتراض إعادة بناء البيئة التقنية بالكامل.

وتدعم دراسة Bourechak et al (2023) هذا المنظور من خلال إبرازها تحديات الموارد والحوسبة والأمن والخصوصية في تطبيقات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء، بينما تشير نتائج الدراسات المتعلقة بالتوأم الرقمي إلى أهمية المعايير والبنية المعمارية والتأهيل البشري. ويرى الباحث أن هذه التحديات لا ينبغي التعامل معها باعتبارها عوائق تمنع التبني، وإنما باعتبارها متطلبات تصميم وتنفيذ يجب إدراجها منذ المراحل الأولى لبناء المنصة.

وبناءً على ذلك، فإن قابلية تطبيق الإطار المقترح ترتبط بقدرته على تحقيق توازن بين الطموح التقني والواقع التنظيمي؛ فالمنصة الأكثر تقدماً تقنياً ليست بالضرورة الأكثر قابلية للتطبيق إذا كانت تتطلب بنية غير متاحة أو مهارات نادرة أو استثمارات لا تتناسب مع العائد المتوقع. ومن ثم، نقتصر الدراسة ضمنياً أن يتم التبني وفق مراحل تدريجية تبدأ بالأصول والعمليات ذات الأولوية، ثم تتوسع وفق نتائج التطبيق وقدرة المنظمة على الاستيعاب. وعليه، فإن نتيجة هذه الفرضية تصيف بُعداً تطبيقياً مهماً للدراسة الحالية؛ إذ تؤكد أن نجاح الإدارة الذكية والاستباقية لا يتوقف على التكامل بين التقنيات فقط، وإنما على قابلية هذا التكامل للاندماج في البيئة التنظيمية والتقنية القائمة، وهذا يعزز توجه الدراسة نحو تقديم إطار قابل للتطبيق والتبني، وليس مجرد نموذج تقني نظري.

الفصل الخامس: الاستنتاجات والتوصيات

5.1 المقدمة

يهدف هذا الفصل إلى استخلاص الدلالات العلمية والتطبيقية للدراسة في ضوء ما انتهت إليه من نتائج، بما يتجاوز مجرد عرض النتائج الإحصائية إلى تحديد ما تعنيه هذه النتائج بالنسبة لتطوير إدارة الأصول والمرافق والبنية التحتية في البيئة الرقمية. وانطلاقاً من طبيعة الدراسة التي استهدفت تطوير منصة ذكية متكاملة تعتمد على الذكاء الاصطناعي والتوأم الرقمي وإنترنت الأشياء، يركز الفصل على بيان أهم الاستنتاجات التي تعكس الإضافة التي يمكن أن تقدمها الدراسة على المستوى التطبيقي، ثم ترجمة هذه الاستنتاجات إلى توصيات إجرائية قابلة للتنفيذ من جانب الجهات المعنية بإدارة الأصول والمرافق والتشغيل والصيانة والتحول الرقمي.

كما يتناول الفصل مجموعة من المقترحات البحثية التي يمكن أن تمثل امتداداً للدراسة الحالية، سواء من خلال اختبار الإطار المقترح في قطاعات مختلفة، أو التوسع في دراسة بعض مكوناته التقنية والتنظيمية، أو قياس أثر تطبيقه الفعلي على مؤشرات الأداء والتكلفة والاستدامة. وبذلك يسعى الفصل إلى الانتقال من بناء الإطار والتحقق من تصورات المختصين تجاه مكوناته وقابليته للتطبيق والتبني إلى تحديد مسارات عملية وبحثية يمكن أن تساهم في تطوير تطبيقات الإدارة الذكية والاستباقية للأصول والمرافق والبنية التحتية.

