

عنوان البحث

أثر تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في صيانة المصاعد والسلالم الكهربائية في المملكة العربية السعودية دراسة
حالة في مركز الملك عبد الله المالي (كافد – KAF)

إعداد الطالب/

أيمن إبراهيم محمد ملي

إشراف/

الدكتور. الفیصل عبد الحمید

الدكتور. فايز جراد

العام الدراسي:

٢٠٢٥

قائمة المحتويات:

٢	قائمة المحتويات:
٤	قائمة الجداول:
٥	قائمة الاشكال:
٧	الإهداء والشكر
٩	المستخلص:
١٠	الفصل الأول:
١١	مقدمة:
١٤	مشكلة الدراسة:
١٨	أهمية الدراسة:
٢٣	اهداف الدراسة:
٢٦	تساؤلات الدراسة:
٢٧	فرضيات الدراسة:
٢٩	النظرية العلمية المتبعة لإعداد البحث:
٣٣	الفصل الثاني: الدراسات السابقة
٣٤	مقدمة:
٣٧	متغيرات الدراسة:
٣٨	الدراسات السابقة:
٤٣	الإطار النظري:
٤٧	الفصل الثالث منهجية الدراسة
٤٨	مقدمة:
٥١	المنهجية وطرق البحث:
٥٣	مجتمع البحث:
٥٥	حدود الدراسة:
٥٧	خطوات جمع البيانات:
٥٩	محددات حجم العينة:
٦١	الفصل الرابع: نتائج الدراسة:
٦٢	مقدمة:
٦٤	تحليل البيانات:

١٠٤	التوصيات:
١٠٦	Abstract:
١٠٧	المراجع

قائمة الجداول:

٦٨	جدول ١: الوصف الاحصائي للبيانات
٦٩	جدول ٢: الوصف الاحصائي لعمر المشاركين في التجربة
٧٠	جدول ٣: الوصف الاحصائي لجنس المشاركين في التجربة
٧٢	جدول ٤: الوصف الاحصائي للدرجة العلمية للمشاركين في التجربة
٧٣	جدول ٥: الوصف الاحصائي لدى المؤسسة و عي كافٍ بأهمية تقنيات الذكاء الاصطناعي في الصيانة
٧٣	جدول ٦: الوصف الاحصائي لوجود فهم جيد لدى العاملين حول تطبيقات إنترنت الأشياء في مجال المصاعد والسلالم الكهربائية
٧٥	جدول ٧: الوصف الاحصائي لتوفير ورش عمل أو تدريب حول الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء للعاملين
٧٨	جدول ٨: الوصف الاحصائي للاهتمام من إدارة مركز كافد بتبني حلول تقنية حديثة
٧٩	جدول ٩: الوصف الاحصائي لتخصيص ميزانية لتبني تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء
٨١	جدول ١٠: الوصف الاحصائي لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي لتحليل الأعطال المتكررة في المصاعد والسلالم
٨٢	جدول ١١: الوصف الاحصائي لمساعدة خوارزميات الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالأعطال قبل حدوثها
٨٤	جدول ١٢: الوصف الاحصائي لتقليل الاعتماد على الصيانة اليدوية بفضل حلول الذكاء الاصطناعي
٨٥	جدول ١٣: الوصف الاحصائي لمساهمة تطبيقات الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة الصيانة الدورية
٨٧	جدول ١٤: الوصف الاحصائي اتخاذ قرارات الصيانة بشكل أسرع باستخدام الذكاء الاصطناعي
٨٨	جدول ١٥: الوصف الاحصائي لتركيبة أجهزة استشعار (Sensors) متصلة بالمصاعد والسلالم الكهربائية
٩٠	جدول ١٦: الوصف الاحصائي لمساعدة تقنية إنترنت الأشياء في جمع بيانات مباشرة من الأجهزة
٩١	جدول ١٧: الوصف الاحصائي لتحليل بيانات الأجهزة بشكل لحظي لتحديد الأعطال
٩٣	جدول ١٨: الوصف الاحصائي لتوفير تقنيات إنترنت الأشياء إشعارات فورية عند حدوث خلل أو توقف
٩٤	جدول ١٩: الوصف الاحصائي لمساهمة إنترنت الأشياء في تقليل زمن التوقف عن الخدمة
٩٦	جدول ٢٠: ملخص انجاز القضية
٩٦	جدول ٢١: احصائيات الموثوقية
٩٨	جدول ٢٢: اختبار كاي اسكوير لدور تقنيات الذكاء الاصطناعي في تطوير حلول تقيية حديثة
١٠٠	جدول ٢٣: اختبار كاي اسكوير لدور تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحليل الأعطال
١٠١	جدول ٢٤: اختبار كاي اسكوير لدور تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة الصناعة
١٠٢	جدول ٢٥: تحليل التباين الأحادي
١٠٣	جدول ٢٦: ملخص عامل نموذج بايز

قائمة الاشكال:

- رسم توضيحي ١: الاطار النظري للدراسة ٤٣
- رسم توضيحي ٢: التمثيل البياني لعمر المشاركين في التجربة..... ٧٠
- رسم توضيحي ٣: التمثيل البياني لجنس المشاركين في التجربة..... ٧١
- رسم توضيحي ٤: التمثيل البياني للدرجة العلمية للمشاركين في التجربة ٧٢
- رسم توضيحي ٥: التمثيل البياني لدى المؤسسة وعي كافٍ بأهمية تقنيات الذكاء الاصطناعي في الصيانة ٧٤
- رسم توضيحي ٥: التمثيل البياني لوجود فهم جيد لدى العاملين حول تطبيقات إنترنت الأشياء في مجال المصاعد والسلالم الكهربائية ٧٥
- رسم توضيحي ٧: التمثيل البياني لتوفير ورش عمل أو تدريب حول الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء للعاملين..... ٧٧
- رسم توضيحي ٨: التمثيل البياني للاهتمام من إدارة مركز كافد بتبني حلول تقنية حديثة..... ٧٨
- رسم توضيحي ٩: التمثيل البياني لتخصيص ميزانية لتبني تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء ٨٠
- رسم توضيحي ١٠: التمثيل البياني لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي لتحليل الأعطال المتكررة في المصاعد والسلالم .. ٨١
- رسم توضيحي ١١: التمثيل البياني لمساعدة خوارزميات الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالأعطال قبل حدوثها ٨٣
- رسم توضيحي ١٢: التمثيل البياني لتقليل الاعتماد على الصيانة اليدوية بفضل حلول الذكاء الاصطناعي..... ٨٤
- رسم توضيحي ١٣: التمثيل البياني لمساهمة تطبيقات الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة الصيانة الدورية..... ٨٦
- رسم توضيحي ١٤: التمثيل البياني اتخاذ قرارات الصيانة بشكل أسرع باستخدام الذكاء الاصطناعي ٨٧
- رسم توضيحي ١٥: التمثيل البياني لتركيب أجهزة استشعار (Sensors) متصلة بالمصاعد والسلالم الكهربائية..... ٨٩
- رسم توضيحي ١٦: التمثيل البياني لمساعدة تقنية إنترنت الأشياء في جمع بيانات مباشرة من الأجهزة..... ٩٠
- رسم توضيحي ١٧: التمثيل البياني لتحليل بيانات الأجهزة بشكل لحظي لتحديد الأعطال..... ٩٢
- رسم توضيحي ١٨: التمثيل البياني لتوفير تقنيات إنترنت الأشياء إشعارات فورية عند حدوث خلل أو توقف ٩٣
- رسم توضيحي ١٩: التمثيل البياني لمساهمة إنترنت الأشياء في تقليل زمن التوقف عن الخدمة ٩٥
- رسم توضيحي ٢٠:متغيرات الدراسة التابعة والمستقلة..... ٩٧
- رسم توضيحي ٢١: المقاييس المتماثلة في تحليل العلاقة لدور تقنيات الذكاء الاصطناعي في تطوير حلول تقية حديثة ٩٩
- رسم توضيحي ٢٢: المقاييس المتماثلة في تحليل العلاقة لدور تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحليل الأعطال..... ١٠٠
- رسم توضيحي ٢٣: المقاييس المتماثلة في تحليل العلاقة لدور تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة الصناعة..... ١٠٢

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الإهداء والشكر

"الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات، وبفضله تنيسر العسيرات، وبعفوه تُغفر الزلات، وبكرمه تُنال الغايات".
بقلوب مفعمة بالعرفان، وعينٍ يبللها الحنين والامتنان، أُسطّر هذه الكلمات في لحظة طال انتظارها، لحظة يختلط فيها
الفرح بالتأمل، وتتعانق فيها الذكرى بالحلم المتحقق.
هذا العمل، ليس مجرد نتاج علمي، بل هو ثمرة مسيرة امتدت لسنوات، حملت في طياتها مشاعر التحدي، والإصرار،
والخذلان، والدعم، والعودة في كل مرة أقرب من الهدف.

إلى والدي الحبيب:

يا من كنت الجبل الذي احتميت بظله، والبحر الذي أبحرت فيه نحو الثبات. لم تكن فقط سندي، بل كنت الوطن في
الغربة، والدعاء في الصمت، واليقين في قلب الشك.
تحملت لأجلي ما لا يُحتمل، ووهبتني من عمرك وراحتك ما لا يُقدّر بثمن. كنتَ الأم حين غابت، والقُدوة حين ارتبكت الرؤية،
والعزيمة حين تراخت إرادتي.
أهديك هذا الإنجاز يا أبي، فهو بعض ما تستحق، وهو امتداد لرحلة بدأت بيدك، وتنتهي بشكري لك.

إلى روح أُمي النقية، الراحلة جسداً، الحاضرة دعاءً وأثراً:

كم تمنيت أن تكوني هنا، وأن تلمسي هذا الحلم المتجسد، الذي كنتِ أول من زرعه في وجداني.
غيابك غصة لا تندمل، لكنه كان دافعاً لأن أكمل الطريق، وأصل إلى هذه اللحظة التي لطالما رسمتها أنتِ في خيالي.
أدعو الله أن يكون هذا العمل نوراً يصل إلى قبرك، ودعاءً لا ينقطع، وامتداداً لبرٍّ لا ينتهي.

إلى زوجتي الغالية:

يا شريكة الفكر، والنبض، والصبر. لا تكفيك كلمات الشكر، ولا توفيك الصفحات حقك. كنتِ ملاذي حين أرهقتني
الدراسة، وصوتي حين أخرستني الضغوط، وظهري حين انحنيت تعباً.
دعاؤك في كل ليلة، صبرك على غيابي، دفء كلماتك حين ضاق صدري، كانت كلها وقوداً لا يُستهان به في طريق الإنجاز.
هذا النجاح لنا معاً، لك نصفه وأثره كله.

إلى إخوتي وأفراد عائلتي الأعزاء:

أنتم جذوري التي لا تجف، ومصدر دمي في الخفاء. شكري لكم لا يوازيه سوى يقيني بأنكم كنتم دائماً تفرحون بنجاحي وكأنه نجاحكم، وتنتظرون إنجازي كما لو كان موعداً شخصياً مع الحلم. لكم مني الحب الذي لا يذبل، والوفاء الذي لا يخبو.

إلى أستاذي ومشرفي الأكاديمي الفاضل د. فيصل ود. فاير:

يا من كان لحضورك العلمي وحنكتك الأكاديمية بالغ الأثر في تشكيل هذا البحث وإبرازه بأفضل صورة. لقد وجهتني حين تاه الطريق، ودعمتني حين احتجت إلى دفعة ثقة، ورفعت مستوى التحدي لأرتقي بالبحث لا لأنجزه فقط. أعتز بكل لحظة علم وملاحظة منك، وأدين لك بالكثير.

إلى جامعتي العزيزة – جامعة ميد أوشن:

هذا الصرح العلمي الذي تبني الحلم واحتضن الرؤية، ووقّر لي بيئة علمية خصبة للنمو والتطور. شكراً لكل عضو هيئة تدريس، وكل إداري ساهم في إنجاح هذه الرحلة الأكاديمية. ستبقى الجامعة منارة أعتز بالانتماء إليها.

إلى أصدقائي وزملائي:

أنتم النبض الذي خفّ عني ثقل الطريق. بعضكم شاركني السهر، وبعضكم باركني بالدعاء. في كل كلمة دعم، أو لحظة صمت فهمت فيها أنكم تؤمنون بي، كان هناك ما يدفعني للمضي قدماً.

وأخيراً، إلى كل من مرّ بهذه الرحلة دون أن يعلم أن له أثراً في نجاحها:

كل كلمة طيبة، كل ابتسامة مشجعة، كل حضور صامت يحمل دعماً، كان له أثر في وصولي إلى هنا. هذا الإنجاز هو عربون شكر لكل هؤلاء، وهو بداية جديدة لعطاء أكبر، وأمل لا ينتهي.

المستخلص:

مع التركيز بشكل خاص على مركز الملك عبد الله المالي (KAFD) في الرياض، تبحث هذه الدراسة في كيفية تأثير الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء (IoT) على صيانة المصاعد والسلالم المتحركة في إطار التحول نحو البنية التحتية الذكية في المملكة العربية السعودية. تهدف الدراسة إلى تقييم كيفية تعزيز الصيانة التنبؤية، والفعالية التشغيلية، وموثوقية النظام من خلال الجمع بين تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء. جُمعت البيانات من خلال استبيان موحد وُزِعَ على المهندسين والفنيين وأخصائيي الصيانة العاملين في مركز الملك عبد الله المالي كجزء من عملية تحليلية وصفية. تُظهر النتائج أن تطبيقات إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي تحسّن بشكل كبير تخطيط الصيانة، وتُقلل من وقت التوقف، وتُحسّن اكتشاف العيوب. مع ذلك، يُسلّط التقرير الضوء أيضًا على مشكلات تتعلق بتعقيد النظام، وتدريب القوى العاملة، وجاهزية المؤسسات. تدعم النتائج وجود علاقة وطيدة بين درجة كفاءة الموظفين والبنية التحتية الرقمية وفعالية الصيانة الذكية. ولتشجيع ممارسات الصيانة الذكية المستدامة في جميع أنحاء التطويرات الحضرية في المملكة العربية السعودية، يُختتم البحث بتوصيات لتعزيز التكامل التقني، وتعزيز التدريب، وتشجيع التقييم المستمر.

الفصل الأول:

مقدمة:

لقد أحدث الدمج السريع للتقنيات الحديثة، مثل الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء، تغييرًا جذريًا في العديد من القطاعات حول العالم، لا سيما في مجال إدارة وصيانة البنية التحتية. وقد أبدت المملكة العربية السعودية التزامًا راسخًا بدمج التطورات التكنولوجية التي تُحسن الكفاءة التشغيلية والاستدامة والسلامة في التنمية الحضرية وجهود المدن الذكية. يُعد نظام النقل العمودي، وخاصةً المصاعد والسلالم المتحركة، عنصرًا أساسيًا في البنية التحتية الحضرية، وإن كان غالبًا ما يُهمل. تُعد هذه الأنظمة أساسية لإدارة المباني الشاهقة والمجمعات التجارية الواسعة، حيث تعتمد حركة الأفراد والسلع بشكل كبير على استمرارية عملها. اعتمدت صيانة هذه الأنظمة تقليديًا على الصيانة المخطط لها والتدابير الوقائية عند حدوث الأعطال. إلا أن هذه الطريقة التقليدية غالبًا ما تثبت عدم كفاءتها، مما يؤدي إلى زيادة فترات التوقف عن العمل، وزيادة النفقات التشغيلية، وزيادة مخاطر السلامة. وقد ساهم ظهور تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في تسهيل نموذج جديد في إدارة الصيانة، نموذج تنبؤي، قائم على البيانات، وقادر على التخفيف من حدة الاضطرابات قبل حدوثها (Shorfuzzaman, ٢٠٢٤).

تُولي رؤية المملكة العربية السعودية ٢٠٣٠ الأولوية للتنوع الاقتصادي وتحديث البنية التحتية، مُرسيةً بذلك أسس تطوير المدن الذكية والتحول الرقمي في المراكز الحضرية الكبرى. ويُمثل مركز الملك عبد الله المالي (KAFD) في الرياض مشروعًا بارزًا ضمن هذه الرؤية، إذ يُمثل مركزًا حضريًا عصريًا يتميز بمباني شاهقة وتقنيات ذكية وخدمات متطورة. ويُمثل مركز الملك عبد الله المالي، كونه منطقة عالية الكثافة ومتطورة تقنيًا، دراسة حالة نموذجية لتحليل استخدام الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء لتحسين صيانة أنظمة النقل العمودي الأساسية. في مثل هذه الظروف، يُعد التشغيل المستمر للمصاعد والسلالم المتحركة أمرًا بالغ الأهمية ليس فقط للراحة، بل أيضًا للسلامة وسهولة الوصول ومتعة المستخدم. لذلك، يُعد فهم تأثير الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء على عمليات صيانتها أمرًا بالغ الأهمية لمديري المرافق والمشرعين وموردي التقنيات على حد سواء (AL-KINANI, ٢٠٢٥).

الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء ليسا مجرد مصطلحات شائعة؛ بل هما تقنيتان أساسيتان تُمكنان من اتخاذ قرارات ذكية والمراقبة في الوقت الفعلي. يمكن نشر أجهزة إنترنت الأشياء، مثل المستشعرات والأجهزة الطرفية، في المصاعد والسلالم

المتحركة لجمع البيانات حول أنماط الاستخدام، وتآكل المكونات، وتقلبات درجات الحرارة، ومستويات الاهتزاز، وأعطال النظام. عند تقييم هذه البيانات باستخدام خوارزميات الذكاء الاصطناعي، يمكن أن توفر رؤى عملية، بما في ذلك التنبؤ بالأعطال، وتقديم نصائح حول جداول الصيانة، وتقنيات تحسين الأداء. بدلاً من الاستجابة للأعطال، يمكن لفريق الصيانة معالجة المشكلات بشكل استباقي قبل تفاقمها، مما يطيل عمر المعدات ويمنع انقطاع التشغيل. علاوة على ذلك، يتيح الجمع بين الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء التشخيص عن بُعد، بل واتخاذ القرارات بشكل مستقل، حيث يمكن للنظام إبلاغ الفنيين أو تعديل إعدادات التشغيل تلقائياً لضمان أقصى أداء (Gouiza، ٢٠٢٤).

يتزامن إدخال الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في صيانة المصاعد والسلالم المتحركة مع الاتجاهات العالمية في التنمية المستدامة وكفاءة الطاقة. تساهم هذه التقنيات في تقليل مهام الصيانة غير الضرورية، وتوفير استهلاك الطاقة، وتحسين إدارة دورة حياة المعدات بالكامل. بالنسبة لمشروع حضري تطلعي مثل مركز الملك عبد الله المالي، يُعدّ مواءمة تقنيات الصيانة مع أهداف الاستدامة ميزة استراتيجية. علاوة على ذلك، مع تزايد تركيز المملكة العربية السعودية على جذب الاستثمارات الأجنبية والتحول إلى مركز أعمال إقليمي، يُعد ضمان استقرار وفعالية البنية التحتية داخل المناطق المالية مثل مركز الملك عبد الله المالي أمراً بالغ الأهمية لبناء ثقة المستثمرين وأصحاب المصلحة (Mohamed، ٢٠٢٤).

على الرغم من المزايا النظرية، إلا أن التطبيق العملي للذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في صيانة النقل العمودي لا يخلو من عقبات. فقضايا مثل خصوصية البيانات، وتعقيد التكامل، والنفقات الأولية، وجاهزية العمال يمكن أن تعيق التطبيق الشامل. علاوة على ذلك، تعتمد فائدة هذه التقنيات بشكل أساسي على جودة وحجم البيانات المُجمعة، بالإضافة إلى دقة نماذج الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالأعطال. في سياق المملكة العربية السعودية، حيث يتفاوت النضج الرقمي للمؤسسات، يصبح من الضروري دراسة كيفية نشر الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في سيناريوهات الحياة الواقعية والعوامل التي تؤثر على نجاحهما أو قصورهما. ويُعد مركز الملك عبد الله المالي، ببنائه التحتية المتطورة وتركيزه على التكنولوجيا الذكية، مكاناً مثالياً لمثل هذا البحث (Espina-Romero، ٢٠٢٤).

يُعدّ العامل البشري عنصراً بالغ الأهمية. يحتاج متخصصو الصيانة إلى اكتساب مهارات جديدة للعمل بفعالية مع الأنظمة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء. يشمل ذلك فهم بيانات الاستشعار، وتقييم النتائج الحسابية، والاستفادة

من المنصات الرقمية لاتخاذ القرارات. وبالتالي، يستلزم التحول من الصيانة التقليدية إلى الصيانة التنبؤية المدعومة بالتكنولوجيا تحولاً ليس فقط في التقنيات، بل أيضاً في الثقافة التنظيمية وكفاءات العمال. يُعدّ التدريب وبناء القدرات أمراً حيوياً لضمان الاستفادة الكاملة من هذه التقنيات. وفي هذا الصدد، يُمكن للبحث في تجربة مركز الملك عبد الله المالي أن يُقدّم رؤى حول كيفية تعامل الشركات مع هذا التحول بنجاح (Saadioui، ٢٠٢٥).

لا شكّ في ضرورة توفير نقل عمودي موثوق ومستمر في السياقات الحضرية مثل مركز الملك عبد الله المالي. فأَي خلل في وظائف المصاعد أو السلالم المتحركة يُمكن أن يُؤثّر سلبيّاً على عمليات الشركة، وإمكانية وصول ذوي الاحتياجات الخاصة أو كبار السن، وحتى خدمات الطوارئ. لذلك، يجب أن تتطوّر تقنيات الصيانة من كونها تفاعلية أو روتينية إلى أن تكون ذكية ومتجاوبة. يُتيح الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء (IoT) الوسائل اللازمة لتحقيق هذا التطور من خلال بناء بيئة مترابطة، حيث تُبلغ الآلات عن حالتها آنياً، ويتخذ المُشغّلون البشريون قرارات مدروسة بناءً على رؤى تنبؤية. وهذا لا يُعزّز كفاءة التشغيل فحسب، بل يُحسّن أيضاً تجربة المستخدم ومتطلبات السلامة.

تُعدّ هذه الدراسة حديثةً بشكلٍ خاص، إذ تُحلّل تقاطع تقنيتين ثوريتين - الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء - ضمن تطبيقٍ واقعيٍّ بالغ الأهمية. وتسعى إلى توفير معلوماتٍ تجريبيةٍ ورؤىٍ عمليةٍ حول كيفية تأثير هذه التقنيات على صيانة المصاعد والسلالم المتحركة في مركز الملك عبد الله المالي. ومن خلال تقييم نتائج الأداء، وتصورات الجهات المعنية، والتغيرات التشغيلية المتعلقة بتبني الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء، يُسهم البحث في إثراء المعرفة المتنامية في مجال إدارة البنية التحتية الذكية. كما يُقدّم معلوماتٍ قيّمةٍ لصانعي السياسات والمهندسين ومديري المرافق ومطوري التكنولوجيا الذين يعملون على تحسين البنية التحتية الحضرية في المملكة العربية السعودية وحول العالم (Totakhail، ٢٠٢٤).

وفي الختام، يُمثّل دمج الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في صيانة المصاعد والسلالم المتحركة تطوراً هاماً في إدارة البنية التحتية. في إطار رؤية ٢٠٣٠ والموقع الخاص لمركز الملك عبد الله المالي، يُعدّ هذا التحول ضرورياً وحتمياً. ومع استمرار المملكة في تبني الابتكار الرقمي، تُسهم أبحاث كهذه في سد الفجوة بين الإمكانيات النظرية والتطبيق العملي. من خلال استكشاف كيفية تأثير الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء على عمليات الصيانة في سياق حضري حديث عالي الكثافة، يُقدّم البحث رؤى عملية

لتعزيز الموثوقية والكفاءة والسلامة في أنظمة النقل العمودي. يُمكن أن تُثري هذه النتائج مبادراتٍ أوسع لتطوير المدن الذكية، مما يُسهم في مستقبل حضري أكثر ترابطاً وذكاءً ومرونة في المملكة العربية السعودية.

مشكلة الدراسة:

تُعد المصاعد والسلالم المتحركة من المكونات الأساسية للبنية التحتية الحضرية، وخاصةً في المناطق ذات الكثافة السكانية العالية مثل مركز الملك عبد الله المالي (KAFD). غالبًا ما تعتمد أساليب الصيانة التقليدية على الفحوصات الدورية أو الإصلاحات التفاعلية، مما يؤدي إلى انخفاض الكفاءة وتوقف العمل ومخاوف تتعلق بالسلامة. مع صعود الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء (IoT)، تتاح فرصة للانتقال إلى استراتيجيات الصيانة التنبؤية والقائمة على البيانات. ومع ذلك، يواجه التطبيق العملي لهذه التقنيات في المملكة العربية السعودية العديد من التحديات. يستكشف هذا البحث مدى تأثير الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء على صيانة المصاعد والسلالم المتحركة في مركز الملك عبد الله المالي، مع تقييم الفعالية والجودة وعوائق التطبيق.

١. قيود أساليب الصيانة التقليدية:

عادةً ما يتضمن النهج التقليدي لصيانة المصاعد والسلالم المتحركة عمليات تفتيش روتينية مجدولة أو صيانة تفاعلية بعد حدوث عطل. غالبًا ما تؤدي هذه الطريقة إلى أنشطة صيانة غير ضرورية أو تأخير في الاستجابة، مما قد يؤدي إلى تعطل المعدات وانقطاعات التشغيل ومخاطر السلامة. في البيئات ذات الحركة المرورية الكثيفة، مثل مركز الملك عبد الله المالي، حتى الأعطال الطفيفة قد تؤثر بشدة على عمليات البناء ورضا المستخدمين. إضافةً إلى ذلك، تُحدّ الصيانة التفاعلية من القدرة على توقع الأعطال المحتملة، مما يؤدي إلى تخصيص غير فعال للموارد. يتناول هذا البحث قيود النماذج التقليدية، ويبحث فيما إذا كانت الصيانة التنبؤية القائمة على الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء تُقدم بديلاً أكثر موثوقية وفعالية من حيث التكلفة واستباقية (Cui، ٢٠٢٥).

٢. قلة استخدام التقنيات الناشئة:

على الرغم من تزايد الاعتماد العالمي على الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في صيانة البنية التحتية، إلا أن تطبيقهما في أنظمة النقل العمودي في المملكة العربية السعودية لا يزال محدودًا نسبيًا. هناك فجوة كبيرة بين توافر هذه التقنيات وتطبيقها العملي في المشاريع الحضرية مثل مركز الملك عبدالله المالي. قد ينبع هذا النقص في الاستخدام من نقص الوعي، أو نقص الخبرة التقنية، أو مقاومة التغيير. تنبع مشكلة البحث من الحاجة إلى فهم سبب عدم اعتماد هذه التقنيات بشكل كامل على الرغم من قدرتها على إحداث نقلة نوعية في عمليات الصيانة. إن استكشاف العوائق والدوافع التي تحول دون اعتمادها يُمكن أن يُوفر رؤى قيّمة للتغلب على الركود التكنولوجي في قطاع البنية التحتية في المملكة (Alnaser، ٢٠٢٥).

٣. تحديات موثوقية البيانات وتكاملها:

تعتمد أنظمة الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء بشكل كبير على الجمع والتحليل المستمر للبيانات اللحظية من أجهزة الاستشعار المدمجة في مكونات المصاعد والسلالم المتحركة. ومع ذلك، يُشكل ضمان موثوقية هذه البيانات واتساقها وتكاملها تحديًا كبيرًا. يمكن أن يُضعف أداء أجهزة الاستشعار غير المتسق، وعزل البيانات، ونقص المنصات الموحدة فعالية التحليلات التنبؤية. في سياق مركز الملك عبدالله المالي، الذي يضم أنظمة بناء معقدة ومتنوعة، يُصبح تكامل البيانات صعبًا للغاية. يهدف هذا البحث إلى استكشاف تحديات جمع بيانات عالية الجودة، والحفاظ على قابلية التشغيل البيئي للنظام، وضمان حصول نماذج الذكاء الاصطناعي على المعلومات اللازمة لتقديم رؤى صيانة دقيقة وقابلة للتنفيذ (Aldoseri، ٢٠٢٣).

