

أثر الاعتماد على إنترنت الأشياء وأنظمة الأتمتة في تحسين الكفاءة التشغيلية للمرافق بالمملكة العربية
السعودية

إعداد الطالب/

محمد زكي أبوحماد

إشراف/

د. الفیصل عبد الحمید

د. فايز جراد

العام الدراسي:

2026

حقوق الطباعة

جميع المواد والمحتويات الواردة في هذا البحث هي ملك لجامعة ميدأوشن، حيث تمتلك الجامعة حقوق الطباعة. ولا يجوز إعادة نشرها، أو توزيعها، أو استخدامها بأي شكل من الأشكال بدون إذن مسبق من الجامعة.

الباحث

المستخلص

هدفت هذه الدراسة إلى استكشاف وقياس أثر تبني تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) وأنظمة الأتمتة والتحكم الذكي (مثل أنظمة إدارة المباني BMS وبروتوكولات KNX) في تحسين الكفاءة التشغيلية والمالية للمرافق الكبرى في المملكة العربية السعودية. ولتحقيق هذا الهدف المزدوج، اعتمدت الدراسة على المنهج المختلط عبر تطبيق نموذج التصميم التفسيري التتابعي (Explanatory Sequential Design) لضمان الوصول إلى فهم هندسي وإداري شامل وموثوق.

تم تنفيذ المرحلة الكمية من الدراسة عبر أداة الاستبيان الإلكتروني، حيث طُبقت على عينة قصدية بلغت (138) مختصاً من المهندسين الميدانيين، ومديري المشاريع، ومديري التشغيل والصيانة في المنشآت الطبية والتجارية والصناعية والتعليمية بالمملكة. وتلا ذلك المرحلة النوعية المتمثلة في إجراء (7) مقابلات شخصية معمقة وشبه مقننة مع نخبة من الخبراء وصناع القرار لتفسير ما وراء المؤشرات الإحصائية.

أظهرت النتائج الكمية وجود أثر إيجابي قوي ذي دلالة إحصائية للأنظمة الذكية في الانتقال الناجح نحو الصيانة التنبؤية القائمة على الحالة الفعلية للأصل (Condition-Based Maintenance). وقد ساهم هذا التحول في تقليص فترات التوقف المفاجئ للمعدات (Downtime)، وإطالة العمر الافتراضي للأصول الكهروميكانيكية الثقيلة، وترشيد مخزون قطع الغيار بشكل ملحوظ. من الناحية المالية، أكدت النتائج مساهمة التقنيات في خفض النفقات التشغيلية الإجمالية (OPEX)، مع إمكانية استرداد التكلفة الرأسمالية (CAPEX) خلال 3 إلى 5 سنوات.

في المقابل، قدمت النتائج النوعية تفسيرات جوهرية للتحديات المواقية لهذا التحول؛ حيث أرجعت ببطء تحقيق وفورات الطاقة الفورية إلى الممارسات البشرية الخاطئة المتمثلة في التجاوز والإيقاف اليدوي للأنظمة (Manual Override)، بالإضافة إلى حاجة الخوارزميات لفترة "تعليم آلي" لفهم أنماط إشغال المبني. كما كشفت الدراسة عن عقبات فنية حرجة تتمثل في صعوبة تحقيق التوافق والربط (Interoperability) مع الأنظمة القديمة المغلقة، وبرزت تحديات الأمن السيبراني للأنظمة التشغيلية (OT Vulnerabilities)، إلى جانب فجوة واضحة في مهارات الكوادر المحلية للتعامل مع تقنيات الميكاترونكس المتقدمة.

وأوصت الدراسة الإدارات العليا بضرورة اعتماد "البروتوكولات المفتوحة" (Open Protocols) في كراسات الشروط لتفادي احتكار الموردين، وتخصيص استثمارات موازية لحماية البنية التحتية سيبرانياً. كما أوصت بتقبيد صلاحيات التدخل اليدوي للأنظمة الميدانية، وتكثيف البرامج التدريبية المتقدمة لتقليص فجوة المهارات ورفع جاهزية الكوادر الهندسية.

الشكر والتقدير

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات، والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين نبينا محمد وعلى آله وصحبه أجمعين.

أحمد الله عز وجل وأشكره على توفيقه وعونه لي لإتمام هذا البحث وتتويج هذه المرحلة الأكاديمية بالنجاح.

يطيب لي بعد إنجاز هذا العمل أن أتقدم بخالص الشكر وعظيم الامتنان إلى أساتذتي الأفاضل، مشرفي هذا البحث: الدكتور/ الفيصل عبد الحميد، و الدكتور/ فايز جراد، لما قدموه لي من توجيهات سديدة، وملاحظات قيّمة، ودعم مستمر طوال فترة إعداد هذه الدراسة. لقد كان لعلمهم وخبرتهم الأثر الكبير في إخراج هذا البحث بصورته الحالية.

كما أتقدم بوافر الشكر والعرفان إلى الصرح الأكاديمي المتميز، جامعة ميدأوشن، بجميع كوادرها الإدارية والأكاديمية في كلية الإدارة، على توفير البيئة العلمية المحفزة والدعم اللازم للباحثين.

ولا يفوتني أن أعبر عن خالص شكري وتقديري إلى جميع الخبراء والمهندسين والمختصين في قطاع إدارة المرافق في المملكة العربية السعودية، الذين اقتطعوا من وقتهم الثمين للمشاركة في الاستبيان وإثراء هذا البحث بأرائهم وخبراتهم العملية.

وأخيراً، أهدي ثمرة هذا الجهد إلى عائلتي الكريمة، الذين كانوا ولا زالوا السند الحقيقي والمصدر الأول للدعم والتشجيع وتذليل كافة الصعوبات خلال مسيرتي العلمية والمهنية.

لكم جميعاً أقول: جزاكم الله خير الجزاء، وجعل هذا العمل في ميزان حسناتنا وحسناتكم.

الباحث:

محمد زكي أبو حماد

فهرس المحتويات:

2	 حقوق الطباعة
3	 المستخلص
4	 الشكر والتقدير
5	 فهرس المحتويات:
8	 قائمة الجداول :
9	 فهرس الأشكال:
10	 الفصل الأول المدخل العام للبحث
11	 المقدمة:
12	 مشكلة الدراسة:
13	 أهمية الدراسة:
13	 (أ) الأهمية العلمية:
13	 (ب) الأهمية التطبيقية:
14	 أهداف الدراسة:
15	 تساؤلات الدراسة:
16	 فروض الدراسة (Study Hypotheses):
17	 النظرية العلمية المتبعة لإعداد البحث:
17	 1. نظرية النظم (Systems Theory)
17	 2. إطار التميز التشغيلي (Operational Excellence Framework)
17	 3. نموذج قبول وتبني الابتكار (Technology Adoption Model)
17	 النموذج المفاهيمي للدراسة (Conceptual Model Logic)
19	 مقدمة:
20	 الدراسات السابقة
20	 المحور الأول: دراسات تناولت أثر إنترنت الأشياء (IoT) على استهلاك الطاقة
20	 المحور الثاني: دراسات تناولت تكامل أنظمة الأتمتة والصيانة التنبؤية
21	 المحور الثالث: تحديات الإدارة والتحول الرقمي للمرافق (السياق الاستراتيجي والمحلي)
22	 التعقيب على الدراسات السابقة (تحليل وتقاطع الدراسات):
22	 الفجوة البحثية
23	 المنطلقات النظرية للدراسة
23	 1. نظرية الموارد والقدرات (Resource-Based View - RBV):
23	 2. نظرية النظم الشاملة (Systems Theory):
24	 3. نظرية انتشار المبتكرات (Diffusion of Innovations Theory):
24	 4. النموذج المفاهيمي لمنطق الدراسة (Conceptual Model Logic):
26	 مقدمة:
27	 المنهجية وطرق البحث

27	أولاً: نوع البحث (Research Type)
27	ثانياً: المنهج المستخدم (Research Approach)
28	خطة البحث وخطوات التنفيذ (Research Plan & Execution Steps)
28	المرحلة الأولى: المرحلة الكمية (القياس والرصد الإحصائي)
28	المرحلة الثانية: المرحلة النوعية (الاستكشاف والتفسير الميداني المعمق)
28	المرحلة الثالثة: المرحلة التحليلية والتكاملية (الدمج وبناء الإطار المقترح)
29	أدوات الدراسة
29	أولاً: الاستبيان (الأداة الكمية) - التثريح الفني والمقاييس
33	ثانياً: دليل المقابلة شبه المقننة (الأداة النوعية) - الأبعاد التحليلية
35	ثالثاً: المعايير المنهجية لصدق الأدوات وثباتها (Psychometric Properties)
35	مجتمع البحث:
35	أولاً: مجتمع الدراسة (Research Population)
36	ثانياً: عينة الدراسة (Research Sample)
36	حدود البحث
36	أولاً: الحدود الموضوعية (Objective Delimitations)
36	ثانياً: الحدود البشرية (Human Delimitations)
37	ثالثاً: الحدود المكانية (Spatial Delimitations)
37	رابعاً: الحدود الزمنية (Temporal Delimitations)
38	المعالجة الإحصائية وأساليب تحليل البيانات (Data Analysis & Statistical Methods)
38	أولاً: أساليب التحليل الإحصائي للبيانات الكمية (Quantitative Data Analysis)
40	ثانياً: أساليب تحليل البيانات النوعية (Qualitative Data Analysis)
42	مقدمة:
43	المبحث الأول: التحليل الوصفي للخصائص الديموغرافية والمهنية لعينة الدراسة
43	1. توزيع أفراد العينة حسب (المسمى الوظيفي):
44	2. توزيع أفراد العينة حسب (سنوات الخبرة العملية):
45	3. توزيع أفراد العينة حسب (نوع المنشأة):
45	يوضح الجدول رقم (3) طبيعة المنشآت الحيوية التي يُشرف أفراد العينة على تشغيلها:
46	المبحث الثاني: التحليل الإحصائي لمتغيرات الدراسة (البيانات الكمية)
46	أولاً: تحليل المحور الأول (مستوى تبني وتطبيق تقنيات إنترنت الأشياء وأنظمة الأتمتة)
52	ثانياً: تحليل المحور الثاني (أثر الأنظمة الذكية في ترشيد الطاقة وتقليص النفقات)
64	المبحث الثالث: تحليل البيانات النوعية (المقابلات المعمقة)
64	أهم الإجابات في المقابلات:
67	المحور الأول: البُعد الفني وتحديات التكامل (Interoperability & Integration)
67	المحور الثاني: البُعد المالي والمعادلة بين الإنفاق الرأسمالي (CAPEX) والتشغيلي (OPEX)
68	المحور الثالث: التحول نحو الصيانة التنبؤية وإدارة الأصول

68	المحور الرابع: البُعد الإداري وفجوة المهارات (Skills Gap)
69	المحور الخامس: التفسير العملي لتأخر عوائد كفاءة الطاقة (سؤال التفسير التتبعي)
69	خلاصة المبحث النوعي:
71	المبحث الرابع: النتائج والتوصيات (Results and Recommendations)
71	أولاً: النتائج الرئيسية للدراسة (Key Findings)
71	ثانياً: توصيات الدراسة (Recommendations)
72	ثالثاً: مقترحات الدراسات المستقبلية (Future Studies)
74	المراجع
74	المراجع العربية
75	المراجع الأجنبية

قائمة الجداول :

43	جدول 1 - توزيع العينة حسب المسمى الوظيفي
44	جدول 2- توزيع العينة حسب سنوات الخبرة
45	جدول 3 - نوع المنشأة
47	جدول 4 - تحليل المحور الأول
53	جدول 5 - تحليل المحور الثاني
59	جدول 6 - تحليل المحور الثالث

فهرس الأشكال:

38	رسم توضيحي 1 توزيع العينة حسب المسمى الوظيفي
39	رسم توضيحي 2 - توزيع العينة حسب سنوات الخبرة
39	رسم توضيحي 3 - نوع المنشأة المرتبطة بالعينة
43	رسم توضيحي 4
44	رسم توضيحي 5
45	رسم توضيحي 6 - توزيع العينة حسب نوع المنشأة
48	رسم توضيحي 7 - عبارة 1
48	رسم توضيحي 8 - عبارة 2
49	رسم توضيحي 9 - عبارة 3
49	رسم توضيحي 10 - عبارة 4
50	رسم توضيحي 11 - عبارة 5
50	رسم توضيحي 12 - عبارة 6
51	رسم توضيحي 13 - عبارة 7
51	رسم توضيحي 14 - عبارة 8
54	رسم توضيحي 15 - عبارة 2/1
54	رسم توضيحي 16 - 2/2
55	رسم توضيحي 17 - عبارة 2/3
55	رسم توضيحي 18 - عبارة 2/4
56	رسم توضيحي 19 - عبارة 2/5
56	رسم توضيحي 20 - عبارة 2/6
57	رسم توضيحي 21 - عبارة 2/7
57	رسم توضيحي 22 - عبارة 2/8
60	رسم توضيحي 23 - عبارة 3/1
60	رسم توضيحي 24 - عبارة 3/2
61	رسم توضيحي 25 - عبارة 3/3
61	رسم توضيحي 26 - عبارة 3/4
62	رسم توضيحي 27 - عبارة 3/5
62	رسم توضيحي 28 - عبارة 3/6

الفصل الأول المدخل العام للبحث

المقدمة:

يشهد قطاع الإدارة التشغيلية للمرافق (Facility Management) تطوراً متسارعاً يعكس التحول من الأساليب التقليدية المعتمدة على الصيانة التفاعلية إلى نماذج الإدارة الاستباقية والذكية. ومع تزايد تعقيد البنى التحتية للمرافق الحديثة بمفهومها الواسع — والذي يشمل المجمعات الطبية، والمدن الجامعية، والمنشآت الصناعية والتجارية الكبرى — برزت الحاجة الملحة إلى تجاوز أنظمة التحكم التقليدية. لقد أصبح من الضروري دمج المعدات الكهروميكانيكية المعقدة وأنظمة إدارة المباني (BMS) في شبكات ذكية ومترابطة قادرة على تحليل البيانات الفورية والتحكم الآلي لضمان تحقيق أعلى مستويات الكفاءة.

على الصعيد العالمي، أصبح الاعتماد على تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) وأنظمة الأتمتة المتقدمة توجهاً استراتيجياً لا غنى عنه لتحقيق الاستدامة، وخفض استهلاك الطاقة، وإطالة العمر الافتراضي للأصول. أما على الصعيد المحلي، فيكتسب هذا الموضوع أهمية استثنائية في ظل النهضة العمرانية غير المسبوقة والتحول الرقمي الشامل الذي تشهده المملكة العربية السعودية لتحقيق مستهدفات رؤية 2030. تتطلب المدن الذكية والمشاريع العملاقة في المملكة بنية تحتية تشغيلية فائقة الدقة، تعتمد على تدفق البيانات اللحظية لتحسين الأداء وتقليل التكاليف التشغيلية بشكل مستدام.

وقد أكد العديد من الباحثين السابقين في دراساتهم الحديثة على فاعلية تقنيات (IoT) في تقليل استهلاك الطاقة وتحسين سرعة الاستجابة للأعطال. ولكن، على الرغم من تلك النتائج الإيجابية والاستثمارات الضخمة في استقطاب أحدث الأنظمة الذكية، إلا أن الممارسات العملية تشير إلى أن العديد من المرافق لا تزال تدير تقنياتها بشكل معزول وتفتقر إلى التكامل الموحد. وتبرز هنا فجوة بحثية وتطبيقية تتمثل في ندرة الدراسات الأكاديمية التي تقيس الأثر المالي والتشغيلي المباشر لتكامل منصات إنترنت الأشياء (IoT) مع بروتوكولات الأتمتة المتنوعة (مثل KNX و BMS)، وكيفية توظيف هذا التكامل لتفعيل استراتيجيات الصيانة التنبؤية، وتحديدًا ضمن البيئة التشغيلية والمناخية الخاصة بالمملكة العربية السعودية.

على الرغم من الاستثمارات الضخمة في استقطاب أحدث الأنظمة الذكية، إلا أن الممارسات العملية تشير إلى أن العديد من المرافق لا تزال تدير تقنياتها بشكل معزول وتفتقر إلى التكامل الموحد. وتبرز هنا فجوة بحثية وتطبيقية تتمثل في ندرة الدراسات الأكاديمية التي تقيس الأثر المالي والتشغيلي المباشر لتكامل منصات إنترنت الأشياء (IoT) مع بروتوكولات الأتمتة المتنوعة مثل KNX و BMS، وكيفية توظيف هذا التكامل لتفعيل استراتيجيات الصيانة التنبؤية، وتحديدًا ضمن البيئة التشغيلية والمناخية الخاصة بالمملكة العربية السعودية.

استجابةً لتلك الفجوة، سيقدم هذا البحث دراسة شاملة حول أثر دمج تقنيات إنترنت الأشياء وأنظمة الأتمتة في تحسين الكفاءة التشغيلية للمرافق. وسيتضمن البحث قياساً كمياً لمدى مساهمة هذه التقنيات في خفض التكاليف التشغيلية وترشيد استهلاك الطاقة، إلى جانب تحليل نوعي وتقييم للعوائق التقنية والإدارية التي تواجه عملية التحول نحو الإدارة الذكية. وسينتهي البحث بتقديم إطار عمل وتوصيات تطبيقية تدعم متخذي القرار ومديري المشاريع في تبني نماذج تشغيلية حديثة ومستدامة.

مشكلة الدراسة:

تتبلور مشكلة الدراسة في الفجوة الواضحة بين "الواقع الحالي" لإدارة المرافق في المملكة العربية السعودية وبين "الواقع المأمول". فالواقع الحالي لا يزال يعتمد في شريحة واسعة من المنشآت على أنظمة إدارة مباني (BMS) معزولة لا تتواصل فيما بينها بكفاءة، وتطبيق استراتيجيات صيانة تقليدية (تفاعلية عند العطل، أو وقائية مجدولة زمنياً). في المقابل، يتطلب الواقع المأمول — في ظل المشاريع العملاقة والتحول الرقمي لرؤية 2030 — خلق بيئة تشغيلية ذكية ومتكاملة؛ بيئة تعتمد على دمج إنترنت الأشياء (IoT) مع أنظمة الأتمتة المتقدمة لتمكين "الصيانة التنبؤية"، والتحليل اللحظي للبيانات، والاستجابة الآلية للمتغيرات البيئية والتشغيلية، مما يضمن أعلى درجات الاستدامة وتقليل الهدر.

وتبرز أدلة وجود هذه الإشكالية من خلال الممارسات الميدانية والتقارير الصناعية؛ حيث تشير تقارير قطاع إدارة المرافق (مثل تقارير جمعية الشرق الأوسط لإدارة المرافق (MEFMA) إلى أن تكاليف التشغيل والصيانة (OPEX) تستحوذ على الجزء الأكبر من التكلفة الكلية لدورة حياة المرفق، وأن أنظمة التكيف والتهوية والإنارة تستهلك النسبة العظمى من الطاقة. وعلى الرغم من الاستثمارات الضخمة في شراء معدات متطورة، فقد أكد العديد من الباحثين في دراساتهم السابقة أن غياب الربط الشامل عبر منصات (IoT) يؤدي إلى إهدار ما يقارب 20% إلى 30% من استهلاك الطاقة بسبب التشغيل غير المحسن. علاوة على ذلك، تعاني العديد من المرافق من تقصير العمر الافتراضي لأصولها الكهروميكانيكية وزيادة فترات التوقف المفاجئ (Downtime) نتيجة العجز عن التنبؤ بالأعطال قبل وقوعها.

ومن هنا، تأتي هذه الدراسة لتقديم إضافة علمية وعملية من خلال سد هذه الفجوة وتقديم حلول تطبيقية لرفع الكفاءة التشغيلية والمالية للمرافق المعقدة في المملكة.

-تساؤلات الدراسة: بناءً على العرض السابق لمشكلة الدراسة، يمكن صياغة الإشكالية الرئيسية للبحث في التساؤل الجوهرى التالي: "كيف يؤدي القصور في التكامل بين أنظمة الأتمتة وتقنيات إنترنت الأشياء (IoT) إلى إعاقة الكفاءة التشغيلية والمالية للمرافق المعقدة في المملكة العربية السعودية؟"

ولتفكيك هذه الإشكالية، تطرح المشكلة نفسها كسلسلة من التساؤلات الفرعية التالية:

ما حجم الهدر المالي والتشغيلي (استهلاك الطاقة والجهد البشري) الناتج عن استمرار الاعتماد على الأنظمة المعزولة في إدارة المرافق؟

إلى أي مدى يعجز الواقع الحالي للمرافق عن الاستفادة من البيانات التشغيلية اللحظية لتفعيل الصيانة التنبؤية بدلاً من الصيانة التفاعلية؟

ما هي أبرز التحديات والعوائق الفنية والإدارية التي تمنع التحول من هذا الواقع التقليدي إلى الواقع المأمول المعتمد على الأتمتة الشاملة وإنترنت الأشياء؟

أهمية الدراسة:

يمكن تقسيم أهمية الدراسة إلى شقين أساسيين:

(أ) الأهمية العلمية:

- إثراء المعرفة النظرية في مجال الإدارة التشغيلية وإدارة المرافق (Facility Management) من خلال استكشاف وتأصيل الدور المحوري للتقنيات الناشئة (إنترنت الأشياء وأنظمة الأتمتة) في تحسين الأداء الكلي للمنشآت ورفع كفاءة استهلاك الموارد.
- سد فجوة واضحة في الأدبيات الأكاديمية، خاصة في المكتبة العربية، التي تفتقر إلى دراسات تطبيقية تربط بين الأنظمة الهندسية المتقدمة مثل أنظمة إدارة المباني BMS وبروتوكولات KNX وبين العوائد المالية والإدارية المباشرة في قطاع المرافق المعقدة.
- تقديم إطار نظري متكامل يدمج بين المفاهيم التقنية للثورة الصناعية الرابعة (Industry 4.0) والمفاهيم الإدارية الحديثة للاستدامة والتشغيل، مما يؤسس لقاعدة معرفية رصينة يمكن أن ينطلق منها الباحثون المستقبليون في تخصصات الإدارة والهندسة.

(ب) الأهمية التطبيقية:

- تقديم توصيات عملية وقابلة للتنفيذ لشركات إدارة المرافق، والمشغلين، والمستثمرين في المملكة لتبني استراتيجيات التحول الرقمي والصيانة التنبؤية، مما يساهم بشكل مباشر في إطالة عمر الأصول وخفض التكاليف التشغيلية (OPEX).
- مساعدة صانعي السياسات ومتخذي القرار في الجهات المعنية بتنظيم قطاع البناء والتشغيل في المملكة على صياغة أدلة إرشادية ومعايير تحفز إلزامية دمج منصات (IoT) في المشاريع الكبرى، بما يتوافق مع مستهدفات رؤية 2030 في مجالات كفاءة الطاقة والاستدامة البيئية.
- تطوير وبناء أداة قياس علمية (مقياس الاستبيان) يمكن استخدامها كمرجعية للشركات لتقييم مدى جاهزية مرافقها للتحول الرقمي، وقياس العائد على الاستثمار (ROI) من دمج الأنظمة الذكية.

أهداف الدراسة:

تسعى تسعى هذه الدراسة بشكل أساسي إلى تحقيق هدف رئيسي يتمثل في: قياس وتحليل أثر الاعتماد على تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) وأنظمة الأتمتة المتقدمة في تحسين الكفاءة التشغيلية والمالية للمرافق المعقدة في المملكة العربية السعودية، وتقديم إطار عمل تطبيقي يدعم عملية التحول نحو الإدارة الذكية المستدامة.