5.2 الاستنتاجات

في ضوء التحليل النظري والنتائج الميدانية ومناقشتها في ضوء الأدبيات والدراسات السابقة، توصلت الدراسة إلى مجموعة من الاستنتاجات التي تعبر عن الدلالات الأعمق للنتائج، ويمكن تحديد أهمها فيما يأتي:

1. **التكامل التقني هو الأساس الحقيقي للانتقال إلى الإدارة الاستباقية للأصول، وليس مجرد تبني تقنيات ذكية بصورة منفصلة**
خلصت الدراسة إلى أن القيمة الإدارية للتقنيات الحديثة تتزايد عندما تعمل ضمن منظومة مترابطة، بحيث يتكامل الاستشعار وجمع البيانات مع التحليل الذكي والتمثيل الرقمي ودعم القرار.
ويعني ذلك أن التحول نحو الإدارة الاستباقية لا يتحقق بمجرد إدخال الذكاء الاصطناعي أو إنترنت الأشياء أو التوأم الرقمي إلى المنظمة كل على حدة، وإنما يتطلب بناء علاقة وظيفية واضحة بين هذه المكونات تجعل كل تقنية تكمل الدور الذي تؤديه التقنية الأخرى. ومن ثم، فإن جوهر المنصة المقترحة يتمثل في التكامل بين القدرات التقنية أكثر من امتلاك التقنيات في حد ذاتها.
2. **الانتقال من الإدارة التفاعلية إلى الإدارة الاستباقية يرتبط بقدرة المنظمة على تحويل البيانات التشغيلية إلى معرفة قابلة للتصرف**
لا تمثل وفرة البيانات في حد ذاتها تقدماً في إدارة الأصول؛ إذ تتحدد قيمتها بمدى القدرة على تفسيرها واكتشاف الأنماط والمؤشرات التي يمكن أن تؤدي إلى قرارات مبكرة.
وتستنتج الدراسة أن الإدارة الاستباقية تتطلب دورة متكاملة تبدأ برصد الحالة الفعلية للأصل، ثم تحليل البيانات، ثم تقدير احتمالات التدهور أو العطل، وصولاً إلى تحديد التدخل المناسب قبل تحول المشكلة إلى توقف أو خسارة. وبذلك يصبح الذكاء في إدارة الأصول مرتبطاً بقدرة النظام على استشراف الاحتياج قبل ظهوره بصورة حرجة.
3. **التوأم الرقمي يضيف إلى منظومة إدارة الأصول قدرة على فهم الحالة التشغيلية ومحاكاة البدائل، وليس مجرد تمثيل الأصل في بيئة رقمية**
استنتجت الدراسة أن الدور الأكثر أهمية للتوأم الرقمي يظهر عندما يتحول من نموذج رقمي وصفي إلى بيئة متصلة بالبيانات الفعلية وقادرة على دعم التحليل والمحاكاة.
ويجعله ذلك أداة لربط الحالة الحالية للأصل بالسيناريوهات المحتملة مستقبلاً، بما يساعد متخذ القرار على تقييم البدائل قبل تنفيذها في البيئة الواقعية. ومن ثم، فإن قيمة التوأم الرقمي في إطار الدراسة لا تكمن في التمثيل البصري، وإنما في تقليل عدم اليقين المرتبط بالقرارات التشغيلية والصيانة.
4. **قابلية تطبيق المنصة الذكية ترتبط بمدى توافقها مع البيئة التنظيمية والتقنية القائمة أكثر من ارتباطها بدرجة تعقيدها التقني**
أظهرت الدراسة أن نجاح الإطار المقترح لا يمكن تقييمه من منظور تقني فقط؛ لأن التطبيق الفعلي يتطلب توافقاً مع الأنظمة القائمة، وتوافر البنية التحتية المناسبة، وتأهيل الموارد البشرية، والقدرة على إدارة البيانات وحمايتها، إلى جانب وجود دعم تنظيمي واستعداد للتعديل.
ومن ثم، تستنتج الدراسة أن المنصة الأكثر ملاءمة ليست بالضرورة الأكثر تعقيداً، وإنما الأكثر قدرة على الاندماج التدريجي في واقع المنظمة والتوسع وفق احتياجاتها وقدراتها.
5. **الإدارة الذكية للأصول تمثل تحولاً في طريقة اتخاذ القرار وتخصيص الموارد، وليس مجرد تحول في أدوات التشغيل والصيانة**
تستنتج الدراسة أن التأثير الأوسع للمنصة المقترحة يتجاوز تحسين عمليات المراقبة والصيانة إلى إعادة تشكيل طريقة إدارة الموارد والأصول نفسها؛ إذ يصبح القرار أكثر ارتباطاً بالحالة الفعلية للأصل، ومستوى المخاطر، والأولوية التشغيلية، والعائد المتوقع من التدخل.
وهذا يعني أن التحول الرقمي في إدارة الأصول ينبغي النظر إليه باعتباره تحولاً إدارياً قائماً على البيانات، وليس مشروعاً تقنياً منفصلاً عن التخطيط والموارد والقرارات الاستثمارية.