٤. فجوة المهارات وجاهزية القوى العاملة:

يتطلب التطبيق الناجح للذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في صيانة المصاعد والسلالم المتحركة قوة عاملة لا تتمتع بالمهارات الفنية فحسب، بل أيضًا بالقدرة على التكيف مع التحول الرقمي. ومع ذلك، فإن أحد العوائق الرئيسية أمام التقدم في هذا المجال هو فجوة المهارات القائمة بين موظفي الصيانة في المملكة العربية السعودية. قد يفتقر الفنيون التقليديون إلى التدريب في تحليلات البيانات، أو المنصات السحابية، أو تفسير الرؤى المُولّدة بالذكاء الاصطناعي. يُمكن أن يُعيق هذا التفاوت التنفيذ الكامل لأنظمة الصيانة الذكية، مما يؤدي إلى ضعف الأداء أو المقاومة. تُركّز مشكلة البحث على تقييم جاهزية القوى العاملة

الحالية في منطقة الملك عبدالله المالية (KAFD) وتحديد الاستراتيجيات اللازمة لسد فجوة الكفاءة من خلال التدريب والتعليم والدعم التنظيمي (Sidhu، ٢٠٢٤).

٥. التكاليف الأولية المرتفعة ومخاوف عائد الاستثمار:

من أهم العوائق أمام اعتماد تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في صيانة المصاعد والسلالم المتحركة التكلفة الباهظة المتصورة للإعداد الأولي. يتطلب تركيب أجهزة استشعار إنترنت الأشياء، وبناء البنية التحتية للبيانات، وتطوير نماذج الذكاء الاصطناعي استثمارات مالية كبيرة. بالنسبة لمديري المباني وأصحاب المصلحة، غالبًا ما يكون عائد الاستثمار (ROI) غير واضح، خاصةً إذا لم تكن الفوائد، مثل تقليل وقت التوقف عن العمل أو إطالة عمر المعدات، ملموسة على الفور. في حالة منطقة الملك عبدالله المالية (KAFD)، وهي منطقة مرموقة ومتقدمة تقنيًا، يُصبح فهم الديناميكيات المالية لاعتماد التكنولوجيا أمرًا بالغ الأهمية. يبحث هذا البحث ما إذا كانت الفوائد طويلة الأجل للذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء تفوق التكاليف الأولية، وكيف يمكن تبرير هذه التكاليف أو التخفيف منها (Regona، ٢٠٢٢).

٦. توقعات السلامة والموثوقية:

تُعدّ المصاعد والسلالم المتحركة من أهمّ مكونات السلامة في أيّ مبنى، لا سيّما في المناطق التجارية الكبرى مثل مركز الملك عبدالله المالي. أيّ عطل لا يُعطّل العمليات فحسب، بل يُعرّض المستخدمين للخطر أيضًا. لذلك، فإنّ توقّع الموثوقية العالية أمرٌ لا يقبل المساومة. في حين أنّ الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء يُعدّان بموثوقية مُعزّزة من خلال الصيانة التنبؤية، فإنّ أيّ أخطاء في تنبؤات النظام أو عطل في المستشعرات قد يُؤثّر على السلامة. تتمثّل مشكلة البحث في تقييم مدى استيفاء هذه التقنيات لمعايير السلامة الصارمة المطلوبة في مثل هذه البيئات. كما يسعى إلى استكشاف كيفية دمج تصميم النظام، والتكرار، وآليات الأمان من الأعطال في حلول الصيانة الذكية للحفاظ على معايير السلامة الحالية أو تجاوزها (Janipha، ٢٠١٨).

٧. الجاهزية التنظيمية وإدارة التغيير:

يتطلب اعتماد الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في صيانة المصاعد والسلالم المتحركة أكثر من مجرد ترقية تكنولوجية، بل يشمل تحولاً تنظيمياً. يجب على فرق إدارة المرافق التحول من سير العمل التقليدي إلى عمليات متكاملة رقمياً. يتطلب هذا التحول إدارة فعّالة للتغيير، ومواءمة الأهداف، وتحولاً ثقافياً نحو الابتكار. في حالة مركز الملك عبدالله المالي، حيث تُدير البنية التحتية جهاتٌ معنيةٌ متعددة، قد يكون تحقيق التوافق في استخدام التكنولوجيا معقداً. تتناول مشكلة البحث مدى استعداد المؤسسة لتبني هذا التحول، والمقاومة الداخلية والخارجية للتغيير، والإجراءات الاستراتيجية اللازمة لتطبيق هذه الأنظمة بطريقة منسقة ومستدامة ومقبولة في جميع أنحاء المنطقة (Chhatre, ٢٠٢٤).

٨. نقص البحوث والمعايير المحلية:

على الرغم من وجود دراسات حالة عالمية حول تطبيق الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في صيانة المصاعد والسلالم المتحركة، إلا أن هناك ندرة في البحوث المحلية الخاصة بالبيئة الحضرية في المملكة العربية السعودية، والإطار التنظيمي، واحتياجات البنية التحتية. هذا النقص في المعرفة الخاصة بالسياق يُصعّب على صانعي القرار تقييم المخاطر والفوائد بدقة. بالنسبة لمشروع مثل مركز الملك عبدالله المالي، الذي يعمل في بيئة اجتماعية واقتصادية وتكنولوجية فريدة، قد لا تكون المعايير العالمية قابلة للتطبيق بشكل مباشر. وبالتالي، تكمن مشكلة البحث في الحاجة إلى توليد بيانات تجريبية ونتائج سياقية تعكس واقع السوق السعودي. من خلال التركيز على مركز الملك عبدالله المالي كدراسة حالة، يسعى هذا البحث إلى سد فجوة المعرفة والمساهمة في أدبيات البنية التحتية الذكية المحلية.

أهمية الدراسة:

تكتسب هذه الدراسة أهمية بالغة، إذ تُحلل الترابط بين الابتكار الرقمي وصيانة البنية التحتية في سياق التطور الحضري السريع في المملكة العربية السعودية. ومن خلال التركيز على تكامل الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في صيانة المصاعد والسلالم المتحركة، يُسهم البحث في التقدم النظري والتحسين العملي في هذا المجال. كما يُسهم في سد الثغرات في الأبحاث المحلية، ويُعزز فهم أنظمة الصيانة الذكية، ويُقيّم أدائها في سياق واقعي. وتُعدّ هذه النتائج مهمة للمشرعين والمهندسين ومخططي المدن وموردي التكنولوجيا الذين يعملون على تطوير مدن أكثر ذكاءً وأماناً وكفاءةً، بما يتماشى مع أهداف رؤية ٢٠٣٠.

- الأهمية العلمية:

١. المساهمة في أدبيات المدن الذكية:

يُساهم هذا العمل في توسيع قاعدة الأدبيات الأكاديمية حول تطوير المدن الذكية، من خلال تناول مجالٍ لم يُبحث فيه بشكل كافٍ نسبياً: تأثير الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في صيانة المصاعد والسلالم المتحركة. في حين أن البنية التحتية الذكية تُستكشف على نطاق واسع في الأبحاث العالمية، إلا أن التركيز على كيفية تأثير التقنيات التنبؤية، وخاصةً على أنظمة التنقل العمودي في السياقات الحضرية عالية الكثافة، أقل. من خلال تقديم بيانات تجريبية وتحليلات سياقية من مركز الملك عبدالله المالي، يُثري البحث دراسات المدن الذكية ويفتح آفاقاً جديدة لمزيد من الاستكشاف العلمي في الاستخدامات الجزئية للذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء ضمن الأنظمة الحضرية واسعة النطاق (Alsabt, ٢٠٢٤).

٢. تطوير البحوث المحلية:

من أهم المساهمات العلمية لهذه الدراسة توطئ المفاهيم الأجنبية في البيئة السعودية. في حين أن تطبيقات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في مجال الصيانة تُدرس عالميًا بشكل شامل، إلا أن دراسات أكاديمية قليلة استكشفت كيفية أداء هذه التقنيات في ظل الظروف البيئية والاقتصادية والتنظيمية الخاصة بالمملكة العربية السعودية. يُعالج هذا البحث هذه الفجوة من خلال تقديم دراسة حالة سياقية. كما يُرسي أساسًا للدراسات المقارنة المستقبلية، مما يسمح للباحثين بفهم أفضل لكيفية تكيف الابتكارات العالمية مع البيئات المحلية، وما هي التعديلات التي قد تكون ضرورية لنجاح تطبيقها في المناطق الحضرية المماثلة (Ali, ٢٠٢٤).

٣. دمج الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في أبحاث البنية التحتية:

يمزج هذا العمل مجالين تقنيين مُبتكرين - الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء - في أبحاث البنية التحتية والصيانة، مما يُقدم مساهمة متعددة التخصصات. غالبًا ما تُركز دراسات البنية التحتية على الهندسة الإنشائية أو التخطيط الحضري، بينما يُنظر إلى الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء غالبًا على أنهما تخصصان مستقلان. من خلال دمج هذه المجالات، يُثري البرنامج الحوار متعدد التخصصات، ويُهد الطريق لبحوث متقدمة تُدمج الهندسة وعلوم البيانات وإدارة المدن. يُقدم البرنامج نموذجًا جديدًا لتقييم أنظمة البنية التحتية الذكية، ويقترح نماذج للأكاديميين المُستقبليين الذين يتطلعون إلى استكشاف اهتمامات مُشتركة بين التخصصات، من الناحيتين النظرية والتطبيقية (Alotaibi, ٢٠٢٤).

٤. تطوير نماذج الصيانة التنبؤية:

يُوسّع البحث الفهم الأكاديمي لنماذج الصيانة التنبؤية من خلال تطبيقها، خاصةً على أنظمة المصاعد والسلالم المتحركة في البيئات الحضرية. تُستخدم معظم النماذج الحالية في الصناعات التحويلية أو النقل، مما يُعيق تطبيقها على أنظمة النقل العمودي. يُوفر هذا العمل منصةً لتغيير وتحسين الخوارزميات التنبؤية استنادًا إلى بيانات الاستشعار الواقعية من KAFD. من خلال تحليل دقة النموذج، وقدرات التنبؤ بالأعطال، وكفاءة اتخاذ القرار، يُساهم البحث بقيمة علمية في إنشاء وتحسين أطر الصيانة القائمة على الذكاء الاصطناعي، والمناسبة لمكونات البنية التحتية الحيوية (Achouch, ٢٠٢٢).

٥. تقييم عوامل تبني التكنولوجيا:

تُحلل الدراسة السمات النظرية لتبني التكنولوجيا في مشاريع البنية التحتية، بما في ذلك الإعداد التنظيمي، وقدرات القوى العاملة، وقابلية التشغيل البيئي للأنظمة. تُناقش هذه العناصر عادةً بشكل تجريدي، إلا أن هذا البحث يدرسها من خلال تطبيقها الفعلي في مركز الملك عبدالله المالي. تُعد هذه المساهمة البحثية بالغة الأهمية لأنها تُقدم بيانات موثوقة حول العوامل التي تُحدد تبني التكنولوجيا أو رفضها في المواقف المعقدة. تُكمل الدراسة نماذج التبني الحالية، مثل نموذج قبول التكنولوجيا (TAM) أو نظرية انتشار الابتكارات، من خلال تطبيقها على الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في مجال الصيانة، مما يُقدم رؤى مُفيدة خاصة بكل حالة على حدة، تُساهم في التنظير الأكاديمي (Hooks، ٢٠٢١).

٦. المساهمة في الحوار الأكاديمي حول رؤية ٢٠٣٠:

أثمرت رؤية المملكة العربية السعودية ٢٠٣٠ عن مجموعة متنامية من الأعمال الأكاديمية التي تُركز على التنوع الاقتصادي، والتحول الرقمي، وتطوير البنية التحتية. تُساهم هذه الورقة البحثية بشكل مباشر في هذا الحوار الأكاديمي من خلال تقييم كيفية مساهمة الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في تحقيق الأهداف الاستراتيجية للتنمية الوطنية. تُقدم الورقة مراجعة أكاديمية قائمة على حالات عملية لمبادرة مهمة - الصيانة الذكية - ضمن أحد أشهر مشاريع المملكة. يُمكن أن تُشكل النتائج مرجعاً للدراسات المستقبلية التي تُقيّم فعالية البرامج المتعلقة برؤية ٢٠٣٠، مما يُتيح إجراء تقييمات أكثر دقة لما يُجدي وما لا يُجدي، ولماذا، في المشهد التنموي السعودي.

- الأهمية العملية:

١. تحسين كفاءة الصيانة:

يُضفي هذا العمل قيمة عملية من خلال توضيحه كيف يُمكن للذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء أن يُعززا كفاءة صيانة المصاعد والسلالم المتحركة بشكل كبير. فمن خلال استبدال عمليات الفحص اليدوي والإصلاحات التفاعلية بالمراقبة الفورية والتحليلات التنبؤية، يُمكن لمديري المرافق منع أعطال المعدات، وتقليل فترات التوقف غير المتوقعة، وتحسين جداول الصيانة. ويمكن أن تؤثر هذه النتائج بشكل مباشر على كيفية تصميم الإجراءات التشغيلية في مركز الملك عبدالله المالي والمؤسسات ذات الصلة. كما تُقدم رؤى قيّمة حول كيفية تحسين التقنيات الرقمية للعمليات، وتحسين وقت الاستجابة، وتقليل تكاليف الصيانة. وتُسهم هذه الكفاءة في تحسين أداء المباني وزيادة رضا المستخدمين في مختلف المشاريع التجارية والسكنية (Shah، ٢٠٢٤).

٢. دعم السلامة وتجربة المستخدم:

من أهم النتائج العملية للدراسة مساهمتها في تحسين السلامة وتحسين تجربة المستخدم. تُعدّ المصاعد والسلالم المتحركة عنصراً أساسياً في الحركة اليومية لآلاف الأشخاص في المراكز الحضرية مثل مركز الملك عبدالله المالي. ويمكن أن تؤدي أعطال المعدات إلى إصابات خطيرة أو انقطاع في الخدمة. ومن خلال استخدام الصيانة التنبؤية المدعومة بالذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء، يُمكن لعمال المرافق اكتشاف مخاطر السلامة قبل وقوعها. يُقلل هذا النهج الاستباقي من المسؤولية، ويضمن الامتثال للوائح التنظيمية، ويعزز ثقة الجمهور بموثوقية البنية التحتية. ويُوفر البحث أسساً واقعية لتطوير أنظمة إنذار مبكر واستجابات آلية تحمي الأفراد والأصول (Somasekaran، ٢٠٢٤).

٣. خفض التكاليف التشغيلية:

تُوضح هذه الدراسة كيف يُمكن للصيانة القائمة على الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء خفض النفقات التشغيلية لمديري المرافق ومطوري العقارات. غالباً ما تتضمن إجراءات الصيانة التقليدية فحوصات دورية، ومكالمات طوارئ، وإصلاحات باهظة الثمن. تُمكن الأنظمة التنبؤية من التدخلات المُركزة فقط عند الحاجة، مما يُقلل ساعات العمل ويُطيل عمر المعدات. بالنسبة للمطورين في منطقة الملك عبدالله المالية والمجالات المالية المماثلة، تدعم النتائج قرارات الاستثمار من خلال إظهار عائد

استثمار واضح. يتضمن البحث تحليلًا عمليًا للتكلفة والعائد ومنهجيات لتحسين الميزانية تُشكل دراسة جدوى قوية لاستخدام تقنيات الصيانة الذكية في مشاريع البنية التحتية الجديدة والقائمة على حدٍ سواء (S، ٢٠٢٥).

٤. إبلاغ السياسات والمعايير التنظيمية:

يُقدم هذا البحث ذات أهمية عملية للسياسيين والهيئات التنظيمية المسؤولة عن لوائح البناء، ومتطلبات السلامة، وإرشادات تطوير المدن الذكية. مع تزايد شيوع الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء، يجب أن تتكيف الأطر القانونية لضمان استخدام هذه التقنيات بأمان وفعالية. يمكن أن تُسهم استنتاجات هذه الدراسة في وضع متطلبات صيانة جديدة، وسياسات حوكمة البيانات، وبرامج اعتماد التكنولوجيا في المملكة العربية السعودية. من خلال التركيز على تطبيق عملي في مركز الملك عبدالله المالي، يقدم التقرير توصيات عملية يمكن لصانعي السياسات استخدامها لقيادة المزيد من التطورات في جميع أنحاء المملكة، وربط تشريعات البنية التحتية بالاتجاهات التكنولوجية المتنامية (Jin، ٢٠٢٥).

٥. توجيه تطوير وتدريب القوى العاملة:

من الاستنتاجات المهمة لهذا البحث تحديد فجوات المهارات ومتطلبات العمل المرتبطة بتكامل الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء. يمكن للمؤسسات التعليمية ومراكز التدريب وإدارات الموارد البشرية في الشركات الاستفادة من نتائج الدراسة لبناء برامج مناسبة لعمال الصيانة. مع تطور مهام الصيانة التقليدية لتشمل التشخيص الرقمي وتفسير البيانات، يجب على القوى العاملة التكيف. يقدم هذا البحث اقتراحات عملية حول بناء المناهج الدراسية، ومبادرات رفع المهارات، وعمليات اعتماد الفنيين. ويضمن أن يواكب تطوير رأس المال البشري التطور التقني، مما يُمكن المملكة العربية السعودية من بناء فريق صيانة ماهر رقميًا ومستعد للمستقبل (Morandini، ٢٠٢٣).

٦. إرساء نموذج للمشاريع المستقبلية:

يُعدّ هذا البحث معياراً عملياً لمشاريع المدن الذكية والبنية التحتية الحضرية المستقبلية في المملكة العربية السعودية والعالم. يُعدّ مركز الملك عبد الله المالي من أوائل المشاريع في المملكة التي تستخدم أساليب الصيانة الحديثة، مما يجعله نموذجاً يُمكن للمناطق الأخرى الاستفادة منه. يُحدد التقرير مشاكل التنفيذ، وعوامل النجاح، والدروس المستفادة، مُرسياً بذلك خارطة طريق لمبادرات مماثلة. يُمكن لمخططي المدن والمطورين ومُوردي التقنيات استخدام نتائج الدراسة لإعادة إنتاج حلول الصيانة الذكية وتوسيع نطاقها في المشاريع الجديدة، مما يُقلل المخاطر ويُحسّن النتائج. تُعزز إمكانية تكرار هذه النتائج الأهمية العملية للبحث وفائدته على المدى الطويل.

اهداف الدراسة:

- الهدف الرئيسي:

دراسة تأثير الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء على صيانة المصاعد والسلالم المتحركة في المملكة العربية السعودية، مع دراسة حالة مركز الملك عبد الله المالي (KAFD).

- الاهداف الفرعية:

١. تقييم فعالية نماذج الصيانة التنبؤية:

يهدف هذا الهدف إلى اختبار مدى فعالية نماذج الصيانة التنبؤية المعتمدة على الذكاء الاصطناعي عند تطبيقها على المصاعد والسلالم المتحركة في بيئة حضرية معقدة مثل مركز الملك عبد الله المالي. ويشمل ذلك تحليل دقة النظام في التنبؤ بأعطال المعدات، والقدرة على تقليل وقت التوقف، ومقارنة هذه النماذج بإجراءات الصيانة التقليدية. ومن خلال جمع البيانات التشغيلية قبل وبعد اعتماد أدوات الذكاء الاصطناعي، قد تُقيّم الدراسة التحسينات الملموسة في كفاءة الخدمة وموثوقيتها. وستساعد النتائج في تقييم مدى مساهمة الصيانة التنبؤية في تحسين أداء البنية التحتية، وتحديد التحسينات الفنية اللازمة للتطبيق مستقبلاً.

٢. تحديد تقنيات إنترنت الأشياء الرئيسية وتطبيقاتها:

يركز هذا الهدف على تحديد تقنيات إنترنت الأشياء الدقيقة المستخدمة في أنظمة المصاعد والسلالم المتحركة في مركز الملك عبدالله المالي. وتشمل هذه التقنيات أجهزة استشعار، وأجهزة طرفية، وبروتوكولات اتصال تجمع البيانات التشغيلية وتنقلها. ستُقيم الدراسة كيفية وضع مكونات إنترنت الأشياء هذه، وأنواع البيانات التي تلتقطها (مثل درجة الحرارة، والاهتزاز، وسجلات الأعطال)، وكيفية تغذية هذه البيانات إلى أنظمة الذكاء الاصطناعي للتحليل. ويهدف البحث إلى رسم خريطة للنظام البيئي التكنولوجي الداعم للصيانة الذكية، وتحديد الأدوات الأكثر أهمية في تعزيز الوعي التشغيلي، واكتشاف العيوب، والمراقبة الفورية لأنظمة النقل العمودية.

٣. تقييم جاهزية المؤسسة لدمج التكنولوجيا:

يستكشف هذا الهدف مدى استعداد فرق إدارة المرافق، والفنيين، وصناع القرار في مركز الملك عبدالله المالي لدمج الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في عمليات الصيانة. ويشمل ذلك دراسة إلمامهم الرقمي، وبرامجهم التدريبية، ومدى إحجامهم عن التغيير، ومدى توافقهم مع الأهداف الاستراتيجية. وسيحدد البحث التحديات الثقافية أو المؤسسية أو التشغيلية التي قد تعيق تبني التكنولوجيا، ويقدم حلولاً للتغلب عليها. يُعد فهم جاهزية المؤسسة أمرًا بالغ الأهمية لتحقيق التنفيذ الناجح والاستدامة طويلة الأمد. كما يُساعد هذا الهدف في تصميم برامج بناء القدرات لسد النقص في مهارات القوى العاملة وتشجيع ثقافة الابتكار داخل مؤسسات إدارة البنية التحتية.

٤. تحليل آثار التكلفة وعائد الاستثمار:

يهدف هذا الهدف إلى دراسة أثر تكلفة استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في عمليات الصيانة في مركز الملك عبدالله المالي. ويشمل ذلك دراسة كل من تكاليف التنفيذ الأولية - مثل تركيب أجهزة الاستشعار وترخيص البرامج - والفوائد المحتملة على المدى الطويل من تقليل عدد الإصلاحات واستهلاك الطاقة وساعات العمل. ستُقارن الدراسة بيانات التكلفة من أنظمة الصيانة القياسية والذكية لقياس الكفاءة والربحية الإجمالية. من خلال تحديد عائد الاستثمار، يُوفر هذا الهدف لصناعي القرار مبررات قائمة على الأدلة للاستثمار، ويساعد في إيجاد حلول فعالة من حيث التكلفة لتبني التكنولوجيا. كما يُقدم نموذجًا ماليًا يُمكن استخدامه في مشاريع البنية التحتية المستقبلية.

٥. دراسة تحسينات السلامة وموثوقية الخدمة:

يُقيّم هذا الهدف كيف تُعزز تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء السلامة والموثوقية في عمليات المصاعد والسلالم المتحركة. يدرس هذا البحث قدرة النظام على التعرف على إشارات الإنذار المبكر للأعطال، ومنع حالات التوقف المفاجئ، والاستجابة الفورية للحالات الشاذة. وسيتناول البحث تجارب المستخدمين، وتقارير حوادث السلامة، وسجلات الخدمة لتحديد ما إذا كانت الصيانة الذكية قد قللت من الحوادث أو حسّنت أوقات الاستجابة. كما يتحقق من الامتثال لمعايير السلامة، وكيف تدعم التكنولوجيا الاحتياجات التنظيمية. ومن خلال التركيز على نتائج الأداء، يساعد هذا الهدف على تقييم المزايا المباشرة للمستخدم والمجتمع لصيانة البنية التحتية الذكية.

٦. وضع توصيات للمشاريع الذكية المستقبلية:

يسعى الهدف الفرعي الأخير إلى دمج نتائج الدراسة في توصيات عملية يمكن استخدامها لتطوير البنية التحتية الذكية مستقبلاً في المملكة العربية السعودية. وستغطي هذه التوصيات الخيارات التقنية، وتصميم السياسات، وتدريب القوى العاملة، وتقنيات التنفيذ. واستناداً إلى الدروس المستفادة من سيناريو مركز الملك عبدالله المالي، سيحدد المشروع إطاراً قابلاً للتطوير لدمج الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في سياقات حضرية مختلفة. ويضمن هذا الهدف أن يكون للبحث تأثير حقيقي وقابل للتكرار يتجاوز دراسة الحالة الحالية، مما يساعد مخططي المدن والمطورين والهيئات الحكومية على إنشاء أنظمة صيانة أكثر فعالية وكفاءة وذكاءً في المشاريع القادمة.

تساؤلات الدراسة:

- السؤال الرئيسي:

كيف يؤثر الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء على صيانة المصاعد والسلالم المتحركة في مركز الملك عبد الله المالي (KAFD) بالمملكة العربية السعودية؟

- الأسئلة الفرعية:

١. ما هي حدود أساليب صيانة المصاعد والسلالم المتحركة القياسية المستخدمة حاليًا في مركز الملك عبد الله المالي؟
٢. ما مدى فعالية حلول الصيانة التنبؤية المعتمدة على الذكاء الاصطناعي في تقليل أعطال المعدات وتوقفها عن العمل؟
٣. ما أنواع أجهزة إنترنت الأشياء ومصادر البيانات المدرجة في عملية الصيانة في مركز الملك عبد الله المالي؟
٤. ما مدى جاهزية فرق الصيانة وإدارة المرافق في مركز الملك عبد الله المالي لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء؟
٥. ما هي الآثار المالية والعائد الاستثماري المحتمل لتركيب أنظمة الصيانة الذكية؟
٦. إلى أي مدى يُعزز الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء السلامة والموثوقية في عمليات المصاعد والسلالم المتحركة؟
٧. ما هي العقبات التنظيمية والفنية التي تُعيق التكامل الكامل للذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في الصيانة في مركز الملك عبد الله المالي؟
٨. ما هي التوصيات التي يمكن تقديمها لتطبيق ممارسات صيانة الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في مشاريع البنية التحتية الذكية المستقبلية في المملكة العربية السعودية؟

فرضيات الدراسة:

- الفرضية الرئيسية:

يُحسن دمج الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء (IoT) بشكل ملحوظ كفاءة وموثوقية وفعالية تكلفة أنظمة صيانة المصاعد والسلالم المتحركة في مركز الملك عبد الله المالي (KAFD) مقارنةً بأساليب الصيانة التقليدية.

- الفروض الفرعية:

١. H1:

تُقلّل حلول الصيانة التنبؤية القائمة على الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء بشكل كبير من وقت تعطل المصاعد والسلالم المتحركة في مركز الملك عبد الله المالي من خلال تحديد المشكلات قبل حدوثها. تُمكن هذه التقنيات من اتخاذ استجابات استباقية تمنع الانقطاعات المكلفة وتُقلّل من انقطاعات الخدمة. من خلال تحليل البيانات في الوقت الفعلي والإشعارات التلقائية، يُمكن لمحتري الصيانة معالجة المشكلات المحتملة في وقت أبكر من الصيانة المجدولة أو التفاعلية. وهذا يؤدي إلى انخفاض الأعطال، وسلاسة أكبر في عمليات المبنى، وزيادة رضا المستخدمين. تفترض الفرضية أن الصيانة الذكية تؤدي إلى استمرارية تشغيلية أعلى من الأساليب التقليدية، وأن الانخفاض الملحوظ في انقطاعات الخدمة يُمكن ربطه مباشرة بتطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء.

٢. H2:

يُحسن استخدام أجهزة ومستشعرات إنترنت الأشياء (IoT) دقة وفعالية مراقبة أداء المصاعد والسلالم المتحركة في مطار الملك عبد العزيز الدولي (KAFD) بشكل ملحوظ. تلتقط هذه الأجهزة بيانات أساسية حول درجة الحرارة والاهتزاز والسرعة وتكرار الاستخدام، والتي يُمكن تقييمها لاحقًا باستخدام خوارزميات الذكاء الاصطناعي لاكتشاف أي تشوهات وأنماط تآكل. تفترض الفرضية أن المراقبة الآنية تؤدي إلى اتخاذ قرارات أكثر استنارة، مما يسمح باتخاذ إجراءات الصيانة في الوقت المناسب. كما تُظهر أن تحسين وضوح البيانات يُساعد الموظفين على تحديد الموقع الدقيق للمشاكل الطارئة وسببها، مما يؤدي إلى تشخيصات أكثر دقة وتقصير وقت الصيانة، مُقارنةً بالأنظمة التي تفتقر إلى اتصال إنترنت الأشياء.

٣. H3:

يؤدي اعتماد تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في أنظمة النقل العمودي في مطار الملك عبد العزيز الدولي (KAED) إلى تحسن ملموس في معايير السلامة والوقاية من الحوادث. تفترض الفرضية أن الخوارزميات التنبؤية والمراقبة المستمرة يُمكنهما اكتشاف العيوب أو الظروف الضارة - مثل الاهتزاز المفرط أو عدم انتظام عمل الباب - قبل أن تتفاقم إلى ظروف خطيرة. نتيجةً لذلك، تنخفض احتمالية وقوع الحوادث أو الأعطال الطارئة. كما يُحسّن دمج هذه التقنيات الامتثال لقوانين السلامة المحلية والدولية. سيتم اختبار هذه الفرضية بمقارنة تقارير حوادث السلامة وسجلات الصيانة قبل وبعد تطبيق أنظمة الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء.