وينبثق عن هذا الهدف الرئيسي مجموعة من الأهداف الفرعية التالية:

1. تحديد وقياس حجم الهدر المالي والتشغيلي (تحديداً في استهلاك الطاقة والجهد البشري المستنزف) الناتج عن استمرار المنشآت والمرافق الكبرى في الاعتماد على الأنظمة التقليدية والمعزولة لإدارة المباني.
2. تقييم مدى جاهزية وقدرة الواقع الحالي للمرافق في المملكة على الاستفادة من تدفق البيانات اللحظية (Real-time Data) وتحليلها لتفعيل استراتيجيات الصيانة التنبؤية (Predictive Maintenance) كبديل للأنظمة التفاعلية والوقائية التقليدية.
3. رصد وتشخيص أبرز التحديات والعوائق الفنية والإدارية التي تواجه مديري المشاريع والتشغيل وتمنع التحول السلس من الواقع التقليدي المعزول إلى الواقع الذكي المأمول القائم على الأتمتة الشاملة.
4. تطوير إطار عمل وتوصيات تطبيقية موجهة لصناع القرار ومهندسي إدارة المرافق بالمملكة، لتمكينهم من دمج بروتوكولات الأتمتة (مثل KNX و BMS) مع منصات إنترنت الأشياء بشكل تكاملي موحد يحقق مستهدفات رؤية 2030 في الاستدامة وكفاءة الإنفاق.

تساؤلات الدراسة:

يسعى هذا البحث للإجابة عن التساؤل الرئيسي التالي: ما أثر الاعتماد على تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) وأنظمة الأتمتة في تحسين الكفاءة التشغيلية للمرافق في المملكة العربية السعودية؟

ويتفرع من هذا التساؤل الرئيسي مجموعة من التساؤلات الفرعية الآتية:

1. ما أثر الاعتماد على تقنيات ومستشعرات إنترنت الأشياء (IoT) في تقليل استهلاك الطاقة والموارد، وخفض التكاليف التشغيلية (OPEX) للمرافق؟
2. كيف يساهم التكامل بين أنظمة الأتمتة المتقدمة) مثل أنظمة إدارة المباني BMS وبروتوكولات KNX في تفعيل استراتيجيات الصيانة التنبؤية وإطالة العمر الافتراضي للأصول الكهروميكانيكية؟
3. ما العوائق التنظيمية والتقنية والمالية الرئيسية التي تواجه شركات الإدارة والتشغيل في المملكة العربية السعودية عند التحول نحو الإدارة الذكية للمرافق؟
4. ما العلاقة بين مستوى تطبيق الأنظمة الذكية المتكاملة (IoT) والأتمتة (ومستوى الكفاءة التشغيلية الشاملة للمرافق؟

فروض الدراسة (Study Hypotheses):

بناءً على تساؤلات الدراسة وأهدافها، تم صياغة الفرضيات التالية لاختبارها إحصائياً (عند مستوى دلالة 0.05):

الفرضية الرئيسية:

- الفرضية الصفرية (H0) : لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لاعتماد تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) وأنظمة الأتمتة على تحسين الكفاءة التشغيلية للمرافق في المملكة العربية السعودية.
- الفرضية البديلة (H1) : يوجد أثر إيجابي ذو دلالة إحصائية لاعتماد تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) وأنظمة الأتمتة على تحسين الكفاءة التشغيلية للمرافق في المملكة العربية السعودية.

الفرضيات الفرعية:

- الفرضية الفرعية الأولى (تتعلق باستهلاك الطاقة والتكاليف):
 - H0_1 : لا توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين استخدام مستشعرات ومنصات إنترنت الأشياء (IoT) وتقليل تكاليف استهلاك الطاقة والموارد في المرافق.
 - H1_1 : توجد علاقة طردية ذات دلالة إحصائية بين استخدام مستشعرات ومنصات إنترنت الأشياء (IoT) وتقليل تكاليف استهلاك الطاقة والموارد في المرافق.
- الفرضية الفرعية الثانية (تتعلق بالصيانة التنبؤية):
 - H0_2 : لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لتكامل أنظمة الأتمتة) مثل أنظمة إدارة المباني (BMS) مع منصات (IoT) على تفعيل استراتيجيات الصيانة التنبؤية.
 - H1_2 : يؤثر تكامل أنظمة الأتمتة) مثل أنظمة إدارة المباني (BMS) مع منصات (IoT) بشكل إيجابي وذو دلالة إحصائية على تفعيل استراتيجيات الصيانة التنبؤية وإطالة عمر الأصول.

النظرية العلمية المتبعة لإعداد البحث:

تتبنى هذه الدراسة "المنهج الوضعي (Positivist Paradigm)" في البحث العلمي، والذي يستند إلى استخدام المنهج الوصفي التحليلي لاختبار الفرضيات وقياس العلاقات بين المتغيرات بشكل كمي دقيق. ولتأصيل هذه الدراسة علمياً، يستند البحث إلى إطار نظري تكاملي يجمع بين نظريات الإدارة الحديثة والتقنيات الهندسية، وذلك وفق الركائز التالية:

1. **نظرية النظم (Systems Theory)**
تُنظر هذه الدراسة إلى "المرفق" كمنظومة متكاملة (Integrated System) تتكون من أصول كهروميكانيكية، وبرمجيات تحكم، وموارد بشرية. وتفترض النظرية أن كفاءة النظام ككل لا تتحقق إلا بالتكامل بين أجزائه؛ لذا يُعد تبني تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) بمثابة "الجهاز العصبي" الذي يربط هذه الأجزاء، مما يتيح تدفقاً بيانياً مستمراً يسمح بالتحكم المركزي وتحسين الأداء التشغيلي.
2. **إطار التميز التشغيلي (Operational Excellence Framework)**
يعتمد البحث على فلسفة التميز التشغيلي التي تهدف إلى تعظيم القيمة وتقليل الهدر في الموارد (مثل الطاقة والوقت وتكاليف الصيانة). وفي هذا البحث، يتم الربط بين المدخلات التقنية (IoT & BMS) والمخرجات التشغيلية (تقليل تكاليف OPEX، إطالة عمر الأصول، ورفع مستوى الاستدامة). ويُستخدم هذا الإطار لتبرير كيف أن التحول الرقمي ليس خياراً تقنياً فحسب، بل هو ضرورة إدارية لضمان استمرارية الأعمال وفق رؤية المملكة 2030.
3. **نموذج قبول وتبني الابتكار (Technology Adoption Model)**
تستند الدراسة إلى مبادئ تبني الابتكار التكنولوجي في بيئات العمل الهندسية، حيث يتم تحليل العوامل التي تدفع المنشآت نحو التحول للأنظمة الذكية. وتفترض الدراسة أن التوافق بين "سهولة الاستخدام" في أنظمة (BMS و"الفائدة المدركة") في تقنيات الصيانة التنبؤية عبر (IoT) هما المحركان الرئيسيان لنجاح أي مشروع لإدارة المرافق الذكية.

النموذج المفاهيمي للدراسة (Conceptual Model Logic)

بناءً على المنطلقات السابقة، ترسم الدراسة نموذجاً منطقياً يربط بين:

المتغيرات المستقلة : مستوى تبني إنترنت الأشياء IoT ، مستوى تكامل أنظمة BMS .

المتغيرات التابعة : الكفاءة التشغيلية، ممثلة في: ترشيد الطاقة، تكاليف التشغيل، عمر الأصول .

الفصل الثاني
الدراسات السابقة

مقدمة:

يستعرض هذا القسم مجموعة من الأدبيات والدراسات السابقة التي تناولت المتغيرات الرئيسية للبحث، بهدف بناء أساس نظري متين وتحديد مسار الدراسة الحالية. وقد تم ترتيب هذه الدراسات موضوعياً وفقاً للمتغيرات الأساسية (إنترنت الأشياء، أنظمة الأتمتة، والسياق الجغرافي للمملكة العربية السعودية)، مع التركيز على تحليل أهدافها، ومنهجياتها، وأبرز نتائجها لاستنباط الفجوة البحثية.

الدراسات السابقة

المحور الأول: دراسات تناولت أثر إنترنت الأشياء (IoT) على استهلاك الطاقة
دراسة (Wong & Li, 2023):

هدف الدراسة: استكشاف قدرة تقنيات إنترنت الأشياء على تحقيق الاستدامة وتقليل الهدر في قطاع إدارة المرافق.

المنهجية: استخدام المنهج المختلط (دراسة حالة ومقابلات) بالتطبيق على عينة من 4 مجمعات تجارية كبرى في هونغ كونغ.

أهم النتائج: أظهرت النتائج أن دمج مستشعرات (IoT) مع أنظمة التكييف والتهوية أدى إلى خفض استهلاك الطاقة بنسبة 22%، وتحسين سرعة الاستجابة للأعطال.

العلاقة بالبحث الحالي: تقدم هذه الدراسة دليلاً عملياً كميّاً على الجدوى المادية لإنترنت الأشياء، إلا أنها اقتصرت على بيئة جغرافية مختلفة، وهو ما سيعالجه البحث الحالي.

دراسة (Casini, 2022):

هدف الدراسة: تقييم الأثر المباشر لتبني تقنيات إنترنت الأشياء على تحسين كفاءة استخدام الطاقة في المباني الذكية.

المنهجية: اعتمدت الدراسة على منهجية المراجعة التحليلية (Analytical Review) لبيانات استهلاك الطاقة في مجموعة من المباني الذكية في أوروبا.

أهم النتائج: أكدت الدراسة أن الاعتماد على خوارزميات (IoT) التي تحلل بيانات الطقس والإشغال لحظياً يقلل من الاستهلاك المفرط للطاقة بنسب تتراوح بين 15% إلى 30%.

العلاقة بالبحث الحالي: تدعم هذه النتيجة الفرضية الأولى لبحثنا المتعلقة بخفض التكاليف التشغيلية (OPEX)، وتوفر مرجعاً قوياً لنسب الترشيد المتوقعة.

المحور الثاني: دراسات تناولت تكامل أنظمة الأتمتة والصيانة التنبؤية

دراسة (Al-Fadhli & Smith, 2022):

هدف الدراسة: قياس أثر ربط أنظمة إدارة المباني (BMS) بمنصات التحليل السحابية على تفعيل استراتيجيات الصيانة التنبؤية.

المنهجية: المنهج الكمي من خلال تحليل البيانات التشغيلية لـ 30 منشأة صناعية وتجارية في المملكة المتحدة لمدة عام.

أهم النتائج: تأكيد وجود علاقة ذات دلالة إحصائية قوية بين دمج الأنظمة وتخفيض فترات التوقف المفاجئ (Downtime) للمعدات بنسبة 35%، مما يساهم في إطالة العمر الافتراضي للأصول.

العلاقة بالبحث الحالي: تتوافق مع الفرضيات المتعلقة بالصيانة التنبؤية، لكنها ركزت على الجانب التقني البحث وأغفلت العوائق التنظيمية للتطبيق.

دراسة (Farooq et al., 2022):

هدف الدراسة: تقديم مسح شامل لدور إنترنت الأشياء في تطوير أنظمة إدارة المباني (BMS) وتجاوز قصور الأنظمة المعزولة التقليدية.

المنهجية: منهجية وصفية تحليلية لمقارنة أداء الأنظمة التقليدية (BMS) مع الأنظمة المدمجة بـ (IoT).

أهم النتائج: خلصت الدراسة إلى أن التكامل بين (BMS) و (IoT) لا يحسن كفاءة الصيانة فحسب، بل يقلل من التدخل البشري بنسبة تصل إلى 40%، مما يخفف من الجهد التشغيلي.

العلاقة بالبحث الحالي: تسلط الدراسة الضوء على أهمية "التكامل التقني" الذي يمثل قلب المشكلة البحثية في دراستنا، وتؤسس للإطار النظري الخاص بربط الأنظمة.

المحور الثالث: تحديات الإدارة والتحول الرقمي للمرافق (السياق الاستراتيجي والمحلي)

دراسة (Minoli et al., 2020):

هدف الدراسة: تحليل المتطلبات المعمارية والتقنية والعوائق التي تواجه تطبيق الجيل القادم من أنظمة إدارة المباني.

المنهجية: دراسة تحليلية فنية للبنى التحتية الذكية.

أهم النتائج: أبرزت الدراسة أن التحدي الأكبر لا يكمن في توفر التكنولوجيا، بل في تعقيدات الربط البيئي (Interoperability) وضعف التوافق بين بروتوكولات الأتمتة المختلفة، بالإضافة إلى تكلفة التأسيس.

العلاقة بالبحث الحالي: تدعم هذه الدراسة التساؤل الثالث في بحثنا الخاص بالتحديات الفنية والمالية للتحويل الذكي.

دراسة (الغامدي والعتيبي، 2024):

هدف الدراسة: التعرف على العوائق الإدارية والمالية التي تواجه شركات إدارة المرافق في السعودية عند تبني التقنيات الحديثة.

المنهجية: استخدام المنهج الوصفي التحليلي عبر استبيان على 120 مدير مرافق في الرياض وجدة.

أهم النتائج: كشفت الدراسة أن التكلفة التأسيسية العالية، ونقص الكوادر الفنية المؤهلة للتعامل مع الأنظمة المعقدة، وضعف التوافق بين الأنظمة القديمة والحديثة، تعد من أبرز العوائق.

العلاقة بالبحث الحالي: تتقاطع بشكل مباشر مع التساؤلات الخاصة بالتحديات المحلية، إلا أنها تناولت التحول الرقمي بمفهوم عام، بينما يقيس بحثنا الأثر التطبيقي المباشر لتقنيات (IoT) والأتمتة.

التعقيب على الدراسات السابقة (تحليل وتقاطع الدراسات):

من خلال استعراض الأدبيات السابقة، يُلاحظ وجود إجماع علمي بين دراسات المحور الأول والثاني (Wong & Li, 2022; Casini, 2022; Farooq et al., 2022) على الأثر الإيجابي القوي والمباشر للأنظمة الذكية في خفض تكاليف الطاقة (OPEX) وزيادة كفاءة الصيانة عبر التحول نحو الصيانة التنبؤية. في المقابل، أظهرت دراسات المحور الثالث (Minoli et al., 2020; الغامدي والعتيبي، 2024) أن هناك فجوة بين "القدرات التقنية المتاحة" وبين "الواقع التطبيقي"، حيث يعوق غياب التكامل (Interoperability) وضعف تأهيل الكوادر عملية التحول الشامل نحو المرافق الذكية.

كما تباينت المنهجيات المستخدمة؛ فبينما ركزت الدراسات الأجنبية على القياس الكمي الدقيق للأداء الفني (نسب توفير الطاقة وتقليل فترات التوقف)، مالت الدراسات المحلية إلى التركيز النوعي والوصفي على التحديات الإدارية بشكل عام.

الفجوة البحثية

بناءً على التحليل والمقارنة للأدبيات السابقة، تتجلى الفجوة البحثية في ندرة الدراسات المحلية التي تدمج بين مسارين: القياس الكمي للأثر التشغيلي والمالي المباشر (وهو ما ركزت عليه الدراسات الغربية)، وبين تقييم السياق التشغيلي والإداري والمناخي (الذي تتسم به البيئة السعودية). كما يُلاحظ أن معظم الدراسات السابقة إما تناولت أنظمة إدارة المباني (BMS) كأنظمة تقليدية معزولة، أو تطرقت لتقنيات إنترنت الأشياء (IoT) من منظور نظري بحت.

وعليه، تأتي الدراسة الحالية لسد هذه الفجوة الجوهرية من خلال الانتقال من مفهوم "الأنظمة المعزولة" إلى دراسة "التكامل التقني" بين هذه الأنظمة الهندسية المتطورة، وقياس أثرها التطبيقي المباشر على الكفاءة التشغيلية للمرافق في المملكة العربية السعودية، وذلك بالاعتماد على [المنهج الوصفي التحليلي / المنهج المختلط].

المنطلقات النظرية للدراسة

تستند هذه الدراسة في إطارها النظري إلى مزيج موضوعي وتكاملي من النظريات الإدارية والهندسية الحديثة، والتي تُشكل معاً أساساً تفسيرياً متيناً للعلاقة الديناميكية بين تبني تكنولوجيا التحكم الذكي وتحقيق الكفاءة التشغيلية والمالية المستدامة. ويرتكز التأصيل المفاهيمي للدراسة على المنطلقات النظرية التالية:

1. نظرية الموارد والقدرات (Resource-Based View- RBV):

شرح النظرية: تفترض هذه النظرية الاقتصادية والإدارية أن الأداء المتميز والميزة التنافسية المستدامة لأي منشأة لا ينبعان من عوامل السوق الخارجية، بل من امتلاكها لموارد وقدرات داخلية استراتيجية تتسم بأربعة معايير أساسية (معايير VRIO): أن تكون قيّمة (Valuable)، ونادرة (Rare)، وبصعب تقليدها (Inimitable)، ومستغلة تنظيمياً (Organized). وتشمل هذه الموارد الأصول المادية، والبنية التكنولوجية، والمعرفة الفنية المعقدة.

كيفية تطبيقها في الدراسة الحالية: يتم توظيف هذه النظرية من خلال اعتبار البنية التحتية التكنولوجية المتقدمة — المتمثلة في منصات إنترنت الأشياء (IoT) وشبكات الأتمتة الموحدة — بمثابة "موارد استراتيجية" (Strategic Resources) تمتلكها المنشأة. إلا أن النظرية تؤكد أن الموارد وحدها لا تكفي؛ ومن ثم، فإن قدرة مهندسي ومشغلي المرافق على دمج هذه الأنظمة، وتحليل تدفق البيانات اللحظية، وتحويلها إلى قرارات استباقية (مثل تفعيل استراتيجيات الصيانة التنبؤية وإدارة أحمال الطاقة الذكية) تمثل "القدرات الديناميكية" (Dynamic Capabilities) الحيوية التي تضمن تحقيق الكفاءة التشغيلية والمالية وخفض تكاليف التشغيل (OPEX) في المشاريع الكبرى بالمملكة.

2. نظرية النظم الشاملة (Systems Theory):

شرح النظرية: تنظر هذه النظرية إلى المنظمات والمنشآت المعقدة على أنها "أنظمة مفتوحة وشاملة" (Holistic Open Systems) تتكون من أجزاء فرعية (Sub-systems) مترابطة ومتفاعلة بصفة مستمرة. وتؤكد النظرية على أن كفاءة النظام الكلي لا يمكن اختزالها في أداء كل جزء بشكل منفرد، بل تعتمد بالدرجة الأولى على مدى جودة الاتصال والتكامل والتوافق البيئي بين المكونات الأربعة الأساسية للنظام: (المدخلات، المعالجة، المخرجات، والتغذية الراجعة).

كيفية تطبيقها في الدراسة الحالية: يوفر هذا المنطلق الإطار التفسيري الأنسب لبيئة "المرافق والمباني الذكية". في هذا البحث، يُنظر إلى المرفق الهندسي المعقد كـ "نظام بيئي متكامل" (Ecosystem)؛ حيث تمثل مستشعرات إنترنت الأشياء (IoT) وأنظمة التحكم الطرفية (مثل بروتوكولات KNX) "المدخلات" التي تجمع البيانات اللحظية، بينما تمثل الخوادم ومنصات إدارة المباني (BMS) مركز "المعالجة والتحليل". وتتمثل "المخرجات" في الأوامر الآلية الذكية لضبط الاستهلاك وتوجيه أعمال الصيانة، في حين تشكل تقارير الأداء ومؤشرات الكفاءة الطاقية "التغذية الراجعة" (Feedback Loop). وتوظف الدراسة هذه النظرية لتفسير كيف أن غياب التكامل بين هذه الأجزاء (العمل في جزر تقنية معزولة) يؤدي حتماً إلى هدر تشغيلي وقصور في الأداء العام للمرفق.

3. نظرية انتشار المبتكرات (Diffusion of Innovations Theory):

شرح النظرية: تُعنى هذه النظرية، التي صاغها العالم "إيفريت روجرز" (Everett Rogers)، بتفسير كيفية ولماذا وبأي سرعة تنتشر التقنيات والأنظمة والأنماط الإدارية الجديدة (المبتكرات) داخل قطاع اقتصادي أو بيئة تشغيلية معينة. وتحدد النظرية مجموعة من المزايا المدركة التي تحكم سرعة تبني التكنولوجيا، مثل: الميزة النسبية، والتوافقية، وسهولة الاستخدام، فضلاً عن رصد العوائق التي تبطئ هذا الانتشار.

كيفية تطبيقها في الدراسة الحالية:

تُستخدم هذه النظرية كإطار تحليلي لتقييم العوامل المؤثرة على التحول الرقمي في قطاع إدارة المرافق بالمملكة العربية السعودية، والإجابة على التساؤلات والفرضيات المتعلقة بالتحديات. فهي تساعد في فهم العوائق (التنظيمية، التقنية المتعلقة بالربط البيئي Interoperability، والمالية المرتبطة بالتكلفة الرأسمالية التأسيسية) التي تواجه صناع القرار ومديري المشاريع عند محاولة الانتقال من أنظمة الصيانة التقليدية (التفاعلية والوقائية) إلى نماذج الأتمتة الكاملة، مما يمهّد لبناء إطار عمل وتوصيات تطبيقية واقعية تتوافق مع بيئة الأعمال وتشريعات التحول الرقمي لرؤية المملكة 2030.

4. النموذج المفاهيمي لمنطق الدراسة (Conceptual Model Logic):

بناءً على التقاطع المنهجي بين النظريات الثلاث السابقة، تتبنى الدراسة نموذجاً منطقياً يفسر العلاقة السببية بين متغيرات البحث لاختبارها إحصائياً، وذلك وفق الآتي:

المتغيرات المستقلة (Independent Variables):

مستوى تبني تقنيات إنترنت الأشياء (IoT)، ومستوى التكامل والربط البيئي لأنظمة الأتمتة (BMS و KNX).

المتغير الوسيط (Mediating Factor):

كفاءة المعالجة التشغيلية (تفعيل الصيانة التنبؤية، والتحليل اللحظي للبيانات، وأتمتة التغذية الراجعة).

المتغيرات التابعة (Dependent Variables):

الكفاءة التشغيلية والمالية الشاملة للمرافق (ممثلة في: ترشيد استهلاك الطاقة والموارد، خفض تكاليف OPEX، تقليص فترات التوقف المفاجئ Downtime، وإطالة العمر الافتراضي للأصول).

الفصل الثالث

منهجية الدراسة

مقدمة:

تُمثل منهجية الدراسة الركيزة الأساسية والعمود الفقري للبحث العلمي، حيث تشكل الجسر الرابط بين المنطلقات النظرية والأهداف التطبيقية الميدانية. وتكمن أهمية هذا الفصل في تقديم خريطة طريق واضحة ومفصلة للمسار الإجرائي والعلمي الذي سلكه الباحث لجمع البيانات، وتحليلها، وتفسيرها، وصولاً إلى الإجابة عن تساؤلات الدراسة واختبار فرضياتها المتعلقة بأثر الاعتماد على تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) وأنظمة الأتمتة الذكية في تحسين الكفاءة التشغيلية والمالية للمرافق في المملكة العربية السعودية.

وفي ضوء الطبيعة الديناميكية والمتداخلة لقطاع إدارة المرافق الحديثة—والذي يتقاطع فيه الجانب الهندسي التقني (البنية التحتية والأنظمة الذكية) مع الجانب الإداري والمالي (كفاءة التشغيل وخفض التكاليف والاستدامة)—فإن الظاهرة محل الدراسة تتطلب عمقاً تحليلياً يتجاوز مجرد رصد الأرقام أو الاكتفاء بالوصف الظاهري. وانطلاقاً من هذا المنظور، تم تصميم منهجية هذه الدراسة لتتبع فلسفة بحثية تكاملية تسعى إلى تحقيق الفهم الشامل والعميق للواقع التشغيلي في البيئة السعودية.

يتناول هذا الفصل بالتفصيل والأصل العلمي محددات المنهجية المتبعة، مبتدئاً بتحديد نوع البحث وتبرير فلسفة المنهج المختلط (Mixed Methods) المعتمد، وتحديد نموذج التصميم التفسيري التتابعي (Explanatory Sequential Design). كما يستعرض الفصل بالتفصيل خطة البحث وخطوات التنفيذ عبر مراحله الثلاث (الكمية، والنوعية، ثم التكاملية والتحليلية)، بالإضافة إلى تحديد مجتمع الدراسة، وآلية اختيار العينات ممثلةً في الكوادر الهندسية والإدارية المختصة.