جدول: مساهمة الدراسة في الإدارة الذكية للأصول والمرافق

محور المساهمة	ما تعالجه الدراسة	مساهمة الدراسة	الأثر المتوقع
تكاملي التقنيات الذكية	تعدد الحلول التقنية المنفصلة وصعوبة الاستفادة منها ضمن إطار موحد	تقديم إطار تكاملي يجمع بين إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي والتحليلات التنبؤية والتوأم الرقمي وتكامل البيانات والأنظمة	دعم الانتقال من الحلول المنفصلة إلى إدارة مترابطة للأصول والمرافق والبنية التحتية
المراقبة والرؤية التشغيلية	تشنت البيانات بين أنظمة ومصادر متعددة ومحدودية الرؤية الشاملة للحالة التشغيلية	تعزيز الربط بين بيانات الأصول والمرافق وتوفير رؤية تشغيلية موحدة ومحدثة	تحسين سرعة اكتشاف المشكلات والانحرافات ودعم المتابعة المستمرة
الصيانة التنبؤية	الاعتماد على الصيانة التفاعلية أو الجداول الزمنية الثابتة	توظيف الذكاء الاصطناعي والتحليلات التنبؤية لدعم التنبؤ بالأعطال واحتياجات الصيانة	تقليل احتمالات التوقف غير المخطط وتحسين توقيت وجدولة أعمال الصيانة
التوأم الرقمي	محدودية القدرة على فهم الحالة التشغيلية للأصل ودراسة البدائل قبل التنفيذ	توظيف التوأم الرقمي لتمثيل الحالة التشغيلية للأصول ودعم المحاكاة وتحليل السيناريوهات	تحسين فهم حالة الأصل وتقليل عدم اليقين المرتبط بالقرارات التشغيلية والصيانة
الكفاءة التشغيلية	الحاجة إلى تحسين استغلال الموارد وتقليل الوقت والجهد المرتبطين بمتابعة العمليات	دعم القرارات التشغيلية بالبيانات والتحليلات الذكية وربطها بالحالة الفعلية للأصول	رفع كفاءة التشغيل وتحسين استخدام الموارد البشرية والفنية والطاقة
إدارة دورة حياة الأصول	اتخاذ بعض قرارات التدخل والصيانة دون ارتباط كافٍ بالحالة الفعلية للأصل	دعم إدارة الأصول بناءً على بيانات الحالة والمخاطر والأولوية التشغيلية	تحسين الاستفادة من الأصول ودعم قرارات الصيانة والإحلال والتدخل
قابلية التطبيق والتبني	التحديات التقنية والتنظيمية والبشرية المصاحبة لتطبيق المنصات الذكية	قياس تصورات المختصين والمهنيين تجاه القابلية العملية للتنفيذ والتكامل مع الأنظمة القائمة	دعم تبني تدريجي أكثر واقعية يراعي جاهزية المنشأة ومواردها وقدراتها
التحول الإداري القائم على البيانات	النظر إلى التحول الرقمي باعتباره مشروعاً تقنياً منفصلاً عن الإدارة	ربط التقنيات الذكية بعمليات اتخاذ القرار وتخصيص الموارد وإدارة الأولويات	تعزيز الانتقال إلى إدارة أكثر استباقية واعتماداً على البيانات
الإضافة العلمية	محدودية الدراسات التي تجمع التقنيات الرئيسية ضمن إطار واحد موجه لإدارة الأصول والمرافق	تقديم إطار مفاهيمي وميداني يربط بين التقنيات الذكية والإدارة الاستباقية وقابلية التطبيق	إثراء الأدبيات في مجال الإدارة الذكية للأصول والمرافق والبنية التحتية
الإضافة التطبيقية	الفجوة بين التطور التقني واحتياجات البيانات التشغيلية الفعلية	ربط الإطار النظري بآراء عينة من المتخصصين والمهنيين وتحديد أبرز متطلبات وتحديات التطبيق	توفير أساس يمكن الاستفادة منه في الدراسات التجريبية والتطبيقات المستقبلية