٤. H4:

تشهد المؤسسات في مركز الملك عبدالله المالي التي تُطبّق الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء لصيانة المصاعد والسلالم المتحركة انخفاضًا في التكاليف على المدى الطويل على الرغم من ارتفاع تكاليف التركيب الأولية. تفترض النظرية أنه على الرغم من أن إنشاء أنظمة صيانة ذكية يتطلب استثمارًا في أجهزة الاستشعار والبرمجيات والتدريب، إلا أن انخفاض وتيرة الإصلاحات الطارئة، وانخفاض تكاليف العمالة، وإطالة عمر المعدات، تُوازن هذه الاستثمارات. تتحقق الفائدة المالية على المدى الطويل من خلال تحسين أداء الأصول، وتقليل وقت التوقف عن العمل، وتقليل التدخلات غير الضرورية. سيتم قياس ذلك من خلال دراسة نفقات الصيانة، ومعدلات الإصلاح، ودورات استبدال المكونات قبل وبعد تطبيق الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في المباني المختارة.

٥. H5:

تتأثر كفاءة حلول صيانة الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في مركز الملك عبدالله المالي بالكفاءة الفنية والاستعداد الرقمي لموظفي الصيانة. تشير هذه الفرضية إلى أنه بدون تدريب كافٍ، قد لا يستغل الفنيون إمكانيات تقنيات الصيانة الذكية بشكل كامل، مما يقلل من فعاليتها. تفترض الدراسة وجود علاقة مباشرة بين جاهزية العمال - المقاسة بالمهارات وساعات التدريب والإلمام بالأدوات الرقمية - ونتائج التنفيذ الناجحة. من المتوقع أن تُظهر المباني التي تضم عمالاً مدربين تدريباً جيداً أداءً متفوقاً

للنظام، وأوقات استجابة أسرع، وتنفيذ صيانة أكثر دقة من تلك التي يعتمد فيها الموظفون على الأساليب القديمة أو يفتقرون إلى الفهم التقني الأساسي.

٦. H6:

يمكن أن يكون التبني الفعال لإجراءات صيانة الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في مركز الملك عبدالله المالي نموذجًا قابلاً للتطوير لمشاريع البنية التحتية الذكية الأخرى في المملكة العربية السعودية. تفترض هذه الفرضية أن الدروس المستفادة من مركز الملك عبدالله المالي - بما في ذلك العقبات والإنجازات والتعديلات التنظيمية - يمكن أن تؤثر على أفضل الممارسات لتطبيقها على نطاق أوسع في جميع أنحاء المملكة. سيتم دراسة عوامل مثل عائد الاستثمار، ورضا المستخدمين، وتأثير القوى العاملة، والامتثال للوائح التنظيمية. إذا ثبتت فعاليتها، يمكن أن تُحفّز دراسة مركز الملك عبدالله المالي (KAFD) استثمارات أكبر في البنية التحتية الذكية، مما يؤثر على السياسات الوطنية وتخطيط المشاريع. تضع هذه الفرضية مركز الملك عبدالله المالي (KAFD) كبيئة رائدة يُمكن لخبرتها أن تُسرّع وتيرة تطوير المدن الذكية في جميع أنحاء المملكة العربية السعودية.

النظرية العلمية المتبعة لإعداد البحث:

يرتكز هذا البحث على نموذج قبول التكنولوجيا (TAM) ويُعززه مبادئ نظرية انتشار الابتكارات. يناقش نموذج قبول التكنولوجيا كيفية تعلم الأفراد لتبني واستخدام التكنولوجيا الجديدة، مع التركيز على الفائدة المُدركة وسهولة الاستخدام، بينما تتناول نظرية انتشار الابتكارات كيفية انتشار التقنيات داخل المجتمعات والمؤسسات. تُوفر هذه النظريات إطارًا لتقييم تكامل الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في صيانة المصاعد والسلالم المتحركة في مدينة الملك عبدالله المالية. كما تُساعد في تفسير الجوانب التي تُحفز التبني، وسلوك المستخدم، وجاهزية المؤسسة، والتأثير الأكبر للتحويل الرقمي في إدارة البنية التحتية.

١. الفائدة المدركة ودورها في التبني:

وفقاً لنموذج قبول التكنولوجيا، تُعتبر الفائدة المدركة عاملاً رئيسياً في تحديد ما إذا كان الأفراد أو المؤسسات يتبنون التكنولوجيا الجديدة. في سياق هذا البحث، تُشير الفائدة المدركة إلى قناعة مديري المرافق والفنيين في مدينة الملك عبدالله المالية بأن أنظمة الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء ستُحسن أداء الصيانة والسلامة والفعالية من حيث التكلفة. تُساعد هذه النظرية في تقييم مدى اعتبار الجهات المعنية للتكنولوجيا الذكية أمراً حيوياً لتحقيق الأهداف التشغيلية. تستخدم الدراسة هذه الفكرة لتقييم كيفية تأثير الفوائد المدركة على قرارات تطبيق الصيانة التنبؤية القائمة على الذكاء الاصطناعي، وإلى أي مدى تُشجع على التحول عن أساليب الصيانة التقليدية (Elsayed, ٢٠٢٥).

٢. سهولة الاستخدام المدركة كعائق أو مُيسر:

تُعد سهولة الاستخدام المدركة عنصراً أساسياً آخر في نموذج إدارة الأصول (TAM)، وهو ما يُشير إلى مدى سهولة تعلم وتطبيق نظام جديد. تستكشف الدراسة ما إذا كان موظفو الصيانة وصانعو القرار في مركز الملك عبدالله المالي يجدون تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء بديهية أم مُعقدة. إذا اعتُبرت التكنولوجيا مُعقدة للغاية أو مُزعزعة للاستقرار، فمن المرجح أن يكون تبنيها بطيئاً، بغض النظر عن فوائدها المُحتملة. يُستخدم هذا المفهوم في البحث لقياس مدى سهولة استخدام لوحات المعلومات، وأدوات التحليل، وأنظمة الاستشعار، وتطبيقات الهاتف المحمول المُرتبطة بالصيانة الذكية. كلما كان النظام أسهل في التشغيل، زادت احتمالية تبنيه واستدامته (Maharani, ٢٠٢٠).

٣. الموقف تجاه التكنولوجيا والنوايا السلوكية:

يُشير نموذج إدارة الأصول (TAM) إلى أن موقف المستخدم تجاه التكنولوجيا - سواء كان إيجابياً أم سلبياً - يُشكل النوايا السلوكية والاستخدام النهائي. في هذا البحث، تُستخدم النظرية لتقييم كيفية تأثير المعتقدات الشخصية والتجارب السابقة والتعرض للأدوات الرقمية على مواقف الموظفين الفنيين في مركز الملك عبدالله المالي. ويشمل ذلك انفتاحهم على استبدال العمل البشري بالأتمتة وثقتهم بالقرارات الصادرة عن الذكاء الاصطناعي. تُحلل الدراسة كيفية نشوء هذه المواقف وارتباطها بالاستخدام الفعلي للتكنولوجيا. يُساعد هذا الفهم النظري في تفسير سبب تبني بعض المباني داخل مركز الملك عبدالله المالي للصيانة الذكية بشكل أسرع أو أكثر فعالية من غيرها (Alzahrani, ٢٠٢٣).

٤. تأثير البيئة التنظيمية:

تتجاوز نظرية انتشار الابتكارات مجرد القبول الفردي، وتدرس كيفية تبني الابتكار داخل الشركات. وتُبرز دور القيادة والتواصل والثقافة المؤسسية في دفع عجلة تبني التكنولوجيا. يستخدم هذا البحث هذه النظرية لاستكشاف كيفية تأثير هيكل إدارة مركز الملك عبدالله المالي، وبيئة سياساته، وأهدافه الاستراتيجية على نشر الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في صيانة المصاعد والسلالم المتحركة. يُقيّم المناخ التنظيمي - بما في ذلك دعم كبار صانعي القرار، وتوافر برامج التدريب، وحوافز الابتكار - لتقييم كيفية تأثير الديناميكيات الداخلية على تطبيق واستدامة تكنولوجيا الصيانة الذكية (Halton, 2025).

٥. دور قنوات الاتصال في نشر التكنولوجيا:

تؤكد نظرية الانتشار على أن طريقة نقل المعرفة بالتكنولوجيا الجديدة تُحدد سرعة انتشارها وكفاءتها. في هذه الدراسة، تُوظف النظرية لدراسة أساليب الاتصال المستخدمة داخل مركز الملك عبدالله المالي (KAFD) لتعزيز الوعي والتدريب وفهم أدوات صيانة الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء. يستكشف البحث ما إذا كانت الأدوات الرقمية، وورش العمل، والأدلة، أو التعلم من الأقران تؤثر على معدل التبني. يُساعد فهم فعالية أساليب الاتصال المختلفة على تحديد أفضل الممارسات لزيادة تبني الصيانة الذكية، وضمان حصول الموظفين على معلومات واضحة ودقيقة وفي الوقت المناسب حول كيفية عمل الأنظمة وأهميتها (Ramadhan, 2023).

٦. خصائص الابتكار ومعدل التبني:

تركز نظرية الانتشار أيضًا على خصائص الابتكار نفسه - مثل الفائدة النسبية، والتوافق، والتعقيد، وقابلية التجربة، وقابلية الملاحظة - كمتغيرات تؤثر على قبوله. يستخدم البحث هذا الإطار النظري لتحليل كيفية تقييم تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء من منظور الجهات المعنية في مركز الملك عبدالله المالي. على سبيل المثال، من المرجح اعتماد الأنظمة التي تقدم فوائد واضحة في الموثوقية أو خفض التكاليف. وبالمثل، إذا كانت التقنية متوافقة بسهولة مع أساليب الصيانة الحالية، فستواجه عوائق أقل. تتيح هذه الفكرة للدراسة ربط سمات التقنية بقرارات الجهات المعنية وجدول التبني (Guo, 2024).

٧. ديناميكيات المتبنين الأوائل مقابل ديناميكيات الأغلبية المتأخرة:

تصنف نظرية انتشار الابتكارات المتبنين إلى مجموعات مثل المبتكرين، والمتبنين الأوائل، والأغلبية المبكرة، والأغلبية المتأخرة، والمتأخرين. تستخدم هذه الدراسة النموذج لتحليل كيفية اختلاف المباني أو الإدارات أو الأفراد داخل مركز الملك عبدالله المالي في استعدادهم وسرعتهم لتبني تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء. من المرجح أن يرحب المستخدمون الأوائل بالتغيير، بينما قد يتردد آخرون. يُمكن فهم هذا الطيف البحثي من تقديم استراتيجيات محددة لكل فئة. على سبيل المثال، قد تكون البرامج التجريبية الأنسب للمستخدمين الأوائل، بينما قد تكون هناك حاجة إلى دعم أكثر تنظيمًا للأغلبية المتأخرة أو المجموعات المقاومة (McEwan، ٢٠٢١).

٨. حلقات التغذية الراجعة والتعلم المستمر:

تُدرِك كل من نظرية إدارة التغيير (TAM) ونظرية الانتشار أن تبني التكنولوجيا ليس ثابتًا؛ بل يتطور مع تفاعل المستهلكين مع الأنظمة وحصولهم على التغذية الراجعة. تتناول هذه الدراسة هذا العنصر الديناميكي من خلال استكشاف كيفية تأثير الاستخدام المستدام لأنظمة الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في مركز الملك عبدالله المالي على التعلم المستمر وتطوير النظام. كلما زاد تفاعل الفنيين مع الأنظمة الذكية، زاد تعزيز فهمهم وأنماط استخدامهم. يبحث البحث في كيفية تأثير حلقات التغذية الراجعة - مثل تقارير أداء النظام أو التنبيهات التلقائية - على الثقة والمشاركة والتحسين بمرور الوقت. يساعد هذا في تفسير كيفية تحقيق التكامل طويل الأمد واستدامته بعد التثبيت الأولي (Lee، ٢٠٢٥).

٩. التوافق مع رؤية ٢٠٣٠ وسياق السياسات:

على الرغم من أن هذه الدراسة ليست جزءًا رسميًا من نظرية إدارة التغيير (TAM) أو نظرية الانتشار، إلا أنها تدمج التحليل النظري مع بيئة السياسات الوطنية في المملكة العربية السعودية، وخاصةً رؤية ٢٠٣٠. يعمل هذا التوافق على المستوى الكلي كعامل دافع لتبني الابتكار، مما يُسهِّل تطبيق النماذج النظرية عمليًا. يستكشف البحث كيف تُحسن الاستراتيجيات الوطنية، والتمويل الحكومي، ودعم السياسات، أو تُعيق النشر الفعلي للذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في البنية التحتية. ومن خلال دمج النظرية العلمية في إطار تنمية وطنية أوسع، تُقدم الدراسة نهجًا شاملاً يربط بين المستويات الفردية والتنظيمية والنظامية لتبني التكنولوجيا.

الفصل الثاني: الدراسات السابقة

مقدمة:

يقدم الفصل الثاني من هذه الدراسة الأساس النظري والتجريبي الذي بُني عليه البحث. ويستعرض البحث تحليلاً نقدياً للمفاهيم والعوامل والمنشورات العلمية الرئيسية التي تُثري موضوع البحث. ومع تزايد دمج التقنيات الرقمية، مثل الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء، في أنظمة البنية التحتية حول العالم، يُصبح فهم استخدامهما في صيانة أنظمة النقل العمودي أمراً بالغ الأهمية. ويسعى هذا الفصل إلى توحيد وجهات النظر النظرية، وتحديد متغيرات الدراسة، وتحليل الدراسات السابقة ذات الصلة، وتوفير إطار مفاهيمي شامل لدراسة تأثير الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء على صيانة المصاعد والسلالم المتحركة في مركز الملك عبد الله المالي. ويدعم البحث فرضية أن اعتماد التقنيات الرقمية يُمكن أن يُحدث ثورة جذرية في كيفية أداء أعمال الصيانة، بدءاً من الفحص الروتيني ووصولاً إلى التشخيص التنبئي، لا سيما في السياقات الحضرية المتقدمة تكنولوجياً.

تشمل المتغيرات التي يتناولها هذا البحث عوامل مستقلة وتابعة، بالإضافة إلى عناصر وسيطة تُغير العلاقة بين التكنولوجيا ونتائج الصيانة. المتغيرات المستقلة الرئيسية هي الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء، حيث يُفعل كلٌّ منهما من حيث وظائف محددة، مثل جمع البيانات، وتحليل التعلم الآلي، والمراقبة القائمة على أجهزة الاستشعار، وأنظمة الاستجابة الآلية. وتُبحث هذه التقنيات في كيفية تفاعلها مع البنية التحتية والأنظمة البشرية. أما المتغير التابع في هذه الدراسة فهو أداء عمليات صيانة المصاعد والسلالم المتحركة، والذي يُقاس بمؤشرات مثل موثوقية النظام، وتقليل وقت التوقف، وتحسينات السلامة، وكفاءة الصيانة. وتشمل المتغيرات الوسيطة جاهزية المؤسسة، وكفاءة القوى العاملة، وعوامل التكلفة، والامتثال للوائح التنظيمية. ويمكن لكلٍ من هذه الجوانب أن يؤثر على شدة واتجاه العلاقة بين تطبيق الذكاء الاصطناعي/إنترنت الأشياء ونتائج الصيانة. على سبيل المثال، قد تحصل منشأة ذات قوى عاملة ماهرة على فوائد أكثر أهمية من نشر الذكاء الاصطناعي مقارنةً بمنشأة تفتقر إلى الخبرة الرقمية. ويتيح هذا الهيكل من المتغيرات إجراء تحليل متعدد الأبعاد لا يراعي مدخلات التكنولوجيا فحسب، بل أيضاً العوامل الميسرة والقيود السياقية التي تحدد فعاليتها.

تشير دراسة استقصائية للأبحاث الحالية إلى تزايد الاهتمام الأكاديمي بترابط التكنولوجيا الذكية وإدارة البنية التحتية، على الرغم من أن قلة منها ركزت بشكل خاص على أنظمة التنقل العمودي مثل المصاعد والسلالم المتحركة في سياق المملكة العربية

السعودية. على الصعيد الدولي، أثبتت الأبحاث أن الصيانة التنبؤية التي تُمكنها خوارزميات الذكاء الاصطناعي وأجهزة استشعار إنترنت الأشياء تزيد بشكل كبير من الكفاءة التشغيلية وتقضي على الانقطاعات غير المخطط لها. تشير الدراسات التي أُجريت في دول مثل اليابان وألمانيا والولايات المتحدة إلى كيفية قيام مصنعي المصاعد ومشغلي المباني بدمج هذه التقنيات لمراقبة حالة المعدات عن بُعد وأتمتة إرسال الخدمات. تلتقط هذه الأنظمة بيانات آنية حول درجة الحرارة والاهتزاز والسرعة وتكرار الاستخدام للتنبؤ بالأعطال وتحسين جداول الصيانة. على الرغم من أن هذه الدراسات غنية بالمعلومات، إلا أنها غالبًا ما تُصوّر أنظمة بيئية تقنية تختلف عن السياق السعودي من حيث عمر البنية التحتية والأطر التنظيمية ومستويات مهارة العمال. داخل المملكة، هناك نقص ملحوظ في الأعمال الأكاديمية التي تتناول بشكل مباشر كيفية تطبيق الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في أنظمة إدارة المباني، وخاصة تلك المتعلقة بالمشاريع متعددة الاستخدامات عالية الكثافة مثل مركز الملك عبدالله المالي. تناولت بعض الدراسات المحلية إمكانيات تكنولوجيا المدن الذكية في إطار رؤية ٢٠٣٠، إلا أن دراسات الحالة المفصلة حول صيانة البنية التحتية لا تزال نادرة. لذا، يُضيف هذا البحث رؤى جديدة من خلال التركيز على مثال رائد للتطوير الحضري الذكي في المملكة العربية السعودية، ودراسة تطبيق إجراءات صيانة متطورة في سياق واقعي.

يعتمد الأساس النظري لهذه الدراسة بشكل رئيسي على نموذج قبول التكنولوجيا (TAM) ونظرية انتشار الابتكارات. توفر هذه الأفكار منظورًا يمكن من خلاله تحليل اعتماد تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء وفائدتها. ويزعم نموذج قبول التكنولوجيا أن الفائدة المُدرَكة وسهولة الاستخدام المُدرَكة هما المحركان الرئيسيان لتبني المستخدمين للتقنيات الجديدة واستخدامها. ويُستخدم هذا النموذج في الدراسة للتحقيق في كيفية إدراك موظفي الصيانة ومديري المرافق وصناع القرار في مركز الملك عبدالله المالي لأجهزة الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء وتفاعلهم معها. وتُمثل آراؤهم ومواقفهم ونواياهم السلوكية عوامل أساسية في نجاح أو فشل هذه التقنيات. على سبيل المثال، إذا اعتقد أعضاء الفريق أن تقنيات الصيانة التنبؤية ستجعل مهامهم أكثر كفاءة وسهولة في التشغيل، فإنهم يميلون أكثر إلى تبنيها والاعتماد عليها في العمليات اليومية. وفي الوقت نفسه، توفر نظرية انتشار الابتكارات منظورًا تنظيميًا واجتماعيًا أوسع، مؤكدةً على كيفية تبني الابتكارات بمرور الوقت من قبل مجموعات مختلفة من المستخدمين - من المبتكرين والمتبنين الأوائل إلى الأغلبية المتأخرة والمتخلفة. تُحلل النظرية أيضًا خصائص الابتكار نفسه - مثل الميزة النسبية، والتوافق، والتعقيد، وقابلية التجربة - بالإضافة إلى المؤسسات الاجتماعية وقنوات الاتصال التي تدعم نشره. بتطبيق هذا النهج، تستكشف الدراسة كيفية إدخال تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت

الأشياء واعتمادها داخل مركز الملك عبدالله المالي، وكيفية إدارة الاتصالات والتدريب، والعوامل الخارجية والداخلية التي أثرت على سرعة ومدى القبول.

تُساعد النماذج النظرية مجتمعةً ليس فقط في تفسير ما إذا كان الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء يُحسّنان نتائج الصيانة، بل أيضًا في تفسير أسباب فائدهما والظروف التي تُعدّان فيها مفيدًا. من خلال الجمع بين الرؤى المُستمدة من سلوك المستخدم، والإعداد التنظيمي، والقدرات التكنولوجية، يُقدم البحث معرفةً شاملةً بالآليات التي يتم من خلالها التحول الرقمي في إدارة البنية التحتية. يُعد هذا الإطار النظري مفيدًا بشكل خاص لفهم القضايا الدقيقة التي تواجهها مشاريع المدن الذكية في منطقة الخليج، حيث يجب أن يتوافق التحديث السريع مع الاستدامة طويلة الأجل، وتنمية القوى العاملة، واتجاهات الابتكار العالمية. يُمثل مركز الملك عبدالله المالي، بتركيزه على الهندسة المعمارية المتطورة وتفانيه في مبادئ المدينة الذكية، مثالًا رائعًا لتحليل هذه التحديات بعمق. وسوف يتناول الجزء المتبقي من هذا الفصل الأعمال العلمية والنماذج المفاهيمية التي تشكل تصميم الدراسة، مما يؤدي في نهاية المطاف إلى إنشاء الإطار لتفسير النتائج التجريبية في الفصول التالية.

متغيرات الدراسة:

تستكشف هذه الدراسة تأثير تقنيات الذكاء الاصطناعي على صيانة المصاعد والسلالم المتحركة، مستخدمةً مركز الملك عبد الله المالي (KAFD) كدراسة حالة. يعتمد البحث على نموذج مفاهيمي يحدد ويربط بين متغيرات الدراسة الرئيسية لتوجيه عملية جمع البيانات وتحليلها وتفسيرها. يتألف النموذج من متغير مستقل واحد، ومتغير تابع واحد، ومجموعة من الخصائص الوسيطة التي تُميز العلاقة بينهما.

المتغير المستقل هو تقنيات الذكاء الاصطناعي، التي تُشكل المحرك الرئيسي للتغيير في الدراسة. يُستكشف الذكاء الاصطناعي من حيث قدرته على تحويل أساليب الصيانة التقليدية إلى أنظمة ذكية وآلية وتنبؤية. يغطي الذكاء الاصطناعي خوارزميات التعلم الآلي، والتشخيص الذكي، وتقنيات اتخاذ القرار الآلية التي تُمكن من مراقبة المعدات في الوقت الفعلي والتحليلات التنبؤية.

ثم يُقسّم المتغير المستقل إلى ثلاث خصائص تشغيلية توضح كيفية استخدام الذكاء الاصطناعي في صيانة المصاعد والسلالم المتحركة. البعد الأول هو الحلول التنبؤية الذكية، والتي تستلزم تطبيق الذكاء الاصطناعي للتنبؤ باحتياجات الصيانة قبل حدوث الأخطاء. يشمل ذلك الكشف المبكر عن التآكل والتلف، وتحديد أنماط السلوكيات غير الطبيعية، والجدولة الاستباقية لمهام الصيانة. أما البعد الثاني فهو تحليل الأعطال، الذي يركز على استخدام التقنيات القائمة على البيانات لتشخيص وتحليل أسباب الأعطال أو فشل النظام. قد تقوم أدوات الذكاء الاصطناعي بمسح بيانات الاستشعار التاريخية واللحظية لاكتشاف مشاكل محددة والتوصية بمعالجات محددة. أما البعد الثالث فهو تحسين كفاءة الصيانة، والذي يشير إلى كيفية تحسين الذكاء الاصطناعي لعمليات الصيانة من خلال تحسين جدولة المهام، وتخصيص الموارد، وإرسال الفنيين. يساعد هذا البعد على تقليل وقت التوقف عن العمل ويعزز موثوقية الخدمة.

المتغير التابع في الدراسة هو الفعالية الإجمالية لصيانة المصاعد والسلالم المتحركة. ويشمل ذلك نتائج مثل وقت تشغيل النظام، والوقاية من الأعطال، والفعالية من حيث التكلفة، وتحسين السلامة، ورضا المستخدم. ويتوقع البحث أن يكون لدمج تقنية الذكاء الاصطناعي تأثير إيجابي ملموس على مختلف مقاييس أداء الصيانة.

الدراسات السابقة:

منطقة الأعمال المركزية (CBD)، مركز المدينة، هي خلية نشاط تتجمع فيها الشوارع التجارية الرئيسية والمنشآت العامة الهامة. وقد شهدت منطقة الأعمال المركزية (CBD) مراحل عديدة من النمو على مر السنين، بما في ذلك المراكز التجارية والأحياء السكنية والمباني الحكومية والمناطق الترفيهية والمناطق الصناعية. تستخدم هذه الدراسة مؤشرات التصميم الحضري الشامل كأداة قياس لتقييم مدى شمولية المساحات العامة المفتوحة في مركز الملك عبد الله المالي (KAFD)، أحد أحدث المناطق التجارية المركزية في مدينة الرياض. وقد أيدت الدراسة نهجًا شاملاً لتحقيق هذا الهدف. ولتحديد المقاييس المستخدمة لقياس الشمولية، راجعت الدراسة أولاً الأدبيات المتعلقة بالتصميم الحضري الشامل وفكرة منطقة الأعمال المركزية. ثانيًا، تم التعرف على العديد من التقنيات العلمية - مثل الملاحظات الدقيقة والتسجيل والتصوير الفوتوغرافي ورسم الخرائط وما إلى ذلك - لقياس الشمولية. وأخيرًا، تم استخدام استبيان مختلط لجمع معلومات مفصلة حول تجربة المستخدم. ويتم فحص النتائج لتحديد الاتجاهات المهمة وقياس شعور المستخدمين تجاه الشمول في المناطق المفتوحة في مركز الملك عبد الله المالي (KAFD). وتحدد الدراسة العوامل الرئيسية التي تؤثر على شمولية المساحات المفتوحة، بما في ذلك شعورها بالمكان وتنوع الأنشطة البدنية التي تقدمها (Fattah, 2025).

تُحسن المصاعد أداء المبنى وسهولة الوصول إليه بشكل كبير. يجب دمج المصاعد، التي غالبًا ما تُنتج بكميات كبيرة وتُشتري من الكتالوجات، بعناية في التصميم المعماري لتلبية متطلبات السلامة والجماليات وبيئة العمل. يضمن التصميم المناسب الكفاءة والراحة وسهولة الوصول لجميع المستخدمين. تتأثر تجربة مستخدم الكابينة بمكونات داخلية، مثل لوحة التحكم، والتي يجب أن تكون سهلة التشغيل، وخاصةً للأشخاص ذوي الإعاقات. لتقييم تفاعل المستخدم، أُجري اختباران في كابينة مصعد ثابتة شُيّدت في جامعة بولونيا. بينما بحثت التجربة الثانية في بروتوكولات الطوارئ من خلال مقارنة أسلوب الضغط المطول التقليدي بنهج الضغط المزدوج، قيّمت التجربة الأولى تفضيلات المستخدم لتصاميم لوحات التحكم المختلفة. ولدراسة كيفية إدراك المستخدمين ذوي الإعاقات لإمكانية الوصول، تم اختبار هذه العمليات أيضًا مع أشخاص يعانون من مشاكل في السمع. لضمان الراحة والسلامة أثناء استخدام المصاعد، هناك حاجة ملحة لبروتوكول طوارئ بديل يتضمن زرًا مزدوجًا لبدء المكالمة وجهازًا نصيًا مرئيًا للتواصل المرئي (Perrucci, 2025).

غالبًا ما تعتمد الصيانة التنبؤية للأصول المبنية على إجراءات منتظمة مخططة لا ترتبط بتقييمات الإجهاد والتدهور والعيوب في الوقت الفعلي. وعلى الرغم من النضج السريع لتكنولوجيا التوأم الرقمي (DT) في دراسات البناء والحضر، إلا أن استخدامها في الصيانة التنبؤية لا يزال محدودًا إلى حد ما. إن تقنيات الصيانة التفاعلية والوقائية التقليدية، وهي أكثر شيوعًا في إدارة المرافق، غير فعالة وغير كفؤة بالموارد وغير قادرة على إيقاف الأعطال، وتؤدي إما إلى الإفراط في صيانة الأصل أو نقصه. وعلى غرار كيفية استخدام BIM على مستوى المبنى، فإن نمذجة معلومات المدينة (CIM) هي اتحاد لنماذج BIM التي تستند إلى مراجع جغرافية في العالم الحقيقي. ويمكن تنفيذها كتوأم رقمي حضري (UDT) على مستوى المدينة. من أجل تحديد الاتجاهات الحالية والفجوات والإمكانيات لإطار الصيانة التنبؤية المعرفية في قطاع الهندسة المعمارية والهندسة والبناء والعمليات (AECO)، يقدم هذا البحث تقييمًا منهجيًا لـ ١٠٥ أعمال ماهرة في Scopus. يُستخدم نظام إدارة المعلومات (CIM) في جزء من حرم جامعة فلوريدا لإنشاء إطار عمل UDT، يهدف إلى سد الفجوة المعرفية المحددة في المنهجية. من خلال الإشعارات المسبقة، يُظهر هذا الهيكل كيف يُمكن لتكامل CNN-IoT أن يُعزز الصيانة التنبؤية. بالإضافة إلى ذلك، يُلغي هذا الهيكل الحاجة إلى أرشفة المعلومات مركزيًا (Lawal، ٢٠٢٥).