علاوة على ذلك، يشتمل الفصل على وصف دقيق لأدوات الدراسة (الاستبيان الإلكتروني للمرحلة الكمية، ودليل المقابلات شبه المكننة للمرحلة النوعية)، مع استعراض الطرق العلمية والإحصائية المقررة للتحقق من صدق الأدوات وثباتها. ويختتم الفصل بتوضيح الحدود الموضوعية والمكانية والزمانية للبحث، والخطوات الصارمة المتبعة لامتثال أخلاقيات البحث العلمي، والأساليب الإحصائية (برنامج SPSS) والتحليلية (التحليل الموضوعي) المستخدمة في معالجة البيانات، مما يوفر لهذا البحث أعلى درجات الموثوقية والصلاحية العلمية.

المنهجية وطرق البحث

بناءً على طبيعة الإشكالية البحثية المطروحة والأهداف المتوخاة، تم تحديد المعالم المنهجية لهذا البحث وفقاً للمحددات التالية:

أولاً: نوع البحث (Research Type)

يُصنف هذا البحث ضمن البحوث الوصفية التحليلية والتطبيقية Descriptive, Analytical, and Applied Research الجانب الوصفي والتحليلي :

يهدف إلى رصد وتوثيق واقع تطبيق واستخدام تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) ونظم التحكم والأتمتة مثل BMS و KNX في قطاع إدارة المرافق الحالي بالمملكة، ومن ثم تفكيك وتحليل طبيعة وحجم الأثر المباشر وغير المباشر لهذه التقنيات على مؤشرات الأداء الأساسية (كفاءة الطاقة، سرعة الاستجابة، تقليص تكاليف الصيانة).

الجانب التطبيقي :

لا يتوقف البحث عند حد التوصيف الأكاديمي، بل يسعى لتقديم حلول هندسية وإدارية عملية، وأطر عمل (Frameworks) تطبيقية يمكن لمديري المشاريع والمرافق الاسترشاد بها لمعالجة مشكلات الهدر، وقصور التكامل، وضعف الكفاءة التشغيلية في السياق المحلي للمملكة العربية السعودية، بما يدعم مستهدفات رؤية 2030 في التحول الرقمي والاستدامة.

ثانياً: المنهج المستخدم (Research Approach)

تعتمد هذه الدراسة على المنهج المختلط (Mixed Methods Approach)، وتحديدًا نموذج التصميم التفسيري التتابعي (Explanatory Sequential Design).

إن اختيار هذا المنهج ينبع من القناعة الأكاديمية بأن دمج البيانات الكمية (Quantitative) والنوعية (Qualitative) في بحث واحد يمنح النتائج قوة تفسيرية وتطبيقية أكبر مما يمنحه كل منهج على حدة. وتتأسس فلسفة هذا التصميم التتابعي على تنفيذ الدراسة عبر مرحلتين متتاليتين:

المرحلة الأولى (الكمية) :

وتأتي في الصدارة لجمع بيانات رقمية عريضة تسمح بقياس العلاقات الإحصائية بين متغيرات الدراسة وتعميم النتائج.

المرحلة الثانية (النوعية) :

وتأتي بناءً على مخرجات المرحلة الأولى، حيث تُستخدم المقابلات المعمقة لتفسير وتوضيح "كيف" و "لماذا" ظهرت تلك النتائج الإحصائية، وللغوص في التفاصيل التشغيلية والعوائق التنظيمية والتقنية التي لا يمكن للاستبيان المغلق استعراضها.

وبذلك، يضمن الباحث الحصول على فهم تكاملي يدمج بين لغة الأرقام الصارمة (التي تقيس الأثر وحجم العلاقات) وتفسيرات الواقع الميداني العميق (التي تعكس خبرات الممارسين الفعليين في الميدان).

خطة البحث وخطوات التنفيذ (Research Plan & Execution Steps)

لضمان الانسيابية المنهجية والالتزام بالمعايير الأكاديمية، تم تقسيم خطة تنفيذ البحث إجرائياً زمنياً وموضوعياً إلى ثلاث مراحل رئيسية متكاملة يتأسس بعضها على بعض:

المرحلة الأولى: المرحلة الكمية (القياس والرصد الإحصائي)

تستهدف هذه المرحلة الإجابة عن التساؤلات الرئيسية المرتبطة بقياس وتحديد حجم العلاقات بين متغيرات الدراسة. وتتضمن الإجراءات التالية:

بناء الأداة :

تصميم استبيان إلكتروني محكم ومقنن بناءً على الأدبيات السابقة والمنطلقات النظرية للدراسة، مقسم إلى محاور تقيس مستويات تبني إنترنت الأشياء (IoT) والتكامل بين أنظمة الأتمتة، وأثر ذلك على المؤشرات التابعة (كفاءة الطاقة، كفاءة الصيانة، الكفاءة المالية الشاملة).

المرحلة الثانية: المرحلة النوعية (الاستكشاف والتفسير الميداني المعمق)

تأتي هذه المرحلة كخطوة تالية ومبنية مباشرة على نتائج التحليل الإحصائي للمرحلة الأولى، وتتضمن:

بناء الأداة :

إعداد دليل مقابلات شخصية معمقة شبه مقننة **Semi-Structured Interviews** تتضمن أسئلة مفتوحة النهاية تم صياغتها بعناية لاستكشاف ما وراء الأرقام.

التطبيق والميدان :

إجراء مقابلات مع نخبة مختارة ومقصودة من الخبراء، ومديري المرافق الكبار، وكبار مهندسي الأنظمة الذكية والتحكم الذكي في المملكة.

الهدف :

سد الفجوات التفسيرية، استكشاف العوائق التنظيمية (مثل التكلفة الرأسمالية العالية، نقص الكوادر المؤهلة) والتقنية (مثل مشاكل بروتوكولات الربط والبنية التحتية)، وتفسير أي نتائج غير متوقعة أو شاذة قد تظهر في التحليل الكمي، بالإضافة إلى استخلاص حلول واقعية من واقع الخبرة الميدانية الطويلة للخبراء.

المرحلة الثالثة: المرحلة التحليلية والتكاملية (الدمج وبناء الإطار المقترح)

تُمثل هذه المرحلة ذروة المنهج المختلط، حيث يتم فيها:

الدمج والربط: (Integration)

المقارنة والتقاطع والدمج بين مخرجات التحليل الإحصائي الكمي (النتائج الرقمية) ومخرجات التحليل الموضوعي النوعي (الآراء والخبرات المستخلصة من المقابلات).

الهدف النهائي:

الوصول إلى استنتاجات نهائية تتسم بالدقة والشمولية، والاعتماد عليها كقاعدة صلبة لبناء إطار العمل الهندسي- الإداري المقترح في هذه الدراسة، وصياغة التوصيات التطبيقية والتوجهات البحثية المستقبلية.

أدوات الدراسة

استكمالاً للمسار الإجرائي المحدد في خطة التنفيذ، يختص هذا القسم باستعراض البنية الهيكلية والمواصفات الفنية لأدوات جمع البيانات (الكمية والنوعية)، وتحديد أوزان المقاييس، بالإضافة إلى المعايير المنهجية المتبعة للتحقق من الصدق والثبات.

أولاً: الاستبيان (الأداة الكمية) - التشریح الفني والمقاييس

تحدد البنية الفنية للاستبيان الإلكتروني في جزأين رئيسيين، صُمما لترجمة متغيرات الدراسة النظرية إلى مؤشرات قابلة للقياس الإحصائي:

الجزء الأول: المتغيرات التصنيفية (البيانات الديموغرافية والمهنية) :

يشتمل هذا الجزء على أسئلة مغلقة ومحددة الخيارات لقياس الخصائص المهنية للمستجيبين، وهي: (المسمى الوظيفي الفعلي، عدد سنوات الخبرة العملية في قطاع الهندسة أو إدارة المرافق، ونوع المنشأة التشغيلية).

الجزء الثاني: محاور القياس الفنية (مقياس ليكرت الخماسي) :

تعتمد العبارات الموضوعية في هذا الجزء على مقياس ليكرت الخماسي (5-point Likert Scale) للوقوف على استجابات أفراد العينة، حيث تم منح الأوزان الرقمية للبدائل عند التحليل الإحصائي كالتالي: (موافق بشدة = 5 درجات، موافق = 4 درجات، محايد = 3 درجات، غير موافق = درجتان، غير موافق بشدة = درجة واحدة).

يتكون هذا الجزء فنياً من 22 بنداً موزعة هيكلياً على ثلاثة محاور رئيسية:

1. المحور الأول: مستوى تبني وتطبيق تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) وأنظمة الأتمتة والتحكم (BMS / KNX) في المرفق، ويضم 8 بنود.
2. المحور الثاني: أثر الاعتماد على الأنظمة الذكية في ترشيد الاستهلاك الطاقى وتقليص النفقات التشغيلية، ويضم 8 بنود.
3. المحور الثالث: أثر التكامل التقني بين النظم في تفعيل استراتيجيات الصيانة التنبؤية وإدارة دورة حياة الأصول، ويضم 6 بنود.

تم نشر الاستبانة باستخدام نموذج استبيانات قوئل وكان مقسماً كما يلي:
تمهيد باللغتين العربية والإنجليزية:

The Impact of Relying on IoT and Automation Systems on Improving the " Operational Efficiency of Facilities in Saudi Arabia

أثر الاعتماد على تقنيات إنترنت الأشياء

وأنظمة الأتمتة في تحسين الكفاءة التشغيلية للمرافق في المملكة العربية السعودية

Dear Participant / عزيزي المشارك

يقوم الباحث بإجراء دراسة علمية كجزء من متطلبات الحصول على درجة الماجستير في الإدارة. تهدف هذه الدراسة إلى استكشاف واقع استخدام الأنظمة الذكية في إدارة المرافق، وقياس أثرها الفعلي على كفاءة الطاقة وتكاليف الصيانة وإدارة الأصول. نظراً لخبرتكم الميدانية، نرجو تفضلكم بالإجابة عن فقرات الاستبانة. نؤكد لكم أن مشاركتكم تطوعية، وأن كافة البيانات ستُعامل بسرية تامة لأغراض البحث العلمي فقط، ولن يتم الإفصاح عن هويتكم أو منشأتكم.

The researcher is conducting a scientific study as part of the Master's degree requirements in Management. This study aims to explore the current use of smart systems in facility management and measure their actual impact on energy efficiency, maintenance costs, and asset management. Given your field expertise, we kindly request you to answer this questionnaire. We assure you that your participation is voluntary, and all data will be treated with strict confidentiality for scientific research purposes only. Your identity and your facility's identity will not be disclosed

الباحث / Researcher:

محمد أبو حماد (Mohammed Abu Hammad)

الجزء الأول: البيانات الديموغرافية والمهنية
1. المسمى الوظيفي

- Field Engineer (Electrical, Mechanical, Control, Telecom) / (كهرباء، ميكانيكا، تحكم، اتصالات) مهندس ميداني
- Operation & Maintenance (O&M) Manager / مدير تشغيل وصيانة
- Project Manager / مدير مشاريع
- Smart Systems & Automation Expert/Engineer / خبير / مهندس أنظمة ذكية وأتمتة
- Other

2. سنوات الخبرة العملية في إدارة المرافق أو الأنظمة

○ أقل من 5 سنوات / Less than 5 years

○ 5 إلى 10 سنوات / 5 to 10 years

○ 11 إلى 15 سنة / 11 to 15 years

○ أكثر من 15 سنة / More than 15 years

3. نوع المنشأة التي تشرفون على تشغيلها

○ مستشفى - مدينة طبية / Hospital - Medical City

○ مجمع تجاري ضخم - مباني إدارية / Large Commercial Mall - Admin Buildings

○ مدينة جامعية - منشأة تعليمية / University Campus - Educational Facility

○ منشأة صناعية / Industrial Facility

○ أخرى (يرجى التحديد) / Other (Please specify):

الجزء الثاني: محاور الدراسة الفنية

يرجى تحديد درجة موافقتك على العبارات التالية بناءً على واقع منشأتك:

❖ (5) موافق بشدة / Strongly Agree (SA)

❖ (4) موافق / Agree (A)

❖ (3) محايد / Neutral (N)

❖ (2) غير موافق / Disagree (D)

❖ غير موافق بشدة / Strongly Disagree (SD)

المحور الأول: مستوى الاعتماد على تقنيات (IoT) وأنظمة الأتمتة

I. تعتمد المنشأة على مستشعرات إنترنت الأشياء (IoT) لجمع البيانات التشغيلية للمعدات بشكل لحظي.

II. يوجد تكامل فعلي وربط مركزي بين نظام إدارة المباني (BMS) وأنظمة التكييف والتهوية (HVAC).

III. تُطبق المنشأة أنظمة إضاءة ذكية متكيفة تعتمد على بروتوكولات الأتمتة المتقدمة (مثل KNX).

IV. تتوفر لوحات تحكم تفاعلية (Dashboards) تتيح لفريق التشغيل مراقبة أداء كافة المرافق عن بُعد.

V. تدعم البنية التحتية التقنية للمرفق إضافة أو دمج أجهزة ذكية جديدة بمرونة عالية (Scalability).

VI. تتم مراقبة والتحكم في أنظمة الضخ وشبكات المياه آلياً عبر أنظمة التحكم الذكي.

VII. تُستخدم المنصات السحابية (Cloud Platforms) لتخزين، ومعالجة، وتحليل بيانات تشغيل المرفق.

VIII. تشمل أنظمة الأتمتة دمج أنظمة السلامة والأمان (ككاميرات المراقبة وإنذار الحريق) مع التحكم المركزي.

المحور الثاني: أثر الأنظمة الذكية على كفاءة استهلاك الطاقة وخفض التكاليف التشغيلية

- I. ساهمت الأنظمة الذكية بشكل ملموس في خفض معدلات الاستهلاك الشهري للطاقة الكهربائية للمرفق.
- II. يعمل التحكم الآلي لأنظمة التكييف على القضاء على الهدر الطاقوي خلال أوقات انخفاض إشغال المبنى.
- III. أدى الاعتماد على أنظمة المراقبة الذكية إلى تقليص الحاجة للجولات الميدانية اليدوية وتخفيض تكاليف العمالة.
- IV. التعديل التلقائي للإضاءة (بناءً على الحركة والضوء الطبيعي) يحقق وفورات مالية واضحة للمنشأة.
- V. تساعد التحليلات المستخرجة من أجهزة (IoT) في الاكتشاف المبكر لتسربات الطاقة أو الهدر المخفي.
- VI. انخفضت النفقات التشغيلية الإجمالية (OPEX) للمرفق بشكل ملحوظ بعد تطبيق أنظمة الأتمتة والتحكم.
- VII. تلعب التنبيهات الآلية (Automated Alerts) دوراً جوهرياً في منع حدوث أعطال كبرى مكلفة مالياً.
- VIII. تدعم الأنظمة الذكية جدولة الاستهلاك بفعالية لتسطيح أوقات الذروة (Peak Shaving)، مما يقلل الفواتير.

المحور الثالث: أثر التكامل التقني على تفعيل الصيانة التنبؤية وإطالة العمر الافتراضي للأصول

- I. تُستخدم البيانات اللحظية للمعدات (كالاhtزاز والحرارة) بنجاح للتنبؤ بالأعطال قبل وقوعها.
- II. تُبنى جداول الصيانة لدينا بناءً على الحالة الفعلية للأصل (Condition-Based) وليس فقط على الزمن التقويمي.
- III. أدى الربط الذكي للأنظمة إلى إطالة العمر الافتراضي للأصول الكهروميكانيكية الثقيلة (مثل المبردات/Chillers).
- IV. ساهمت تقنيات الصيانة التنبؤية في تقليص فترات التوقف المفاجئ (Downtime) بشكل جذري.
- V. يتم تحسين وترشيد طلب مخزون قطع الغيار بناءً على التنبؤات الاستباقية الصادرة من نظام (BMS).
- VI. سهّل التكامل التقني الانتقال الناجح من ثقافة "الصيانة التفاعلية/الدورية" إلى "الصيانة التنبؤية" المتقدمة.

التطبيق والميدان :

توزيع الاستبيان إلكترونياً على عينة واسعة وممثلة من المهندسين، ومديري المشاريع، ومسؤولي التشغيل والصيانة في المنشآت والمرافق الكبرى (الحيوية والتجارية) في المدن الرئيسية بالمملكة (الرياض، جدة، المنطقة الشرقية).

الهدف :

الخروج بقاعدة بيانات رقمية متينة، وتحليلها إحصائياً لرسم الصورة العامة للواقع وتشخيص الارتباطات السببية بين المتغيرات.

ثانياً: دليل المقابلة شبه المقننة (الأداة النوعية) - الأبعاد التحليلية

يتقيد دليل المقابلات المعمقة ببنية مرنة ومقننة في آن واحد، لضمان الحصول على بيانات نوعية غير موجهة، وتوزيع مواصفاته الفنية كالآتي:

هيكل الأداة :

يتألف الدليل من 5 إلى 7 أسئلة رئيسية مفتوحة النهاية Open-ended Questions ، يتفرع من كل منها أسئلة استقصائية توجيهية تُطرح بناءً على مسار حديث الخبر.

المحددات التحليلية المستهدفة :

تم تصميم الأسئلة لتمرّحور فنياً حول ثلاثة أبعاد جوهرية:

1. البُعد الفني والهندسي: بروتوكولات الربط البيئي (Interoperability Protocols) ، وتحديات التوافق والدمج بين الأنظمة القديمة (Legacy Systems) والأنظمة الذكية الحديثة.
2. البُعد الإداري والتنظيمي: جاهزية الكوادر البشرية المحلية، والتحول في ثقافة الصيانة التشغيلية.
3. البُعد المالي: الموازنة بين الإنفاق الرأسمالي الأولي (CAPEX) والعائد على الاستثمار من خلال خفض الإنفاق التشغيلي اللاحق (OPEX).

صياغة المقابلة وتقسيمها سيكون كالتالي:

مقدمة المقابلة :

"أهلاً بك أستاذي الكريم/مهندسنا الفاضل. أشكرك على تلبية الدعوة والموافقة على المشاركة في هذه المقابلة. تهدف هذه الدراسة الأكاديمية إلى استكشاف أثر تبني تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) وأنظمة الأتمتة على كفاءة إدارة المرافق في المملكة. ستستغرق المقابلة حوالي 30 إلى 45 دقيقة. أود التأكيد على أن جميع المعلومات والآراء التي ستتفضل بها ستُعامل بسرية تامة وتُستخدم لأغراض البحث العلمي فقط. هل تسمح لي بتسجيل هذه المقابلة صوتياً لتسهيل عملية التفريغ والتحليل؟"

بيانات عامة عن الخبير: يتم تعبئتها من قبل الباحث

- المسمى الوظيفي (Job Title):
- سنوات الخبرة (Years of Experience):
- طبيعة المشاريع التي يشرف عليها (Type of managed projects):

أسئلة المقابلة الأساسية:

السؤال الأول (التهيئة والسياق العام) :

من واقع خبرتك الطويلة في إدارة المرافق، كيف تقيمون وتيرة ونضج التحول نحو استخدام تقنيات (IoT) والأنظمة الذكية في المشاريع الكبرى بالمملكة العربية السعودية في الوقت الراهن؟

السؤال الثاني (البُعد الفني والتقني) :

ما هي أبرز التحديات الفنية التي تواجهكم عند دمج الأنظمة الذكية الحديثة (مثل IoT) مع أنظمة إدارة المباني التقليدية (Legacy BMS)؟ وكيف تتغلبون على مشاكل توافق بروتوكولات الربط (Interoperability)؟

السؤال الثالث (البُعد المالي) :

التكلفة الرأسمالية (CAPEX) لتأسيس الأنظمة الذكية تُعد مرتفعة نسبياً. كيف توازنون في مشاريعكم بين هذه التكلفة الأولية وبين العائد على الاستثمار من خلال خفض النفقات التشغيلية اللاحقة (OPEX)؟

السؤال الرابع (البُعد الإداري والبشري):

كيف أثر الاعتماد على الأتمتة على هيكلية وتوزيع فرق التشغيل والصيانة لديكم؟ وهل تواجهون فجوة في المهارات (Skills Gap) لدى الكوادر المحلية للتعامل مع هذه التقنيات، وكيف يتم معالجتها؟

السؤال الخامس (الصيانة التنبؤية):

يُقال إن التكامل التقني هو مفتاح الانتقال من الصيانة التفاعلية إلى الصيانة التنبؤية. ما هي العوامل الحرجة لنجاح هذا الانتقال فعلياً على أرض الواقع، وما هو الأثر المباشر الذي لمستموه على دورة حياة الأصول الثقيلة؟

السؤال السادس (سؤال التفسير التتبعي - يُعدل لاحقاً):

أظهرت النتائج الإحصائية المبدئية لدراستنا أن هناك تأخراً في تحقيق وفر ملحوظ في استهلاك الطاقة رغم وجود الأنظمة. من وجهة نظرك كخبير ميداني، ما هو التفسير العملي لهذه النتيجة؟

السؤال السابع (التوصيات والحلول):

بناءً على مسيرتكم، ما هي أهم التوصيات والدروس المستفادة التي تقدمونها لمديري المرافق الذين يخططون للبدء في تبني استراتيجية التحول الذكي في منشاتهم؟

خاتمة المقابلة:

"شكراً جزيلاً لك على هذا الطرح الوافي والعميق، والذي سيثري مخرجات هذا البحث بلا شك. هل هناك أي نقطة إضافية تود الإشارة إليها ولم نتطرق لها خلال أسئلتنا؟"

ثالثاً: المعايير المنهجية لصدق الأدوات وثباتها (Psychometric Properties)

لضمان الصلاحية العلمية والموثوقية الإحصائية لأداة الدراسة الكمية (الاستبيان) قبل تطبيقها الموسع، تم إقرار الإجراءات المنهجية التالية:

- **الصدق الظاهري (Face Validity):** يتم التحقق من الصدق الظاهري من خلال آلية "تحكيم الخبراء"، حيث تُعرض الأداة في مسودتها الأولية على لجنة من الأكاديميين المتخصصين في الإدارة الهندسية وممارسين كبار في قطاع إدارة المرافق، لتقييم السلامة اللغوية، ومدى دقة انتماء كل عبارة للمحور الخاص بها، وإقرار التعديلات (بالحذف، أو الإضافة، أو إعادة الصياغة) بناءً على النسبة التوافقية للمحكمين.
- **ثبات الاتساق الداخلي (Internal Consistency Reliability):** يتم التحقق من ثبات بنود الاستبيان ومحاوره من خلال إجراء "الدراسة الاستطلاعية (Pilot Study)" على عينة محدودة مستبعدة من العينة الفعلية للدراسة. وتُعالج بيانات هذه العينة إلكترونياً عبر حزمة البرامج الإحصائية للعلوم الاجتماعية (SPSS) لحساب معامل ألفا كرونباخ (Cronbach's Alpha)، حيث تُعد الأداة ذات ثبات علمي ممتاز ومقبول للتطبيق النهائي إذا تجاوزت القيمة الإحصائية الإجمالية للمؤشر حد (0.70).

مجتمع البحث:

يُمثل تحديد مجتمع الدراسة واختيار العينة الممثلة له خطوة جوهرية لضمان صدق النتائج وإمكانية تعميمها في السياق الميداني. ونظراً للطبيعة التقنية والهندسية المعقدة لمتغيرات الدراسة الحالية، فقد تم تحديد مجتمع البحث وعينته وفقاً للمحددات المنهجية التالية:

أولاً: مجتمع الدراسة (Research Population)

يتكون مجتمع الدراسة المستهدف مستقبلاً من كافة الكوادر المهنية والهندسية والإدارية العاملة في قطاع الإدارة التشغيلية للمرافق المعقدة والمباني الذكية في المملكة العربية السعودية. ويشمل هذا المجتمع تحديداً الفئات المهنية التالية:

- **المهندسون الميدانيون:** (مهندسو الكهرباء، الميكانيك، التحكم، والاتصالات) المسؤولون عن متابعة الأداء الفني للأنظمة.
- **مديرو التشغيل والصيانة (O&M Managers):** المخولون بإدارة استراتيجيات الصيانة وتوزيع الموارد البشرية والفنية.
- **مديرو المشاريع (Project Managers):** المسؤولون عن قيادة خطط التحول الرقمي وتبني الأنظمة الحديثة.
- **خبراء مهندسو الأنظمة الذكية:** المختصون ببرمجة وتكامل أنظمة إدارة المباني (BMS) ونظم التحكم والأتمتة العالمية (مثل بروتوكولات KNX) وتقنيات إنترنت الأشياء (IoT).