المصدر: من إعداد الباحث في ضوء الإطار النظري ونتائج الدراسة الميدانية.

حدود تفسير نتائج الدراسة:

تجدر الإشارة إلى أن نتائج الدراسة الميدانية تعكس تصورات أفراد العينة تجاه مكونات الإطار المقترح وقابليته للتطبيق والتبني، ولا تمثل قياساً مباشراً لأداء المنصة في بيئة تشغيلية فعلية. ولذلك فإن التحقق من الأثر التشغيلي الحقيقي يتطلب تنفيذ تطبيق تجريبي مستقبلي وقياس مؤشرات الأداء قبل التطبيق وبعده.

5.3 التوصيات

استناداً إلى الاستنتاجات التي توصلت إليها الدراسة، يقترح الباحث مجموعة من التوصيات الإجرائية التي يمكن للجهات المسؤولة عن إدارة الأصول والمرافق والتشغيل والصيانة والتحول الرقمي الاستفادة منها، وذلك على النحو الآتي:

1. بناء منصة موحدة لدمج تقنيات إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي والتوأم الرقمي وتكامل البيانات والأنظمة

توصي الدراسة الجهات المعنية بتجنب التوسع في الحلول التقنية المنفصلة التي تعمل بمعزل عن بعضها، والعمل بدلاً من ذلك على تطوير منصة تكاملية تربط أجهزة الاستشعار ومصادر البيانات وأنظمة إدارة الأصول والصيانة والتشغيل والتحليلات الذكية ضمن بيئة موحدة. ويُفضل أن يتم بناء المنصة وفق بنية مفتوحة وقابلة للتوسع، بما يسمح بإضافة تقنيات أو أنظمة جديدة مستقبلاً دون الحاجة إلى إعادة بناء المنظومة بالكامل.

2. اعتماد برنامج مؤسسي للصيانة التنبؤية قائم على البيانات الفعلية للأصول

توصي الدراسة بإعادة تصميم إجراءات التشغيل والصيانة تدريجياً، بحيث لا تعتمد القرارات بصورة أساسية على الجداول الزمنية الثابتة أو الاستجابة للأعطال بعد وقوعها، وإنما تستند إلى بيانات الحالة التشغيلية والتحليلات التنبؤية ومؤشرات المخاطر. ويتطلب ذلك تحديد الأصول الحرجة أولاً، وتركيب أجهزة الاستشعار المناسبة لها، وبناء نماذج تحليلية تساعد على التنبؤ بالتدهور والأعطال، ثم ربط نتائج التنبؤ بأوامر العمل وخطط الصيانة.