في البيئات الصناعية الحالية، يُعدّ تحسين ممارسات الصيانة أمرًا بالغ الأهمية لتقليل وقت التوقف عن العمل وتعزيز كفاءة التشغيل. تستكشف هذه المقالة استخدام أساليب التعلم الآلي (ML) بالتزامن مع إنترنت الأشياء الصناعي (IIoT) لتحسين الصيانة التنبؤية في البيئات الصناعية. من خلال الجمع السلس بين التعلم الآلي وإنترنت الأشياء الصناعي، تهدف هذه الدراسة إلى تعزيز الصيانة التنبؤية في البيئات الصناعية. تقدم هذه الورقة نهجًا يستخدم أربعة نماذج مختلفة للتعلم الآلي لمعالجة قيود تقنيات الصيانة التقليدية، بالإضافة إلى تعقيد الأنظمة الصناعية. تتضمن الطريقة تقييمًا شاملاً لدقة هذه النماذج، وكشف التناقضات التي تؤكد على ضرورة اتباع عملية اختيار دقيقة للنموذج. من خلال تحليل وتصوير شاملين للبيانات، يحدد تحليل الدراسة الحالية النموذج الأكثر كفاءة لمهام الصيانة التنبؤية. يلقي بحثنا الضوء على العلاقات المعقدة بين إنترنت الأشياء الصناعي والتعلم الآلي، ويقترح توجيهًا مستقبليًا محتملاً للقطاع الصناعي. يضع هذا البحث أسس التقدم المستقبلي في الصيانة التنبؤية، والذي من شأنه تقليل وقت التوقف عن العمل وزيادة عمر المعدات الصناعية (Saleh، ٢٠٢٤).

تُعدّ المصاعد الذكية، التي تستخدم أحدث تقنيات الذكاء الاصطناعي ومعالجة الصور، واعدة للغاية في تطبيقات إدارة الوقت والطاقة. يُنشئ هذا المشروع نظام مصاعد يستخدم نموذج YOLO للكشف عن الأجسام بهدف زيادة كفاءة التشغيل. تُظهر نتائجنا انخفاضًا بنسبة ٢٠٪ في استهلاك الطاقة وتحسنًا بنسبة ١٥٪ في أوقات الانتظار مقارنةً بالتقنيات التقليدية. تشير التعليقات النوعية من المستهلكين إلى مستوى عالٍ من الرضا نظرًا لتحسن دقة المصعد ومتانته. تشير هذه النتائج إلى أن أنظمة المصاعد الذكية يمكن أن تُعزز بشكل كبير إدارة المباني الذكية. يُوفر الدمج الفعال لمعالجة الصور والذكاء الاصطناعي (AI) في أنظمة المصاعد نقطة انطلاق جيدة لمزيد من الدراسة والتقدم. يمكن تحسين الكفاءة التشغيلية من خلال المزيد من التطورات في خوارزميات الكشف عن الأجسام، مثل تحسين نماذج YOLO لتحقيق دقة أكبر وتكيف فوري. يمكن تحقيق اتخاذ قرارات آنية وتقنيات إدارة طاقة متكاملة من خلال تعزيز دمج المصاعد الذكية في شبكات إنترنت الأشياء وأنظمة إدارة المباني. وقد تُقلل نماذج الصيانة التنبؤية الخاصة بمكونات المصعد من وقت التوقف عن العمل وتُبسط خطط الخدمة، مما يُحسن من موثوقية المصعد بشكل عام. ومن خلال تخصيص تفاعلات المصعد مع تفضيلات كل مستخدم، قد تزيد واجهات المستخدم التكيفية وخوارزميات الجدولة الشخصية من رضا المستخدم. وتُعدّ التصميم الموفرة للطاقة واستخدام مصادر الطاقة المتجددة أمثلة على الممارسات المستدامة الضرورية لتخفيف الأثر البيئي. وستتطلب حماية البيانات الحساسة في أنظمة المصاعد الذكية معالجة القضايا الأمنية من خلال أحدث تقنيات التشفير والتحكم في الوصول (Rashed، ٢٠٢٤).

يُطلق على دمج الحواسيب وأجهزة الاستشعار وتقنيات التشغيل في الحياة الحضرية اسم الحوسبة الحضرية. تفتقر الأحياء في المملكة العربية السعودية إلى نهج متكامل للقيم الاجتماعية والاقتصادية والبيئية، مما يؤثر سلبًا على جودة الحياة وحماية البيئة، والتنقل، والخدمات، والمرافق. ولبناء أحياء سكنية تدعم مجتمعًا نابضًا بالحياة، وتساهم في بيئة صحية، وتوفر قيمة اقتصادية، تسعى هذه المقالة إلى بناء إطار عمل للأحياء الذكية المستدامة (SSNF). تتمثل الخطوة الأولى في إنشاء الإطار في تحديد وتقييم مختلف أنواع الحوسبة الحضرية. أما الخطوة الثانية فتتمثل في اختيار المؤشرات ذات الصلة من مجموعة من المبادئ التوجيهية، مثل الهدف الحادي عشر من أهداف التنمية المستدامة للأمم المتحدة (SDG 11). وقد أثر هذان العنصران على سمات "الناس" و"الازدهار" و"البيئة" في "إطار عمل الحوسبة الحضرية الذكية والمستدامة" المقترح، والذي استُخدم لاحقًا كدراسة حالة في منطقة الخالدية. وتشير النتيجة إلى إمكانية إنشاء إطار عمل للأحياء الذكية والمستدامة باستخدام معايير ذكية ومستدامة، إلى جانب الحوسبة الحضرية كأساس للدعم. بالإضافة إلى ذلك، من خلال تحليل البيانات ذات الصلة،

يمكن استخدام هذا الإطار لمقارنة المجتمعات بهدف تحسين القيم الاقتصادية وحماية البيئة ونوعية الحياة للسكان المحليين (Binsaedan، ٢٠٢٢).

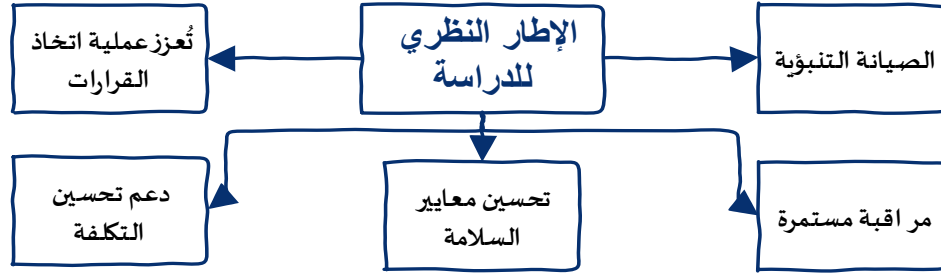
أصبحت الصيانة التنبؤية المدعومة بالذكاء الاصطناعي، وهي نهج استباقي للصيانة الصناعية يتوقع أعطال المعدات ويتجنبها، ممكنة بفضل أجهزة الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء. ولزيادة دقة التنبؤ وجدول الصيانة والكفاءة التشغيلية، يتناول هذا البحث الصيانة التنبؤية المدعومة بالذكاء الاصطناعي في أنظمة إنترنت الأشياء الصناعية. وتغطي الدراسة تكامل الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء، وخوارزميات التعلم الآلي المهمة في الصيانة، وتكامل البيانات، ومخاوف الأمن السيبراني، وأثارها على تدريب القوى العاملة باستخدام البيانات الثانوية. وتُظهر النتائج أن الصيانة التنبؤية المدعومة بالذكاء الاصطناعي تعزز السلامة وقابلية التوسع وتوفير التكاليف والمراقبة في الوقت الفعلي ودقة التنبؤ. وتزداد أهمية الأطر التشريعية القوية نظرًا لتهديدات الأمن السيبراني ومشاكل تكامل البيانات. ولمعالجة هذه المشكلات وتعزيز الصيانة التنبؤية المدعومة بالذكاء الاصطناعي، ينبغي أن تدعم السياسات إجراءات الأمن السيبراني وتدريب القوى العاملة ومعايير التشغيل البيئي. ووفقًا لنتائج الدراسة، فإن الصيانة التنبؤية المدعومة بالذكاء الاصطناعي لديها القدرة على إحداث ثورة في العمليات الصناعية وضمان الاستدامة الرقمية والقدرة التنافسية (Sandu، ٢٠٢٢).

تبحث الدراسة في كيفية تأثير إنشاء المشاريع المعمارية الضخمة على الحي. بإجمالي حوالي ٨٣ مبنى بارتفاعات وأغراض مختلفة، يُعد مركز الملك عبد الله المالي (KAFD) تحفة معمارية خلابة وصديقة للبيئة، تضم أكبر مجموعة من المباني الشاهقة التي شُيّدت على الإطلاق في المملكة العربية السعودية. يقدم المقال لمحة عامة عن مشروع مركز الملك عبد الله المالي، ويتناول بالتفصيل إمكاناته والعقبات المستقبلية المتعلقة بالبنية التحتية للنقل المحلي والبيئة الاجتماعية. وقد أتاحت الصور الجوية والحالية للمشروع، بالإضافة إلى زيارات متعددة لموقعه، فهمًا أعمق لثلاثة تحديات متوقعة للمشروع: تأثيره على السياق الاجتماعي، وإمكانية الوصول التي قد تُخفف من الازدحام المروري المتوقع على نظام النقل المحيط، وحركة المرور المتوقعة على نظام النقل المحيط. ووفقًا لتقرير الدراسة، سيؤثر مشروع مركز الملك عبد الله المالي على ممرات الطرق السريعة المجاورة. ولتحسين نظام النقل المحلي بشكل أكبر، طُوّرت بدائل أخرى للحد من الآثار السلبية للمشروع. علاوة على ذلك، يرى الخبراء أن الجمهور قد يستفيد كثيرًا من هذا الجهد الضخم. يعتقد الباحثون اعتقادًا راسخًا أن الاقتصاديين المحلي والوطني

سيستفيدان بلا شك من هذه التحفة المعمارية المذهلة. ولتشجيع المشاة وتقليل الازدحام المروري المتوقع، أشار الباحثون إلى تغييرات إضافية قد تشمل تحديثات مستمرة للوحات الإرشادية في منطقة المشروع ومسارات الدراجات (Abdulrazzak، ٢٠٢٢).

الهدف من أجل تحقيق عدد من المزايا، تهدف هذه الورقة إلى إظهار كيف يمكن لتكنولوجيا إنترنت الأشياء (IoT) تسهيل خدمة معدات المصاعد عالية التوزيع من خلال استخدام تكنولوجيا المراقبة عن بعد لتمكين الانتقال من الصيانة التصحيحية التقليدية (CM) والصيانة القائمة على الوقت (TBM) إلى صيانة أكثر تنبؤية وقائمة على الحالة (CBM). التصميم والمنهجية والاستراتيجية وفقًا لدراسة الأدبيات، فإن CBM متفوقة نظريًا على CM و TBM التقليديين؛ ومع ذلك، فهي تعتمد على تحسين المراقبة المستمرة باستخدام تقنية إنترنت الأشياء المتطورة. لتقديم دليل ملموس على أن إنترنت الأشياء يساعد شركات المصاعد على تحقيق CBM، أجريت دراسة حالة شاملة. النتائج من الناحية النظرية، فإن CBM للمصاعد منطقي من وجهة نظر مالية. يمثل جمع البيانات وتحليلها واتخاذ القرارات في البيئات العملية للشركات صعوبات. تشير الاستنتاجات الرئيسية للدراسة إلى أنه يمكن توفير CBM تجاريًا عبر إنترنت الأشياء للمصاعد، مما سيزيد من موثوقية المعدات وسلامتها. لذلك، سيكون ذلك منطقيًا من الناحية الاقتصادية والإجرائية والتقنية. الآثار العملية: توضح دراسة الحالة الواقعية طويلة الأمد التي أجريتها استراتيجية عملية لتوسيع نطاق استخدام تقنية CBM في المصاعد. من خلال دمج إنترنت الأشياء (IoT) والتقنيات المتطورة الأخرى، ستُعزز سلامة وموثوقية معدات المصاعد، وسيُطيل عمرها الافتراضي، وسيقلل من انقطاعات الأعمال والانزعاج الناتج عن تعطل المعدات، وسيقلل أو يلغى إجراء الإصلاحات الرئيسية، مما يُخفض تكاليف الصيانة بشكل كبير. القيمة والأصالة: تُقدم هذه الورقة البحثية مساهمة رئيسية تتمثل في التوضيح التجريبي لمزايا وصعوبات استخدام تقنية CBM عبر إنترنت الأشياء مقارنةً بتقنيات CM و TBM التقليدية في حالة المصاعد. ووفقًا للمؤلفين، ستجد الشركات التي تعمل على استراتيجيات بحثية أو تسويقية ذات صلة هذه الدراسة مفيدة وحديثة (Lai، ٢٠١٩).

الإطار النظري:



رسم توضيحي ١: الإطار النظري للدراسة

١. الذكاء الاصطناعي يُمكن الصيانة التنبؤية

يلعب الذكاء الاصطناعي دورًا محوريًا في تحويل عمليات الصيانة من تفاعلية إلى تنبؤية. من خلال دراسة البيانات السابقة ورصد اتجاهات سلوك المعدات، يمكن لأنظمة الذكاء الاصطناعي توقع احتمالية تعطل مكونات معينة من المصاعد أو السلالم المتحركة. يتيح ذلك لموظفي الصيانة التدخل قبل حدوث أي عطل، مما يقلل من انقطاع الخدمة ويزيد من عمر المعدات. في إطار مشروع تطوير المصاعد والسلالم المتحركة (KAFD)، تساعد الصيانة التنبؤية المعتمدة على الذكاء الاصطناعي على تجنب الإصلاحات الطارئة المكلفة، وتوفير حركة عمودية مستمرة في المباني ذات الحركة المرورية الكثيفة. لا تُعزز هذه الاستراتيجية الأداء فحسب، بل تُساهم أيضًا في الاستدامة التشغيلية على المدى الطويل من خلال تعزيز استخدام أفضل للموارد وتخطيط صيانة مدروس (Hadad، ٢٠٢٥).

٢. إنترنت الأشياء يوفر مراقبة مستمرة

يعزز إنترنت الأشياء (IoT) ذكاء البنية التحتية من خلال دمج أجهزة استشعار داخل أنظمة المصاعد والسلالم المتحركة تراقب بيانات الأداء باستمرار. تكتشف هذه الأجهزة عوامل حاسمة مثل درجة حرارة المحرك، وحركة الباب، ومستويات الاهتزاز، واستهلاك الطاقة. تُرسل البيانات آنياً إلى منصات سحابية، مما يُمكن مسؤولي المرافق من مراقبة حالة النظام عن بُعد. في KAFD، تُتيح حلقة التغذية الراجعة المستمرة هذه الكشف الفوري عن المشكلات وإيجاد حلول فورية لمنع الأعطال التشغيلية.

تُعد قدرة إنترنت الأشياء على الحفاظ على متابعة مستمرة لحالة النظام أمرًا بالغ الأهمية للحفاظ على سلامة المستخدم وموثوقية النظام في البيئات الشاهقة والمتكاملة تقنيًا (Vlachou، ٢٠٢٤).

٣. يُقلل من وقت التوقف عن العمل ويزيد من الكفاءة

يمكن أن يُؤثر توقف أنظمة المصاعد أو السلالم المتحركة بشكل كبير على عمليات البناء، وخاصةً في المشاريع الحضرية الكبيرة مثل KAFD. تعمل تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء معًا لتقليل وقت التوقف عن العمل من خلال إصدار تحذيرات مبكرة، وتشخيصات آلية، وجدولة فعالة للإصلاحات. من خلال اكتشاف المشكلات قبل تفاقمها واقتراح حلول مُستهدفة، تُقلل هذه التقنيات من الحاجة إلى عمليات التفتيش اليدوية التي تستغرق وقتًا طويلاً. ونتيجةً لذلك، يُمكن للفنيين العمل بسرعة وبشكل صحيح، مما يُقلل من وقت الإصلاح ويُعزز توافر النظام. يُعزز هذا كفاءة المبنى بشكل عام، ويزيد من رضا المستخدمين، ويعزز سمعة خدمات إدارة العقارات ضمن المجمعات التجارية والسكنية عالية الجودة (Onag، ٢٠١٩).

٤. تحسين معايير السلامة

تُسهم تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء بشكل كبير في تعزيز السلامة التشغيلية في أنظمة المصاعد والسلالم المتحركة. تكتشف المستشعرات أي نشاط غير طبيعي، مثل الحركات المفاجئة، أو الاهتزازات الغريبة، أو مشاكل الأبواب. تُفحص هذه الشذوذات على الفور بواسطة أنظمة الذكاء الاصطناعي، التي تُحدد مستوى الخطر وتُطلق الإنذارات أو تُغلق الأنظمة عند الضرورة. في حالات مثل مستشفى الملك عبدالله بن عبد العزيز، حيث تخدم المرافق العامة والخاصة آلاف الأشخاص يوميًا، تُعد السلامة قضية أساسية. تُقلل الأنظمة الذكية من احتمالية وقوع الحوادث، وتضمن الامتثال لمتطلبات السلامة، وتعزز إجراءات السلامة الوقائية. كما تُساعد في تحقيقات ما بعد الحادث من خلال توفير سجلات بيانات شاملة للفحص الجنائي (Park، ٢٠٢٤).

٥. دعم تحسين التكلفة

في حين أن التكلفة الأولية لاعتماد الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في أنظمة الصيانة قد تكون كبيرة، إلا أن الفوائد المالية طويلة الأجل غالبًا ما تفوق هذه النفقات. تُقلل الصيانة التنبؤية من تكرار مكالمات خدمات الطوارئ، وتُقلل من تآكل المكونات من خلال التدخل المبكر، وتُطيل العمر الافتراضي للمعدات. في KAFD، تُحقق تخفيضات في التكاليف من خلال تقليل انقطاعات الخدمة، وتقليل الحاجة إلى عمليات التفتيش البشرية، وتقليل استهلاك الطاقة. كما يُساعد الذكاء الاصطناعي في تخطيط مخزونات قطع الغيار، وتقليل الهدر ونفقات التخزين. في نهاية المطاف، تُساهم هذه التقنيات في بناء نماذج مالية أكثر استدامة لصيانة البنية التحتية في المشاريع الحضرية واسعة النطاق (Muhammed، ٢٠٢٤).

٦. تُعزز عملية اتخاذ القرارات لدى الفنيين

لا تُغني تقنيات الصيانة الذكية عن المحترفين، بل تُمكنهم من الحصول على رؤى عملية. يُحلل الذكاء الاصطناعي كمًا هائلًا من المعلومات لمساعدة العمال على تشخيص دقيق للأعطال وإيجاد الحلول المثلى. هذا يُجنّب التخمين ويُساعد فنيي الصيانة على الاستجابة بسرعة ودقة. في بيئة KAFD، حيث يجب أن تُلبى الصيانة معايير تشغيلية عالية، يضمن تعزيز عملية اتخاذ القرارات عودة الأنظمة إلى الخدمة بشكل أسرع. يُتيح دمج تطبيقات الهاتف المحمول ولوحات المعلومات الرقمية للفنيين الحصول على معلومات آنية، وسجلات الصيانة، والإجراءات المُوصى بها أثناء وجودهم في الموقع. وهذا يُؤدي إلى تحسين جودة الخدمة وزيادة كفاءة استخدام الموارد البشرية الفنية (Patil، ٢٠٢٤).

٧. يتوافق مع رؤية السعودية ٢٠٣٠

يتوافق دمج الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في إدارة البنية التحتية بشكل مباشر مع رؤية المملكة العربية السعودية ٢٠٣٠. تهدف هذه السياسة الوطنية إلى تحديث الاقتصاد والمجتمع من خلال التحول الرقمي والاستدامة والابتكار. يرمز مركز الملك عبدالله المالي إلى تطور حضري كبير يُظهر مستقبل المدن الذكية في المملكة. من خلال تطبيق تقنيات جديدة في صيانة المصاعد والسلالم المتحركة، يدعم مركز الملك عبدالله المالي الهدف الوطني المتمثل في تعزيز البنية التحتية الحضرية، وزيادة الكفاءة، والارتقاء بجودة الحياة. يُعد نجاح هذا التحول الرقمي نموذجًا يُحتذى به لمشاريع المدن الذكية المستقبلية في جميع أنحاء المملكة.

٨. مواجهة العوائق التنظيمية والثقافية

على الرغم من الفوائد التقنية للذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء، إلا أن نجاح تبنيهما يتطلب التغلب على العقبات البشرية والتنظيمية. قد تُحد مقاومة التغيير، ونقص الثقافة الرقمية بين الفنيين، والمخاوف بشأن الأمن الوظيفي من النشر الفعال. في مركز الملك عبدالله المالي، تلعب الجاهزية والثقافة التنظيمية دورًا حاسمًا في تحديد مدى سرعة دمج حلول الصيانة الذكية بالكامل. يُعد تدريب الموظفين ودعم القيادة والتواصل الشفاف عوامل أساسية للتغلب على هذه العوائق. يساعد فهم هذه المتغيرات البشرية ومديري المشاريع وصانعي السياسات على بناء استراتيجيات تنفيذ تعزز قبول أنظمة البنية التحتية الذكية ومشاركتها واستدامتها على المدى الطويل.

٩. يُقدم نموذجًا قابلاً للتطوير لمشاريع أخرى

تُقدم نتائج دراسة حالة مركز الملك عبدالله المالي رؤى قيّمة لمشاريع تطوير حضرية أخرى في المملكة العربية السعودية وحول العالم. وبصفته من أوائل المناطق في المملكة التي اعتمدت الصيانة الذكية على نطاق واسع، يُقدم مركز الملك عبدالله المالي خارطة طريق لكيفية تثبيت وإدارة وتقييم تكامل الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في أنظمة النقل العمودية. ويمكن للتكتيكات والإنجازات والتحديات الملحوظة أن تُثري جهود المدن الذكية المستقبلية في سياقات متعددة. ويتضمن هذا توصيات بشأن صياغة السياسات وتصميم البنية التحتية وتأهب القوى العاملة واختيار التكنولوجيا. وتدعم قابلية هذا النموذج للتطوير التحول الرقمي الأوسع للبيئة الحضرية بما يتماشى مع التطلعات الوطنية.

الفصل الثالث منهجية الدراسة

مقدمة:

يعرض الفصل الثالث منهجية البحث المستخدمة لدراسة تكامل الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في عمليات صيانة المصاعد والسلالم المتحركة في مركز الملك عبد الله المالي (KAFD) بالمملكة العربية السعودية. ويوضح هذا الفصل المنهجية المتبعة لجمع البيانات وتحليلها وتفسيرها بهدف تحقيق أهداف الدراسة والإجابة على أسئلتها الرئيسية. ومع تزايد أهمية التحول التكنولوجي في صيانة البنية التحتية للتنمية الحضرية الذكية، لا سيما في ظل رؤية المملكة العربية السعودية ٢٠٣٠، من الضروري تطبيق منهجية تضمن مصداقية النتائج وموثوقيتها ودقتها. وترتكز هذه الدراسة على تقاطع الإدارة الهندسية والتحول الرقمي والبنية التحتية الحضرية، مما يتطلب نهجًا بحثيًا دقيقًا ومراعياً للسياق. ومن خلال اختيار الأساليب المناسبة لجمع البيانات وتحليلها، يضمن هذا الفصل أن تعكس النتائج العوامل التقنية والبشرية المؤثرة في تبني الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في حالة مركز الملك عبد الله المالي.

يعتمد هذا البحث منهجية تحليلية وصفية، إذ يهدف إلى وصف الظواهر القائمة ودراسة العلاقات بين المتغيرات دون التلاعب بها. يركز هذا البحث على تقييم الاستخدام الفعلي لتقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في صيانة النقل العمودي، وفعاليتها المدركة، والعوامل التي تُسهّل أو تُعيق اعتمادها. ويُستخدم نهج بحثي كمي لجمع بيانات قابلة للقياس من الأفراد المشاركين مباشرة في تنفيذ أو تشغيل أو الإشراف على أنظمة الصيانة داخل مركز الملك عبد الله المالي. ويُبرّر اختيار المنهجية الكمية طبيعة أهداف البحث، التي تسعى إلى دراسة العلاقات إحصائيًا بين المتغيرات المستقلة (مثل تطبيقات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء) والمتغيرات التابعة (مثل موثوقية النظام، وكفاءة الصيانة، والسلامة). وتُمكن أداة المسح المُهيكلّة المُطوّرة لهذا الغرض من جمع بيانات مُوحدة يُمكن تحليلها بموضوعية باستخدام أدوات إحصائية.

يتكون مجتمع البحث من الأفراد والمؤسسات المرتبطة بتخطيط وصيانة وإدارة المصاعد والسلالم المتحركة في مركز الملك عبد الله المالي. ويشمل ذلك الموظفين الفنيين والمهندسين ومُشغلي الأنظمة ومُشرفي الصيانة ومديري المرافق، المسؤولين بشكل مباشر أو غير مباشر عن ضمان أداء وسلامة أنظمة النقل العمودي. نظراً للطبيعة التخصصية لموضوع البحث، تم تحديد مجتمع البحث عمداً ليشمل ذوي الخبرة العملية في عمليات الصيانة المعززة بالذكاء الاصطناعي أو إنترنت الأشياء، أو من

تتطلب أدوارهم تقييم هذه الأنظمة أو الإشراف عليها. يُعزز اختيار هذا المجتمع البحثي المحدد صحة النتائج، إذ يعتمد على رؤى خبراء مُدرّكين للتحديات التقنية والواقع التنظيمي لعمليات الصيانة في بيئة حضرية ذكية.

على الرغم من تصميم البحث بعناية، من المهم مراعاة العديد من القيود التي قد تؤثر على نطاق النتائج وقابليتها للتعميم. أحد هذه القيود هو القيد الجغرافي للدراسة على مركز الملك عبدالله المالي، وهو منطقة ذكية فريدة قد لا تُمثل ممارسات الصيانة أو أنماط تبني التكنولوجيا في مناطق أخرى من المملكة العربية السعودية. ونتيجةً لذلك، قد لا تُغطي النتائج بشكل كامل الاختلافات الموجودة في المناطق التقليدية أو المدن الصغيرة أو البيئات الريفية. ويتعلق أحد القيود الأخرى باحتمالية تحيز الاستجابة في عملية جمع البيانات. فقد يُبالغ المشاركون في تقدير فعالية تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء بسبب الضغط التنظيمي أو الحماس الشخصي للابتكار، مما يؤدي إلى تقييمات مُبالغ فيها. علاوةً على ذلك، فإنّ الوتيرة السريعة للتغير التكنولوجي تعني أن بعض البيانات المُجمّعة قد تصبح قديمةً بسرعة، لا سيما في مجالٍ تُحدّث فيه الأنظمة أو تُستبدل باستمرار. إنّ إدراك هذه القيود يسمح بتفسيرٍ أكثر توازناً لنتائج البحث.

أُجريت عملية جمع البيانات من خلال استبيان مُنظّم مُصمّم لجمع المعلومات الديموغرافية والانطباعات حول أنظمة صيانة الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء. قُسّم الاستبيان إلى أقسام تُغطّي مُتغيّرات الخلفية، واستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي/إنترنت الأشياء، والفوائد والقيود المُتصوّرة، وجاهزية المؤسسة للتبني. وخضعت الأداة للمراجعة من قِبَل خبراء واختبار تجريبي لضمان الوضوح والملاءمة والدقة. وُزّع الاستبيان إلكترونياً، مُستهدفاً المُختصّين العاملين ضمن شبكة البنية التحتية لمركز الملك عبدالله المالي. ولتشجيع المشاركة وتحسين مُعدّلات الاستجابة، تمّ الحفاظ على إيجاز الاستبيان ومُرفقاً بشرح واضح لغرضه وضمانات السرية. أُجريت عملية جمع البيانات على مدى عدة أسابيع، مما أتاح للمُستجيبين وقتاً كافياً للتفكير وتقديم إجابات مُدروسة.