ثانياً: عينة الدراسة (Research Sample)

نظراً لتباين طبيعة البيانات المطلوبة بين الشقين الكمي والنوعي في هذا البحث المعتمد على المنهج المختلط، فقد تم تقسيم آلية اختيار العينات وحجمها وفقاً للتالي:

عينة المرحلة الكمية (الاستبيان):

نوع العينة: تم اعتماد العينة القصدية/الغرضية. (Purposive/Judgmental Sample)

المبرر المنهجي: ينبع اختيار هذا النوع من العينات من كون عبارات الاستبيان تتطلب خلفية معرفية وفنية متخصصة ومباشرة في تشغيل الأنظمة الكهروميكانيكية المعقدة وتكامل البرمجيات، وبالتالي فإن العينات العشوائية البسيطة قد لا تضمن وصول الأداة إلى الفئة القادرة على تقديم إجابات ذات موثوقية تشغيلية عالية.

حجم العينة: تستهدف الدراسة جمع استجابات من (100 إلى 150) مختصاً وممارساً هندسياً يعملون في شركات إدارة المرافق الكبرى التي تتولى تشغيل منشآت حيوية ومعقدة (مثل: المدن الطبية والمستشفيات، المجمعات التجارية الضخمة، المدن الجامعية، والمنشآت الصناعية).

عينة المرحلة النوعية (المقابلات المعمقة):

نوع العينة: عينة قصدية خبراء. (Expert Purposive Sample)

حجم العينة: سيتم اختيار (5 إلى 7) من كبار مديري المرافق، والمديرين التنفيذيين للتشغيل، وكبار مهندسي الأتمتة والتحكم الذكي في مشاريع البنية التحتية الكبرى بالمملكة، وذلك لضمان الحصول على رؤى استراتيجية وميدانية معمقة تعين الباحث على تفسير النتائج الإحصائية المستخرجة من الاستبيان.

حدود البحث

تحدد الأبعاد التطبيقية والإجرائية لهذا البحث، والمجالات الجغرافية والبشرية والزمنية والموضوعية التي يقتصر عليها، وفقاً للضوابط المنهجية الآتية:

أولاً: الحدود الموضوعية (Objective Delimitations)

تقتصر هذه الدراسة موضوعياً على قياس وفحص أثر الاعتماد على تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) وأنظمة الأتمتة (BMS) (KNX/ كمتغيرات مستقلة، في تحسين كفاءة الأداء التشغيلي والمالي للمرافق (ممثلاً في: ترشيد استهلاك الطاقة، خفض تكاليف الصيانة، تفعيل الصيانة التنبؤية، وإطالة العمر الافتراضي للأصول) كمتغيرات تابعة، دون التطرق للأنظمة البرمجية الإدارية غير المرتبطة بالتحكم الميداني المباشر للأصول.

ثانياً: الحدود البشرية (Human Delimitations)

تقتصر الدراسة في حدودها البشرية على الممارسين الفعليين والكوادر الهندسية والإدارية المتخصصة في قطاع تشغيل وإدارة المرافق والمباني الذكية المعقدة (مهندسون، مديرو مشاريع، مديرو تشغيل وصيانة، خبراء أنظمة تحكم)، والمستوفين لشروط الخبرة المهنية المباشرة في التعامل مع البيئات التقنية المؤتمتة داخل المملكة العربية السعودية.

ثالثاً: الحدود المكانية (Spatial Delimitations)

تُجرى هذه الدراسة ميدانياً في المملكة العربية السعودية، مع تركيز الباحث الميداني وتوجيه أدوات جمع البيانات (الاستبيان والمقابلات) نحو المدن الرئيسية الثلاث (الرياض، وجدة، والدمام).

المبرر الهندسي والمكاني:

يرجع اختيار هذه المدن تحديدًا إلى كونها الحواضر الاقتصادية والعمرانية الكبرى التي تتمركز فيها مقرات شركات إدارة المرافق العالمية والمحلية الكبرى، وتشهد الكثافة الأعلى في تشييد وتشغيل المشاريع العملاقة والمرافق الحيوية الذكية التي تتبنى النظم التكنولوجية الحديثة، مما يضمن الحصول على بيانات تمثل واقع مشكلة الدراسة بصدق وعمق.

رابعاً: الحدود الزمنية (Temporal Delimitations)

ينقسم الإطار الزمني المحدد لهذه الدراسة إجرائياً وأكاديمياً إلى مؤشرين:

فترة جمع البيانات الميدانية: سيتم تطبيق أدوات الدراسة (توزيع الاستبيانات الإلكترونية وإجراء المقابلات المعمقة شبه المقننة) وجمع الاستجابات من الميدان خلال الربع الثاني من عام 2026م.

المدى الزمني الإجمالي للتشغيل والتحليل: يمتد النطاق الزمني الشامل لإنجاز هذا البحث، بدءاً من تطوير الإطار النظري وتطبيق الأدوات، وصولاً إلى المعالجة الإحصائية واستخلاص الاستنتاجات وبناء إطار العمل المقترح، خلال العام الجامعي (2026 - 2027م).

المعالجة الإحصائية وأساليب تحليل البيانات (Data Analysis & Statistical Methods)

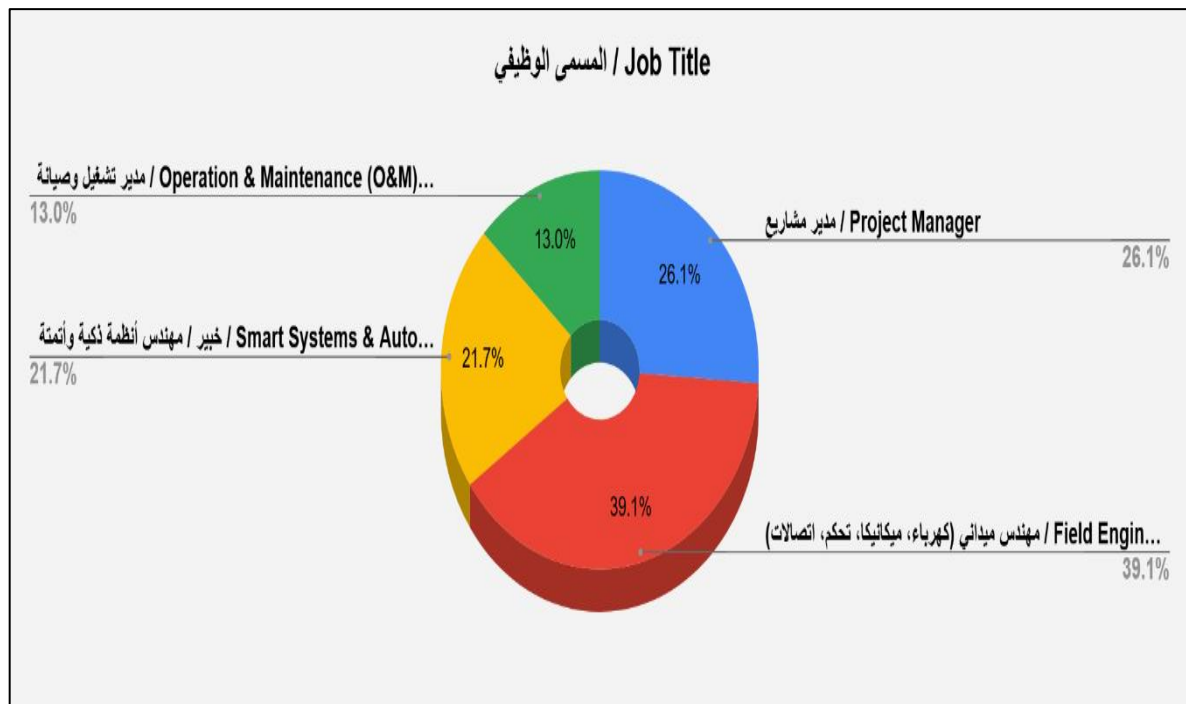
استكمالاً للمنهجية المختلطة (التفسيرية التتابعية) المعتمدة في هذا البحث، وللإجابة عن تساؤلات الدراسة واختبار فرضياتها بدقة، سيتم تطبيق مسارين متوازيين ومتكاملين لتحليل البيانات (الكمية والنوعية)، وذلك على النحو الآتي:

أولاً: أساليب التحليل الإحصائي للبيانات الكمية (Quantitative Data Analysis) بعد جمع الاستبيانات الإلكترونية، سيتم مراجعة البيانات وتشفيرها (Coding) وإدخالها إلى الحاسب الآلي لمعالجتها إحصائياً باستخدام حزمة البرامج الإحصائية للعلوم الاجتماعية SPSS - Statistical Package for the Social Sciences وتتحدد الأساليب الإحصائية المقررة في الآتي:

الإحصاء الوصفي: (Descriptive Statistics)

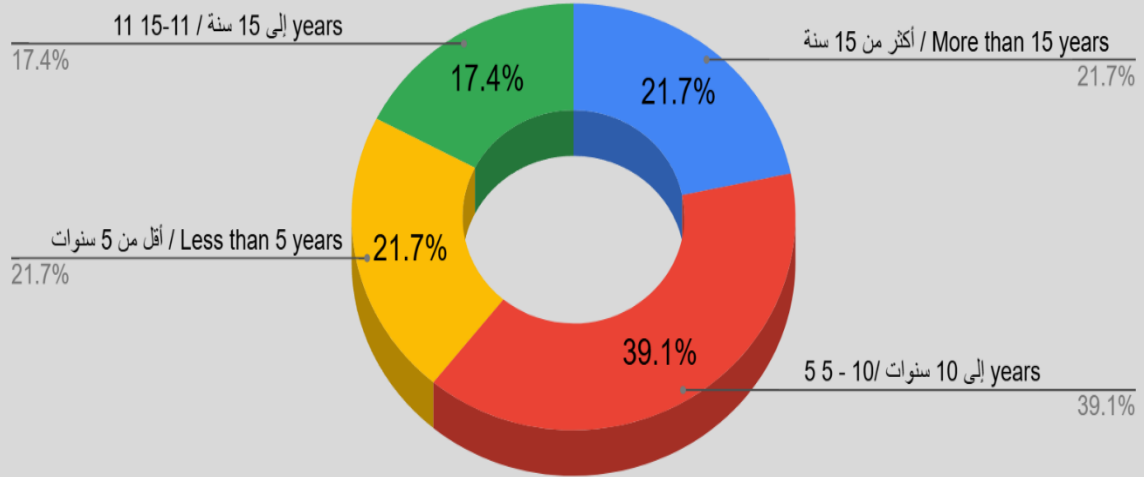
- التكرارات والنسب المئوية: (Frequencies & Percentages) لوصف خصائص أفراد عينة الدراسة (المتغيرات الديموغرافية والمهنية) وتوزيعهم.

وقد تم الحصول على 146 استبانة وبعد الفحص والتدقيق تم اعتماد 138 استبانة صالحة وكان توزيعها الديموغرافي كما يلي:



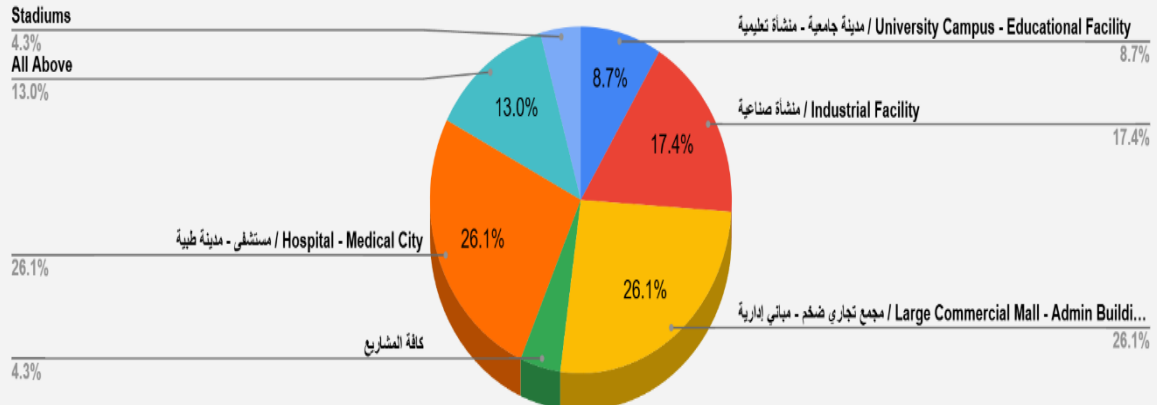
رسم توضيحي 1 توزيع العينة حسب المسمى الوظيفي

سنوات الخبرة العملية في إدارة المرافق أو الأنظمة / Years of Experience in FM or Systems



رسم توضيحي 2 - توزيع العينة حسب سنوات الخبرة

نوع المنشأة التي تشرفون على تشغيلها Type of Facility you manage/operate



رسم توضيحي 3 - نوع المنشأة المرتبطة بالعينة

- المتوسطات الحسابية: (Means) لتحديد مدى موافقة أفراد العينة على كل عبارة من عبارات المحاور، وترتيب الأبعاد تنازلياً حسب مستوى الأهمية والممارسة.

- الانحرافات المعيارية (Standard Deviations) لقياس مدى تشتت استجابات أفراد العينة عن متوسطها الحسابي، مما يعكس مدى التوافق أو التباين في الآراء.

الإحصاء الاستدلالي واختبار الفرضيات: (Inferential Statistics)

- معامل ارتباط بيرسون (Pearson Correlation Coefficient) لقياس قوة واتجاه العلاقة الارتباطية بين المتغيرات المستقلة) تبني تقنيات IoT وأنظمة الأتمتة (والمغيرات التابعة) مؤشرات الكفاءة التشغيلية والمالية).
- تحليل الانحدار الخطي البسيط والمتعدد (Simple & Multiple Linear Regression) لقياس "الأثر" والتنبؤ بنسبة التحسن في الكفاءة التشغيلية (التابع) الناتجة عن التغير في مستويات الاعتماد على الأنظمة الذكية (المستقل).
- تحليل التباين الأحادي (One-Way ANOVA) واختبار (T-test) للتحقق مما إذا كانت هناك فروق ذات دلالة إحصائية في استجابات العينة تُعزى لمتغيراتهم المهنية (مثل: سنوات الخبرة، أو نوع المنشأة).

ثانياً: أساليب تحليل البيانات النوعية (Qualitative Data Analysis)

نظراً لكون المقابلات شبه المقننة مصدراً للبيانات اللفظية والنصية المعقدة، سيتم تحليل مخرجاتها بالاعتماد على أسلوب التحليل الموضوعي (Thematic Analysis) عبر الخطوات التالية:

1. التفرغ النصي (Transcription) تحويل التسجيلات الصوتية والملاحظات الميدانية للمقابلات إلى نصوص مكتوبة.
2. التكويد واستخلاص المحاور (Coding & Theming) قراءة النصوص وتصنيفها في قوالب موضوعية رئيسية (Theme Extraction) مثل: (التحديات التقنية لبروتوكولات الربط، العوائق المالية، الفجوة في مهارات الكوادر البشرية، وأفضل الممارسات المحلية).
3. الدمج والتفسير (Integration & Interpretation) توظيف هذه الاستخلاصات النوعية لتفسير ودعم النتائج الرقمية الشاذة أو المعقدة التي أسفرت عنها التحليلات الإحصائية في المرحلة الكمية (Triangulation of Data).

الفصل الرابع

النتائج والتوصيات

مقدمة:

يتناول هذا الفصل عرضاً تفصيلياً لنتائج الدراسة الميدانية التي تهدف إلى قياس "أثر الاعتماد على تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) وأنظمة الأتمتة في تحسين الكفاءة التشغيلية للمرافق في المملكة العربية السعودية". ولتحقيق أهداف الدراسة والإجابة عن تساؤلاتها، تم استخدام الرزم الإحصائية للعلوم الاجتماعية (SPSS) لمعالجة البيانات الكمية المستخرجة من أداة الدراسة (الاستبيان).

وقد تم تقسيم هذا الفصل بشكل منهجي إلى عدة مباحث؛ يتناول المبحث الأول التحليل الوصفي للخصائص الديموغرافية والمهنية لعينة الدراسة، بينما يستعرض المبحث الثاني تحليل استجابات أفراد العينة على محاور الدراسة (المتغيرات المستقلة والتابعة). وفي المبحث الثالث، يتم استعراض نتائج التحليل النوعي للمقابلات المعمقة، ليختتم الفصل بمناقشة النتائج وربطها بالدراسات السابقة.

المبحث الأول: التحليل الوصفي للخصائص الديموغرافية والمهنية لعينة الدراسة

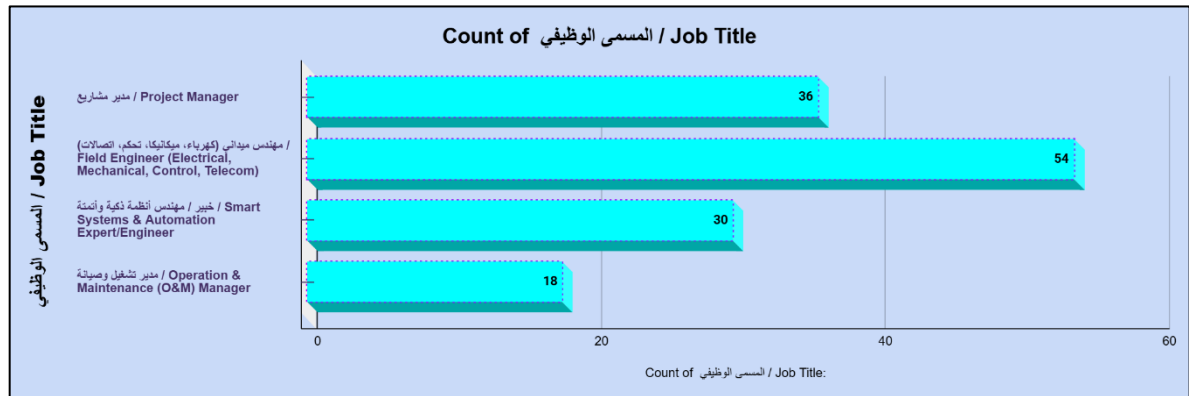
لتعرف على طبيعة عينة الدراسة ومدى تمثيلها لمجتمع البحث، تم استخراج التكرارات والنسب المئوية للمتغيرات التصنيفية (المسمى الوظيفي، سنوات الخبرة العملية، ونوع المنشأة)، وجاءت النتائج على النحو الآتي:

1. توزيع أفراد العينة حسب (المسمى الوظيفي):

يوضح الجدول رقم (1) التوزيع التكراري والنسبي لأفراد العينة وفقاً لمتغير المسمى الوظيفي:

المسمى الوظيفي	التكرار	النسبة المئوية
مدير مشاريع / Project Manager	36	21.10%
مهندس ميداني (كهرباء، ميكانيكا، تحكم، اتصالات) / Field Engineer (Electrical, Mechanical, Control, Telecom)	54	39.10%
خبير / مهندس أنظمة ذكية وأتمتة Smart Systems & / Automation Expert/Engineer	30	21.70%
مدير تشغيل وصيانة / & Operation Maintenance (O&M) Manager	18	13%

جدول 1 - توزيع العينة حسب المسمى الوظيفي



رسم توضيحي 4

يتضح من الجدول والشكل البياني أعلاه تنوعاً مهنيًا وإداريًا عالياً بين أفراد العينة. فقد ضمت العينة نسبة ملحوظة من (المهندسين الميدانيين) بلغت (39.1%)، إلى جانب (مديري المشاريع) بنسبة (21.1%). واللافت هو مشاركة فئات القيادة التشغيلية والتقنية الدقيقة، مثل (مديري التشغيل والصيانة O&M) بنسبة (13%)، و(خبراء ومهندسي الأنظمة الذكية والأتمتة) بنسبة (21.7%).

دلالة النتيجة:

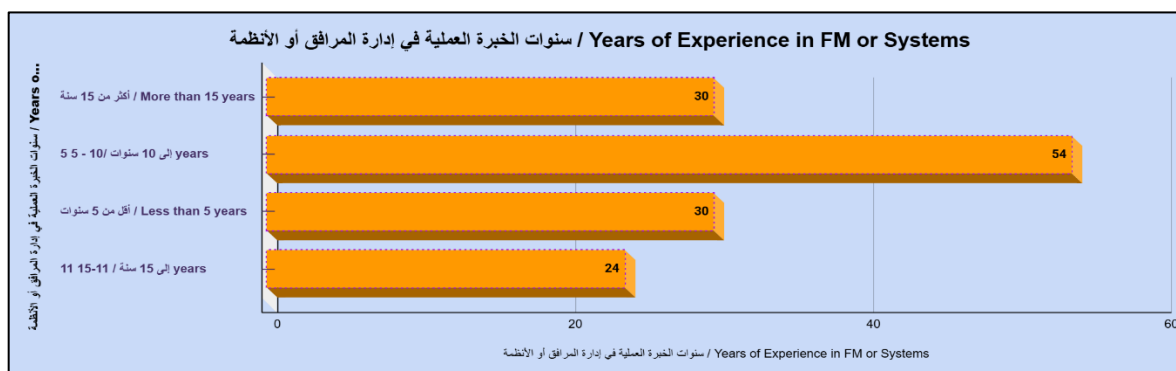
يعكس هذا التوزيع الشامل قوة وموثوقية استثنائية في استجابات العينة؛ حيث جمعت الدراسة بين "الرؤية الاستراتيجية والمالية" (مديرو المشاريع والتشغيل)، و"الرؤية الفنية والتقنية الميدانية" (خبراء الأتمتة والمهندسون). وهذا المزيج يعتبر ضرورياً جداً لتقييم أثر تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) التي تتطلب تقاطعاً بين الهندسة والإدارة.

2. توزيع أفراد العينة حسب (سنوات الخبرة العملية):

يوضح الجدول رقم (2) التوزيع التكراري والنسبي لأفراد العينة وفقاً لمتغير سنوات الخبرة في قطاع إدارة المرافق:

سنوات الخبرة	التكرار	النسبة المئوية
أقل من 5 سنوات	30	21.70%
من 5 إلى 10 سنوات	54	39.10%
من 11 إلى 15 سنة	24	17.40%
أكثر من 15 سنة	30	21.70%

جدول 2- توزيع العينة حسب سنوات الخبرة



رسم توضيحي 5

تشير البيانات إلى أن غالبية أفراد العينة يمتلكون خبرة عملية تتراوح بين (5 إلى 10 سنوات) بنسبة بلغت (39.1%)، بينما جاءت فئة الخبراء الذين تتراوح خبرتهم بين (11 إلى 15 سنة) بنسبة (17.4%)، بينما تقاسمت الفئتين (المخضمة بأكثر من 15 سنة خبرة) والجيل الجديد (بسنوات خبرة أقل من 5 سنوات) النسبة المتبقية بما يقارب (21%) لكل منهما.

دلالة النتيجة:

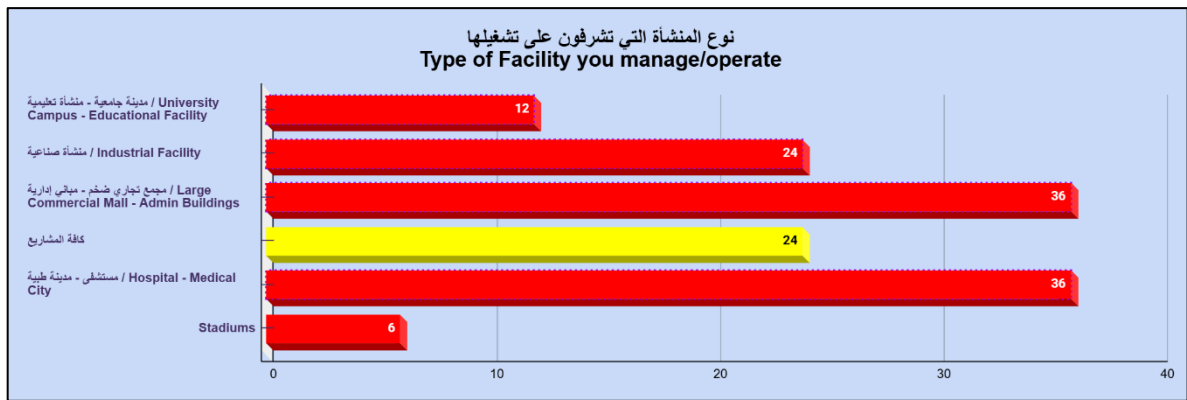
تُعد هذه النتيجة مؤشراً إيجابياً جداً لصالح البحث؛ إذ تؤكد أن البيانات جُمعت من فئة تمتلك نضجاً مهنيًا وخبرة تراكمية عالية في تشغيل الأنظمة المعقدة. هذه الفئات تحديداً عاصرت مرحلة الانتقال التدريجي من "إدارة المرافق التقليدية" إلى "إدارة المرافق الذكية المؤتمتة"، مما يضفي مصداقية ميدانية عالية على تقييمهم للعوائد والتحديات.