3. توظيف التوأم الرقمي في الأصول والمرافق ذات الأهمية التشغيلية العالية قبل التوسع في التطبيق

توصي الدراسة بالبدء بتطوير توائم رقمية للأصول أو المرافق الأكثر أهمية وتأثيراً في استمرارية التشغيل، وربطها تدريجياً بالبيانات الحقيقية القادمة من أنظمة الاستشعار. كما ينبغي استخدام هذه النماذج في محاكاة سيناريوهات التشغيل والصيانة والتغيير قبل تنفيذ القرارات في البيئة الفعلية، بما يساعد على تقليل المخاطر وتحسين جودة القرارات.

4. تنفيذ استراتيجية تدريبية لتبني المنصة مع تطوير البنية التحتية والموارد البشرية ومتطلبات أمن البيانات

توصي الدراسة بعدم التعامل مع تطبيق المنصة باعتباره عملية تقنية واحدة يتم تنفيذها دفعة واحدة، وإنما اعتماد مراحل تبدأ بتقييم جاهزية المنظمة والأنظمة القائمة، وتحديد فجوات البيانات والبنية التحتية والمهارات، ثم تنفيذ مشروع تجريبي محدود، وتقييم نتائجه، والتوسع تدريجياً وفق مؤشرات أداء واضحة.

كما ينبغي بالتوازي تنفيذ برامج تدريبية للعاملين، ووضع ضوابط واضحة لحوكمة البيانات والأمن السيبراني وإدارة صلاحيات الوصول.

5. إعادة توجيه قرارات إدارة الأصول والموارد نحو نموذج قائم على المخاطر والحالة الفعلية والعائد المتوقع

توصي الدراسة بربط مخرجات المنصة الذكية بقرارات تخصيص الموارد والأولويات التشغيلية والاستثمارية، بحيث يتم ترتيب التدخلات وفق الحالة الفعلية للأصل، ومستوى المخاطر، وتأثير العطل المحتمل، وتكلفة التدخل، والعائد المتوقع. كما توصي بتطوير لوحات مؤشرات تنفيذية توفر للإدارة العليا رؤية موحدة تساعد على الانتقال من متابعة مؤشرات التشغيل اليومية إلى اتخاذ قرارات مبنية على البيانات المتعلقة بدورة حياة الأصل وقيمه وأدائه المستقبلي.

5.4 المقترحات والدراسات المستقبلية

في ضوء ما توصلت إليه الدراسة من نتائج واستنتاجات، وفي ضوء حدودها الموضوعية والمنهجية، يقترح الباحث عدداً من المسارات البحثية المستقبلية التي يمكن أن تساهم في تعميق المعرفة العلمية والتطبيقية في مجال الإدارة الذكية والاستباقية للأصول والمرافق والبنية التحتية، ومن أبرزها:

1. اختبار الإطار المقترح من خلال دراسة تطبيقية فعلية على مجموعة من الأصول أو المرافق، وقياس أثر تطبيقه على مؤشرات فعلية مثل معدل الأعطال، ومدة التوقف، وتكلفة الصيانة، والعمر التشغيلي للأصول.
2. دراسة أثر الذكاء الاصطناعي التوليدي في تطوير منصات إدارة الأصول، وبحث قدرته على تفسير البيانات التشغيلية وإنتاج التوصيات ودعم متخذي القرار.
3. دراسة الأمن السيبراني وحوكمة البيانات في المنصات المتكاملة التي تجمع بين إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي والتوأمة الرقمي، مع التركيز على حماية البيانات التشغيلية الحساسة.
4. إجراء دراسات مقارنة بين القطاعات المختلفة، مثل القطاع الصحي والصناعي والطاقة والنقل والمرافق العامة، للتعرف على مدى اختلاف متطلبات تطبيق الإدارة الذكية والاستباقية باختلاف طبيعة الأصول.
5. دراسة الجدوى الاقتصادية لتطبيق المنصة المقترحة من خلال مقارنة تكاليف الاستثمار والتشغيل في المنظومة الذكية بالعوائد الناتجة عن خفض الأعطال والصيانة غير المخططة وتحسين استخدام الموارد.
6. دراسة العوامل التنظيمية والبشرية المؤثرة في تبني تقنيات الإدارة الذكية للأصول، مع التركيز على جاهزية العاملين، والمهارات الرقمية، والقيادة، ومقاومة التغيير، والثقافة التنظيمية.