من المُعقّبات العملية للدراسة محدودية حجم العينة، والذي يتأثر بعدة عوامل. وتشمل هذه العوامل حجم المُشاركين في صيانة المصاعد والسلالم المتحركة داخل مركز الملك عبدالله المالي، وتوافر المُشاركين واستعدادهم، وتوقيت جمع البيانات مُرتبطاً بجداول العمل والأولويات التشغيلية. رغم بذل كل الجهود الممكنة للحصول على عينة تمثيلية، إلا أنه من المحتمل ألا تعكس المجموعة النهائية من المُشاركين تنوع الخبرات والآراء ضمن القوى العاملة الأوسع في قطاع الصيانة بشكل كامل. كما

أن صغر حجم العينة وتخصصها يحدّان من إمكانية تعميم النتائج على قطاعات أو مناطق أخرى. ومع ذلك، تعوّض الدراسة هذا النقص من خلال تفسير دقيق للبيانات، مما يضمن استناد الاستنتاجات إلى السياق المحدد لمؤسسة الملك عبد الله للتنمية، مع مراعاة التأثيرات الخارجية المحتملة. ومن خلال تحديد الخطوات المنهجية ومجتمع البحث والقيود بوضوح، يُرسي هذا الفصل أساسًا شفافًا وقابلًا للتكرار للدراسة، مما يُمكن الباحثين المستقبليين من البناء على نهجها أو تحسينه في بيئات مماثلة.

المنهجية وطرق البحث:

تعتمد هذه الدراسة منهجية بحث وصفية تحليلية مصممة لدراسة وتفسير الوضع الراهن لتكامل الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في أنظمة صيانة المصاعد والسلالم المتحركة في سياق مركز الملك عبد الله المالي (KAFD) في المملكة العربية السعودية. تتوافق التقنية المختارة مع غرض الدراسة المتمثل في دراسة التطبيق العملي للتقنيات الرقمية في البنية التحتية الحضرية الذكية، دون تغيير البيئة أو إدخال عوامل تجريبية. تُمكن التقنية الوصفية البحث من جمع البيانات وقياسها وتحليلها بشكل منهجي فيما يتعلق بالمواقف والسلوكيات والنتائج المتعلقة بالذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في الصيانة التنبؤية. في الوقت نفسه، يسمح الجانب التحليلي بتحديد الأنماط والروابط بين المتغيرات المستقلة والتابعة، مما يساعد على توليد استنتاجات ذات مغزى راسخة في الواقع المرصود.

وللقيام بذلك، يستخدم البحث استراتيجيات بحث كمية. تُعد المناهج الكمية مناسبة بشكل خاص لهذا الاستفسار لأنها تُمكن من جمع بيانات موحدة وقابلة للقياس من فئة سكانية محددة. يتيح هذا النهج المقارنة الموضوعية بين الإجابات، ويدعم التحليل الإحصائي لتحليل الروابط بين متغيرات مثل اعتماد التقنيات الذكية، وأداء الصيانة، وموثوقية النظام، وكفاءة التشغيل. كما تتيح البيانات الكمية القدرة على اختبار الأفكار والتحقق من صحة الإطار النظري باستخدام الأدلة الفعلية. تضمن الطبيعة المنظمة للبحث الكمي الاتساق والموثوقية وقابلية التوسع، خاصةً عند تطبيقه على بيئة دراسة حالة مثل KAFD، حيث تكون العمليات معقدة وتشمل العديد من الجهات المعنية.

أداة جمع البيانات الأساسية المستخدمة في هذا البحث هي استبيان مهيكل، مُصمم بعناية لجمع المعلومات الأساسية المتعلقة بأهداف الدراسة. يتضمن الاستبيان أسئلة مغلقة وأسئلة بمقياس ليكرت، تقيس مدى استخدام الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء، والفوائد المتصورة، والقيود، والاستعداد لتبني التكنولوجيا. تُصنف الأسئلة منطقياً وفقاً لمتغيرات البحث، وتُحافظ على وضوح ودقة لغتها لتناسب المستجيبين ذوي مستويات القدرة التقنية المتنوعة. تم تقييم الأداة والتحقق من صحتها من قبل خبراء أكاديميين وممارسين في هذا المجال لضمان الوضوح والأهمية والتوافق مع الإطار النظري. أُجري اختبار تجريبي على عدد قليل من المستجيبين لتقييم موثوقية الأداة وإجراء تحسينات طفيفة بناءً على الملاحظات قبل نشرها على نطاق واسع.

يشمل مجتمع البحث هذا المهندسين والفنيين ومشرفي الصيانة ومديري المرافق العاملين في أنظمة المصاعد والسلالم المتحركة في مركز الملك عبدالله المالي. وتُستخدم تقنية أخذ عينات هادفة لضمان اختيار الأشخاص ذوي الخبرة والتفاعل المناسبين في أنظمة الصيانة المدعومة بالذكاء الاصطناعي أو إنترنت الأشياء فقط. وتوفر استراتيجية أخذ العينات غير الاحتمالية هذه جمعًا مركّزًا للبيانات من مجموعة مستهدفة يُرجح أن تُقدم رؤية مهمة. وتستند معايير العينة إلى أدوار العمل، والروابط التنظيمية، والانخراط المباشر في تقنيات الصيانة الذكية. وتُعزز هذه الاستراتيجية المختارة المصادقية الداخلية للبحث من خلال ضمان الحصول على البيانات من مصادر مُعتمدة وذات صلة.

تُفحص البيانات المُجمعة من خلال الاستبيان باستخدام تقنيات إحصائية وصفية واستنتاجية. وتُستخدم الإحصاءات الوصفية، مثل التوزيعات التكرارية والمتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية، لتلخيص خصائص المستجيبين وردودهم. طُبِّقت أدوات إحصائية استدلالية، مثل تحليل الارتباط ونماذج الانحدار، لتحليل العلاقات بين البيانات وتقييم فرضيات الدراسة. أُجري التحليل الإحصائي باستخدام برامج حاسوبية مثل SPSS، مما يتيح معالجة دقيقة وفعالة للبيانات الكمية. وُضعت النتائج في جداول ومخططات لتسهيل التفسير والتعبير بوضوح عن الأنماط والاتجاهات والنتائج الرئيسية.

باختصار، تُقدم المنهجية وأساليب البحث المُعتمدة في هذا العمل طريقة منهجية ومنظمة لدراسة تكامل الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في صيانة المصاعد والسلالم المتحركة. ومن خلال الجمع بين المنهجية الوصفية التحليلية وأدوات جمع وتحليل البيانات الكمية، تُوفر الدراسة الموضوعية والموثوقة والأهمية في حل موضوع البحث. ويُمكن هذا الأساس المنهجي للبحث من تقديم رؤية مفيدة لكل من الأدبيات الأكاديمية والتطبيقات العملية في مجال إدارة البنية التحتية الذكية والصيانة في المملكة العربية السعودية.

مجتمع البحث:

يشير مجتمع البحث في هذه الدراسة إلى الفئة السكانية المحددة التي جُمعت منها البيانات والتي استندت إليها استنتاجات البحث. ونظرًا لأن تركيز الدراسة ينصب على دمج الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في أنظمة صيانة المصاعد والسلالم المتحركة، فإن مجتمع البحث يتكون من الأفراد المشاركين بشكل مباشر في عمليات الصيانة في مركز الملك عبد الله المالي (KAFD) بالرياض، المملكة العربية السعودية، أو المسؤولين عنها، أو المتأثرين بها. ويشمل ذلك المهندسين، ومشرفي الصيانة، والفنيين، ومديري المرافق، وأخصائيين البنية التحتية الرقمية الذين تتعلق مهامهم بإدارة أنظمة النقل العمودي أو مراقبتها أو تشغيلها فنيًا داخل هذه المنطقة المتطورة تقنيًا.

كان اختيار مركز الملك عبد الله المالي كموقع مركزي لهذا البحث مدروسًا، نظرًا لأهميته كواحد من أكثر المشاريع الحضرية تقدمًا من الناحية التكنولوجية في المملكة. يتميز مركز الملك عبد الله المالي بمبانيه الشاهقة، ومراكزه التجارية، ومناطقه السكنية، وميزات بنيته التحتية الذكية، بما في ذلك أنظمة الصيانة المتكاملة. وقد تبنى المركز العديد من جوانب رؤية ٢٠٣٠، لا سيما تلك المتعلقة بتطوير المدن الذكية والابتكار الرقمي. وبالتالي، يُمثل مجتمع البحث في هذا المجال مثالاً بالغ الأهمية لفهم كيفية استخدام التقنيات الناشئة عملياً، وما تُمثله من صعوبات وفرص في مجال صيانة البنية التحتية الحضرية.

تم اختيار أعضاء مجتمع البحث باستخدام أسلوب أخذ العينات الهادف، وهو أسلوب غير احتمالي يُحدد المشاركين بناءً على خبرتهم ومعارفهم وأدوارهم المهنية. واشترطت شروط المشاركة أن يكون الأشخاص موظفين في أدوار تتضمن المشاركة المباشرة في صيانة المصاعد أو السلالم المتحركة، أو في مناصب إدارية تُشرف على هذه الأنظمة. ويشمل ذلك، على سبيل المثال لا الحصر: عمال الصيانة المسؤولين عن إكمال الإصلاحات؛ والمهندسين الذين يُبنون ويُنشرون تقنيات الذكاء الاصطناعي أو إنترنت الأشياء؛ والمشرفين الذين يُشرفون على السلامة والموثوقية؛ ومديري المرافق الذين يُنسقون الأداء التشغيلي وإعداد التقارير. وقد ضمنت هذه الاستراتيجية أن تكون الردود المُجمعة من أشخاص ذوي آراء مُستنيرة وقائمة على الخبرة.

كما ساهمت هذه الاستراتيجية تحديداً في ضمان أن تكون استنتاجات الدراسة ذات صلة ومفيدة. بدلاً من الاعتماد على عينة عامة ذات خبرة محدودة في مجال البحث، ركز البحث على جمع البيانات من أفراد قادرين على تقديم ملاحظات تقنية وسياقية حول أنظمة الصيانة الذكية. وكانت مساهماتهم حيوية في تحليل الفعالية والفائدة والنتائج المتوقعة لأنظمة الذكاء الاصطناعي

وإنترنت الأشياء. علاوة على ذلك، تلقى العديد من المشاركين تدريباً رقمياً أو اختبروا بشكل مباشر برامج تجريبية أو تطبيقات شاملة لمنصات الصيانة التنبؤية ضمن هيكل KAFD.

يعكس مجتمع البحث طيفاً متنوعاً من الخبرات والفئات العمرية والخلفيات التعليمية ومسؤوليات العمل. يتيح هذا التنوع فهمًا أشمل لكيفية النظر إلى تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء وتطبيقها عبر مختلف المستويات التنظيمية والتخصصات التقنية. على سبيل المثال، قد يُشدد في الصيانة على العوائق العملية في التواصل مع واجهات إنترنت الأشياء، بينما يُركز المدير بشكل أكبر على الفوائد الاستراتيجية والكفاءة التشغيلية. وقد وسّعت هذه الرؤية متعددة المستويات نطاق التحليل ومكّنت الدراسة من تحديد العوائق التقنية والتنظيمية أو العوامل التي تُسهّل التطبيق الناجح.

من الضروري أيضًا التأكيد على أن مجتمع البحث يعمل في بيئة متميزة تُشكّلها الأهداف المؤسسية، وتحالفات القطاع الخاص، وجهود التحديث التي تقودها الحكومة. العديد من المشاركين هم من العاملين في شركات إدارة المرافق، أو مقدمي التكنولوجيا، أو المشاريع المشتركة بين القطاعين العام والخاص، مما يُضيف طبقة أخرى من التعقيد إلى هيكل هذا المجتمع. تُحدد هذه الانتماءات المؤسسية كيفية إدخال الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء، ورعايتهم، وتوسيع نطاقهم عبر مبانٍ متعددة داخل مركز الملك عبدالله المالي. وبالتالي، تعكس تعليقات المشاركين أيضًا قضايا أكبر، مثل الاستعداد للاستثمار، والمتطلبات التنظيمية، والتوافق مع أهداف رؤية السعودية ٢٠٣٠.

في الختام، يتألف مجتمع البحث لهذه الدراسة من مجموعة مختارة بعناية من المتخصصين ذوي الخبرة المباشرة في صيانة أنظمة المصاعد والسلالم المتحركة في منطقة الملك عبدالله المالية. تُوفر خبرتهم الأساس العملي للبحث في كيفية دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في عمليات الصيانة الحديثة، وتأثيرها على الكفاءة التشغيلية والسلامة، وما هي المشكلات التنظيمية أو التكنولوجية التي قد تعيق تبنيها. ومن خلال إشراك هذه المجموعة تحديدًا، يوفر البحث صلة وثيقة بالسياق، ويساهم برؤى قيّمة لمبادرات تطوير المدن الذكية الوطنية، وللحوار الأكاديمي الأوسع حول ابتكار البنية التحتية.

حدود الدراسة:

من الضروري تحديد حدود هذه الدراسة لوضع نطاق البحث في سياقه، وتحديد حدوده، وتحديد مدى إمكانية استقرار النتائج. وبينما يهدف البحث إلى أن يكون شاملاً وسليماً منهجياً قدر الإمكان، فإن بعض القيود المتعلقة بالجغرافيا والوقت والموضوع والفئة المستهدفة والأدوات والاعتبارات الأخلاقية تؤثر حتماً على الاستنتاجات والتفسيرات.

ينحصر النطاق الجغرافي للدراسة في مركز الملك عبد الله المالي (KAFD) في الرياض، المملكة العربية السعودية. هذا القيد جدير بالملاحظة، نظراً لأن KAFD يمثل تطويراً حضرياً فريداً يتميز ببنية تحتية حديثة، ومستويات عالية من الاستثمار في التكنولوجيا الرقمية، ومواءمته مع رؤية المملكة العربية السعودية ٢٠٣٠. وبينما يوفر هذا الموقع بيئة مثالية لدراسة دمج الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء (IoT) في أنظمة الصيانة، إلا أنه لا يمثل ظروف التشغيل السائدة في المناطق التقليدية أو المناطق الحضرية الأقل تقدماً من الناحية التكنولوجية. لذلك، لا يمكن تعميم النتائج بشكل موحد على جميع حالات الصيانة في المملكة أو خارجها، وخاصةً تلك التي تفتقر إلى بنية تحتية أو دعم سياساتي مماثل.

يتعلق القيد الزمني للدراسة بالفترة الزمنية التي جُمعت خلالها البيانات وحلت. أُجري البحث ضمن فترة أكاديمية محددة، مما قد لا يغطي تماماً الاتجاهات طويلة المدى أو الطبيعة الديناميكية لتقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء. تتقدم التطورات التكنولوجية في مجال الصيانة التنبؤية بسرعة، وربما تكون هناك ترقيات أو تحسينات بعد فترة جمع البيانات. وبالتالي، تُقدم الدراسة لمحة عامة عن حالة تطبيق الصيانة الذكية في نقطة زمنية واحدة، بدلاً من تقييم طويل.

يركز موضوع الدراسة بشكل أساسي على تأثير تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء على صيانة المصاعد والسلالم المتحركة. وقد تم اختيار هذا الموضوع نظراً للدور الحاسم الذي تلعبه أنظمة النقل العمودي في المبادرات الحضرية الذكية الشاهقة مثل مركز الملك عبد الله المالي. ومع ذلك، يستثني هذا القيد مكونات رئيسية أخرى لصيانة المباني، مثل أنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء والإضاءة وأنظمة الأمن، والتي قد تستفيد من دمج الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء. لذا، لا يقدم البحث نظرة شاملة على جميع تقنيات المباني الذكية، بل يركز على البنية التحتية للنقل العمودي.

تشمل الفئة المستهدفة من الدراسة المهندسين والفنيين ومديري المرافق وصناع القرار المعنيين بصيانة أنظمة المصاعد والسلالم المتحركة في مركز الملك عبد الله المالي. وقد تم اختيار هذه المجموعة المتخصصة باستخدام أسلوب أخذ العينات

الهادف لضمان امتلاك الأفراد للخبرة والتجربة المناسبة. ومع ذلك، فإن هذا القيد يستبعد المعلومات الواردة من المستهلكين العاديين أو الموردين الخارجيين أو السياسيين الذين قد يؤثرون أو يتأثرون أيضًا بنشر التكنولوجيا الذكية. ونتيجة لذلك، قد تعكس الاستنتاجات منظورًا تقنيًا بدلاً من رؤية شاملة متعددة الأطراف.

فيما يتعلق بالأدوات والإجراءات، اعتمدت الدراسة بشكل رئيسي على الأساليب الكمية، وتحديدًا استبيان منظم لجمع البيانات وتحليل إحصائي للتفسير. ورغم أن هذه الأدوات مناسبة لتقييم المواقف وتحديد الأنماط، إلا أنها لا تعكس العمق والتعقيد اللذين يمكن أن توفرهما الأساليب النوعية - مثل المقابلات أو دراسات الحالة. قد يعيق غياب البيانات النوعية دراسة التجارب الذاتية والعوامل السياقية والثقافة التنظيمية التي تؤثر على اعتماد تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء. إضافةً إلى ذلك، قد تؤثر القيود التكنولوجية، مثل إرهاق الاستبيانات، أو مشاكل الوصول إلى الإنترنت، أو الردود غير المكتملة، على جودة البيانات.

من حيث المعايير القانونية والأخلاقية، التزمت الدراسة بالمعايير الأكاديمية للسرية، والموافقة المستنيرة، والمشاركة الطوعية. ومع ذلك، قد تكون القيود التنظيمية المتعلقة بمشاركة البيانات والموافقات التنظيمية قد حُدّت من الوصول إلى المعلومات الحساسة أو الخاصة. ربما كان المشاركون حذرين في مشاركة نقاط الضعف التشغيلية أو الانتقادات بسبب مخاوف تتعلق بالأمان الوظيفي أو السرية المؤسسية. تم الحصول على الموافقة الأخلاقية من الهيئة الجامعية المعنية، وأُخذت تدابير للحفاظ على الشفافية والحياد في عملية البحث. ومع ذلك، من المفهوم أن القيود الأخلاقية قد تؤثر على انفتاح المشاركين، مما يؤثر على طبيعة البيانات المجمعة.

فيما يتعلق بالنتائج، تستند الدراسة إلى تحليل إحصائي للاستجابات الواردة من فئة سكانية محددة في موقف محدد. وبينما تُمكن البيانات من اختبار الفرضيات وكشف الارتباطات، إلا أنها لا تُثبت علاقة سببية أو مبادئ عامة. وتُعدّ النتائج صالحة ضمن حدود البحث المحددة، ولكن ينبغي النظر إليها بحذر عند التفكير في تطبيقها على نطاق أوسع. وتُعدّ الاستنتاجات المستخلصة سياقية، ويجب فهمها في إطار البيئة الجغرافية والتكنولوجية والتنظيمية للدراسة.

خطوات جمع البيانات:

تم استكمال منهجية جمع البيانات لهذه الدراسة بطريقة مُخططة ومنهجية لضمان موثوقيتها وصلاحياتها واتساقها مع أهداف البحث. ونظرًا للتركيز على تقييم تكامل الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في صيانة المصاعد والسلالم المتحركة في مركز الملك عبد الله المالي (KAFD)، فقد تم اعتماد أسلوب كمي لجمع البيانات. واتبعت العملية سلسلة من الإجراءات المُحددة جيدًا للحصول على بيانات موثوقة وتمثيلية من الجمهور المستهدف، المُكون من الفنيين ومديري المرافق المُشاركين في عمليات الصيانة.

كانت الخطوة الأولى في جمع البيانات هي تطوير معدات البحث. وتم إعداد استبيان مهيكل لجمع معلومات مُحددة تتعلق باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء وفعاليتها وتصورات المستخدمين لها في عمليات الصيانة. تضمن الاستبيان أسئلة مُغلقة وبُنودًا بمقياس ليكرت لقياس المواقف، وتواتر الاستخدام، والفوائد المُتصورة، والاستعداد التنظيمي. وقد أُعدَّ الاستبيان باللغتين الإنجليزية والعربية لتلبية التفضيلات اللغوية للمُجيبين ولضمان الوضوح والشمولية.

تضمنت الخطوة الثانية عملية التحقق من الصحة، حيث قُدِّمت النسخة الأولى من الاستبيان إلى لجنة من المتخصصين في إدارة الهندسة والتقنيات الذكية وصيانة البنية التحتية. واستُخدمت ملاحظاتهم لتقييم مدى صحة محتوى الأداة وإجراء التعديلات اللازمة لتحسين الوضوح وإزالة الغموض، وضمان توافق الأسئلة مع الإطار النظري وأهداف البحث. ثم أُجريت دراسة تجريبية على عينة صغيرة من المجتمع المستهدف. يساعد هذا الاختبار التجريبي على اكتشاف أي عيوب متبقية في صياغة الأسئلة أو تسلسلها أو فهمها. وأدخلت تحسينات طفيفة بناءً على ملاحظات الدراسة التجريبية لتحسين الهيكل العام للأداة وفعاليتها.

كانت المرحلة التالية هي توزيع الاستبيان. تُرجمت النسخة النهائية من الأداة إلى صيغة رقمية باستخدام منصة استبيان إلكترونية. أتاح النموذج الرقمي توزيع البيانات وجمعها وصيانتها بكفاءة مع الحفاظ على سرية هوية المُشاركين وخصوصيتهم. وتم توفير رابط الاستبيان عبر البريد الإلكتروني ومنصات احترافية للمُشاركين المحتملين العاملين في KAFD. أُرفق بالرباط خطاب تعريف، يصف هدف الدراسة، وضرورة مشاركتهم، والضمانات الأخلاقية المتعلقة بخصوصية البيانات والمشاركة الطوعية.

وشملت المرحلة الرابعة التواصل للمتابعة. ولتعزيز معدلات الاستجابة وضمان مشاركة كافية، أُرسلت رسائل تذكيرية على فترات منتظمة إلى من استلموا الاستبيان ولم يُجيبوا عليه بعد. وفي بعض الحالات، استُخدم التواصل الفردي لتوضيح المسائل أو تعزيز المشاركة، لا سيما بين كبار السن من المهنيين الذين اعتُبرت آراؤهم ذات أهمية خاصة.

وكانت الخطوة الأخيرة في عملية جمع البيانات هي استرجاع البيانات وتنظيمها وتنقيتها. بمجرد انتهاء فترة الاستجابة، قُيِّمت البيانات المُجمعة لتحديد الإجابات غير المكتملة أو غير المتسقة. واستُبعدت الإجابات التي افتقرت إلى معلومات جوهرية أو أظهرت مؤشرات واضحة على عدم الدقة من مجموعة البيانات النهائية. وتم ترميز الإجابات المتبقية وإعدادها للتحليل الإحصائي، باستخدام أدوات برمجية لترتيب البيانات وفقًا لفئات المتغيرات المشار إليها في إطار البحث.

محددات حجم العينة:

من أبرز التحديات التي واجهت منهجية هذه الدراسة محدودية حجم العينة. فبينما بُدلت جهودٌ كبيرةٌ للحصول على عددٍ كافٍ ومُمثلٍ من المشاركين من الأوساط المهنية ذات الصلة في مركز الملك عبد الله المالي (KAFD)، فرضت عدة عوامل قيودًا على حجم العينة، وبالتالي على إمكانية تعميم النتائج.

تركز الدراسة بشكلٍ خاص على الأفراد العاملين في صيانة المصاعد والسلالم المتحركة، بمن فيهم الفنيون والمهندسون والمشرفون ومديرو المرافق، سواء كانوا مستخدمين أو مشرفين على تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء (IoT) في أنظمة الصيانة. وقد أدى التخصص الشديد لهذه الفئة المستهدفة إلى تقليص حجم العينة المتاحة تلقائيًا. فعلى عكس الاستبيانات العامة التي تعتمد على بيانات ديموغرافية واسعة، تطلب هذا البحث متطوعين ذوي أدوار وخبرات محددة، مما قلل بشكلٍ كبير من عدد المشاركين المؤهلين.

ومن العوامل الأخرى التي ساهمت في محدودية حجم العينة توافر المشاركين. فالعديد من الأفراد العاملين في عمليات البنية التحتية والصيانة، وخاصةً في بيئةٍ عالية الطلب مثل مركز الملك عبد الله المالي، لديهم وقتٌ محدودٌ للمشاركة في البحث الأكاديمي. على الرغم من إرسال رسائل بريد إلكتروني وتذكيرات متابعة، لم يتمكن بعض المشاركين المحتملين أو لم يرغبوا في إكمال الاستبيان بسبب جداول العمل، أو مخاوف تتعلق بالسرية، أو نقص الحوافز. وتُعد هذه المشكلة شائعة في الدراسات الميدانية، حيث تُقدم الاعتبارات التشغيلية أحيانًا على المشاركة الفكرية.

إضافةً إلى ذلك، أعاقَت الموافقات التنظيمية وقيود الوصول قدرة الباحث على الوصول الفوري إلى جميع المتخصصين المعنيين. في بعض الحالات، تعذر الوصول إلى قوائم الموظفين التي تحتفظ بها الشركة أو منصات التواصل الداخلي بسبب سياسات الخصوصية أو القيود الإدارية. ونتيجةً لذلك، تم توزيع الاستبيان عبر وسائل خارجية، والتي ربما لم تشمل بشكل كافٍ النطاق الكامل للأفراد المنخرطين بنشاط في ممارسات الصيانة الذكية.

كما ساهم اعتماد أسلوب أخذ العينات الهادف في هذا القصور. فبينما يضمن أخذ العينات الهادف اختيار الأشخاص المؤهلين وذوي الخبرة فقط، فإنه لا يضمن العشوائية أو التمثيل الإحصائي. لذلك، فبينما تُقدم الردود الواردة رؤى مفيدة، لا يُمكن افتراض أنها تعكس وجهات نظر جميع متخصصي الصيانة العاملين داخل KAFD أو خارجها.

من الضروري التأكيد على أنه على الرغم من محدودية حجم العينة، إلا أن البيانات المُجمعة لا تزال تحتفظ بقيمتها التحليلية نظرًا لأهمية ومؤهلات المشاركين. ويدعم عمق الخبرة والتركيز المُحدد لمجموعة العينة التفسير الهادف والتعرف على الأنماط ضمن النطاق المُستهدف للدراسة. ومع ذلك، يجب مراعاة قيد حجم العينة عند دراسة مدى ملائمة النتائج لمجموعات أوسع أو لظروف جغرافية وتشغيلية مُختلفة.

الفصل الرابع: نتائج الدراسة:

مقدمة:

يعرض الفصل الرابع النتائج الأساسية للدراسة، مقدماً لمحة تحليلية عن البيانات التي جُمعت من متخصصين معينين بشكل مباشر بصيانة المصاعد والسلالم المتحركة في مركز الملك عبد الله المالي. يستند هذا الفصل إلى منهجية البحث التي أُرسيَت في الفصل السابق، وذلك بتفسير البيانات إحصائياً واستخلاص روابط ذات مغزى بين متغيرات البحث. يهدف هذا الفصل بشكل أساسي إلى تقييم كيفية دمج الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في أنظمة الصيانة التنبؤية، ومدى فعاليتها في التطبيق العملي، والتصورات والفوائد والتحديات التي تنشأ عن تطبيقها.

حُلّت البيانات التي جُمعت من خلال استبيانات مُهيكلّة باستخدام أدوات إحصائية وصفية واستنتاجية. وقد سمح ذلك للباحث باستخراج الأنماط، وقياس العلاقات بين المتغيرات، وتقييم الأثر الكلي لتقنيات الصيانة الذكية على موثوقية النظام، وكفاءة التكلفة، والسلامة، والأداء التشغيلي. استُخدمت النتائج الكمية للتحقق من صحة فرضيات الدراسة وإطارها النظري، مع تحديد مواطن الاختلاف بين النتائج المتوقعة والملاحظة. ركز التحليل على عدة متغيرات رئيسية، بما في ذلك مدى استخدام الذكاء الاصطناعي/إنترنت الأشياء، ومستوى تدريب الموظفين ووعيهم التكنولوجي، وتواتر تدخلات الصيانة، وتقليل وقت التوقف، والتحسينات الملموسة للنظام من وجهة نظر المهندسين والفنيين ومديري الصيانة.

أظهرت النتائج أن اعتماد الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في أنظمة المصاعد والسلالم المتحركة في مركز الملك عبد الله المالي يتقدم، ولكنه ليس خالياً من العقبات. ففي حين أكد غالبية المشاركين أن الصيانة التنبؤية قد حسّنت من جاهزية المعدات وقللت من أعطال الطوارئ، أشار آخرون إلى تحديات تتعلق بتعقيد النظام، ومحدودية تدريب المستخدمين، وعدم دقة أجهزة الاستشعار أحياناً. كما أظهر التحليل أن سهولة الاستخدام الملموسة والاستعداد التنظيمي يلعبان دوراً هاماً في تحديد مدى قبول هذه التقنيات واستخدامها بكامل إمكاناتها. علاوة على ذلك، شدد المشاركون على أهمية الاستثمار المستمر في البنية التحتية الرقمية ورأس المال البشري للحفاظ على الفوائد طويلة الأجل لتكامل الصيانة الذكية.