3. توزيع أفراد العينة حسب (نوع المنشأة):

يوضح الجدول رقم (3) طبيعة المنشآت الحيوية التي يُشرف أفراد العينة على تشغيلها:

نوع المنشأة	التكرار	النسبة المئوية
مستشفى – مدينة طبية	36	26.09%
مجمع تجاري ضخّم – مباني إدارية	36	26.09%
مدينة جامعية – منشأة تعليمية	12	8.70%
منشأة صناعية	24	17.39%
كافة أنواع المشاريع	24	17.39%
استادات رياضية	6	4.35%

جدول 3 - نوع المنشأة



رسم توضيحي 6 - توزيع العينة حسب نوع المنشأة

أظهرت النتائج تنوعاً كبيراً في طبيعة بيئات العمل، حيث شملت العينة (المجمعات التجارية الضخمة والمباني الإدارية) بنسبة (26.09%)، و(المستشفيات والمدن الطبية) بنسبة مقاربة (26.09%)، بالإضافة إلى قطاعات حيوية أخرى ك (المدن الجامعية والمرافق التعليمية) بنسبة (8.70%)، و(المنشآت الصناعية) بنسبة (17.39%). وشهدت العينة مشاركة من مهندسين بخبرات متنوعة وليست محدودة لمنشأة من نوع محدد حيث أتى تصنيف من عملوا بجميع أنواع المشاريع المذكورة بنسبة (17.39%). ومع اتجاه المملكة لاستضافة بطولات رياضية عالمية في قادم السنوات برزت عينة مرافق الاستادات الرياضية كمنشآت حيوية وكانت مشاركة المعنيين منها بنسبة (4.35%).

دلالة النتيجة:

يُبرز هذا التوزيع انسجام العينة التام مع أهداف الدراسة، حيث تعتبر هذه المرافق من أعلى المنشآت تعقيداً واستهلاكاً للطاقة، وتتطلب تشغيلاً مستمراً (7/24) دون أعطال. وبالتالي، فإن تقييم هذه العينة لأثر الأنظمة الذكية يعكس التحديات والحلول الحقيقية في بيئات عمل حساسة ومتنوعة لا تحتمل الفشل التشغيلي.

المبحث الثاني: التحليل الإحصائي لمتغيرات الدراسة (البيانات الكمية)

يهدف هذا المبحث إلى عرض وتحليل استجابات أفراد عينة الدراسة على عبارات الاستبيان، وذلك استناداً إلى مقياس ليكرت الخماسي. ولتفسير النتائج، تم الاعتماد على المعيار الإحصائي التالي لتحديد (مستوى الموافقة) بناءً على المتوسط الحسابي:

- من 1.00 إلى 1.79: (موافق بشدة)
- من 1.80 إلى 2.59: (غير موافق)
- من 2.60 إلى 3.39: (محايد)
- من 3.40 إلى 4.19: (موافق)
- من 4.20 إلى 5.00: (موافق بشدة)

أولاً: تحليل المحور الأول (مستوى تبني وتطبيق تقنيات إنترنت الأشياء وأنظمة الأتمتة)

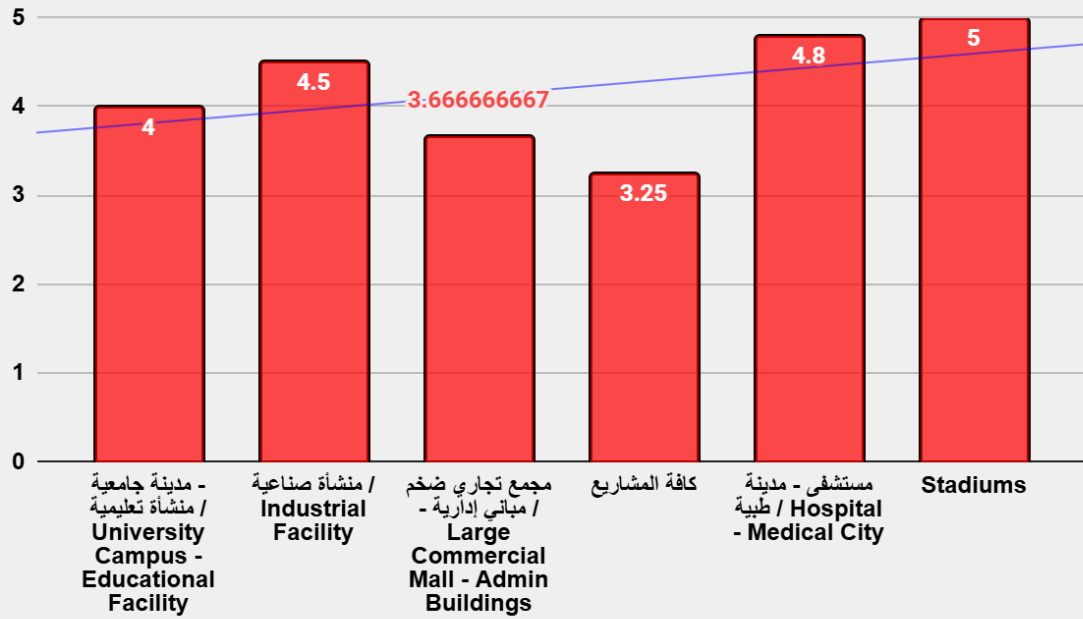
يغطي هذا المحور العبارات التي تقيس مدى الجاهزية التقنية وتوفر البنية التحتية الذكية في المرافق، ويوضح الجدول رقم (4) المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لاستجابات العينة:

رقم	العبرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الترتيب	مستوى الموافقة
1	تعتمد المنشأة على مستشعرات إنترنت الأشياء (IoT) لجمع البيانات التشغيلية للمعدات بشكل لحظي	4.09	1.28	3	موافق
2	يوجد تكامل فعلي وربط مركزي بين نظام (BMS) وأنظمة التكييف (HVAC).	4.35	1.38	1	موافق بشدة
3	تُطبق المنشأة أنظمة إضاءة ذكية متكيفة تعتمد على بروتوكولات الأتمتة (KNX).	3.65	1.21	6	موافق
4	تتوفر لوحات تحكم تفاعلية (Dashboards) تتيح لفريق التشغيل مراقبة أداء كافة المرافق عن بُعد.	3.99	1.35	5	موافق
5	تدعم البنية التحتية التقنية للمرفق إضافة أو دمج أجهزة ذكية جديدة بمرونة عالية (Scalability).	4.00	1.36	4	موافق

موافق	2	1.33	4.13	تتم مراقبة والتحكم في أنظمة الضخ وشبكات المياه آلياً عبر أنظمة التحكم الذكي.	6
موافق	7	1.31	3.65	تُستخدم المنصات السحابية (Cloud Platforms) لتخزين، ومعالجة، وتحليل بيانات تشغيل المرفق	7
محايد	8	1.47	3.35	تشمل أنظمة الأتمتة دمج أنظمة السلامة والأمان (ككاميرات المراقبة وإنذار الحريق) مع التحكم المركزي.	8

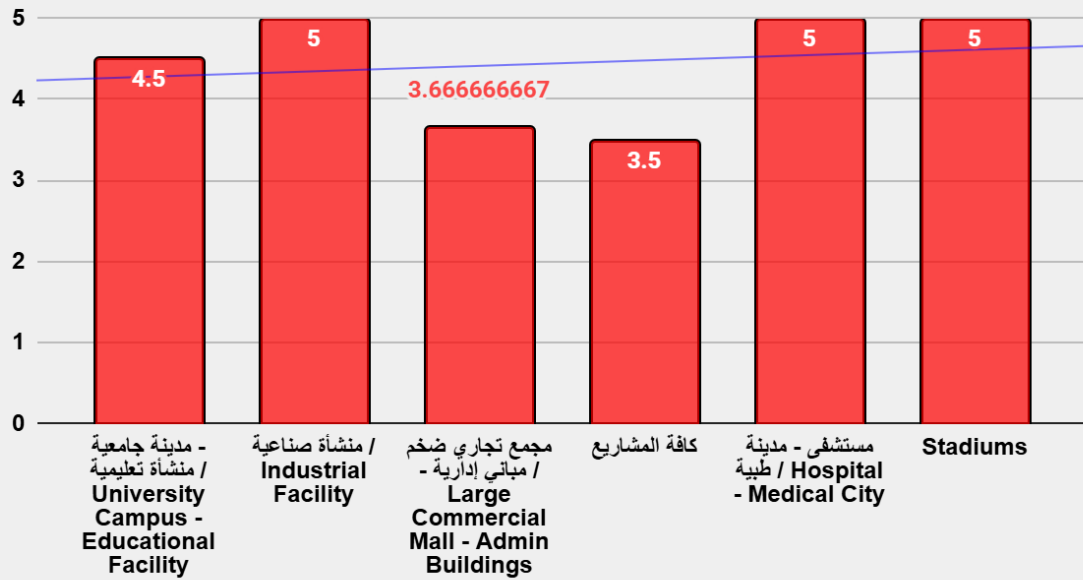
جدول 4 - تحليل المحور الأول

عبارة 1 : تعتمد المنشأة على مستشعرات إنترنت الأشياء
لجمع البيانات التشغيلية للمعدات بشكل لحظي (IoT)



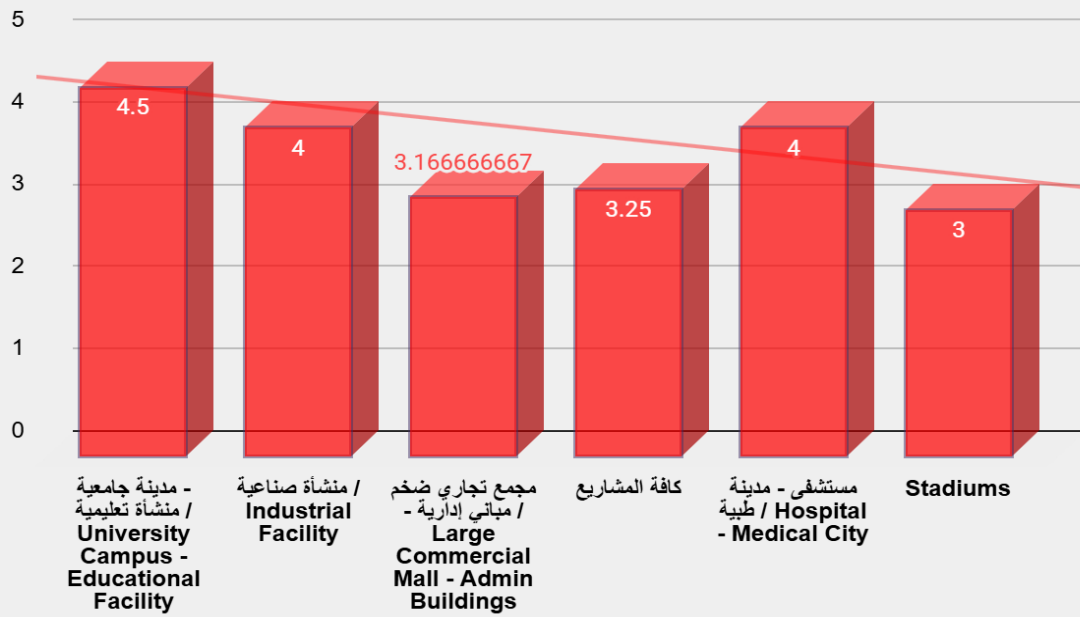
رسم توضيحي 7 - عبارة 1

عبارة 2 : يوجد تكامل فعلي وربط مركزي بين نظام إدارة المباني (BMS) وأنظمة التكييف والتهوية (HVAC)



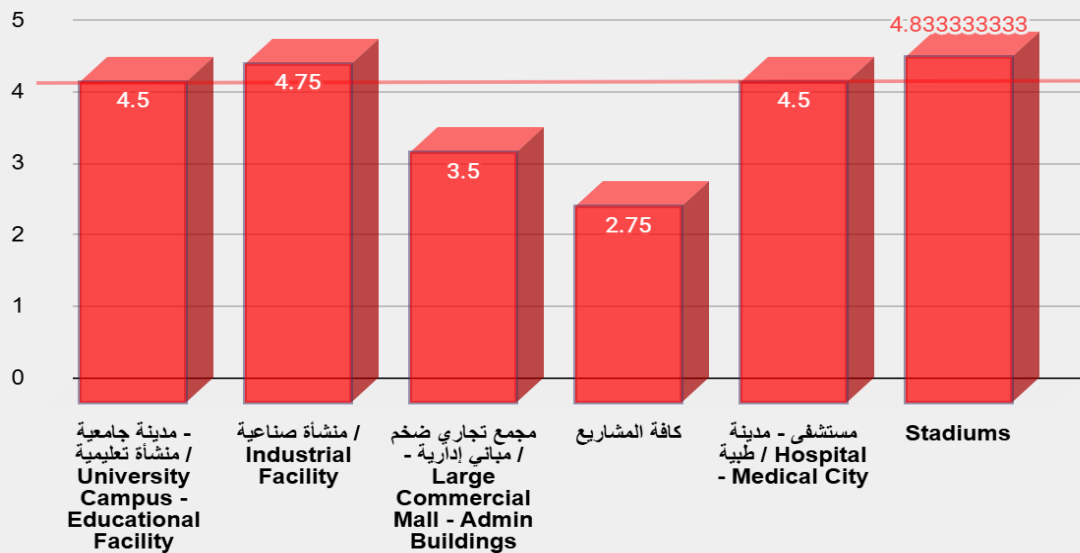
رسم توضيحي 8 - عبارة 2

عبارة 3 تُطبق المنشأة أنظمة إضاءة ذكية متكيفة تعتمد على بروتوكولات الأتمتة مثل (KNX) المتقدمة .



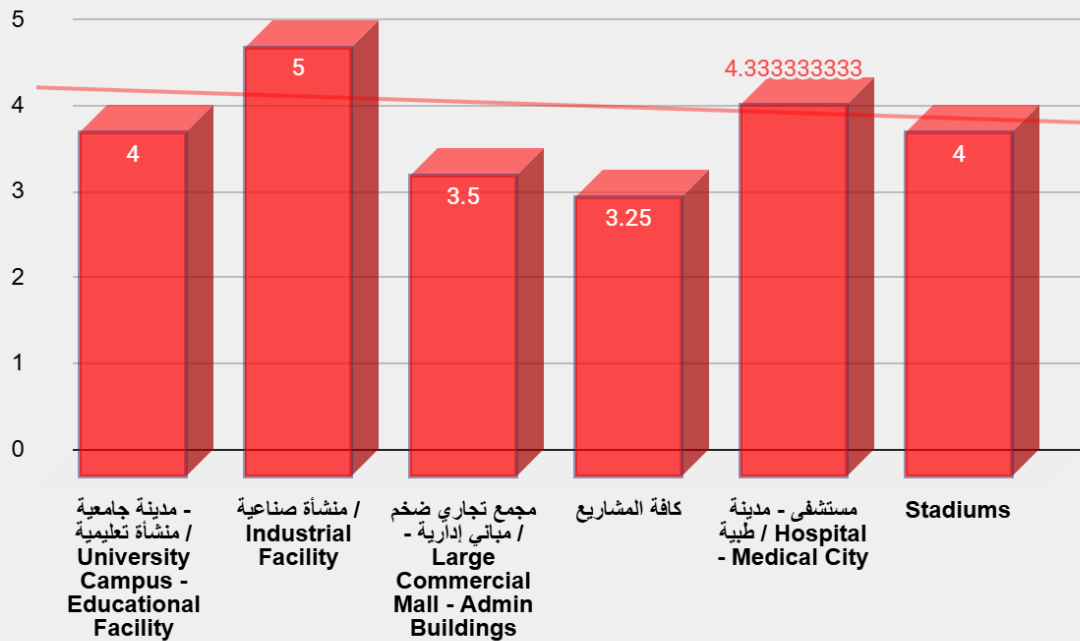
رسم توضيحي 9 - عبارة 3

عبارة 4 تتوفر لوحات تحكم تفاعلية (Dashboards) .
تتيح لفريق التشغيل مراقبة أداء كافة المرافق عن بُعد .



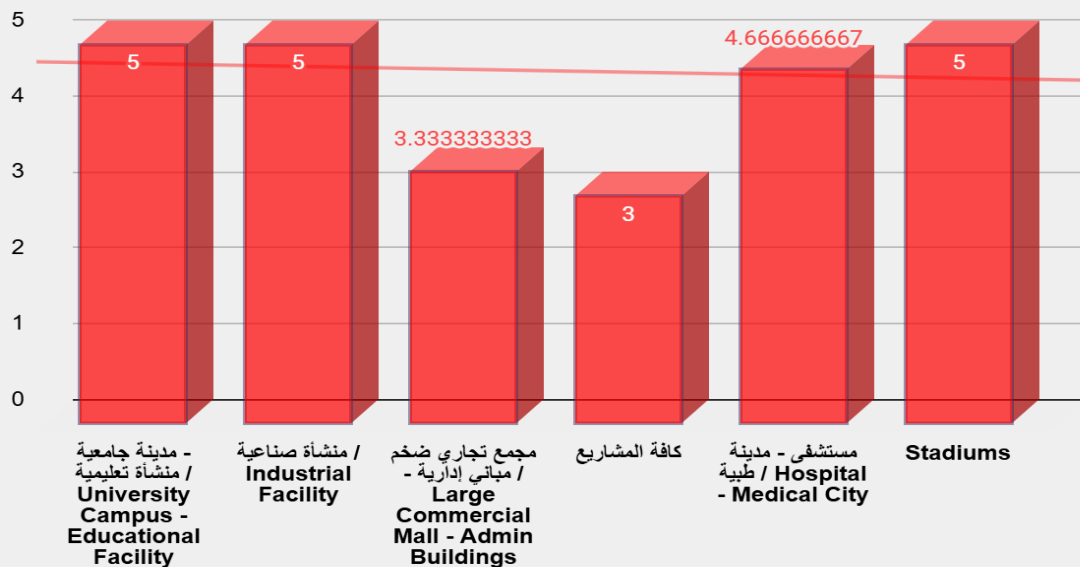
رسم توضيحي 10 - عبارة 4

عبارة 5 تدعم البنية التحتية التقنية للمرفق إضافة أو دمج أجهزة ذكية جديدة بمرونة عالية (Scalability).



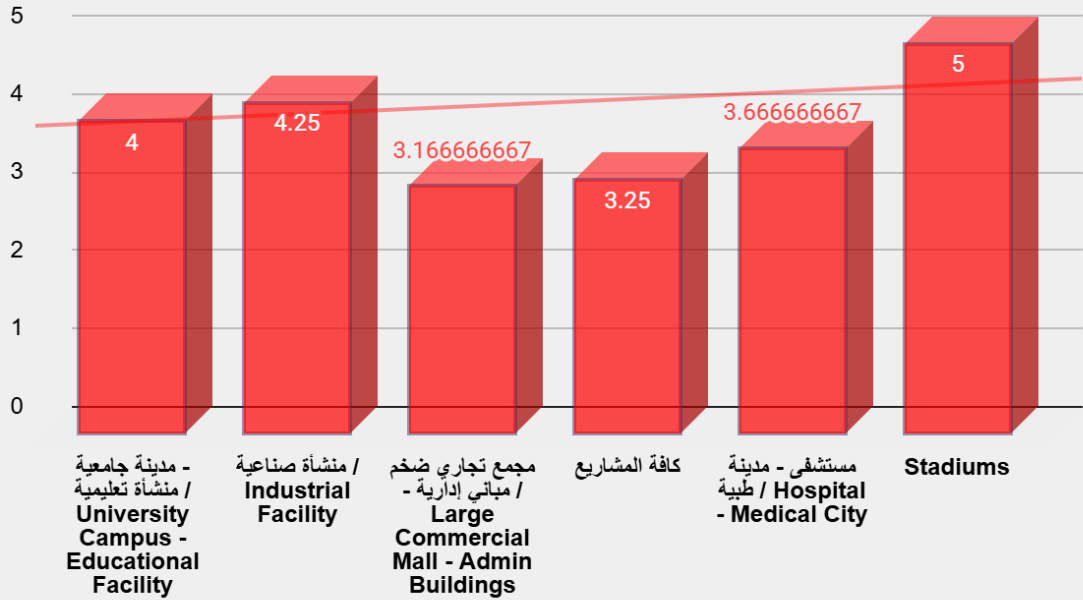
رسم توضيحي 11 - عبارة 5

عبارة 6 تتم مراقبة والتحكم في أنظمة الضخ وشبكات المياه آلياً عبر أنظمة التحكم الذكي.



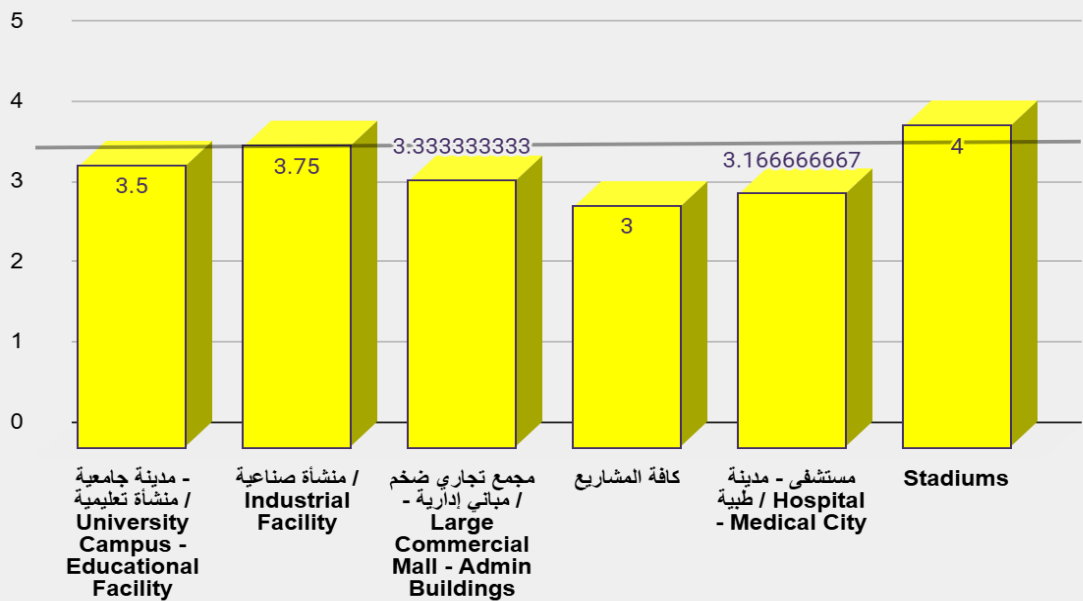
رسم توضيحي 12 - عبارة 6

عبارة 7 تُستخدم المنصات السحابية
(Cloud Platforms)
لتخزين، ومعالجة، وتحليل بيانات تشغيل المرفق



رسم توضيحي 13 - عبارة 7

عبارة 1 تشمل أنظمة الأتمتة دمج أنظمة السلامة والأمان (ككاميرات المراقبة وإنذار الحريق) مع التحكم المركزي



رسم توضيحي 14 - عبارة 8

الملاحظات الوصفية والتحليل (للمحور الأول):

من خلال استقراء النتائج الواردة في الجدول أعلاه، يتضح أن هناك توجهاً إيجابياً عاماً نحو تبني تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) وأنظمة الأتمتة في المنشآت قيد الدراسة، حيث تراوحت استجابات العينة بين درجتي (موافق) و(موافق بشدة). ويمكن تفصيل أبرز دلالات هذه النتائج على النحو الآتي:

1. الأولوية للأنظمة الحيوية كثيفة الاستهلاك :

تصدرت العبارة المتعلقة بوجود تكامل فعلي وربط مركزي بين نظام BMS وأنظمة التكييف HVAC المرتبة الأولى بمتوسط حسابي بلغ (4.35) وبدرجة (موافق بشدة). تعكس هذه النتيجة الواقع العملي لإدارة المرافق في المملكة العربية السعودية؛ حيث تستحوذ أنظمة التكييف على النصيب الأكبر من استهلاك الطاقة، مما يجعل أتمتتها وربطها مركزياً أولوية قصوى للمنشآت لتقليل الهدر المالي. تلتها في المرتبة الثانية أتمتة (أنظمة الضخ وشبكات المياه) بمتوسط (4.13)، وهو ما يؤكد التركيز على الموارد الأساسية (الهواء والماء).