المراجع:

أولاً: المراجع العربية

- البازعي، فيصل. (2025). منهجية مقترحة لتطبيق أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي في المنشآت الصحية: التحديات والفرص. مجلة الدراسات البيئية والتنمية المستدامة، 4(2)، 138-165.
- البازعي، فيصل. (2026). أثر تبني تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة صيانة البنية التحتية للمستشفيات: دراسة نظرية. مجلة الدراسات البيئية والتنمية المستدامة، 5(1)، 141-155.
- برورة، ملوكة، ورزقي، ليندة. (2025). تقييم لتجربة المدن الذكية في الجزائر. المجلة الجزائرية للأبحاث الاقتصادية والمالية، 7(2)، 33-54.
- بصافة، أمينة. (2025). استخدام إنترنت الأشياء للاتصال بالطبيعة وتطوير نظام مستدام للأمن الغذائي للأفراد في المجتمع: التقنيات والفوائد. المجلة الجزائرية للأمن الإنساني، 10(1)، 715-736.
- بن النية، شهيرة، ونحوي، فؤاد. (2025). الإدارة الذكية للمدن: رؤية مستقبلية لتحسين الحياة الحضرية. مجلة الحقوق والعلوم السياسية، 12(1)، 298-312.
- بن شريطوة، سناء. (2025). استراتيجية المدن الذكية بين آليات التنفيذ والتفعيل. مجلة البحوث في العقود وقانون الأعمال، 10(2)، 25-39.

- بن طلحة، عبد الغني، وركيمة، فارس. (2025). التوأّم الرقمي كآلية لتعزيز الذكاء الاقتصادي وبناء المرونة التنافسية الحضرية: دراسة حالة سنغافورة. مجلة التمويل والاستثمار والتنمية المستدامة، 10(2)، 1153-1132.
- بونوة، سمية. (2025). آفاق وتحديات تطبيق تكنولوجيا التوأّم الرقمي كأحد أعمدة تطور الاقتصاد العالمي: تحليل إحصائي. مجلة معهد العلوم الاقتصادية، 28(2)، 41-23.
- بونيهي، هاجر، وبوهدة، محمد، وطاهر، نادية. (2025). أهمية إنترنت الأشياء في تنمية السياحة المحلية الذكية: دراسة حالة الإمارات العربية المتحدة. دفاثر البحوث العلمية، 13(1)، 465-447. <https://doi.org/10.37218/1426-013-001-024>
- الجواني، محاسن الحسين. (2025). الذكاء الاصطناعي وجودة المرافق العامة في المملكة العربية السعودية: الفرص والتحديات. روح القوانين، 37(110)، 1606-1465. <https://doi.org/10.21608/las.2025.366786.1287>
- فريجات، إسماعيل. (2025). حوكمة استخدام الذكاء الاصطناعي. مجلة الحقوق والحريات، 13(2)، 431-410.
- قوق، بلقيس راشدة، وشتوح، دلال. (2024). حوكمة تكنولوجيا المعلومات: قاطرة نحو الاستدامة لبناء المدن الذكية: سنغافورة أنموذجًا. دفاثر اقتصادية، 15(2)، 530-517.
- نبيل، عبد الله عبد العظيم، وجوان، صلاح الهادي. (2024). الاستفادة من علوم الحاسب في تصميم وتحسين أنظمة إنترنت الأشياء. مجلة العلوم الأساسية، 37(2)، 451-425. <https://doi.org/10.59743/jbs.v37i2.312>
- النقبي، حميد عبد الله سالم خميس، وأبو العزم، كريم سيد. (2025). التحول الرقمي في إدارة المرافق العامة: أثر تطبيقات الذكاء الاصطناعي في تطوير إدارة المرفق العام. المجلة المغربية للدراسات القانونية والاقتصادية، 1(20)، 301-278. <https://doi.org/10.65040/remeje.2025.012013>