وبناءً على النتائج، صيغت عدة توصيات رئيسية لتعزيز فعالية تطبيقات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في عمليات الصيانة. أولاً، يُوصى بتوسيع نطاق برامج التدريب وتحديثها بانتظام لضمان إتقان جميع الموظفين الفنيين لاستخدام منصات المراقبة المتقدمة وتفسير البيانات الآنية. ثانياً، ينبغي بذل الجهود لتبسيط واجهات النظام لتحسين إمكانية الوصول

للمستخدمين ذوي الكفاءات الرقمية المتنوعة. ثالثاً، ينبغي تعزيز الشراكات الاستراتيجية بين شركات إدارة المرافق ومقدمي التكنولوجيا لضمان تطبيق ودعم أنسب الأدوات والمنصات. رابعاً، ينبغي وضع سياسات حوكمة البيانات لتعزيز الثقة والشفافية وسلامة البيانات عند استخدام الرؤى القائمة على الذكاء الاصطناعي. وأخيراً، ينبغي أن تكون عملية التنفيذ مصحوبة بتقييم مستمر للأداء لضمان التوافق مع الأهداف التشغيلية وتشجيع تحديد أوجه القصور في النظام ومعالجتها في الوقت المناسب.

باختصار، يوضح هذا الفصل كيف يُشكل دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء ممارسات الصيانة في مركز الملك عبدالله المالي، وكيف تدعم العوامل التقنية والتنظيمية والبشرية هذه الابتكارات وتُقيدها. يوفر تحليل البيانات رؤية واضحة للحالة الراهنة للتنفيذ، بينما تُقدم التوصيات خطوات عملية وقابلة للتنفيذ لتحسين تطبيقها مستقبلاً. من خلال تقديم وصف تفصيلي للأداء الحقيقي لتقنيات الصيانة الذكية، يقدم هذا الفصل مساهمة كبيرة في الفهم الأكاديمي والإدارة العملية للبنية التحتية الذكية في بيئات المدن الذكية.

تحليل البيانات:

يُعدّ تحليل البيانات مرحلةً أساسيةً لفهم نتائج الدراسة والتحقق من صحة فرضيات البحث. فهو يُقدّم رؤىً حول كيفية استخدام الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في سياق صيانة المصاعد والسلالم المتحركة داخل مركز الملك عبدالله المالي (KAFD)، ويدرس النتائج العملية لهذا التكامل. يستند هذا التقرير إلى بيانات كمية جُمعت من خلال استبيانات مُنظّمة وُجّهت للمهندسين والفنيين والمشرفين ومديري الصيانة المشاركين بنشاط في العمليات داخل مركز الملك عبدالله المالي.

حُلّلت البيانات أولاً باستخدام أساليب إحصائية وصفية لتلخيص خصائص عينة الدراسة وقياس استجاباتهم لمختلف جوانب استخدام الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في أنظمة الصيانة. واستُخدمت التكرارات والنسب المئوية لتوضيح المعلومات الديموغرافية، مثل العمر والمستوى التعليمي والوظيفة وسنوات الخبرة. وقد وُفّر ذلك لمحّة عامة عن ملقّات المشاركين، وساعد في تحديد مدى مصداقية آرائهم بشأن استخدام التكنولوجيا وإدارة البنية التحتية.

أشارت البيانات الوصفية الأولية إلى أن غالبية المشاركين شغلوا مناصب فنية تتراوح بين المتوسطة والعليا، ولديهم خبرة تزيد عن خمس سنوات في إدارة المرافق. وأكد معظمهم وجود تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في بيئاتهم التشغيلية، لا سيما في أنظمة المصاعد التي تتطلب مراقبة مستمرة وموثوقية عالية. وأقرّ حوالي ٧٦٪ من المشاركين بتطبيق الصيانة التنبؤية المدعومة بهذه التقنيات في مشروع واحد على الأقل داخل مركز الملك عبدالله المالي.

وركزت الدراسة الاستقصائية على الفوائد المتصورة لدمج الذكاء الاصطناعي مع إنترنت الأشياء. وأفادت نسبة كبيرة من المشاركين بأن استخدام هذه التقنيات قلّل بشكل كبير من فترات التوقف غير المجدولة ونفقات الصيانة. وتحديداً، وافق ٨١٪ على أن التشخيص بمساعدة الذكاء الاصطناعي سمح لهم باكتشاف العيوب قبل حدوثها، وشهد ٧٤٪ تحسّناً في كفاءة تشغيل المصاعد. وشملت المزايا الأكثر شيوعاً الكشف المبكر عن الأعطال الميكانيكية، والمراقبة التلقائية للأداء، وتقليل الاعتماد على طرق الفحص اليدوي.

ومع ذلك، سلّطت الدراسة الضوء أيضاً على بعض أوجه القصور والجوانب المثيرة للقلق. أشار عدد كبير من المشاركين إلى أن فائدة أنظمة الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء محدودة لأسباب مثل ضعف الاتصال بالإنترنت، ونقص معايرة أجهزة الاستشعار، ونقص التدريب الكافي للموظفين. وأفاد ما يقرب من ٤٥٪ من المشاركين بمواجهتهم صعوبات في فهم التنبيهات

الصادرة عن النظام أو الوصول إلى لوحات المعلومات الفورية. بالإضافة إلى ذلك، أشار ٣٢٪ من المشاركين إلى أنه على الرغم من توفر البيانات الناتجة عن أجهزة إنترنت الأشياء، إلا أنه كان هناك أحياناً تأخير في التعامل معها بسبب عدم وجود اتصال بسير العمل الحالي أو ندرة الموظفين المؤهلين.

أُجري تحليل الارتباط لتقييم العلاقات بين المتغيرات المستقلة (مثل: توافر أدوات الذكاء الاصطناعي/إنترنت الأشياء، ومستوى التدريب، وجاهزية البنية التحتية) والمتغيرات التابعة (مثل: تقليل وقت الصيانة، وموثوقية المعدات، وكفاءة التكلفة). أظهرت النتائج وجود علاقات إيجابية كبيرة بين توافر أدوات الذكاء الاصطناعي/إنترنت الأشياء وكفاءة الصيانة المدركة ($r = 0.78$)، وبين مستويات تدريب الموظفين والاستخدام الفعال للنظام ($r = 0.71$). تؤكد هذه النتائج فرضية الدراسة القائلة بأن جاهزية التكنولوجيا وكفاءة الموظفين هما مفتاح النجاح في تبني حلول الصيانة الذكية.

كما أُجري تحليل الانحدار لتحليل القدرة التنبؤية لعدة متغيرات مستقلة على نتائج الصيانة. وأشار النموذج إلى أن توافر أنظمة الذكاء الاصطناعي/إنترنت الأشياء المتكاملة قد يُفسر ٦٤٪ من التباين في مقاييس أداء الصيانة. ومن بين أكثر العوامل المؤثرة في التنبؤات الكشف التلقائي عن الأعطال ($p < 0.01$)، وتدريب الفنيين ($p < 0.05$)، والتغذية الراجعة الفورية للمستشعرات ($p < 0.05$). تؤكد هذه النتائج الإطار النظري المستخدم في الدراسة، وتؤكد أهمية سهولة استخدام النظام وجاهزية العاملين في تحقيق نتائج جيدة.

ومن الجدير بالذكر أن الخصائص الديموغرافية، مثل العمر أو المستوى التعليمي أو سنوات الخبرة، لم تكن مرتبطة ارتباطاً جوهرياً بتقييمات أداء الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء. وهذا يُظهر أن القبول والأداء يعتمدان بشكل أكبر على المتغيرات المؤسسية والخبرة العملية أكثر من اعتمادهما على الخلفية الشخصية.

تضمنت المرحلة الثالثة من البحث استكشاف اتجاهات الإجابات المفتوحة التي قدمها المشاركون. ورغم أن هذه الملاحظات كانت نوعية بطبيعتها، إلا أنها عززت الاستنتاجات الكمية. وأعرب العديد من المشاركين عن ثقتهم بمستقبل الصيانة الذكية في المملكة العربية السعودية، لا سيما في ضوء الأهداف الحكومية مثل رؤية ٢٠٣٠. كما أكدوا على الحاجة إلى تواصل أكبر بين موردي التكنولوجيا وفرق الصيانة، وتحسين تكامل الأنظمة، والمراقبة المستمرة للأداء لضمان النجاح على المدى الطويل.

باختصار، أشار تحليل البيانات إلى أن تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء كان لها تأثير ملموس وإيجابي بشكل عام على صيانة المصاعد والسلالم المتحركة في مركز الملك عبدالله المالي. وقد وُجد أن الصيانة التنبؤية والمراقبة الآنية والأنتمتة تعزز الكفاءة التشغيلية وتقلل المخاطر. ومع ذلك، سلط البحث الضوء أيضًا على عقبات مهمة، لا سيما في التدريب، وسهولة استخدام النظام، والجاهزية التنظيمية. تشكل هذه النتائج أساسًا للتوصيات المقترحة في الجزء التالي، وتوفر رؤى مهمة للمناطق الحضرية الأخرى الراغبة في اعتماد سياسات مماثلة للبنية التحتية الذكية.

- الوصف الاحصائي للبيانات:

تم تحليل البيانات التي تم جمعها من عينة البحث باستخدام الأساليب الإحصائية الوصفية لتلخيص ردود المشاركين وتبسيط الضوء على الاتجاهات ذات الصلة. تضمنت العينة خبراء مثل المهندسين والفنيين ومشرفي الصيانة المشاركين في عمليات المصاعد والسلالم المتحركة داخل مركز الملك عبد الله المالي (KAFD). تم استخدام مقاييس مثل المتوسط والانحراف المعياري وتوزيعات التردد لتقييم الإجابات المتعلقة باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي (AI) وإنترنت الأشياء (IoT). كشف متوسط الدرجات عن درجة عالية من الاتفاق عادةً مع التأثير الإيجابي لهذه التقنيات على كفاءة النظام والصيانة التنبؤية واكتشاف الأعطال. كشفت قيم الانحراف المعياري عن مستوى معتدل من التنوع في الآراء، مما يدل على درجة من التنوع في تجربة المستخدم والتعرض. أظهر البحث أيضًا وجود علاقات وثيقة بين الأداء الناجح للنظام وتوافر الموظفين المدربين والمنصات المتكاملة وأدوات المراقبة في الوقت الفعلي. قدمت هذه النتائج الإحصائية منصة جيدة لاختبار الفرضيات والتفسير الأعمق.

Statistics							
Std. Error of Kurtosis	Kurtosis	Std. Error of Skewness	Skewness	Std. Deviation	Std. Error of Mean	N	
						Valid	
0.423	-0.800	0.213	0.503	1.261	0.111	129	ما هو عمرك
0.423	-2.019	0.213	-0.110	0.501	0.044	129	ما هو جنسك
0.423	-1.089	0.213	-0.277	1.320	0.116	129	ما هي درجتك العلمية
0.423	-1.199	0.213	0.234	1.392	0.123	129	لدى المؤسسة وعي كافٍ بأهمية تقنيات الذكاء الاصطناعي في الصيانة
0.423	-1.342	0.213	0.207	1.492	0.131	129	يوجد فهم جيد لدى العاملين حول تطبيقات إنترنت الأشياء في مجال المصاعد والسلالم الكهربائية
0.423	-1.215	0.213	0.522	1.461	0.129	129	يتم توفير ورش عمل أو تدريب حول الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء للعاملين
0.423	-1.210	0.213	0.472	1.469	0.129	129	هناك اهتمام من إدارة مركز كافد بتبني حلول تقنية حديثة
0.423	-1.199	0.213	0.412	1.471	0.130	129	يتم تخصيص ميزانية لتبني تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء
0.423	-1.471	0.213	0.206	1.557	0.137	129	يتم استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي لتحليل الأعطال المتكررة في المصاعد والسلالم
0.423	-1.528	0.213	0.230	1.585	0.140	129	تساعد خوارزميات الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالأعطال قبل حدوثها
0.423	-1.504	0.213	0.196	1.561	0.137	129	يقل الاعتماد على الصيانة اليدوية بفضل حلول الذكاء الاصطناعي
0.423	-1.269	0.213	0.181	1.414	0.125	129	تساهم تطبيقات الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة الصيانة الدورية

0.423	-1.437	0.213	0.085	1.497	0.132	129	يتم اتخاذ قرارات الصيانة بشكل أسرع باستخدام الذكاء الاصطناعي
0.423	-1.229	0.213	0.316	1.401	0.123	129	يتم تركيب أجهزة استشعار (متصلة بالمصاعد Sensors) والسلالم الكهربائية
0.423	-1.387	0.213	0.185	1.521	0.134	129	تساعد تقنية إنترنت الأشياء في جمع بيانات مباشرة من الأجهزة
0.423	-1.129	0.213	0.400	1.414	0.125	129	يتم تحليل بيانات الأجهزة بشكل لحظي لتحديد الأعطال
0.423	-1.189	0.213	0.328	1.383	0.122	129	توفر تقنيات إنترنت الأشياء إشعارات فورية عند حدوث خلل أو توقف
0.423	-1.349	0.213	0.182	1.465	0.129	129	تساهم إنترنت الأشياء في تقليل زمن التوقف عن الخدمة

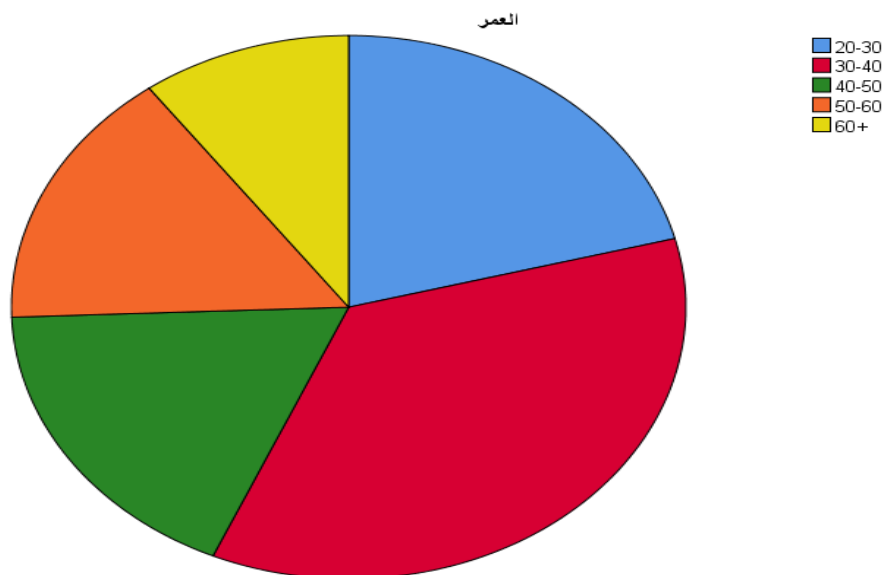
جدول ١: الوصف الاحصائي للبيانات

١. عمر المشاركين في التجربة

من الواضح أن أعلى نسبة هي ٣٥,٧٪، وهذا يشير إلى أن الفئة العمرية الأكثر تمثيلاً بين ١٢٩ مشاركاً صالحاً هي ٣٠-٤٠ عاماً. تشكل هذه الفئة العمرية الجزء الأكبر من العينة، مما يدل على تركيز المستجيبين في هذه الفئة السكانية. بعد ذلك، تشكل الفئة العمرية ٤٠-٥٠ عاماً ١٧,٨٪ من المشاركين، بينما تمثل الفئة العمرية ٥٠-٦٠ عاماً ١٥,٥٪. يأتي أقل حضور من الفئة العمرية ٦٠+، بنسبة ١٠,١٪. يوضح هذا التوزيع أن غالبية المشاركين ينتمون إلى فئات البالغين الأصغر إلى متوسطي العمر، مع ذروة واضحة في الفئة العمرية ٣٠-٤٠.

عمر المشاركين في التجربة					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	20-30	27	20.9	20.9	20.9
	30-40	46	35.7	35.7	56.6
	40-50	23	17.8	17.8	74.4
	50-60	20	15.5	15.5	89.9
	60+	13	10.1	10.1	100.0
	Total	129	100.0	100.0	

جدول ٢: الوصف الاحصائي لعمر المشاركين في التجربة



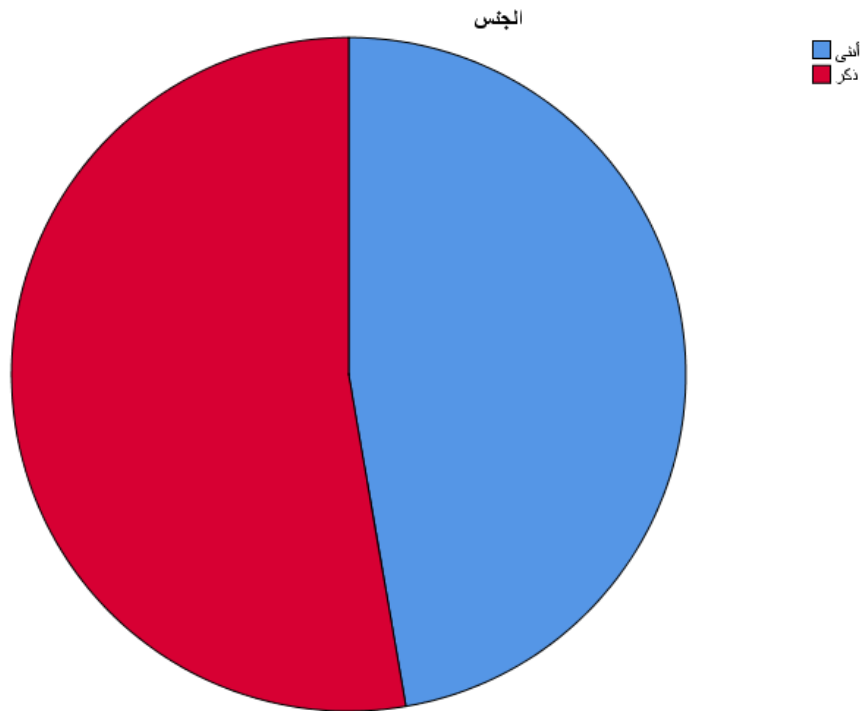
رسم توضيحي ٢: التمثيل البياني لعمر المشاركين في التجربة

٢. جنس المشاركين في التجربة

من الواضح أن أعلى قيمة هي ٥٢,٧٪، وهذا يدل على أن غالبية المشاركين الصالحين البالغ عددهم ١٢٩ مشاركاً في التجربة هم من الذكور. على وجه التحديد، تم تحديد ٥٢,٧٪ من المشاركين على أنهم ذكور، وهو ما يمثل ٦٨ شخصاً. تُشكل المشاركات الإناث النسبة المتبقية (٤٧,٣٪)، بإجمالي ٦١ فرداً. يُمثل هذا التوزيع عينةً يهيمن عليها الذكور بشكل طفيف، مع تمثيل أكبر للرجال مقارنةً بالنساء.

جنس المشاركين في التجربة					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أنثى	61	47.3	47.3	47.3
	ذكر	68	52.7	52.7	100.0
	Total	129	100.0	100.0	

جدول ٣: الوصف الاحصائي لجنس المشاركين في التجربة



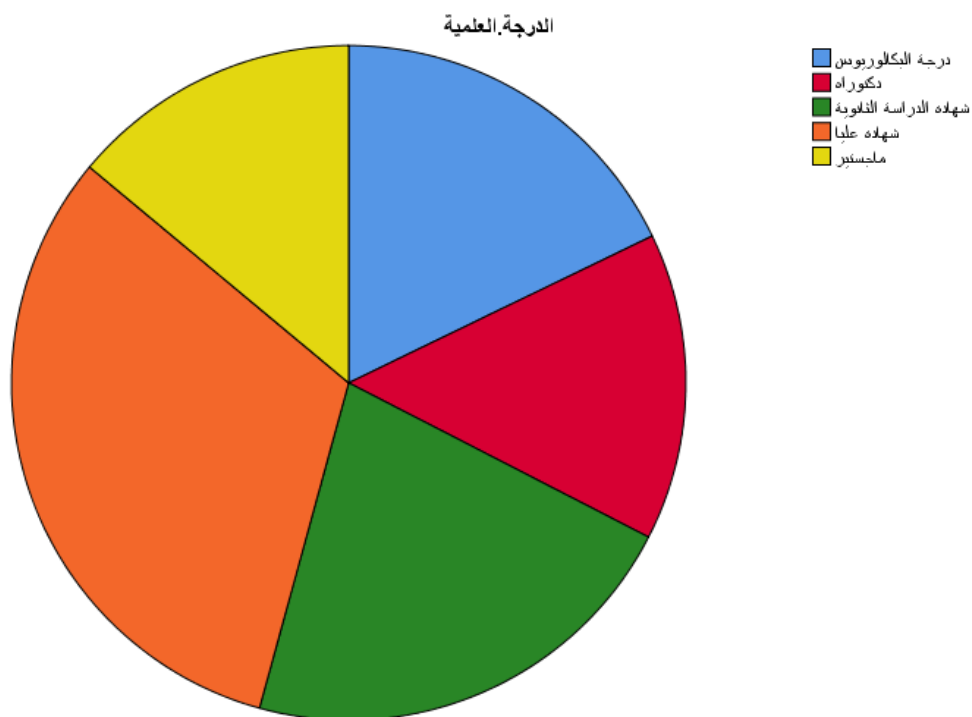
رسم توضيحي ٣: التمثيل البياني لجنس المشاركين في التجربة

٣. الدرجة العلمية للمشاركين في التجربة

يتضح أن النسبة الأكبر هي ٣١,٨٪، وهذا يعني أن التحصيل التعليمي الأكثر شيوعاً بين المشاركين الـ ١٢٩ المعتمدين هو شهادة التعليم العالي. يُظهر هذا أن نسبةً كبيرةً من العينة تحمل مؤهلاً ما بعد الثانوي غير مُعرّف بالبيكالوريوس أو الدكتوراه أو الماجستير. يلي ذلك، ٢١,٧٪ من المشاركين حاصلون على شهادة الدراسة الثانوية، و١٧,٨٪ حاصلون على درجة البكالوريوس. تشمل المجموعات المتبقية الحاصلين على درجة الدكتوراه بنسبة ١٤,٧٪، والحاصلين على درجة الماجستير بنسبة ١٤,٠٪. يُصوّر هذا التوزيع عينة ذات خلفيات تعليمية مُتنوعة، ولكن مع تركيز ملحوظ على مستوى "شهادة التعليم العالي".

الدرجة العلمية للمشاركين في التجربة					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	درجة البكالوريوس	23	17.8	17.8	17.8
	دكتوراه	19	14.7	14.7	32.6
	شهادة الدراسة الثانوية	28	21.7	21.7	54.3
	شهادة عليا	41	31.8	31.8	86.0
	ماجستير	18	14.0	14.0	100.0
	Total	129	100.0	100.0	

جدول ٤: الوصف الاحصائي للدرجة العلمية للمشاركين في التجربة



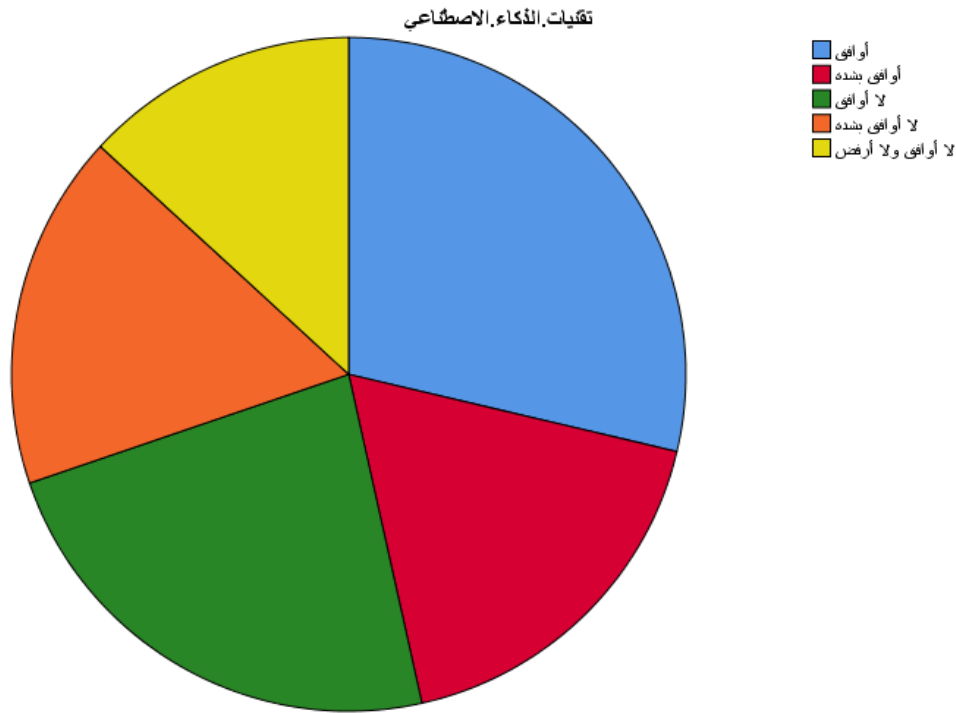
رسم توضيحي ٤: التمثيل البياني للدرجة العلمية للمشاركين في التجربة

٤. لدى المؤسسة وعي كافٍ بأهمية تقنيات الذكاء الاصطناعي في الصيانة

يتفق غالبية المشاركين الـ ١٢٩، كما يتضح من أعلى نسبة بلغت ٢٨,٧٪، على أن المؤسسة على دراية كافية بأهمية تقنيات الذكاء الاصطناعي في الصيانة. وهذا يعني وجود انطباع إيجابي بأن الشركة تُقدّر مساهمة الذكاء الاصطناعي في مهام الصيانة. ثم يوافق ١٧,٨٪ من الأفراد بشدة، مما يؤكد هذا الوعي بشكل أكبر. من ناحية أخرى، يعتقد جزء من المشاركين - ٢٣,٣٪ لا يوافقون و ١٧,١٪ لا يوافقون بشدة - أن الشركة ليست على دراية كافية بقيمة الذكاء الاصطناعي في الصيانة. ويشير ١٣,٢٪ الذين لم يُبدوا أي رأي إلى أن بعض المشاركين مترددون أو يفتقرون إلى رأي قوي، مما يزيد من الاستجابة المتباينة، ولكن المتفقة بشكل عام حول وعي المؤسسة بالذكاء الاصطناعي في الصيانة.

لدى المؤسسة وعي كافٍ بأهمية تقنيات الذكاء الاصطناعي في الصيانة					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق	37	28.7	28.7	28.7
	أوافق بشدة	23	17.8	17.8	46.5
	لا أوافق	30	23.3	23.3	69.8
	لا أوافق بشدة	22	17.1	17.1	86.8
	لا أوافق ولا أرفض	17	13.2	13.2	100.0
	Total	129	100.0	100.0	

جدول ٥: الوصف الاحصائي لدى المؤسسة وعي كافٍ بأهمية تقنيات الذكاء الاصطناعي في الصيانة



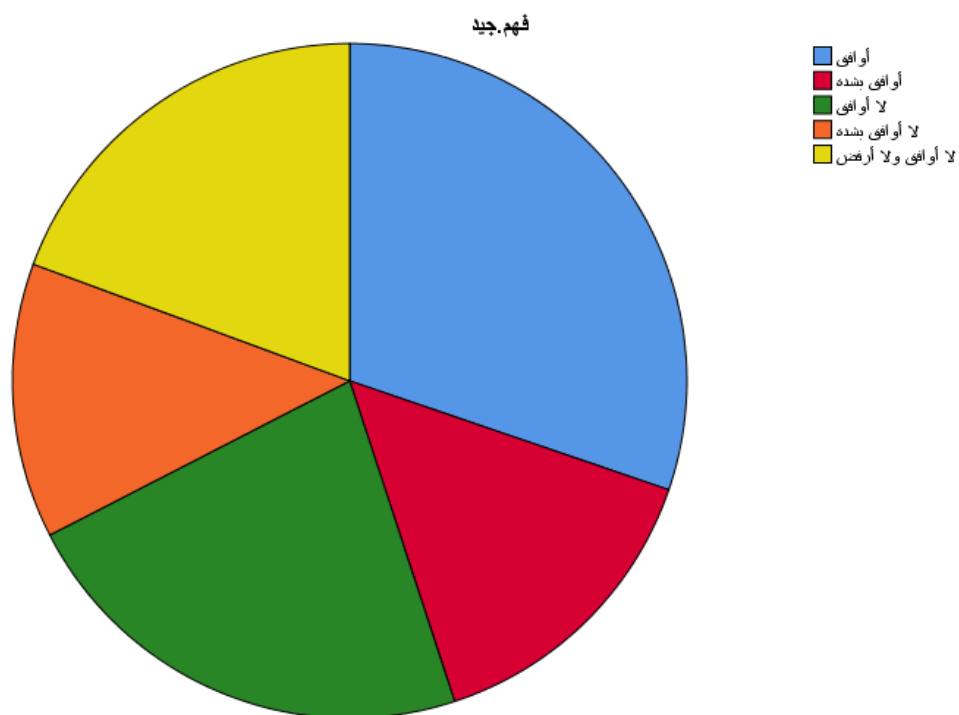
رسم توضيحي ٥: التمثيل البياني لدى المؤسسة وعي كافٍ بأهمية تقنيات الذكاء الاصطناعي في الصناعة

٥. يوجد فهم جيد لدى العاملين حول تطبيقات إنترنت الأشياء في مجال المصاعد والسلالم الكهربائية

من الواضح أن النسبة الأعلى، ٣٠,٢٪، تُظهر أن معظم المشاركين الـ ١٢٩ يتفقون على أن أعضاء الفريق على دراية جيدة بتطبيقات إنترنت الأشياء (IoT) في السلالم المتحركة والمصاعد. هذا يدل على رأي إيجابي بأن الموظفين على دراية بتطبيق إنترنت الأشياء في هذا القطاع تحديداً. ١٤,٧٪ من المشاركين يوافقون بشدة، مما يعزز هذا الفهم بشكل أكبر. من ناحية أخرى، يعتقد جزء من المشاركين - ٢٢,٥٪ لا يوافقون و ١٣,٢٪ لا يوافقون بشدة - أن الموظفين لا يعرفون ما يكفي عن تطبيقات إنترنت الأشياء في هذه الصناعة. فيما يتعلق بمعرفة الموظفين بإنترنت الأشياء في المصاعد والسلالم المتحركة، أشار ١٩,٤٪ ممن لم يبالوا إلى أن بعض المشاركين غير واضحين أو يفتقرون إلى رأي قوي حول مستوى الفهم، مما يؤدي إلى ردود فعل متباينة، ولكنها مقبولة بشكل عام.