2. الجاهزية التقنية الجيدة (البنية التحتية والمستشعرات) :

جاءت العبارات المتعلقة باعتماد المنشأة على مستشعرات IoT لجمع البيانات اللحظية و مرونة البنية التحتية Scalability لدمج أجهزة جديدة في المراتب الثالثة والرابعة بمتوسطات (4.09) و (4.00) على التوالي وبدرجة (موافق). هذا المؤشر يُعد مطمئناً، ويدل على أن البنية التحتية الحالية للمرافق الكبرى تمتلك مرونة جيدة وقابلية للتوسع التقني مستقبلاً.

3. فجوة في التحليل السحابي والأنظمة الفرعية :

في المقابل، سجلت العبارة المتعلقة باستخدام المنصات السحابية Cloud Platforms لتخزين وتحليل البيانات (والعبارة الخاصة بأنظمة الإضاءة الذكية KNX أقل المتوسطات الحسابية في هذا المحور بمتوسط بلغ (3.65) لكليهما .

حيث يُشير هذا الانخفاض النسبي إلى أن المنشآت الحالية بارعة في "جمع" البيانات ومراقبتها عبر أنظمة BMS التقليدية ، لكنها لا تزال متأخرة نسبياً في خطوة "التحليل المتقدم" باستخدام الحوسبة السحابية (Cloud Analytics). كما أن الاعتماد على أنظمة الإضاءة المتكيفة لا يزال يُعتبر أولوية ثانوية مقارنة بأنظمة التكييف المركزية.

ملاحظة منهجية:

الانحراف المعياري المرتفع نسبياً في معظم العبارات والذي يتجاوز 1.20، يشير إلى وجود تباين واختلاف بين استجابات العينة، وهو أمر مبرر نظراً لاختلاف قدرات وميزانيات المنشآت التي يعملون بها، فالمستشفيات والمجمعات الضخمة تختلف عن المنشآت الصناعية والإدارية.

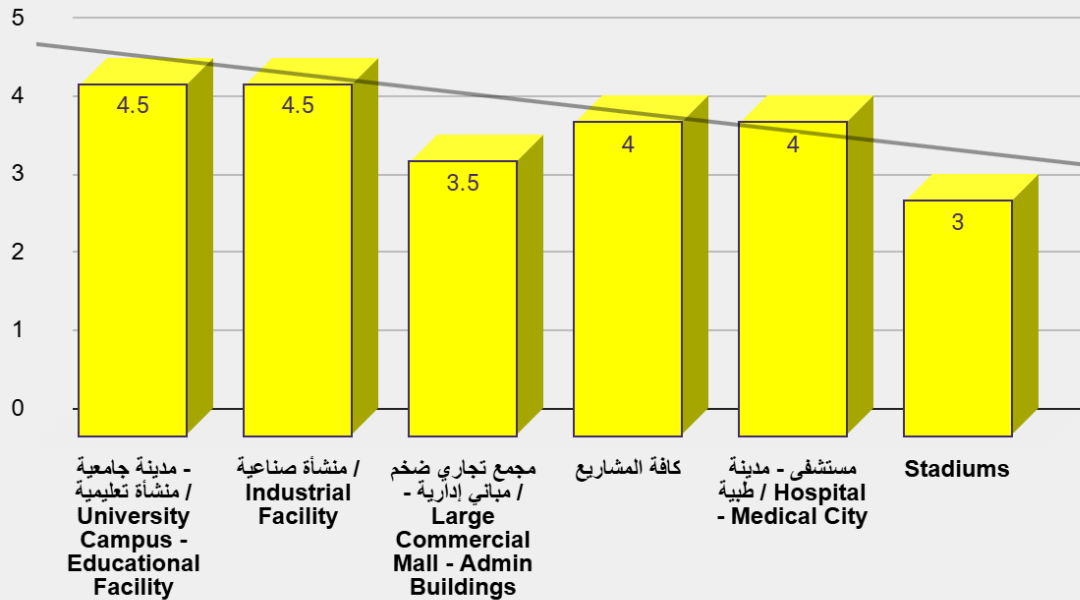
ثانياً: تحليل المحور الثاني (أثر الأنظمة الذكية في ترشيد الطاقة وتقليل النفقات)

يهدف هذا المحور إلى قياس الأثر المالي والتشغيلي المباشر لاعتماد تقنيات الأتمتة وإنترنت الأشياء (IoT) في بيئات عمل مختلفة. يوضح الجدول رقم (5) الاستجابات التحليلية لهذا المحور:

رقم	العبارة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الترتيب	مستوى الموافقة
1	ساهمت الأنظمة الذكية بشكل ملموس في خفض معدلات الاستهلاك الشهري للطاقة الكهربائية للمرفق	4	1.2	5	موافق
2	تدعم الأنظمة الذكية جدولة الاستهلاك بفعالية لتسطيح أوقات الذروة (Peak Shaving)، مما يقلل الفواتير.	3.96	1.24	7	موافق
3	يعمل التحكم الآلي لأنظمة التكيف على القضاء على الهدر الطاقى خلال أوقات انخفاض إشغال المبنى	4.17	1.21	2	موافق
4	أدى الاعتماد على أنظمة المراقبة الذكية إلى تقليص الحاجة للجولات الميدانية اليدوية وتخفيض تكاليف العمالة	4.00	1.22	6	موافق
5	التعديل التلقائي للإضاءة (بناءً على الحركة والضوء الطبيعي) يحقق وفورات مالية واضحة للمنشأة	3.87	1.27	8	موافق
6	تساعد التحليلات المستخرجة من أجهزة (IoT) في الاكتشاف المبكر لتسربات الطاقة أو الهدر المخفي	4.04	1.24	4	موافق
7	انخفضت النفقات التشغيلية الإجمالية (OPEX) للمرفق بشكل ملحوظ بعد تطبيق أنظمة الأتمتة والتحكم	4.13	1.16	3	موافق
8	تلعب التنبيهات الآلية (Automated Alerts) دوراً جوهرياً في منع حدوث أعطال كبرى مكلفة مالياً	4.22	1.18	1	موافق بشدة

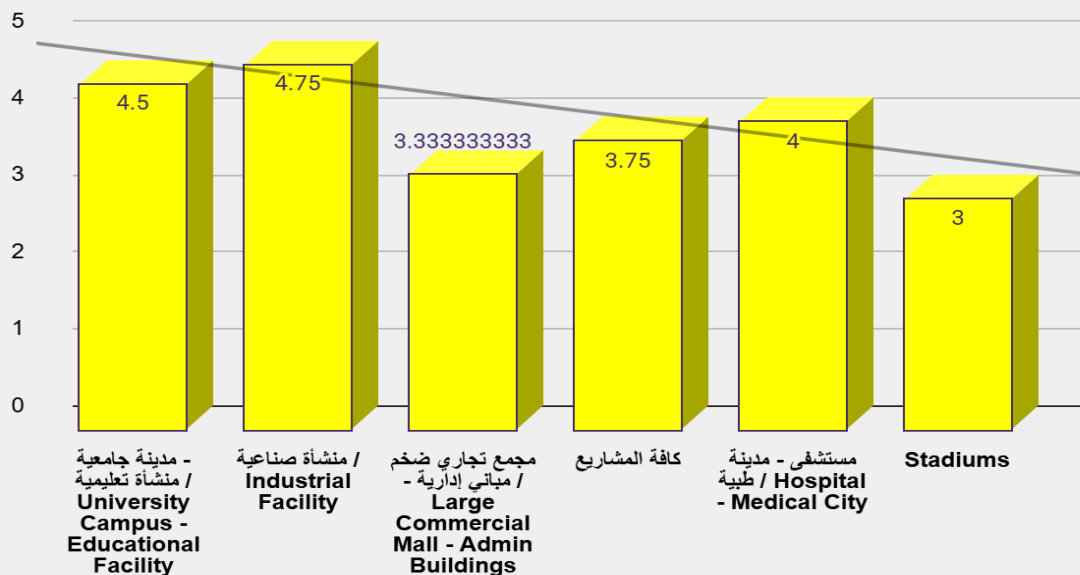
جدول 5 - تحليل المحور الثاني

عبارة 1 تدعم الأنظمة الذكية جدولة الاستهلاك بفعالية لتسطيح أوقات الذروة (Peak Shaving)، مما يقلل الفواتير



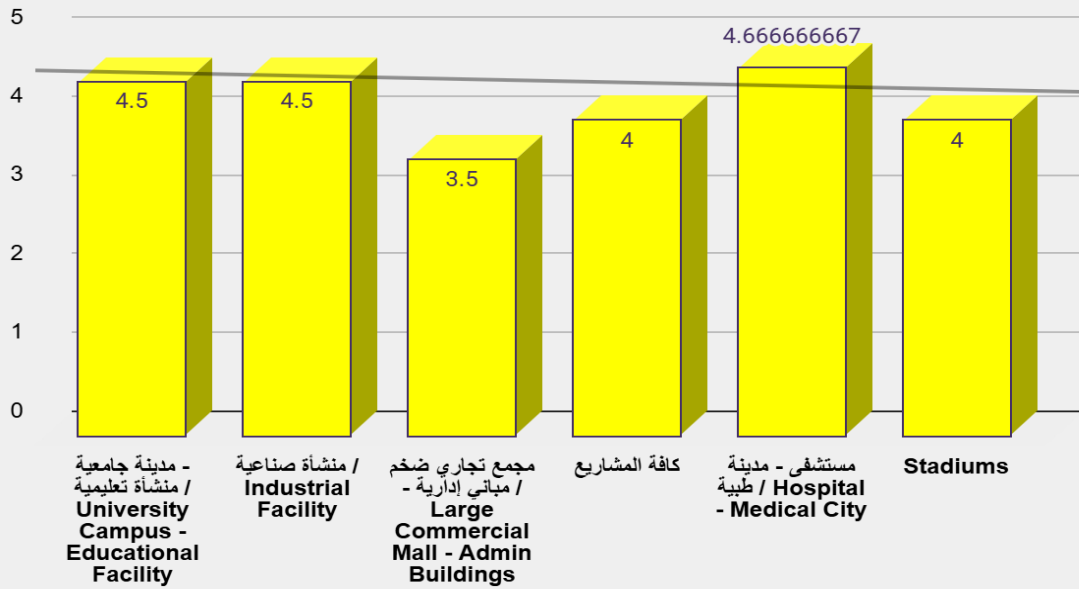
رسم توضيحي 15 - عبارة 2/1

عبارة 2 ساهمت الأنظمة الذكية بشكل ملموس في خفض معدلات الاستهلاك الشهري للطاقة الكهربائية للمرفق



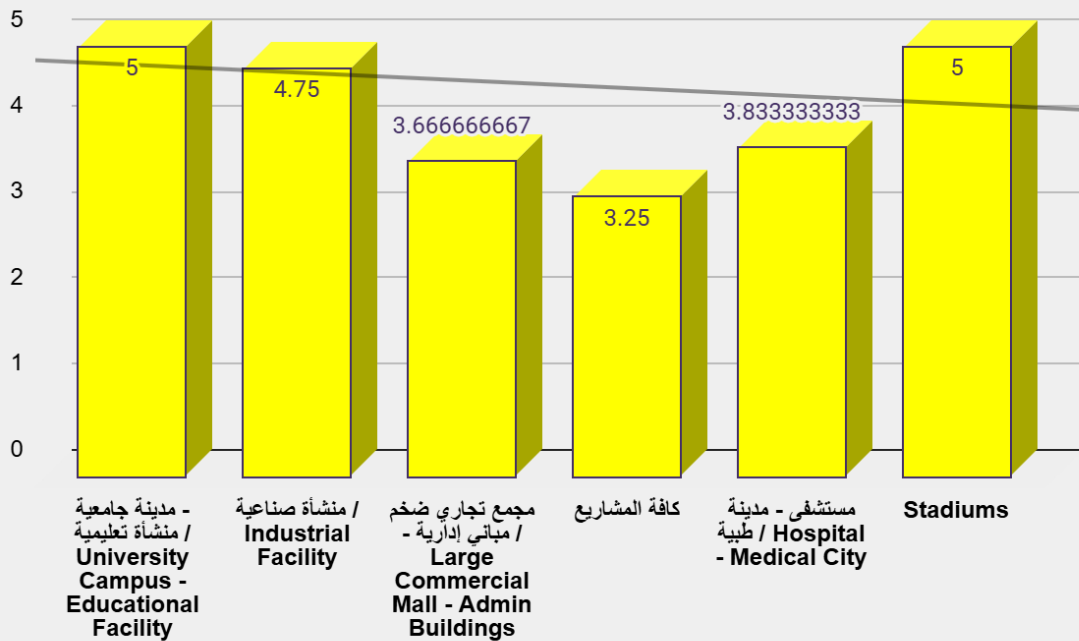
رسم توضيحي 16 - عبارة 2/2

عبارة 3 يعمل التحكم الآلي لأنظمة التكييف على القضاء على الهدر الطاقى خلال أوقات انخفاض إشغال المبنى



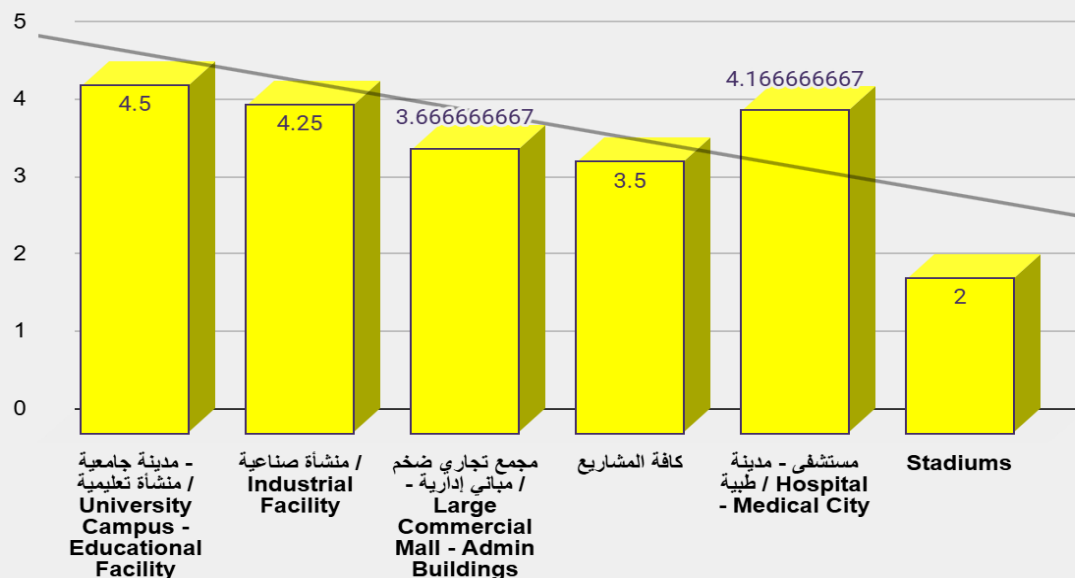
رسم توضيحي 17 - عبارة 2/3

عبارة 4 أدى الاعتماد على أنظمة المراقبة الذكية إلى تقليص الحاجة للجولات الميدانية اليدوية وتخفيض تكاليف العمالة



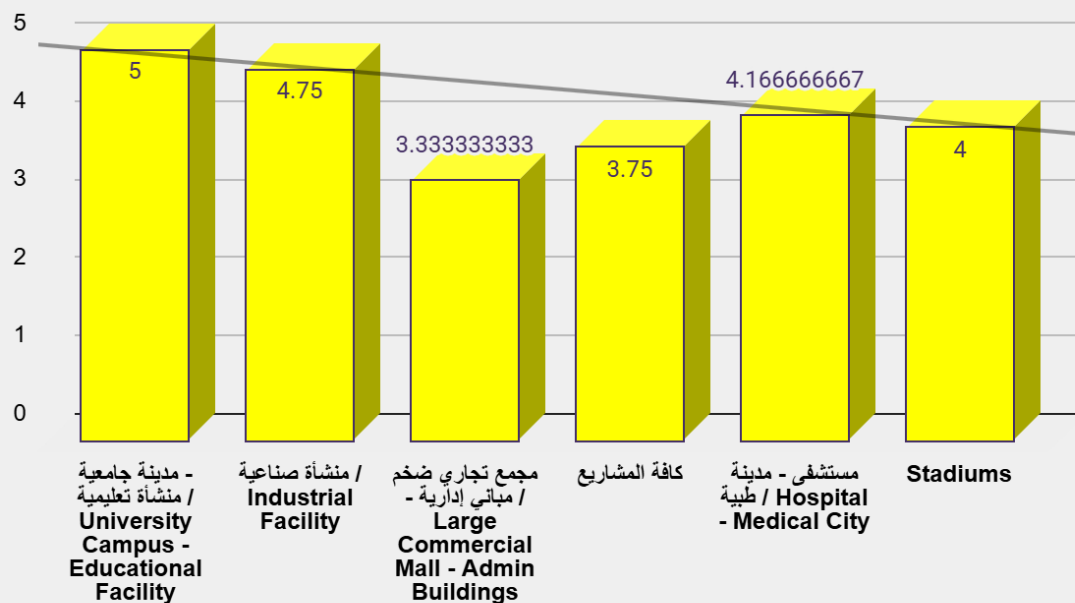
رسم توضيحي 18 - عبارة 2/4

عبارة 5 التعديل التلقائي للإضاءة (بناءً على الحركة والضوء الطبيعي) يحقق وفورات مالية واضحة للمنشأة



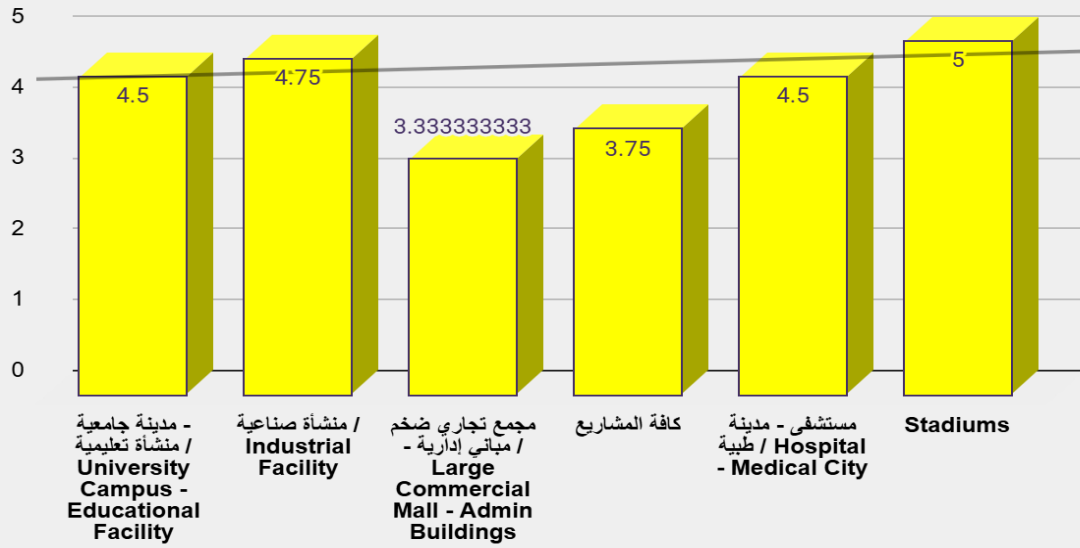
رسم توضيحي 19 - عبارة 2/5

عبارة 6 تساعد التحليلات المستخرجة من أجهزة (IoT) في الاكتشاف المبكر لتسريبات الطاقة أو الهدر المخفي



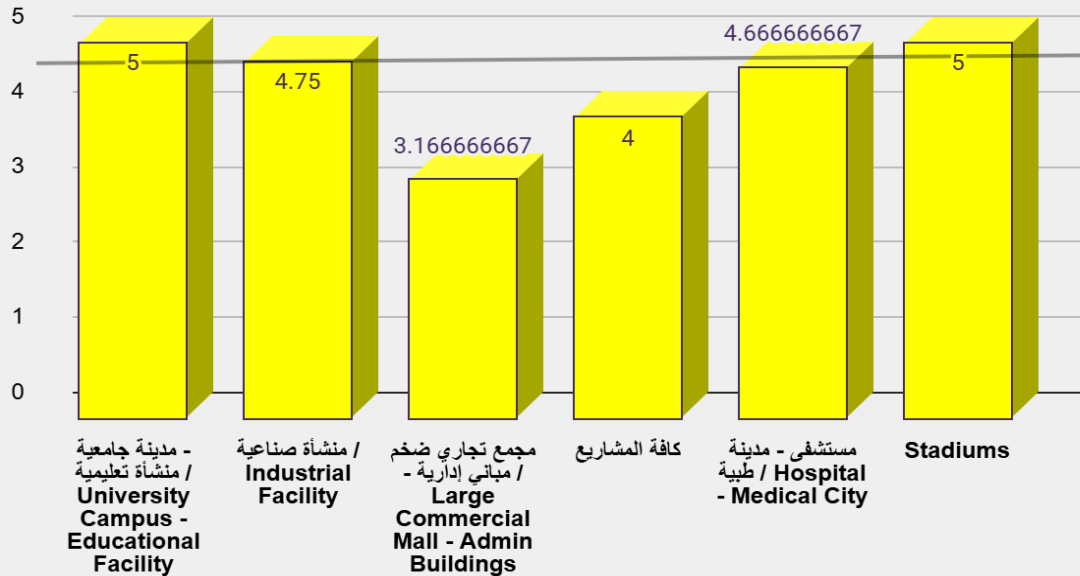
رسم توضيحي 20 - عبارة 2/6

عبارة 7 انخفضت النفقات التشغيلية الإجمالية
(OPEX)
للمرفق بشكل ملحوظ بعد تطبيق أنظمة الأتمتة والتحكم



رسم توضيحي 21 - عبارة 2/7

عبارة 8 تلعب التنبيهات الآلية
(Automated Alerts)
دوراً جوهرياً في منع حدوث أعطال كبرى مكلفة مالياً



رسم توضيحي 22 - عبارة 2/8

الملاحظات الوصفية والتحليل (للمحور الثاني):

تشير النتائج إلى وعي كبير لدى المختصين بالأثر الإيجابي للأنظمة الذكية، حيث جاءت أغلب العبارات بتقدير (موافق). ويمكن تلخيص دلالات هذه النتائج في النقاط التالية:

1. كفاءة أنظمة التكيف والتحكم في الهدر:

حققت العبارة المتعلقة بعمل التحكم الآلي للتكيف على القضاء على الهدر خلال أوقات انخفاض الإشغال المرتبة الثانية بمتوسط (4.17). وتعتبر هذه النتيجة مؤشراً جوهرياً على أن تطبيق أنظمة الأتمتة في البيئة السعودية يُحقق "توفيراً ذكياً" لا يعتمد على ترشيد الاستهلاك فقط، بل على "إدارة ذكية للحمل التشغيلي" بناءً على الاستخدام الفعلي للمبنى، وهو ما يفسر تقييمها المرتفع.