ثانيًا: المراجع الأجنبية:

- Abdullahi, I., Longo, S., & Samie, M. (2024). Towards a distributed digital twin framework for predictive maintenance in Industrial Internet of Things (IIoT). *Sensors*, 24(8), 2663. <https://doi.org/10.3390/s24082663>
- Alnaser, A. A., Maxi, M., & Elmousalami, H. (2024). AI-powered digital twins and Internet of Things for smart cities and sustainable building environment. *Applied Sciences*, 14(24), 12056. <https://doi.org/10.3390/app142412056>
- Andriulo, F. C., Fiore, M., Mongiello, M., Traversa, E., & Zizzo, V. (2024). Edge computing and cloud computing for Internet of Things: A review. *Informatics*, 11(4), 71. <https://doi.org/10.3390/informatics11040071>
- Arisekola, K., & Madson, K. (2023). Digital twins for asset management: Social network analysis-based review. *Automation in Construction*, 150, 104833. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104833>
- Bourechak, A., Zedadra, O., Kouahla, M. N., Guerrieri, A., Seridi, H., & Fortino, G. (2023). At the confluence of artificial intelligence and edge computing in IoT-based applications: A review and new perspectives. *Sensors*, 23(3), 1639. <https://doi.org/10.3390/s23031639>
- Gálvez del Postigo Gallego, L., Lazarova-Molnar, S., del Real Torres, A., & Acevedo Galicia, L. E. (2025). Decision support within digital twins in manufacturing ecosystems: A review. *IET Collaborative Intelligent Manufacturing*, 7(1), e70041. <https://doi.org/10.1049/cim2.70041>
- Issa, M., Remy, S., Ducellier, G., & Landes, B. (2023). Updating a railway infrastructure digital twin by the integration of a variety of data sources. *Transportation Research Procedia*, 72, 666-673. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.453>
- Li, Y., Wang, Q., Pan, X., Zuo, J., Xu, J., & Han, Y. (2024). Digital twins for engineering asset management: Synthesis, analytical framework, and future directions. *Engineering*, 41, 261-275. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2023.12.006>
- Matei, A., & Cocoșatu, M. (2024). Artificial Internet of Things, sensor-based digital twin urban computing vision algorithms, and blockchain cloud networks in sustainable smart city administration. *Sustainability*, 16(16), 6749. <https://doi.org/10.3390/su16166749>
- Palmitessa, E., Premoli, A., Roda, I., & Macchi, M. (2024). Integrating maintenance and energy problems through a digital twin-based decision support framework under the guidance of asset management. *IFAC-PapersOnLine*, 58(8), 7-12. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2024.08.042>
- Poyyamozi, M., Murugesan, B., Rajamanickam, N., Shorfuzzaman, M., & Aboelmagd, Y. (2024). IoT—A promising solution to energy management in smart buildings: A systematic review, applications, barriers, and future scope. *Buildings*, 14(11), 3446. <https://doi.org/10.3390/buildings14113446>

Ucar, A., Karakose, M., & Kırımça, N. (2024). Artificial intelligence for predictive maintenance applications: Key components, trustworthiness, and future trends. *Applied Sciences*, 14(2), 898. <https://doi.org/10.3390/app14020898>

Werbińska-Wojciechowska, S., Giel, R., & Winiarska, K. (2024). Digital twin approach for operation and maintenance of transportation system—Systematic review. *Sensors*, 24(18), 6069. <https://doi.org/10.3390/s24186069>.

حقوق الطبع والنشر © 2026 محفوظة لـ: المجلة العربية للنشر العلمي (AJSP)