يوجد فهم جيد لدى العاملين حول تطبيقات إنترنت الأشياء في مجال المصاعد والسلالم الكهربائية					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق	39	30.2	30.2	30.2
	أوافق بشدة	19	14.7	14.7	45.0
	لا أوافق	29	22.5	22.5	67.4
	لا أوافق بشدة	17	13.2	13.2	80.6
	لا أوافق ولا أرفض	25	19.4	19.4	100.0
	Total	129	100.0	100.0	

جدول ٦: الوصف الاحصائي لوجود فهم جيد لدى العاملين حول تطبيقات إنترنت الأشياء في مجال المصاعد والسلالم الكهربائية



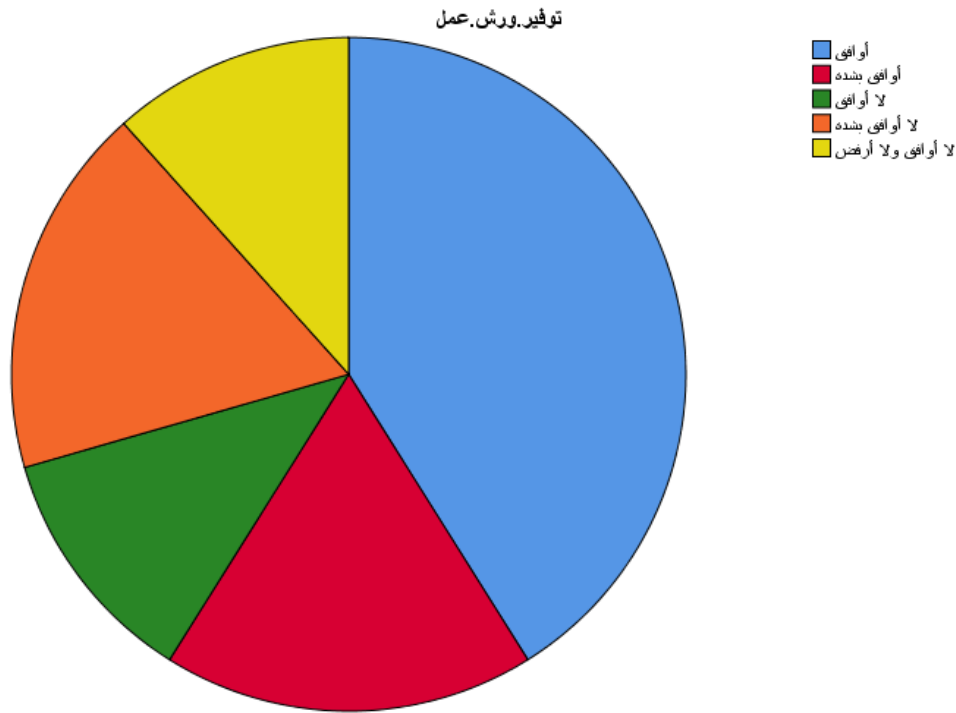
رسم توضيحي ٦: التمثيل البياني لوجود فهم جيد لدى العاملين حول تطبيقات إنترنت الأشياء في مجال المصاعد والسلالم الكهربائية

٦. يتم توفير ورش عمل أو تدريب حول الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء للعاملين

من الواضح أن الرقم الأكبر، ٤١,١٪، يُظهر أن معظم المشاركين الصالحين البالغ عددهم ١٢٩ مشاركًا يتفقون على أن الموظفين يتلقون ورش عمل أو تدريبًا في مجال الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء. وهذا يعني أن جهود الشركة لتدريب موظفيها على هذه التقنيات المتطورة تحظى بإيجابية. بناءً على ذلك، أبدى ١٧,٨٪ من المشاركين موافقتهم الشديدة، مما يؤكد الحاجة إلى هذا النوع من التدريب. من ناحية أخرى، يرى جزء من المشاركين - ١٧,٨٪ لا يوافقون و ١١,٦٪ يرفضون بشدة - أن الموظفين لا يتلقون تدريبًا أو ندوات كافية في مجال الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء. جاءت ردود الفعل حول توافر تدريب الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء متباينة، لكنها إيجابية بشكل لا لبس فيه، مع بقاء ١١,٦٪ محايدين، مما يشير إلى أن بعض المشاركين غير متأكدين أو يفتقرون إلى رأي واضح حول هذا الموضوع.

يتم توفير ورش عمل أو تدريب حول الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء للعاملين					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق	53	41.1	41.1	41.1
	أوافق بشدة	23	17.8	17.8	58.9
	لا أوافق	15	11.6	11.6	70.5
	لا أوافق بشدة	23	17.8	17.8	88.4
	لا أوافق ولا أرفض	15	11.6	11.6	100.0
	Total	129	100.0	100.0	

جدول ٧: الوصف الاحصائي لتوفير ورش عمل أو تدريب حول الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء للعاملين



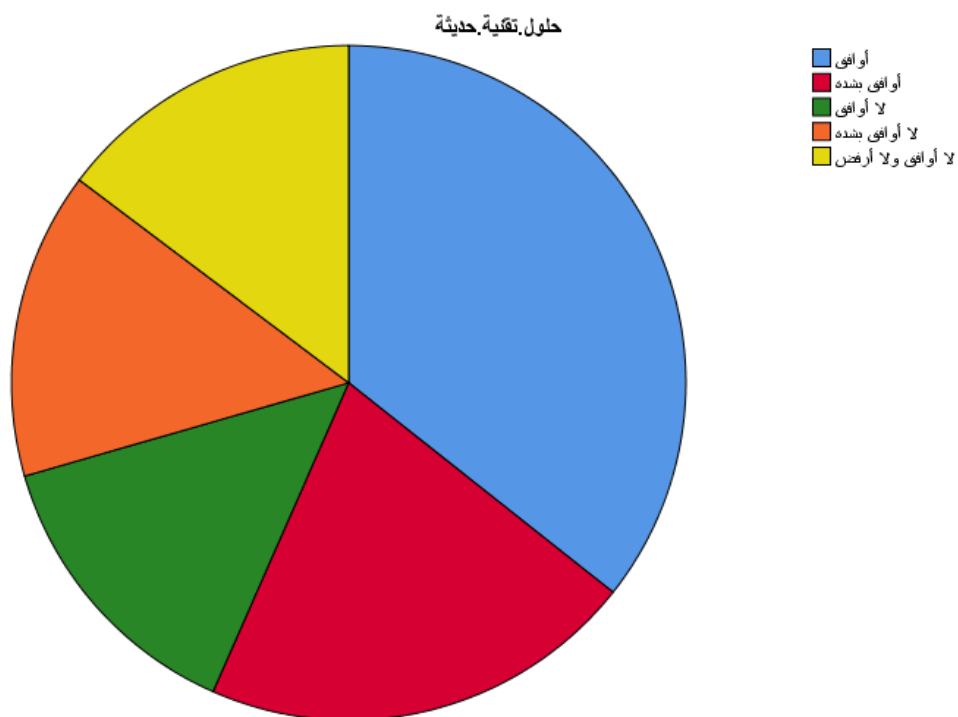
رسم توضيحي ٧: التمثيل البياني لتوفير ورش عمل أو تدريب حول الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء للعاملين

٧. هناك اهتمام من إدارة مركز كافد بتبني حلول تقنية حديثة

يتفق غالبية المشاركين الـ ١٢٩ المسجلين، كما يتضح من أعلى نسبة بلغت ٣٥,٧٪، على أن إدارة مركز كافد مهتمة بما يكفي بتطبيق الحلول التقنية المعاصرة. وهذا يعني أن إدارة المركز تُنظر إليها بإيجابية على أنها تقدمية ومنفتحة على تطبيق التقنيات الجديدة. ويدعم هذا الرأي الإيجابي أيضًا موافقة ٢٠,٩٪ من المشاركين بشدة. من ناحية أخرى، يرى جزء من المشاركين - ١٤,٠٪ لا يوافقون و ١٤,٧٪ لا يوافقون بشدة - أن الإدارة ليست مهتمة بما يكفي بتطبيق التقنيات المعاصرة. وتشير نسبة ١٤,٧٪ الذين لم يُبدوا أي رأي إلى إجابة متباينة، ولكنها إيجابية بشكل لا لبس فيه على حماس الإدارة لاستخدام التقنيات الجديدة، مما يشير إلى أن بعض المشاركين غير متأكدين أو يفتقرون إلى رأي قوي حول هذا الموضوع.

هناك اهتمام من إدارة مركز كافد بتبني حلول تقنية حديثة					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق	46	35.7	35.7	35.7
	أوافق بشدة	27	20.9	20.9	56.6
	لا أوافق	18	14.0	14.0	70.5
	لا أوافق بشدة	19	14.7	14.7	85.3
	لا أوافق ولا أرفض	19	14.7	14.7	100.0
	Total	129	100.0	100.0	

جدول ٨: الوصف الاحصائي للاهتمام من إدارة مركز كافد بتبني حلول تقنية حديثة



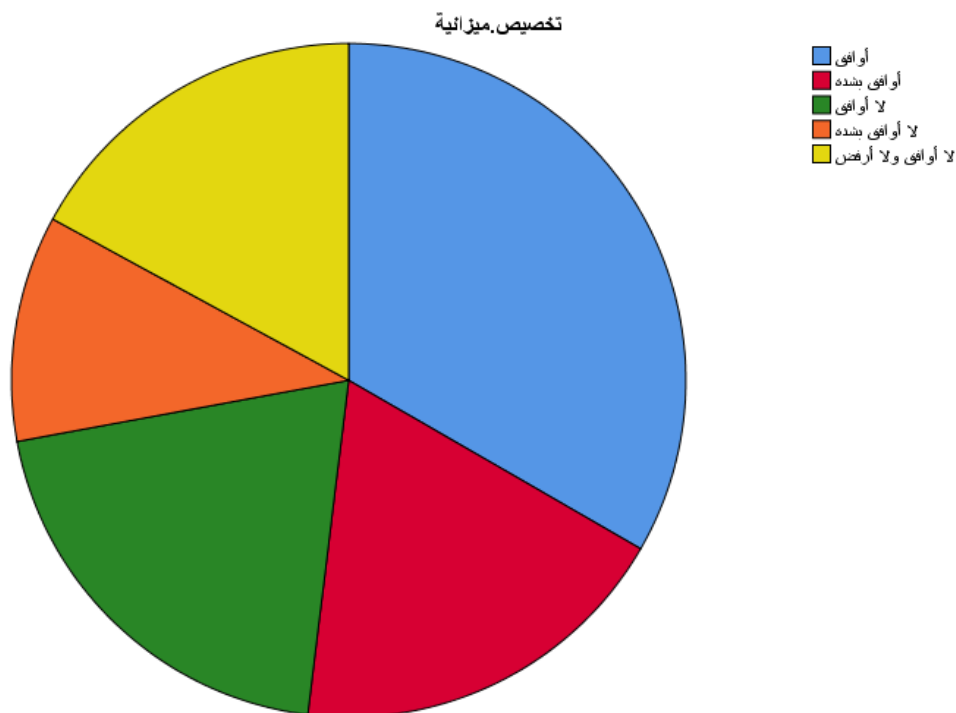
رسم توضيحي ٨: التمثيل البياني للاهتمام من إدارة مركز كافد بتبني حلول تقنية حديثة

٨. يتم تخصيص ميزانية لتبني تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء

ومن الواضح أن النسبة الأعلى، ٣٣,٣٪، تُظهر أن معظم المشاركين المسجلين الـ ١٢٩ يتفقون على تخصيص التمويل لتبني تقنيات إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي. هذا يعني أن توفير المنظمة للتمويل اللازم لتبني هذه التقنيات المتطورة يحظى بتقدير إيجابي. كما أن ١٨,٦٪ من المشاركين الذين يوافقون بشدة على هذا التعهد، يدعمه ١٠,٩٪ منهم بشدة، و٢٠,٢٪ منهم لا يوافقون، مما يشير إلى أن البعض يعتقد أن التمويل المخصص لهذه التقنيات ضئيل أو معدوم. أما نسبة ١٧,١٪ الذين لم يُبدوا أي رأي، فتدل على تردد بعض المشاركين أو عدم امتلاكهم رأياً راسخاً، مما يُساهم في تباين الآراء حول تمويل الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء، وإن كانت إيجابية بشكل عام.

يتم تخصيص ميزانية لتبني تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق	43	33.3	33.3	33.3
	أوافق بشدة	24	18.6	18.6	51.9
	لا أوافق	26	20.2	20.2	72.1
	لا أوافق بشدة	14	10.9	10.9	82.9
	لا أوافق ولا أرفض	22	17.1	17.1	100.0
	Total	129	100.0	100.0	

جدول ٩: الوصف الاحصائي لتخصيص ميزانية لتبني تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء



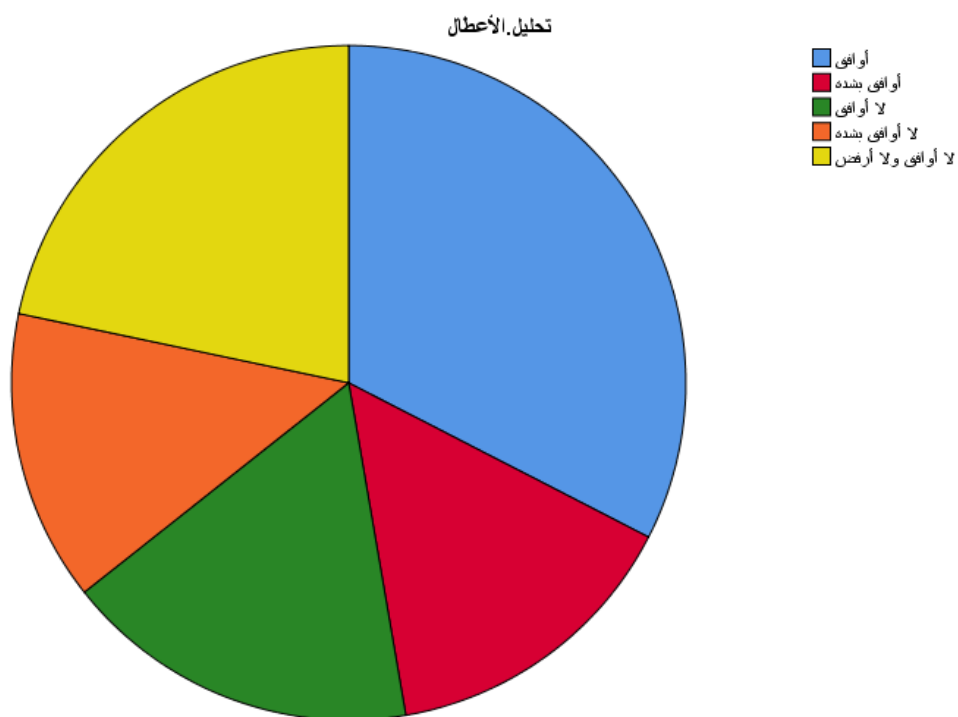
رسم توضيحي ٩: التمثيل البياني لتخصيص ميزانية لتبني تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء

٩. يتم استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي لتحليل الأعطال المتكررة في المصاعد والسلالم

من الواضح أن أعلى نسبة، ٣٢,٦٪، تُظهر أن معظم المشاركين الـ ١٢٩ المُعتمدين يُوافقون على أن الأعطال المتكررة في المصاعد والسلالم المتحركة تُحلل باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي. وهذا يعني ضمناً الاعتقاد بأن الذكاء الاصطناعي يُستخدم بفعالية لتحديد وفهم المشاكل النموذجية في هذه الأنظمة. بعد ذلك، أبدى ٢١,٧٪ من المشاركين عدم رأيهم، مما يشير إلى تردددهم أو عدم قناعتهم باستخدام الذكاء الاصطناعي في تحليل الأعطال المتكررة. ويعتقد جزء كبير من المشاركين - ١٧,١٪ لا يوافقون، و ١٤,٠٪ لا يوافقون بشدة - أن الذكاء الاصطناعي لا يُستخدم لهذا الغرض. وأبدى ١٤,٧٪ ممن يوافقون بشدة آراءً متباينة، وإن كانت متفقة بشكل عام، مما يدعم الرأي الإيجابي لاستخدام الذكاء الاصطناعي في تحليل الأعطال.

يتم استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي لتحليل الأعطال المتكررة في المصاعد والسلالم					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق	42	32.6	32.6	32.6
	أوافق بشدة	19	14.7	14.7	47.3
	لا أوافق	22	17.1	17.1	64.3
	لا أوافق بشدة	18	14.0	14.0	78.3
	لا أوافق ولا أرفض	28	21.7	21.7	100.0
	Total	129	100.0	100.0	

جدول ١٠: الوصف الاحصائي لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي لتحليل الأعطال المتكررة في المصاعد والسلالم



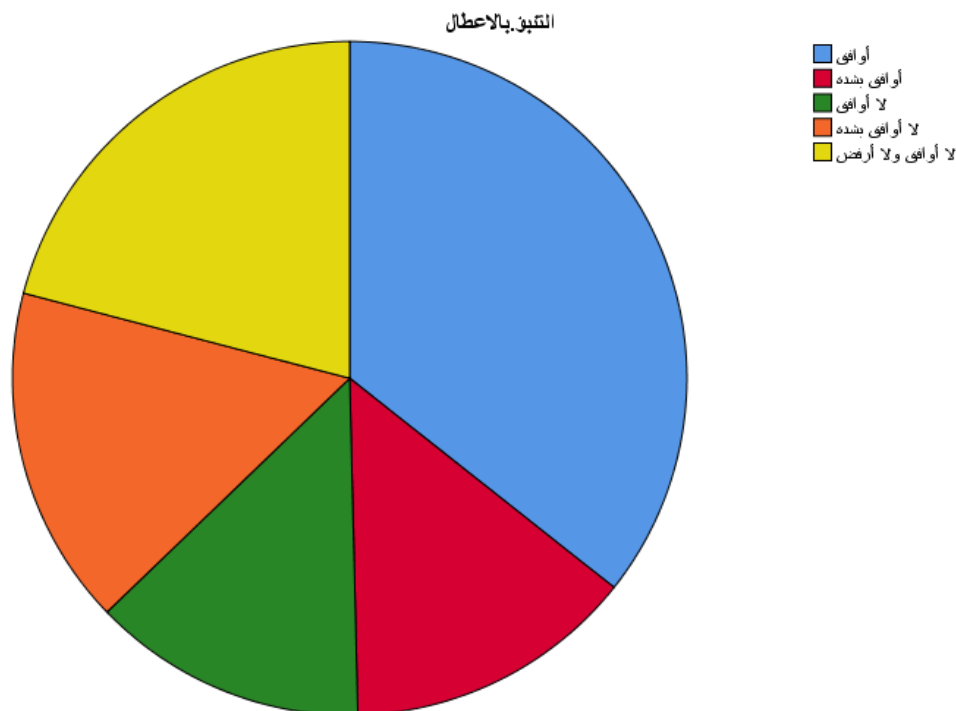
رسم توضيحي ١٠: التمثيل البياني لاستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي لتحليل الأعطال المتكررة في المصاعد والسلالم

١٠. تساعد خوارزميات الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالأعطال قبل حدوثها

من الواضح أن أعلى نسبة مئوية، ٣٥,٧٪، تُظهر أن معظم المشاركين الـ ١٢٩ المُعتمدين يتفقون على أن خوارزميات الذكاء الاصطناعي تُساعد في توقع الأعطال قبل حدوثها. وهذا يُشير إلى وجود اعتقاد واسع النطاق بإمكانية استخدام الذكاء الاصطناعي للتنبؤ بفشل المعدات وإيقافه نهائياً. بعد ذلك، لم يُبدِ ٢٠,٩٪ من المشاركين أي رأي، مما يُشير إلى ترددهم أو عدم قناعتهم بدقة التنبؤ بالذكاء الاصطناعي. يُعارض ١٦,٣٪ بشدة هذا الرأي، مما يُشير إلى أن بعض الناس لا يعتقدون أن أنظمة الذكاء الاصطناعي يُمكنها التنبؤ بالأعطال بدقة. يدعم ١٤,٠٪ ممن يوافقون بشدة التقييم المتفائل لقدرة الذكاء الاصطناعي على التنبؤ، مما يُضيف إلى ردود الفعل المتباينة، ولكن الواضحة حول قدرة الذكاء الاصطناعي على الصيانة التنبؤية.

تساعد خوارزميات الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالأعطال قبل حدوثها					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق	46	35.7	35.7	35.7
	أوافق بشدة	18	14.0	14.0	49.6
	لا أوافق	17	13.2	13.2	62.8
	لا أوافق بشدة	21	16.3	16.3	79.1
	لا أوافق ولا أرفض	27	20.9	20.9	100.0
	Total	129	100.0	100.0	

جدول ١١: الوصف الاحصائي لمساعدة خوارزميات الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالأعطال قبل حدوثها



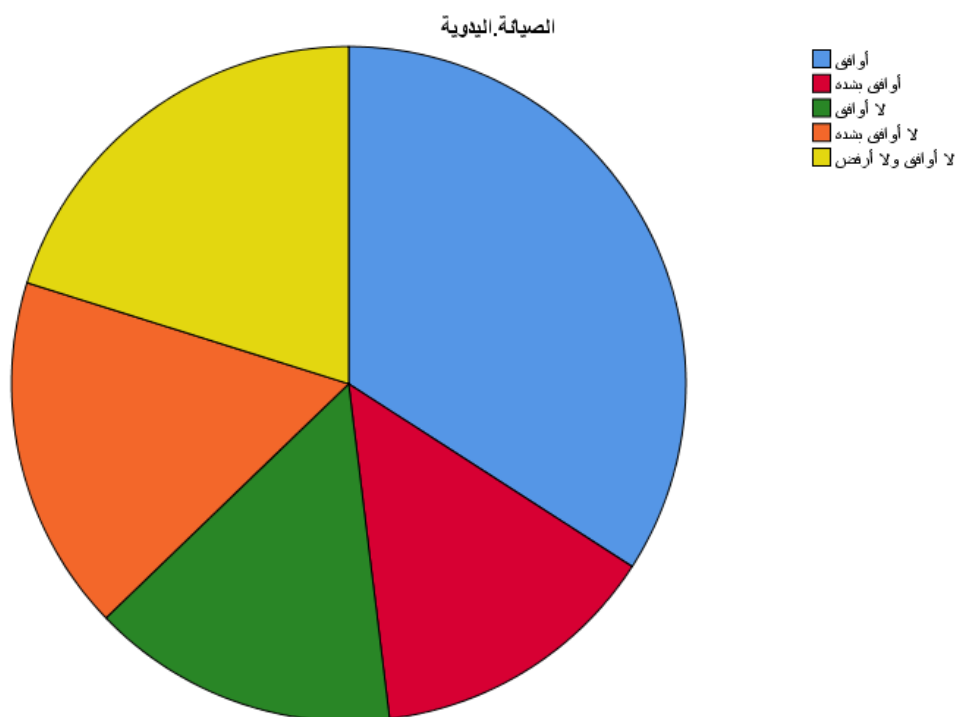
رسم توضيحي ١١: التمثيل البياني لمساعدة خوارزميات الذكاء الاصطناعي في التنبيه بالاعطال قبل حدوثها

١١. يقل الاعتماد على الصيانة اليدوية بفضل حلول الذكاء الاصطناعي

من الواضح أن أعلى نسبة مئوية، ٣٤,١٪، تُظهر أن معظم المشاركين الـ ١٢٩ المُعتمدين يتفقون على أن حلول الذكاء الاصطناعي تُقلل من الحاجة إلى الصيانة اليدوية. هذا يعني أن الناس يعتقدون أن الذكاء الاصطناعي يُؤتمت إجراءات الصيانة أو يُحسنها بنجاح، مما يُقلل من الحاجة إلى التدخل البشري في مهام الصيانة اليدوية التقليدية. بعد ذلك، لم يُبدِ ٢٠,٢٪ من المشاركين أي رأي، مما يُشير إلى عدم تأكدهم أو عدم وجود رأي قاطع حول كيفية تأثير الذكاء الاصطناعي على الصيانة اليدوية. والجدير بالذكر أن ١٧,١٪ يُعارضون بشدة، مُمثلين مجموعة ترى أن الذكاء الاصطناعي لم يُقلل بشكل كبير من الحاجة إلى الصيانة اليدوية أو أنه لا يزال يُعتمد عليها بشكل كبير. يُضاف ١٤,٠٪ ممن يُوافقون بشدة إلى الإجابة المتنوعة، وإن كانت إيجابية بشكل عام، حول دور الذكاء الاصطناعي في تبسيط الصيانة من خلال دعم فكرة أنه سيُقلل من الصيانة اليدوية.

يقل الاعتماد على الصيانة اليدوية بفضل حلول الذكاء الاصطناعي					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق	44	34.1	34.1	34.1
	أوافق بشدة	18	14.0	14.0	48.1
	لا أوافق	19	14.7	14.7	62.8
	لا أوافق بشدة	22	17.1	17.1	79.8
	لا أوافق ولا أرفض	26	20.2	20.2	100.0
	Total	129	100.0	100.0	

جدول ١٢: الوصف الاحصائي لتقليل الاعتماد على الصيانة اليدوية بفضل حلول الذكاء الاصطناعي



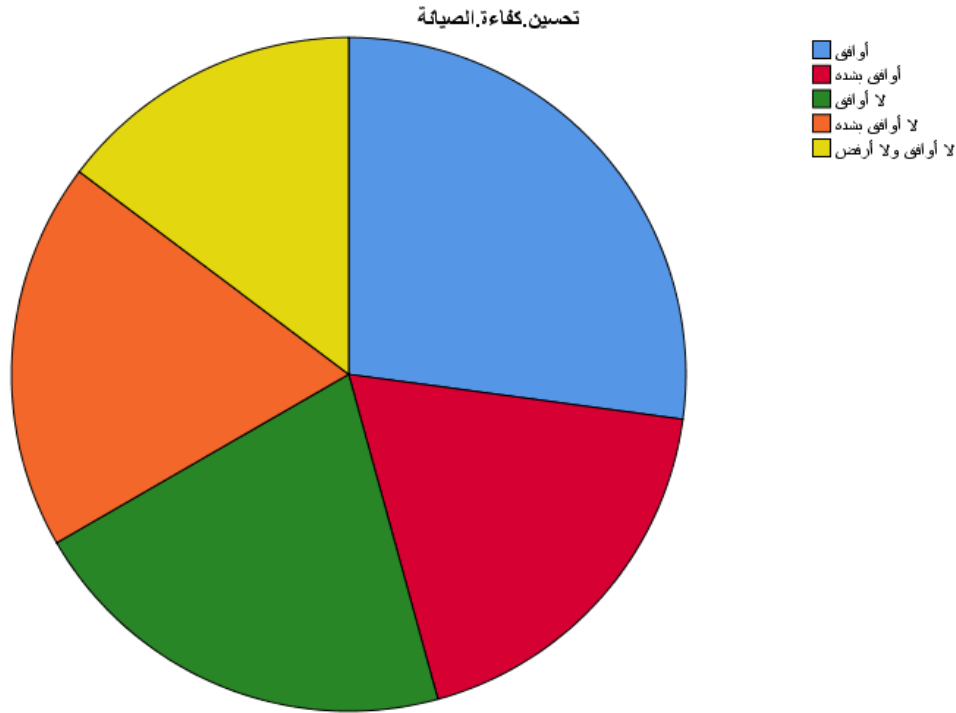
رسم توضيحي ١٢: التمثيل البياني لتقليل الاعتماد على الصيانة اليدوية بفضل حلول الذكاء الاصطناعي

١٢. تساهم تطبيقات الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة الصيانة الدورية

من الواضح أن أعلى نسبة، ٢٧,١٪، تُظهر أن معظم المشاركين الـ ١٢٩ المُعتمدين يُوافقون على أن تطبيقات الذكاء الاصطناعي تُساعد على زيادة فعالية الصيانة الروتينية. هذا يعني اعتقادًا بأن الذكاء الاصطناعي يُحسّن إجراءات الصيانة الروتينية بنجاح، مما يزيد من فعاليتها. ثم يُدعم التأثير الإيجابي للذكاء الاصطناعي على الصيانة الروتينية بنسبة ١٨,٦٪ من الأفراد الذين يُوافقون بشدة. من ناحية أخرى، أبدى ١٨,٦٪ معارضتهم الشديدة، بينما أبدى ٢٠,٩٪ معارضتهم، مما يشير إلى أن البعض لا يعتقد أن تطبيقات الذكاء الاصطناعي تزيد من فعالية الصيانة الدورية بشكل كبير. تباينت الآراء، لكنها تميل إلى الاتفاق حول مساهمة الذكاء الاصطناعي في كفاءة الصيانة الدورية، كما أشار ١٤,٧٪ ممن التزموا الحياد، مما يشير إلى أن بعض المشاركين غير متأكدين أو يفتقرون إلى رأي قاطع حول هذا الموضوع.