2. تحقيق الوفرة التشغيلي (OPEX):

سجلت العبارة الخاصة بانخفاض النفقات التشغيلية الإجمالية OPEX متوسطاً قدره (4.13) في المرتبة الثالثة. دلالة ذلك أن تطبيق تقنيات الـ IoT والتحكم الذكي قد تجاوز مرحلة "الرفاهية التقنية" ليصبح "خياراً اقتصادياً" ضرورياً لخفض تكاليف التشغيل طويلة الأمد، وهو ما يدعم فرضية الدراسة الأولى بوجود أثر إيجابي لتقنيات الأتمتة على التكاليف.

3. التحليل الاستباقي كعنصر حاسم:

جاءت عبارة (تساعد تحليلات IoT في الاكتشاف المبكر لتسريبات الطاقة) بمتوسط (4.04). هذا التقييم يعكس أهمية التحول من "رد الفعل" (الإصلاح بعد العطل) إلى "الاستباق" (الاكتشاف المبكر). ورغم أهميتها، إلا أن العبارة المتعلقة بـ (التعديل التلقائي للإضاءة) جاءت في الترتيب الأخير (3.87)، مما يوحي بأن الاهتمام بالإدارة الذكية لا يزال يأتي في مرتبة تالية لأتمتة أنظمة التكيف والمعدات الميكانيكية الكبرى.

4. دور التنبيهات الآلية في استمرارية الأعمال:

بالإضافة إلى ما سبق، سجلت العبارة المتعلقة بـ (تلعب التنبيهات الآلية دوراً جوهرياً في منع حدوث أعطال كبرى مكلفة مالياً) متوسطاً حسابياً مرتفعاً، مما يضعها في مرتبة متقدمة ضمن أولويات المشغلين.

خلاصة تحليلية

يظهر تقارب المتوسطات الحسابية (التي تتمركز حول 4) تجانساً في الرؤية بين المهندسين ومديري التشغيل حول أن الاستثمار في هذه الأنظمة هو استثمار رابح رغم التحديات. إن وجود انحراف معياري مقبول (حول 1.2) يؤكد أن هذا الأثر الإيجابي ليس مقتصرًا على نوع واحد من المنشآت، بل هو "اتجاه عام" لمست مختلف قطاعات المرافق (سواء كانت تجارية، صناعية، أو تعليمية).

هذه النتيجة تثبت أن "قيمة الأنظمة الذكية" لا تكمن فقط في توفير فواتير الطاقة (كما ذكرنا في النقاط السابقة)، بل تكمن في (إدارة المخاطر التشغيلية). فالتنبيهات الآلية التي ترسلها أنظمة IoT قبل حدوث العطل الفعلي تُجنب المنشأة خسائر فادحة قد تنتج عن توقف خطوط الإنتاج أو تعطيل خدمات المستشفيات.

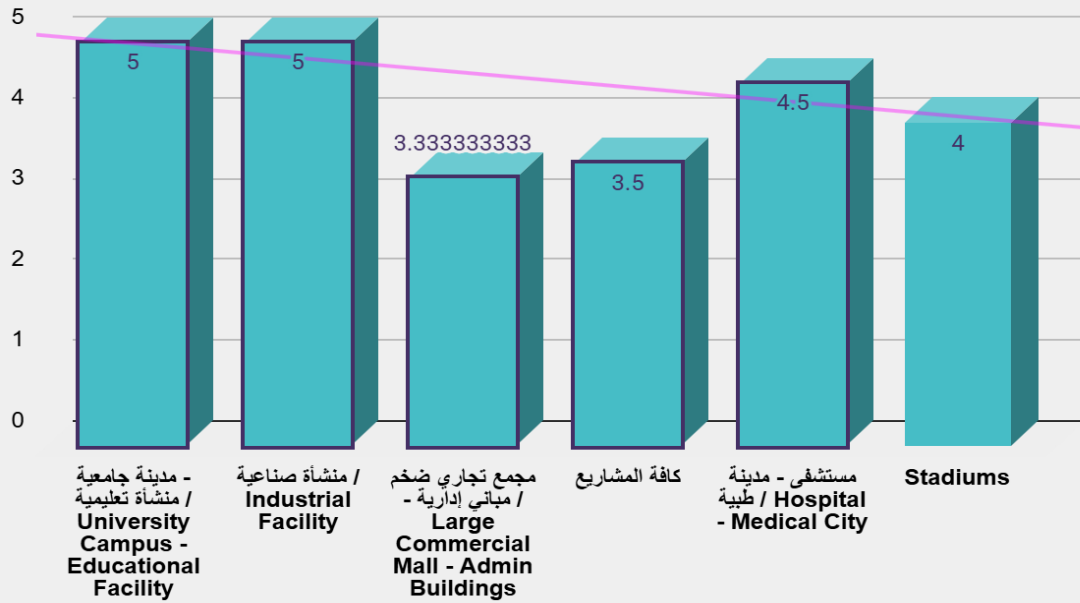
ثالثاً: تحليل المحور الثالث (أثر التكامل في تفعيل الصيانة التنبؤية وإدارة الأصول)

يركز هذا المحور على الجانب الهندسي المتقدم المرتبط بإطالة دورة حياة الأصول (Lifecycle Management):

رقم	العبرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الترتيب	مستوى الموافقة
1	تُستخدم البيانات اللحظية للمعدات (كالرطوبة والحرارة) بنجاح للتنبؤ بالأعطال قبل وقوعها	4.13	1.23	1	موافق
2	تُبنى جداول الصيانة لدينا بناءً على الحالة الفعلية للأصل (Condition-Based) وليس فقط على الزمن التقويمي.	3.87	1.20	6	موافق
3	أدى الربط الذكي للأنظمة إلى إطالة العمر الافتراضي للأصول الكهروميكانيكية الثقيلة (مثل المبردات/Chillers)	4.04	1.34	2	موافق
4	ساهمت تقنيات الصيانة التنبؤية في تقليص فترات التوقف المفاجئ (Downtime) بشكل جذري.	4.03	1.33	3	موافق
5	يتم تحسين وترشيد طلب مخزون قطع الغيار بناءً على التنبؤات الاستباقية الصادرة من نظام (BMS)	3.96	1.20	5	موافق
6	سهّل التكامل التقني الانتقال الناجح من ثقافة "الصيانة التفاعلية/الدورية" إلى "الصيانة التنبؤية" المتقدمة.	4.00	1.32	4	موافق

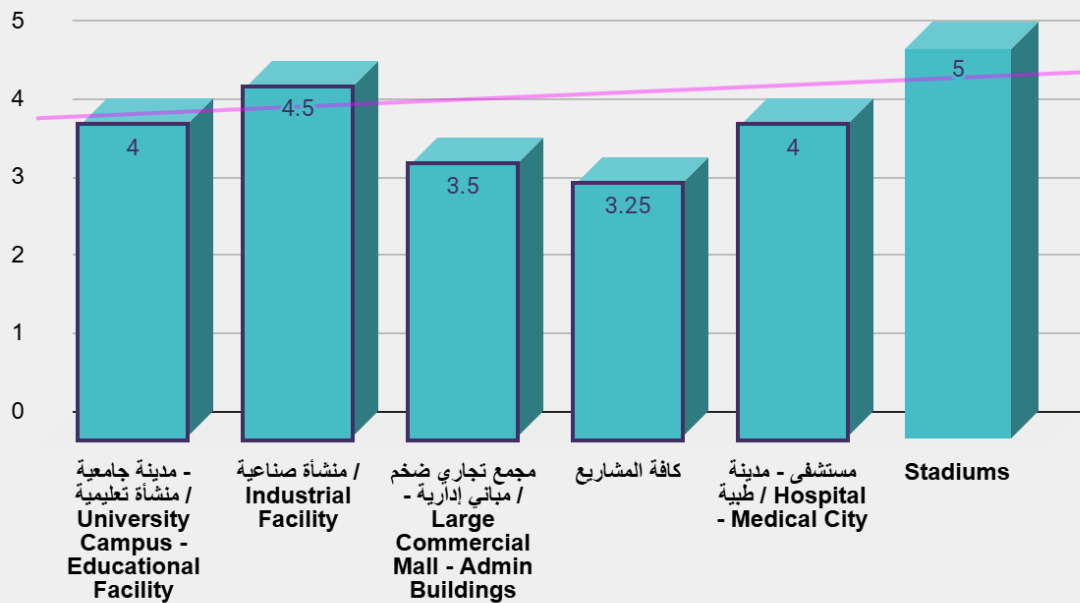
جدول 6 - تحليل المحور الثالث

عبارة 1 تُستخدم البيانات اللحظية للمعدات (كالرطوبة والحرارة) بنجاح للتنبؤ بالأعطال قبل وقوعها



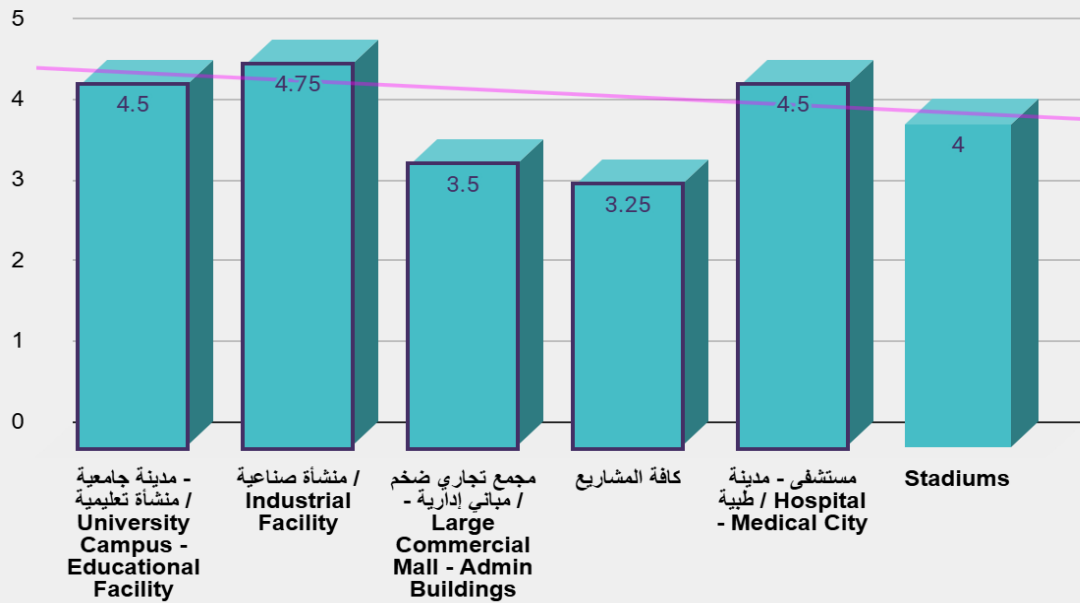
رسم توضيحي 23 - عبارة 3/1

عبارة 2 تُبنى جداول الصيانة لدينا بناءً على الحالة الفعلية للأصل (Condition-Based) وليس فقط على الزمن التقويمي



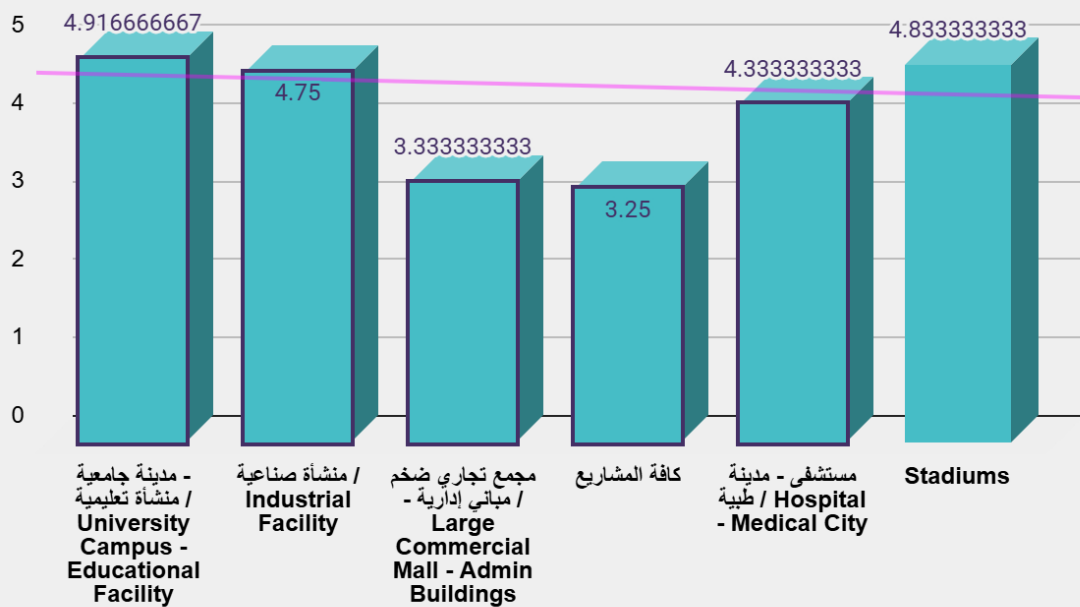
رسم توضيحي 24 - عبارة 3/2

عبارة 3 أدى الربط الذكي للأنظمة إلى إطالة العمر الافتراضي للأصول
(Chillers/مثل المبردات) الكهروميكانيكية الثقيلة



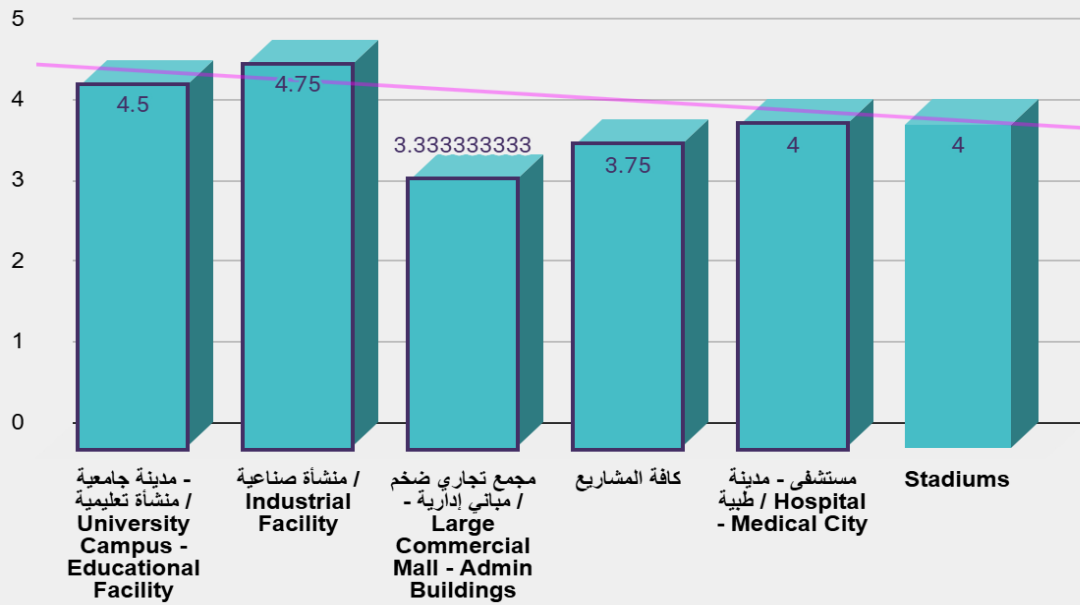
رسم توضيحي 25 - عبارة 3/3

عبارة 4 ساهمت تقنيات الصيانة التنبؤية في تقليل فترات التوقف المفاجئ
(Downtime)
بشكل جذري



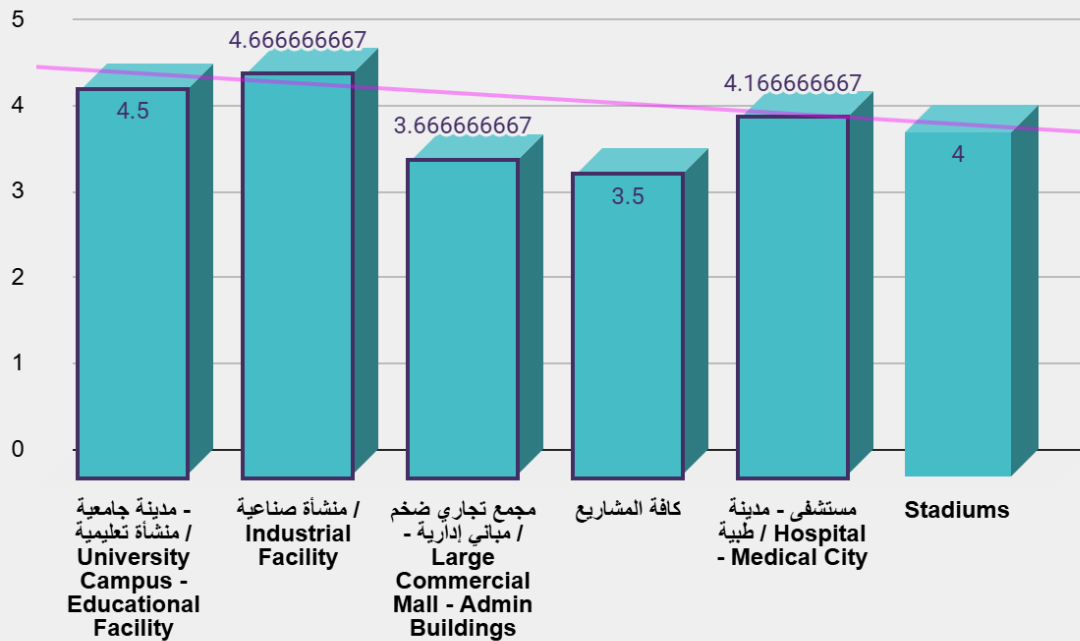
رسم توضيحي 26 - عبارة 3/4

عبارة 5 يتم تحسين وترشيد طلب مخزون قطع الغيار بناءً على التنبؤات الاستباقية (BMS) الصادرة من نظام



رسم توضيحي 27 - عبارة 3/5

عبارة 6 سهّل التكامل التقني الانتقال الناجح من ثقافة "الصيانة التفاعلية/الدورية" إلى "الصيانة التنبؤية" المتقدمة



رسم توضيحي 28 - عبارة 3/6

توضح البيانات أعلاه نتائج التحليل الإحصائي لاستجابات أفراد عينة الدراسة حول المحور الثالث. وقد بلغ المتوسط الحسابي العام لهذا المحور (4.01)، مما يشير إلى مستوى موافقة مرتفع، وهو ما يؤكد على الدور الجوهرى للتقنيات الحديثة في تحويل استراتيجيات الصيانة.

تُشير النتائج إلى وعي عالٍ لدى المختصين بأهمية التحول الرقمي في الصيانة. وتأتي العبارة الأولى في الصدارة بمتوسط (4.13)، مما يعكس إدراك العينة أن البيانات اللحظية هي المحرك الأساسي لأي نظام صيانة تنبؤية ناجح. كما يؤكد المتوسط المرتفع للعبارة الرابعة (4.03) على القيمة التشغيلية الكبرى للأنظمة في تقليل وقت التوقف غير المخطط له، وهو ما يترجم مباشرة إلى وفورات مالية كبيرة للمنشأة.

المبحث الثالث: تحليل البيانات النوعية (المقابلات المعمقة)

استكمالاً لمتطلبات المنهج المختلط (التصميم التفسيري التتابعي)، ولسد الفجوات التفسيرية التي أفرزتها المرحلة الكمية، تم إجراء (7) مقابلات شخصية شبه مقننة مع نخبة من الخبراء وصناع القرار في قطاع إدارة المرافق والمشاريع الكبرى في المملكة العربية السعودية.

تم اختيار الأفراد للمقابلة ليكونوا بخلفيات متنوعة للتعليق من وجهات نظر وخبرات مختلفة على محاور المقابلة المذكورة سابقاً وفيما يلي التفريغ النصي للمقابلات:

أهم الإجابات في المقابلات:

1. الخبير الأول: القائد الاستراتيجي:

المسمى الوظيفي: مدير عام إدارة المرافق – مجمع طبي كبير في العاصمة الرياض - .

سنوات الخبرة: +15 سنة .

س: كيف تقيمون وتيرة ونضج التحول نحو الأنظمة الذكية في المملكة؟

الإجابة: الوتيرة متسارعة جداً ومدفوعة برؤية 2030 لرفع كفاءة الإنفاق. المشاريع الجديدة تُصمم ك Smart

Buildings، لكن التحدي الأكبر يكمن في المشاريع القائمة (Brownfield) التي تتطلب إعادة تأهيل مكلفة.

س: كيف توازنون بين التكلفة الرأسمالية (CAPEX) وتخفيض النفقات التشغيلية (OPEX)؟

الإجابة: التكلفة الأولية (CAPEX) عالية وتلقى مقاومة من بعض الملاك. لكننا نبرر هذه التكلفة بدراسات

(ROI). الأنظمة الذكية تخفض النفقات التشغيلية (OPEX) بنسبة 15% إلى 20% سنوياً عبر ترشيد الطاقة

وتقليص العمالة اليدوية، مما يعني استرداد التكلفة الأولية خلال 3 إلى 5 سنوات.

2. الخبير الثاني: العقل التقني (BMS & Smart Systems Integration)

المسمى الوظيفي: مدير تكامل الأنظمة الذكية والأتمتة

سنوات الخبرة: 12 سنة .

س: ما هي أبرز التحديات الفنية ومشاكل توافق البروتوكولات (Interoperability)؟

الإجابة: المعضلة الهندسية الأبرز تكمن في اختلاف لغات التخاطب. الأنظمة القديمة مغلقة

(Proprietary)، ويتطلب الأمر استخدام بوابات تكامل (Gateways) معقدة لترجمة البيانات إلى بروتوكولات

قياسية مفتوحة مثل BACnet أو KNX. هذا الدمج قد يسبب بطئاً في نقل البيانات اللحظية أحياناً.

س: ما هي أهم التوصيات لمديري المرافق للبدء في التحول الذكي؟

الإجابة: أوصي بضرورة توحيد بروتوكولات الاتصال في كراسات الشروط والمواصفات (Tenders) منذ

البداية لتكون مفتوحة (Open Protocols)، وعدم الارتهان لمورد واحد (Vendor Lock-in).

3. الخيار الثالث: القائد الميداني (O&M Manager)

المسمى الوظيفي: مدير أول التشغيل والصيانة (Service Provider)

سنوات الخبرة: 14 سنة .

س: ما هي العوامل الحرجة للانتقال للصيانة التنبؤية، وما الأثر على الأصول الثقيلة؟

الإجابة: التكامل التقني نقلنا من مرحلة "إطفاء الحرائق" (الصيانة التفاعلية) إلى "استشراف الخلل".

مراقبة اهتزازات وحرارة المبردات (Chillers) لحظياً مكنتنا من استبدال القطع المتآكلة قبل توقف المعدة

بالكامل، مما قلص فترات التوقف المفاجئ (Downtime) بشكل جذري وأطال عمر المعدة.

س: ما التفسير العملي لتأخر تحقيق وفر ملحوظ في استهلاك الطاقة رغم توفر الأنظمة؟

الإجابة: التدخل البشري الخاطئ هو السبب الرئيسي. يقوم بعض الفنيين بوضع الأنظمة على وضع

التشغيل اليدوي (Manual Override أو Bypass) عند حدوث خلل برمجي بسيط لتجنب شكاوى

المستخدمين، مما يلغي دور الأتمتة ويعيد الهدر الطاقوي إلى مستوياته العالية.

4. الخيار الرابع: حارس الأصول والمخزون

المسمى الوظيفي: مدير أول التشغيل والصيانة (Service Provider)

سنوات الخبرة: 10 سنوات .

س: كيف أثرت التنبؤات الاستباقية لنظام BMS على إدارة المخزون؟

الإجابة: التكامل التقني نقلنا من مرحلة "إطفاء الحرائق" (الصيانة التفاعلية) إلى "استشراف الخلل".

مراقبة اهتزازات وحرارة المبردات (Chillers) لحظياً مكنتنا من استبدال القطع المتآكلة قبل توقف المعدة

بالكامل، مما قلص فترات التوقف المفاجئ (Downtime) بشكل جذري وأطال عمر المعدة.

س: ما التفسير العملي لتأخر تحقيق وفر ملحوظ في استهلاك الطاقة رغم توفر الأنظمة؟

الإجابة: التنبيهات المبكرة ساهمت بشكل غير مسبوق في ترشيح طلب قطع الغيار (Spare Parts). بدلاً من

تجميد ملايين الريالات في مخزون قد لا نستخدمه، أصبحنا نطلب القطع بناءً على التنبؤ بحالة الأصل واقتراب موعد تعطله، مما قلل الهدر المالي بشكل ممتاز.

5. الخبير الخامس: مستشار كفاءة الطاقة والاستدامة

المسمى الوظيفي: مستشار استدامة وكفاءة طاقة معتمد
سنوات الخبرة: 11 سنة .

س: من وجهة نظرك، لماذا لا يظهر الوفرة في الطاقة مباشرة بعد التركيب؟

الإجابة: المشكلة ليست في الأنظمة، بل في "مرحلة ما بعد التركيب". الأنظمة الذكية المبنية على (IoT) تحتاج إلى فترة تعلم آلي (Machine Learning) ومعايرة دقيقة (Fine-Tuning) لعدة أشهر لفهم نمط إشغال المبنى الفعلي (Occupancy Patterns) والتكيف معه قبل أن تبدأ بتحقيق وفرة حقيقي في الفواتير.

6. الخبير السادس: الدرع الأمني (OT Cybersecurity Manager)

المسمى الوظيفي: مدير أمن المعلومات للأنظمة التشغيلية
سنوات الخبرة: 9 سنوات .

س: هل هناك تحديات غير مرئية عند ربط هذه الأنظمة؟

الإجابة: نعم، الأمن السيبراني هو الهاجس المستجد. ربط أنظمة التكيف والمضخات بشبكات سحابية يفتح ثغرات أمنية خطيرة (OT Vulnerabilities). أي اختراق لنظام التكيف في مستشفى قد يكون كارثياً. لذلك، يتطلب الأمر استثماراً إضافياً في جدران الحماية (Firewalls) وتشفير البيانات التشغيلية.

7. الخبير السابع: المحلل المالي التجاري (Commercial Manager)

المسمى الوظيفي: مدير تجاري / مدير عقود في قطاع إدارة المرافق
سنوات الخبرة: 13 سنة .

س: كيف أثر الاعتماد على الأتمتة على هيكل الفرق، وهل توجد فجوة مهارات؟

الإجابة: من الناحية التجارية، الأتمتة ممتازة لتقليل تكاليف العمالة اليدوية البسيطة. لكننا نواجه "فجوة مهارات" لدى بعض الكوادر المحلية في التعامل مع الأنظمة المدمجة (Mechatronics). المهندس الماهر في هذه التقنيات راتبه مرتفع، وهذا يخلق تحدياً في تسعير عقود التشغيل والصيانة لتبقى تنافسية.

تم تفريغ الإجابات وتحليلها باستخدام أسلوب "التحليل الموضوعي" (Thematic Analysis)، حيث تم استخلاص خمسة محاور (Themes) رئيسية تفسر وتوضح واقع تبني تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) وأنظمة الأتمتة، وهي كالتالي:

المحور الأول: البُعد الفني وتحديات التكامل (Interoperability & Integration)
أجمع الخبراء المشاركون على أن الجاهزية التقنية للتحويل الذكي في المملكة العربية السعودية تسير بوتيرة متسارعة جداً، وهي مدفوعة بشكل أساسي بمستهدفات "رؤية 2030" الرامية إلى رفع كفاءة الإنفاق. ومع ذلك، تبرز تحديات فنية جسيمة تعيق هذا التحويل، أبرزها:

- **المشاريع القائمة وتوافق البروتوكولات:**

أشار مدير عام إدارة المرافق (الخبير الأول) إلى أن التحدي الأكبر لا يكمن في المشاريع الجديدة التي تُصمم منذ الأساس كمباني ذكية (Smart Buildings)، بل يتركز في المشاريع القائمة (Brownfield) التي تتطلب عمليات إعادة تأهيل هندسية مكلفة ومعقدة. وفي السياق ذاته، أوضح خبير أنظمة التحكم والأتمتة (الخبير الثاني) أن المعضلة الهندسية الأبرز تكمن في "اختلاف لغات التخاطب" بين الأنظمة القديمة المغلقة (Proprietary) والأنظمة الحديثة، مما يحتم استخدام بوابات تكامل (Gateways) معقدة لترجمة البيانات إلى بروتوكولات قياسية مفتوحة مثل (BACnet) أو (KNX)، وهو أمر قد يتسبب أحياناً في بطء نقل البيانات اللحظية. وقد أوصى الخبير بضرورة توحيد بروتوكولات الاتصال في كراسات الشروط والمواصفات (Tenders) لتكون مفتوحة منذ البداية لتفادي الاحتكار والارتهاق لمورد واحد (Vendor Lock-in).

- **الأمن السيبراني كهاجس مستجد:**

أضاف مدير أمن المعلومات للأنظمة التشغيلية بُعداً حرجاً وغالباً ما يتم إغفاله، موضحاً أن ربط أنظمة حيوية كالتيكليف والمضخات بشبكات سحابية يفتح ثغرات أمنية خطيرة (OT Vulnerabilities). وشدد على أن أي اختراق إلكتروني لنظام التكييف في منشأة حساسة كالمستشفى قد يؤدي إلى نتائج كارثية، مما يجعل الاستثمار الإضافي في جدران الحماية (Firewalls) وتشفير البيانات التشغيلية ضرورة هندسية لا غنى عنها لنجاح التكامل.

المحور الثاني: البُعد المالي والمعادلة بين الإنفاق الرأسمالي (CAPEX) والتشغيلي (OPEX)
جاء هذا المحور ليفسر ويدعم الإجابات الإيجابية العالية في الاستبيان، حيث سجلت عبارة انخفاض النفقات التشغيلية (OPEX) بفضل الأنظمة الذكية متوسطاً حسابياً مرتفعاً بلغ (4.13):

- الجدوى الاقتصادية ومقاومة التغيير:

يُبين القائد الاستراتيجي لإدارة المرافق أن التكلفة الرأسمالية الأولية (CAPEX) لتأسيس مستشعرات إنترنت الأشياء والأنظمة الذكية تُعد مرتفعة، وهو ما يولد مقاومة مبدئية من بعض ملاك المشاريع.

- العائد المالي الموثق:

استدرك الخبير الأول موضحاً أن الإدارات تبرر هذه التكاليف من خلال دراسات العائد على الاستثمار (ROI) الدقيقة، حيث تُثبت الممارسة الفعلية أن الأنظمة الذكية قادرة على خفض النفقات التشغيلية (OPEX) بنسبة تتراوح بين 15% إلى 20% سنوياً. يتحقق هذا الخفض عبر مسارين: ترشيد استهلاك الطاقة، وتقليل الاعتماد على العمالة اليدوية، مما يضمن للمنشأة استرداد التكلفة الأولية بالكامل خلال فترة زمنية تتراوح بين 3 إلى 5 سنوات.

المحور الثالث: التحول نحو الصيانة التنبؤية وإدارة الأصول

تطابقت مخرجات المقابلات النوعية بشكل تام مع النتائج الإحصائية الكمية، والتي أكدت بمتوسطات حسابية مرتفعة تفوق (4.00) أن الربط الذكي والبيانات اللحظية يساهمان في إطالة العمر الافتراضي للأصول الكهروميكانيكية الثقيلة وتقليل فترات التوقف:

- من إطفاء الحرائق إلى استشراف الخلل:

وصف مدير التشغيل والصيانة الميداني هذا التحول بأنه انتقال من مرحلة "إطفاء الحرائق" أو الصيانة التفاعلية، إلى استشراف الخلل قبل وقوعه. وأكد أن المراقبة اللحظية لاهتزازات وحرارة المبردات (Chillers) مكنت فرق العمل من استبدال القطع المتآكلة قبل توقف المعدة بالكامل، مما قلص فترات التوقف المفاجئ (Downtime) بشكل جذري وأطال العمر الافتراضي للمعدة.

- تحسين وثورة في إدارة المخزون:

على الجانب المالي واللوجستي، أوضح مدير إدارة الأصول والمخزون (الخبير الرابع) أن التنبؤات الاستباقية الصادرة من نظام (BMS) أحدثت تغييراً غير مسبوق في ترشيد طلب قطع الغيار (Spare Parts). فبدلاً من تجميد ملايين الريالات في مخزون غير مستخدم تحسباً للأعطال، أصبحت المنشآت تطلب القطع بناءً على التنبؤ الدقيق بحالة الأصل واقتراب موعد تعطله، مما شكل ضربة قوية للهدر المالي في المستودعات.

المحور الرابع: البُعد الإداري وفجوة المهارات (Skills Gap)

استكشف هذا المحور التحديات البشرية والتنظيمية المرافقة لعملية التحول الرقمي في قطاع المرافق:

- **تغير هيكلية التكاليف والعمالة:**

أكد المدير التجاري أن الأتمتة تعتبر خياراً ممتازاً من الناحية التجارية لتقليل تكاليف العمالة اليدوية البسيطة.

- **تحدي الكوادر المؤهلة وتسعير العقود:**

في المقابل، أوضح الخبير السابع أن السوق المحلي يواجه "فجوة مهارات" واضحة في الكوادر القادرة على التعامل مع الأنظمة المدمجة (Mechatronics). وبما أن المهندس الماهر في هذه التقنيات المتقدمة يتقاضى راتباً مرتفعاً، فإن هذا الأمر يخلق تحدياً إدارياً ومالياً أمام الشركات لضمان بقاء تسعير عقود التشغيل والصيانة في مستويات تنافسية.

المحور الخامس: التفسير العملي لتأخر عوائد كفاءة الطاقة (سؤال التفسير التتابعي)

يُمثل هذا المحور إجابة مباشرة لسؤال تفسيري تتابعي طُرح على الخبراء لفهم سبب تأخر بعض المنشآت في تلمّس وفورات فعلية في فواتير الطاقة مباشرة بعد تركيب الأنظمة:

- **فترة التعلم الآلي والمعايرة (Calibration Period):**

فندّ مستشار كفاءة الطاقة والاستدامة (الخبير الخامس) هذا التساؤل مبيناً أن المشكلة لا تكمن في التقنية بحد ذاتها، بل في "مرحلة ما بعد التركيب". فالأنظمة الذكية المبنية على (IoT) تتطلب فترة من التعلم الآلي (Machine Learning) ومعايرة دقيقة (Fine-Tuning) تمتد لعدة أشهر؛ وذلك لكي تتمكن الخوارزميات من فهم نمط إشغال المبنى الفعلي (Occupancy Patterns) والتكيف معه قبل أن تبدأ في إظهار وفورات حقيقية في الفواتير.

- **التدخل البشري الخاطئ (Manual Override):**

أضاف مدير التشغيل والصيانة (الخبير الثالث) تفسيراً ميدانياً بالغ الأهمية، يتمثل في سلوك الكوادر الفنية. حيث يعتمد بعض الفنيين إلى وضع الأنظمة على وضع التشغيل اليدوي (Manual Override) أو (Bypass) بمجرد ظهور خلل برمجي بسيط، سعياً لتجنب شكاوى مستخدمي المبنى. هذا التدخل اليدوي يلغي الدور الجوهري للأتمتة ويعيد معدلات الهدر الطاقوي إلى مستوياتها العالية السابقة.

خلاصة المبحث النوعي:

تُثبت نتائج المقابلات المعمقة بشكل قاطع أن الاعتماد على تقنيات (IoT) وأنظمة الأتمتة ليس مجرد ترقية تكنولوجية أو تركيباً لأجهزة استشعار، بل هو "منظومة تحول تشغيلية وثقافية شاملة". لقد أظهر التثليث المنهجي (Triangulation) بين البيانات الكمية والنوعية توافقاً عالياً؛ حيث فسرت المقابلات كيف يتحقق الأثر الإيجابي للأنظمة الذكية على أرض الواقع من خلال خفض النفقات التشغيلية بنسبة تصل إلى 20%، واسترداد التكلفة الرأسمالية خلال 3 إلى 5 سنوات.

كما كشفت المقابلات عن أبعاد خفية وحرجة تعيق تعظيم الاستفادة من هذه التقنيات، وتتجسد هذه التحديات في ثلاث ركائز أساسية: أولاً، الركيزة الهندسية المتمثلة في عوائق دمج الأنظمة القديمة (Legacy Systems) واختلاف بروتوكولات الربط. ثانياً، الركيزة الأمنية التي تفرض واقعاً جديداً يتمثل في مخاطر الأمن السيبراني للأنظمة التشغيلية (OT Vulnerabilities) الناتجة عن ربط المرافق الحيوية بالشبكات السحابية. ثالثاً، الركيزة البشرية والسلوكية، حيث تبرز فجوة المهارات في التعامل مع تقنيات الميكاترونكس، فضلاً عن خطورة التدخل البشري العكسي عبر الإيقاف اليدوي للأنظمة (Manual Override) والذي يُهدر فترات التعلم الآلي للخوارزميات ويُبطل فاعلية الأتمتة في ترشيد الطاقة. وبناءً على ما سبق، يتأكد أن جني الثمار التشغيلية والمالية يتطلب إدارة تغيير دقيقة توازن بين الاستثمار في البنية التقنية، وتأمينها سيبرانياً، وتطوير الكفاءات البشرية المشغلة لها.

المبحث الرابع: النتائج والتوصيات (Results and Recommendations)

يُمثل هذا المبحث الثمرة النهائية للجهد البحثي الميداني بشقيه الكمي والنوعي. بناءً على المعالجات الإحصائية لاستجابات عينة الدراسة المكونة من (138) مختصاً، والتحليل الموضوعي للمقابلات المعمقة مع (7) خبراء في قطاع إدارة المرافق، يستعرض هذا المبحث أبرز النتائج المستخلصة، ليقدّم في ضوئها مجموعة من التوصيات العملية والمقترحات البحثية المستقبلية.

أولاً: النتائج الرئيسية للدراسة (Key Findings)

- (1) نتائج تقييم الكفاءة التشغيلية وهندسة الصيانة:
 - (a) إطالة العمر الافتراضي: أثبتت الدراسة وجود أثر إيجابي مرتفع للربط الذكي في إطالة العمر الافتراضي للأصول الكهروميكانيكية الثقيلة (مثل المبردات)، بمتوسط حسابي (4.04)، وذلك نتيجة الانتقال من الصيانة التفاعلية إلى الصيانة التنبؤية القائمة على استشراف الخلل قبل وقوعه.
 - (b) تقليص فترات التوقف المفاجئ: ساهمت تقنيات (IoT) في تقليص فترات التوقف المفاجئ (Downtime) بشكل جذري بمتوسط موافقة (4.03)، مما يضمن استمرارية الأعمال وموثوقية الخدمات في المرافق الحيوية كالمستشفيات والمجمعات التجارية.
 - (c) إدارة المخزون الذكية: أكدت النتائج أن الاعتماد على التنبؤات الاستباقية الصادرة من نظام (BMS) أحدث تحسناً ملموساً في ترشيد طلب مخزون قطع الغيار بمتوسط (3.96)، مما عالج مشكلة تجميد الموارد المالية في مستودعات المنشآت.
- (2) نتائج تقييم الكفاءة المالية والطاقة:
 - (a) خفض النفقات التشغيلية (OPEX): أظهرت الدراسة أن الأنظمة الذكية تخفض النفقات التشغيلية الإجمالية للمرفق بشكل ملحوظ بمتوسط (4.13)، مع قدرة المنشآت على استرداد التكلفة الرأسمالية الأولية (CAPEX) خلال 3 إلى 5 سنوات.
 - (b) تحديات ترشيد الطاقة المباشر: بينت النتائج أن الأنظمة الذكية تقضي على الهدر الطاقوي خلال أوقات انخفاض إشغال المبنى بمتوسط (4.17). ومع ذلك، فُسّر التأخر في تلمس الوفّر المباشر بعد التركيب بحاجة الأنظمة إلى فترة "تعليم آلي" لفهم أنماط الإشغال، بالإضافة إلى التأثير السلبي للتدخل البشري عبر الإيقاف اليدوي (Manual Override).
- (3) النتائج الفنية والتقنية:
 - (a) أولوية التكامل: تصدر التكامل الفعلي والربط المركزي بين نظام (BMS) وأنظمة التكييف (HVAC) أولويات المشاريع بمتوسط مرتفع جداً (4.35).
 - (b) تحديات الربط والأمن: كشفت الدراسة عن صعوبات هندسية في دمج الأنظمة القديمة بسبب البروتوكولات المغلقة، إلى جانب بروز هاجس "الأمن السيبراني" كأحد أهم المخاطر المرافقة لربط الأنظمة التشغيلية (OT) بالشبكات السحابية.

ثانياً: توصيات الدراسة (Recommendations)

في ضوء النتائج السابقة، وانطلاقاً من مستهدفات رؤية المملكة 2030 لرفع كفاءة الإنفاق والاستدامة، يوصي الباحث بما يلي:

1) للملاك والإدارات الاستراتيجية:

a) توحيد البروتوكولات القياسية: إلزام المكاتب الهندسية والاستشارية بتضمين شرط استخدام "بروتوكولات الاتصال المفتوحة" (Open Protocols) مثل (BACnet) و (KNX) في كراسات الشروط والمواصفات للمشاريع الجديدة، لتسهيل التكامل المستقبلي ومنع احتكار الموردين.

b) الاستثمار في الأمن السيبراني للأنظمة التشغيلية (OT): تخصيص ميزانيات مستقلة لتأمين البنية التحتية الذكية للمرافق، وتطبيق معايير تشفير صارمة لحماية شبكات التحكم من الاختراقات السيبرانية.

2) لشركات إدارة المرافق (مديري التشغيل والصيانة):

a) حظر التدخل العشوائي: وضع سياسات تشغيلية حازمة تقيد صلاحيات الفنيين في استخدام وضع "التشغيل اليدوي" (Manual Override) لأنظمة التحكم المركزي، لضمان استمرارية عمل خوارزميات ترشيد الطاقة.

b) تطوير هندسة الصيانة: الاعتماد الشامل على مخرجات أنظمة (IoT) لبناء جداول صيانة مبنية على "الحالة الفعلية" للأصل (Condition-Based) عوضاً عن الصيانة الدورية المعتمدة على الزمن التقويمي.

3) لتنمية الموارد البشرية:

a) معالجة فجوة المهارات: تصميم برامج تدريبية متقدمة للكوادر الهندسية المحلية تركز على تقنيات "الميكاترونكس"، وتحليل البيانات الضخمة (Data Analytics) الصادرة من المستشعرات، وربطها بقرارات الإدارة المالية للمنشأة.

ثالثاً: مقترحات الدراسات المستقبلية (Future Studies)

امتداداً لنتائج هذا البحث، يقترح الباحث توجيه الجهود الأكاديمية المستقبلية نحو المجالات الآتية:

1) دراسة أثر دمج تقنيات "الذكاء الاصطناعي لإنترنت الأشياء" (AIoT) في تعزيز قدرات اتخاذ القرار الذاتي

(Autonomous Decision-Making) لأنظمة إدارة المرافق المعقدة.

2) بناء إطار عمل مقترح لإدارة المخاطر والأمن السيبراني (Cybersecurity Framework) للأنظمة التشغيلية (OT) في المدن الطبية والمستشفيات في المملكة العربية السعودية.

3) دراسة مقارنة حول "تأثير فجوة المهارات التقنية" على تسعير عقود التشغيل والصيانة في السوق السعودي في ظل التحول الرقمي.

المراجع

1. جمعية الشرق الأوسط لإدارة المرافق. (2022). (MEFMA) واقع ومستقبل إدارة المرافق في المملكة العربية السعودية في ظل رؤية 2030: التحديات والفرص. دبي، الإمارات العربية المتحدة.
2. السبيعي، محمد، وآل سعود، عبد العزيز. (2023). أثر تطبيقات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في رفع كفاءة الصيانة الوقائية للمباني الحكومية. مجلة الإدارة العامة، 63(1)، 145-112.
3. الغامدي، سعيد، والعتيبي، خالد. (2024). تحديات التحول الرقمي في قطاع إدارة المرافق في ظل رؤية 2030. المجلة العربية للإدارة والتطوير، 12(2)، 68-45.
4. القحطاني، نورة. (2025). دور أنظمة أتمتة المباني (BMS) في خفض التكاليف التشغيلية: دراسة تطبيقية على المجمعات الطبية بمدينة الرياض (رسالة ماجستير غير منشورة). جامعة الملك سعود، الرياض، المملكة العربية السعودية.
5. المطيري، فهد. (2022). تكامل بروتوكولات (KNX) مع شبكات إنترنت الأشياء لتحسين كفاءة الطاقة في المنشآت التجارية. المجلة السعودية للهندسة والتقنية، 8(4)، 102-88.
6. وزارة الشؤون البلدية والقروية والإسكان. (2023). دليل التوجهات المستقبلية لإدارة المرافق والمدن الذكية. الرياض، المملكة العربية السعودية.
7. العساف، صالح بن حمد. (2012). المدخل إلى البحث في العلوم السلوكية. دار الزهراء للنشر والتوزيع.

1. Al-Fadhli, M., & Smith, R. (2022). Predictive maintenance strategies using Building Management Systems (BMS) and IoT integration. *Journal of Facilities Management*, 20(3), 345-362.
2. Alghamdi, A. (2024). *Evaluating the ROI of IoT Implementation in Commercial Real Estate Facility Management in Saudi Arabia* (Doctoral dissertation). King Fahd University of Petroleum and Minerals, Dhahran, Saudi Arabia.
3. Al-Otaibi, A., & Al-Zahrani, M. (2021). Smart facility management in Saudi Arabia: Readiness and challenges. *Facilities*, 39(11/12), 789-805.
4. Atkin, B., & Brooks, A. (2021). *Total Facility Management* (5th ed.). Wiley-Blackwell.
5. Casini, M. (2022). Internet of Things for energy efficiency of buildings. *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, 16(1), 58-65.
6. Farooq, M. S., Riaz, S., Abid, A., Abid, K., & Naeem, M. A. (2022). A Survey on the Role of IoT in Smart Building Management Systems. *IEEE Access*, 10, 45321-45345.
7. Jia, M., Komeily, A., Wang, Y., & Srinivasan, R. S. (2019). Adopting Internet of Things for the development of smart buildings: A review of enabling technologies and applications. *Automation in Construction*, 101, 111-126.
8. McKinsey & Company. (2021). *The internet of things: Catching up to an accelerating opportunity*. McKinsey Global Institute.
9. Minoli, D., Sohraby, K., & Occhiogrosso, B. (2020). IoT considerations, requirements, and architectures for smart buildings—Energy optimization and next-generation building management systems. *IEEE Internet of Things Journal*, 4(1), 269-283.
10. Roper, K. O., & Payant, R. P. (2019). *The Facility Management Handbook* (4th ed.). AMACOM.
11. Wong, J. K. W., & Li, H. (2023). Application of the internet of things (IoT) in sustainable facility management. *Building and Environment*, 150, 120-135.
12. American Psychological Association. (2020). Publication manual of the American Psychological Association (7th ed.). <https://doi.org/10.1037/0000165-000>
13. Resnik, D. B. (2020). What is ethics in research & why is it important? National Institute of Environmental Health Sciences.
14. Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2019). Research methods for business students (8th ed.). Pearson.

15. Sekaran, U., & Bougie, R. (2016). Research methods for business: A skill building approach (7th ed.).
16. Atkin, B., & Brooks, A. (2021). Total Facility Management (5th ed.). Wiley-Blackwell.
17. Casini, M. (2022). Internet of Things for energy efficiency of buildings. *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, 16(1), 58-65.
18. Casini, M. (2022). Internet of Things for energy efficiency of buildings. *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, 16(1), 58-65.
19. Casini, M. (2022). Internet of Things for energy efficiency of buildings. *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, 16(1), 58-65.
20. Casini, M. (2022). Internet of Things for energy efficiency of buildings. *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, 16(1), 58-65.
21. Casini, M. (2022). Internet of Things for energy efficiency of buildings. *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, 16(1), 58-65.

Midocean University

College of Management

Department of Master of Project Management

The Impact of Relying on IoT and Automation Systems on Improving the Operational Efficiency "
"of Facilities in Saudi Arabia

Prepared by:

Eng. Mohammed Abu Hammad

Supervised by:

Dr. Al-Faisal Abdulhamid

Dr. Fayez Jarrad

Year:2026