تساهم تطبيقات الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة الصيانة الدورية					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق	35	27.1	27.1	27.1
	أوافق بشدة	24	18.6	18.6	45.7
	لا أوافق	27	20.9	20.9	66.7
	لا أوافق بشدة	24	18.6	18.6	85.3
	لا أوافق ولا أرفض	19	14.7	14.7	100.0
	Total	129	100.0	100.0	

جدول ١٣: الوصف الاحصائي لمساهمة تطبيقات الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة الصيانة الدورية



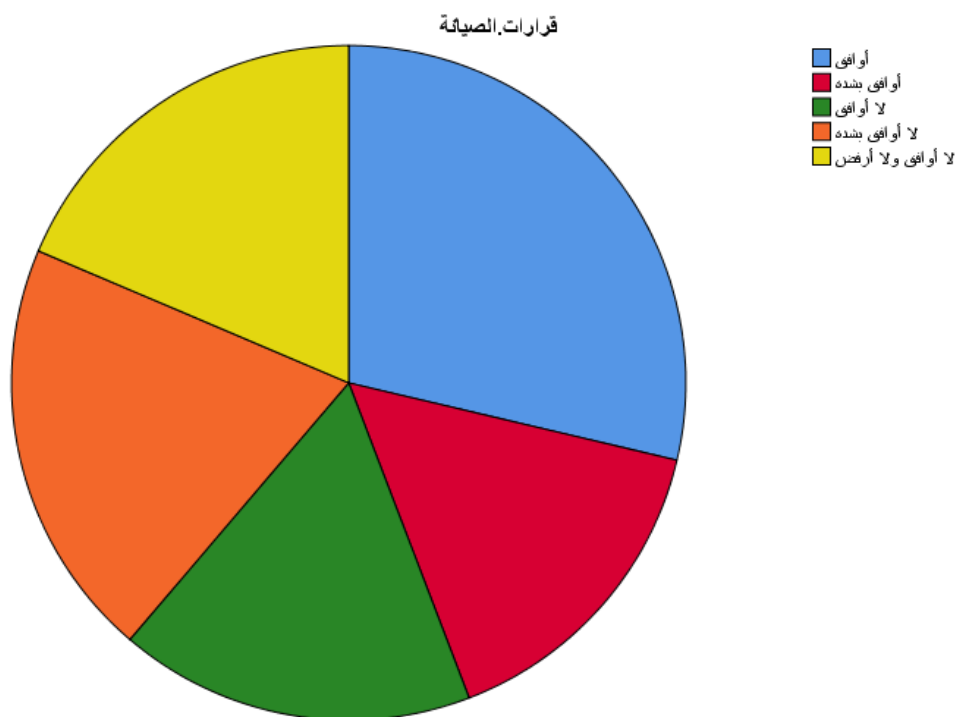
رسم توضيحي ١٣: التمثيل البياني لمساهمة تطبيقات الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة الصيانة الدورية

١٣. يتم اتخاذ قرارات الصيانة بشكل أسرع باستخدام الذكاء الاصطناعي

من الواضح أن أعلى نسبة مئوية، ٢٨,٧٪، تُظهر أن معظم المشاركين الـ ١٢٩ المعتمدين مُتفقون على أن الذكاء الاصطناعي يُسرّع عملية اتخاذ قرارات الصيانة. هذا يعني اعتقادًا بأن الذكاء الاصطناعي يُسرّع عملية اتخاذ قرارات الصيانة، مما يؤدي إلى ردود فعل أسرع. بعد ذلك، يُعارض ٢٠,٢٪ من المشاركين بشدة، مما يُشير إلى أن البعض يعتقد أن الذكاء الاصطناعي لا يُسرّع عملية اتخاذ قرارات الصيانة - بل قد يُبطئها. ويدعم التأثير الإيجابي للذكاء الاصطناعي على سرعة اتخاذ القرارات نسبة ١٥,٥٪ الموافقة بشدة. بينما تُوافق أغلبية كبيرة من المُستجيبين على أن الذكاء الاصطناعي يُسرّع عملية اتخاذ قرارات الصيانة، فإن ١٨,٦٪ الذين لم يُعبّروا عن رأيهم يُشيرون إلى أن بعض المُستجيبين غير واضحين أو يفتقرون إلى منظور قوي، مما يُساهم في النتيجة المُختلطة.

يتم اتخاذ قرارات الصيانة بشكل أسرع باستخدام الذكاء الاصطناعي					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق	37	28.7	28.7	28.7
	أوافق بشدة	20	15.5	15.5	44.2
	لا أوافق	22	17.1	17.1	61.2
	لا أوافق بشدة	26	20.2	20.2	81.4
	لا أوافق ولا أرفض	24	18.6	18.6	100.0
	Total	129	100.0	100.0	

جدول ٤: ١: الوصف الاحصائي لاتخاذ قرارات الصيانة بشكل أسرع باستخدام الذكاء الاصطناعي



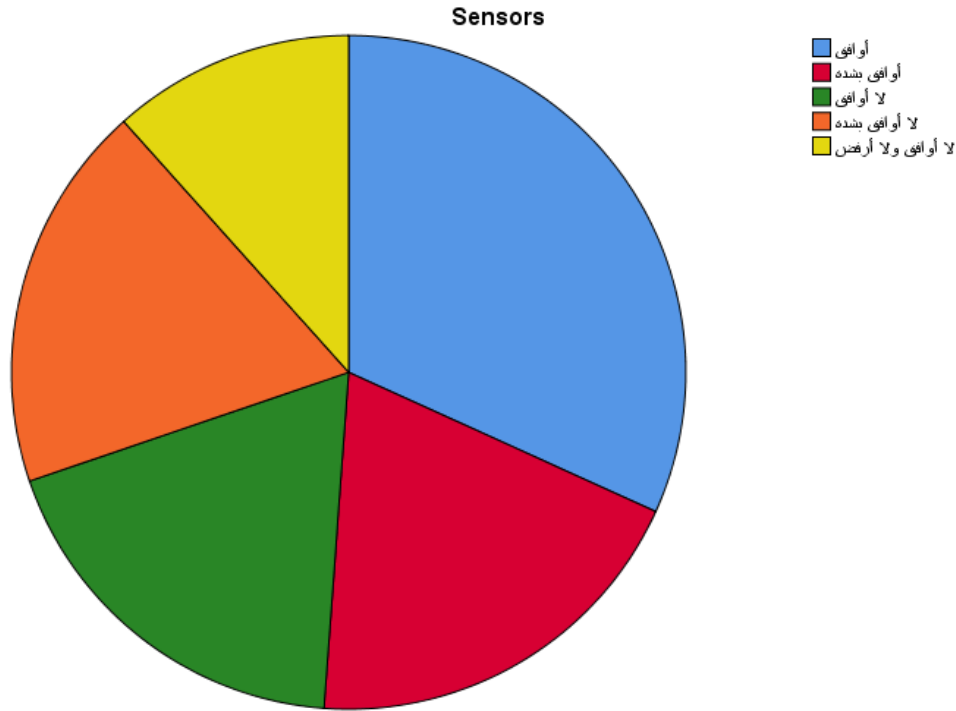
رسم توضيحي ٤: ١: التمثيل البياني لاتخاذ قرارات الصيانة بشكل أسرع باستخدام الذكاء الاصطناعي

١٤. يتم تركيب أجهزة استشعار (Sensors) متصلة بالمصاعد والسلالم الكهربائية

من الواضح أن أعلى نسبة مئوية، ٣١,٨٪، تُظهر أن معظم المشاركين الـ ١٢٩ المعتمدين مُتفقون على أن أجهزة الاستشعار مثبتة على السلالم المتحركة والمصاعد. هذا يعني اعتقادًا بأن أنظمة النقل العمودي للشركة تستخدم تقنيات الاستشعار المعاصرة. بناءً على ذلك، أيد ١٩,٤٪ من المشاركين بشدة تركيب أجهزة الاستشعار، مما يدعم ذلك بشكل أكبر. من ناحية أخرى، أبدى ١٨,٦٪ عدم موافقتهم، بينما أبدى ١٨,٦٪ عدم موافقتهم بشدة، مما يشير إلى أن بعض المشاركين لا يعتقدون بوجود أجهزة استشعار في هذه الأنظمة أو عدم نشرها. وتشير نسبة ١١,٦٪ التي لم تُبدِ أي رأي إلى أن بعض المشاركين مترددون أو يفتقرون إلى رأي راسخ، مما يزيد من تباين ردود الفعل، وإن كانت إيجابية بشكل عام، تجاه تركيب أجهزة الاستشعار في السلالم المتحركة والمصاعد.

يتم تركيب أجهزة استشعار (Sensors) متصلة بالمصاعد والسلالم الكهربائية					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق	41	31.8	31.8	31.8
	أوافق بشدة	25	19.4	19.4	51.2
	لا أوافق	24	18.6	18.6	69.8
	لا أوافق بشدة	24	18.6	18.6	88.4
	لا أوافق ولا أرفض	15	11.6	11.6	100.0
	Total	129	100.0	100.0	

جدول ١٥: الوصف الإحصائي لتركيب أجهزة استشعار (Sensors) متصلة بالمصاعد والسلالم الكهربائية



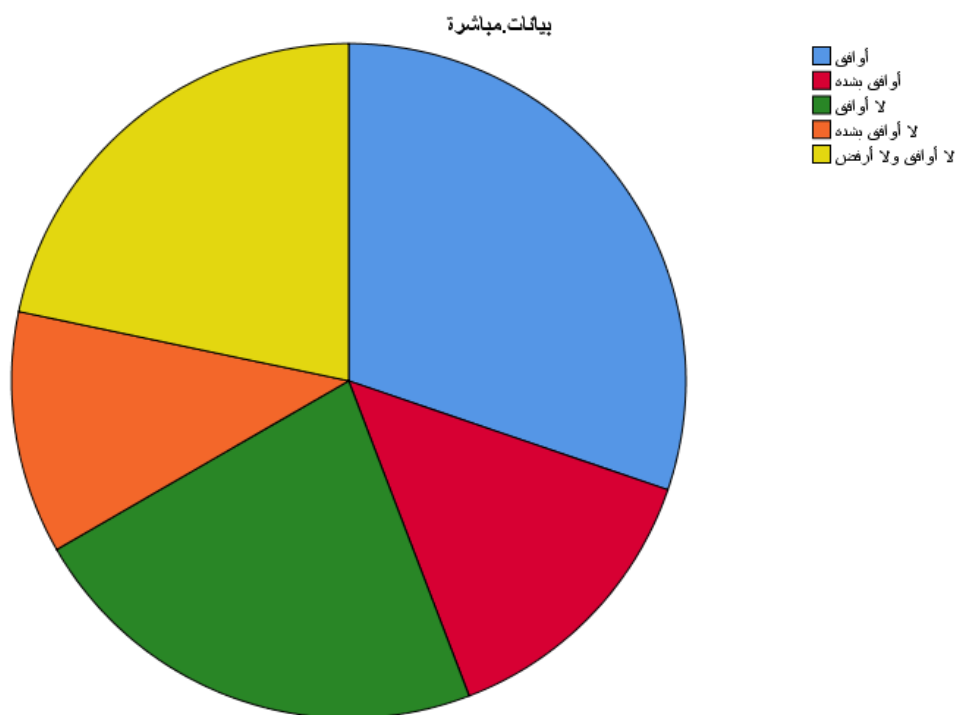
رسم توضيحي ١٥: التمثيل البياني لتركيب أجهزة استشعار (Sensors) متصلة بالمصاعد والسلالم الكهربائية

١٥. تساعد تقنية إنترنت الأشياء في جمع بيانات مباشرة من الأجهزة

من الواضح أن أعلى نسبة، ٣٠,٢٪، تُظهر أن معظم المشاركين الـ ١٢٩ المُعتمدين يُوافقون على أن جمع البيانات مباشرة من الأجهزة أصبح أسهل بفضل تقنية إنترنت الأشياء (IoT). وهذا يدل على اعتقاد راسخ بأن جمع البيانات في الوقت الفعلي من الأجهزة المتصلة أصبح ممكنًا بفضل إنترنت الأشياء. بعد ذلك، لم يُبدِ ٢١,٧٪ من المشاركين أي رأي، مما يشير إلى ترددهم أو عدم قناعتهم بقدرة إنترنت الأشياء على جمع البيانات. تعتقد نسبة كبيرة من المشاركين - ٢٢,٥٪ يرفضون و ١١,٦٪ يرفضون بشدة - أن إنترنت الأشياء لا يُمكن من جمع البيانات مباشرةً من الأجهزة. تباينت الآراء، لكنها تميل إلى الموافقة على وظيفة إنترنت الأشياء في جمع البيانات مباشرةً، حيث وافق ١٤٪ بشدة، مما يعزز الرأي الإيجابي حول إمكانات إنترنت الأشياء في جمع البيانات.

تساعد تقنية إنترنت الأشياء في جمع بيانات مباشرة من الأجهزة					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق	39	30.2	30.2	30.2
	أوافق بشدة	18	14.0	14.0	44.2
	لا أوافق	29	22.5	22.5	66.7
	لا أوافق بشدة	15	11.6	11.6	78.3
	لا أوافق ولا أرفض	28	21.7	21.7	100.0
	Total	129	100.0	100.0	

جدول ١٦: الوصف الاحصائي لمساعدة تقنية إنترنت الأشياء في جمع بيانات مباشرة من الأجهزة



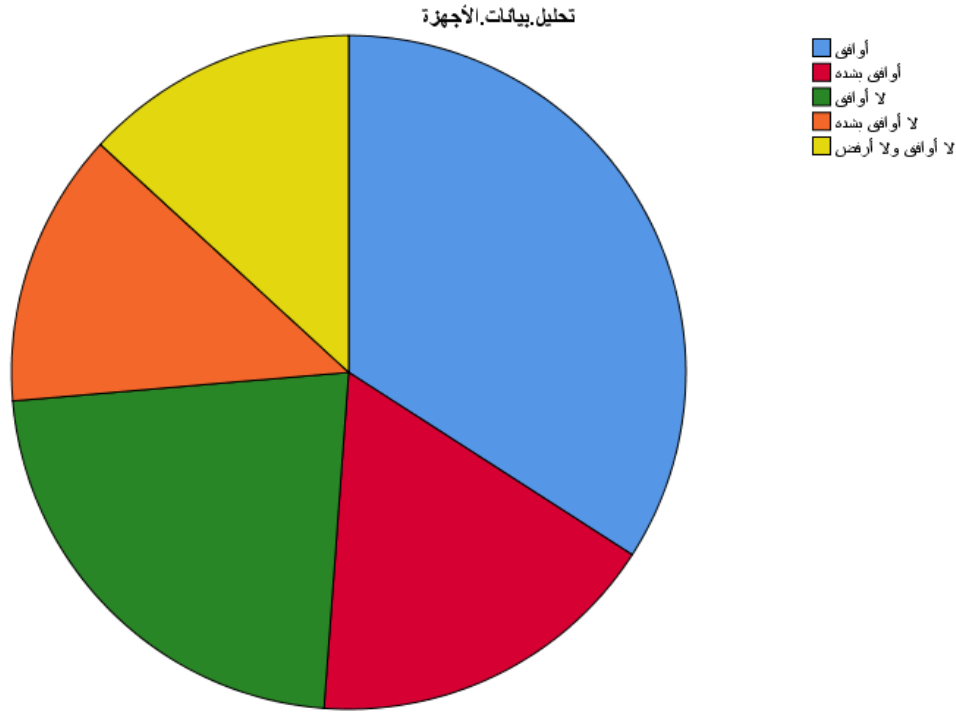
رسم توضيحي ١٦: التمثيل البياني لمساعدة تقنية إنترنت الأشياء في جمع بيانات مباشرة من الأجهزة

١٦. يتم تحليل بيانات الأجهزة بشكل لحظي لتحديد الأعطال

يتفق غالبية المشاركين الـ ١٢٩ المعتمدين، كما يتضح من الحد الأقصى البالغ ٣٤,١٪، على أن بيانات الجهاز تُحلل آنياً للكشف عن الأعطال. وهذا يدل على اعتقاد بأن الشركة تستخدم تحليل البيانات آنياً لتحديد أعطال الأجهزة بسرعة. كما يدعم ١٧,١٪ من الأفراد الذين يوافقون بشدة استخدام التحليل آنياً. من ناحية أخرى، يعتقد جزء من المشاركين - ٢٢,٥٪ لا يوافقون و ١٣,٢٪ لا يوافقون بشدة - أن التحليل آنياً إما غير مُستخدم أو غير فعال في تحديد الأعطال. وتشير نسبة ١٣,٢٪ الذين لم يُعربوا عن رأي إلى أن بعض المشاركين مترددون أو يفتقرون إلى رأي واضح، مما يزيد من تباين الإجابات، وإن كانت متفقة بشكل عام، حول استخدام تحليل بيانات الجهاز آنياً لتحديد الأعطال.

يتم تحليل بيانات الأجهزة بشكل لحظي لتحديد الأعطال					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق	44	34.1	34.1	34.1
	أوافق بشدة	22	17.1	17.1	51.2
	لا أوافق	29	22.5	22.5	73.6
	لا أوافق بشدة	17	13.2	13.2	86.8
	لا أوافق ولا أرفض	17	13.2	13.2	100.0
	Total	129	100.0	100.0	

جدول ١٧: الوصف الاحصائي لتحليل بيانات الأجهزة بشكل لحظي لتحديد الأعطال



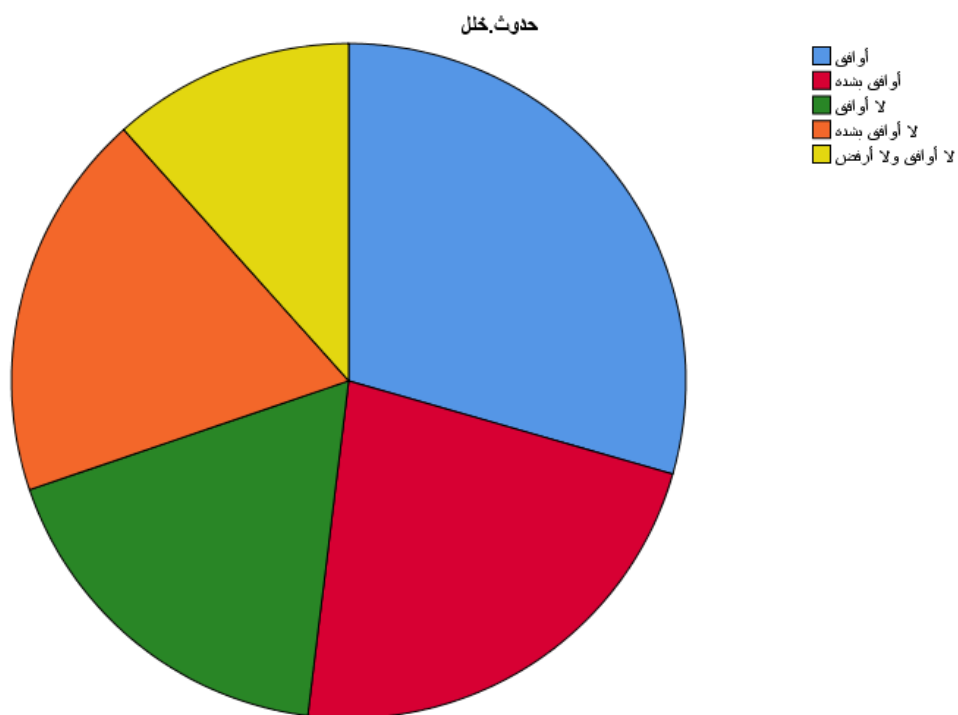
رسم توضيحي ١٧: التمثيل البياني لتحليل بيانات الأجهزة بشكل لحظي لتحديد الأعطال

١٧. توفر تقنيات إنترنت الأشياء إشعارات فورية عند حدوث خلل أو توقف

من الواضح أن النسبة الأعلى، ٢٩,٥٪، تُظهر أن معظم المشاركين الـ ١٢٩ المعتمدين يتفقون على أن تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) تُقدم تنبيهات فورية في حالة حدوث عطل أو توقف. هذا يدل على الاعتقاد بأن أنظمة إنترنت الأشياء فعالة في توفير إشعارات سريعة عند مواجهة الأجهزة لمشاكل، مما يسمح باتخاذ إجراءات سريعة. وتدعم أهمية إنترنت الأشياء في تقديم إشعارات فورية حقيقة أن ٢٢,٥٪ من المشاركين يوافقون بشدة. من ناحية أخرى، لا يوافق ١٧,٨٪ و ١٨,٦٪ يرفضون بشدة، مما يشير إلى أن البعض يعتقد أن إشعارات إنترنت الأشياء غير موثوقة أو لا تصل على الفور. تشير نسبة ١١,٦٪ الذين لم يعبروا عن رأي إلى أن بعض المشاركين مترددون أو يفتقرون إلى رأي قوي، مما يزيد من الاستجابة المتباينة، ولكن الإيجابية بشكل لا لبس فيه حول قدرة إنترنت الأشياء على توفير إشعارات فورية للمشاكل.

توفر تقنيات إنترنت الأشياء إشعارات فورية عند حدوث خلل أو توقف					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق	38	29.5	29.5	29.5
	أوافق بشدة	29	22.5	22.5	51.9
	لا أوافق	23	17.8	17.8	69.8
	لا أوافق بشدة	24	18.6	18.6	88.4
	لا أوافق ولا أرفض	15	11.6	11.6	100.0
	Total	129	100.0	100.0	

جدول ١٨: الوصف الاحصائي لتوفير تقنيات إنترنت الأشياء إشعارات فورية عند حدوث خلل أو توقف



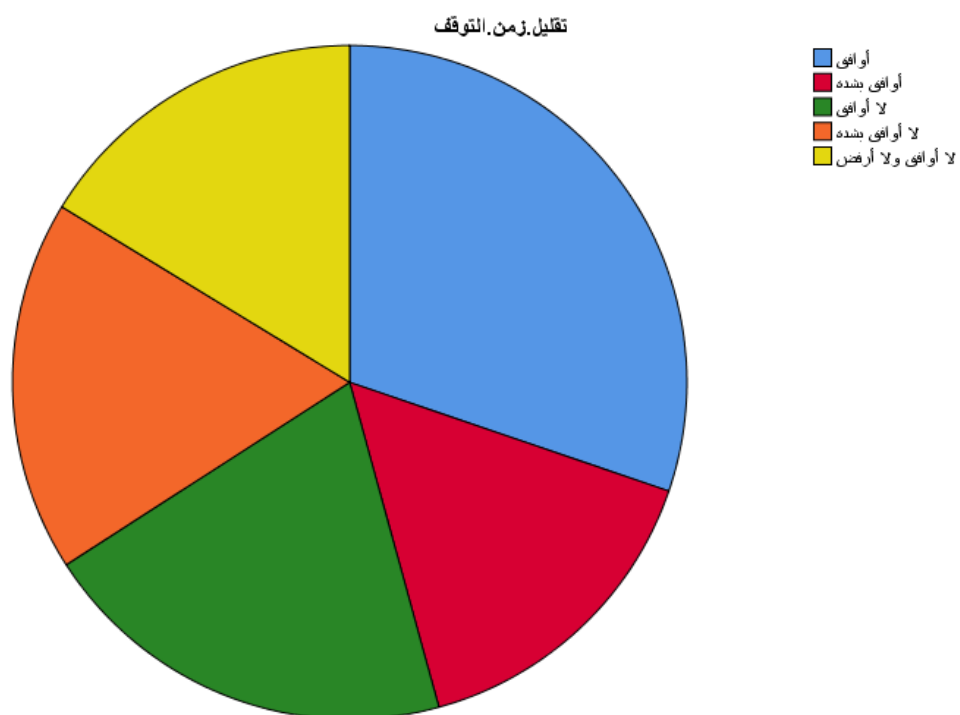
رسم توضيحي ١٨: التمثيل البياني لتوفير تقنيات إنترنت الأشياء إشعارات فورية عند حدوث خلل أو توقف

١٨. تساهم إنترنت الأشياء في تقليل زمن التوقف عن الخدمة

من الواضح أن النسبة الأعلى، ٣٠,٢٪، تُظهر أن معظم المشاركين الـ ١٢٩ المعتمدين يتفقون على أن إنترنت الأشياء (IoT) يساعد في تقليل وقت التوقف. وهذا يعني أن هناك اعتقادًا بأن نشر إنترنت الأشياء يحسن الكفاءة التشغيلية من خلال تقليل أوقات انقطاع المعدات. بعد ذلك، أبدى ٢٠,٢٪ من المشاركين عدم موافقتهم، مما يشير إلى أن البعض لا يعتقد أن إنترنت الأشياء قادر على تقليل وقت التوقف بشكل فعال. والجدير بالذكر أن ١٥,٥٪ يوافقون بشدة، مما يُبرز فوائد إنترنت الأشياء في تقليل وقت التوقف. أما نسبة ١٦,٣٪ الذين لم يُبدوا أي رأي، فتشير إلى أن بعض المشاركين مترددون أو يفتقرون إلى رأي واضح، مما أدى إلى انقسام في الآراء، لكنها تميل إلى الاتفاق حول دور إنترنت الأشياء في تقليل وقت التوقف.

تساهم إنترنت الأشياء في تقليل زمن التوقف عن الخدمة					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق	39	30.2	30.2	30.2
	أوافق بشدة	20	15.5	15.5	45.7
	لا أوافق	26	20.2	20.2	65.9
	لا أوافق بشدة	23	17.8	17.8	83.7
	لا أوافق ولا أرفض	21	16.3	16.3	100.0
	Total	129	100.0	100.0	

جدول ١٩: الوصف الاحصائي لمساهمة إنترنت الأشياء في تقليل زمن التوقف عن الخدمة



رسم توضيحي ١٩: التمثيل البياني لمساهمة إنترنت الأشياء في تقليل زمن التوقف عن الخدمة

- تحليل الموثوقية والمصدقية

بما أن أعلى قيمة هي ١٠٠,٠٪، فمن الواضح أن جميع حالات مجموعة البيانات، والبالغ عددها ١٢٩ حالة، صحيحة وقد تم تقييمها. ويشير هذا إلى عدم رفض أي حالة لعدم وجود نقاط بيانات مفقودة لأي من المتغيرات المستخدمة في العملية. ومن فوائد الحصول على بيانات كاملة أنها تضمن أن التحليل يستند إلى العينة الكاملة المكونة من ١٢٩ مشاركًا، مما يحسن من صحة النتائج وموثوقيتها.

Case Processing Summary			
		N	%
Cases	Valid	129	100.0
	Excluded ^a	0	.0
	Total	129	100.0
a. Listwise deletion based on all variables in the procedure.			

جدول ٢٠: ملخص إنجاز القضية

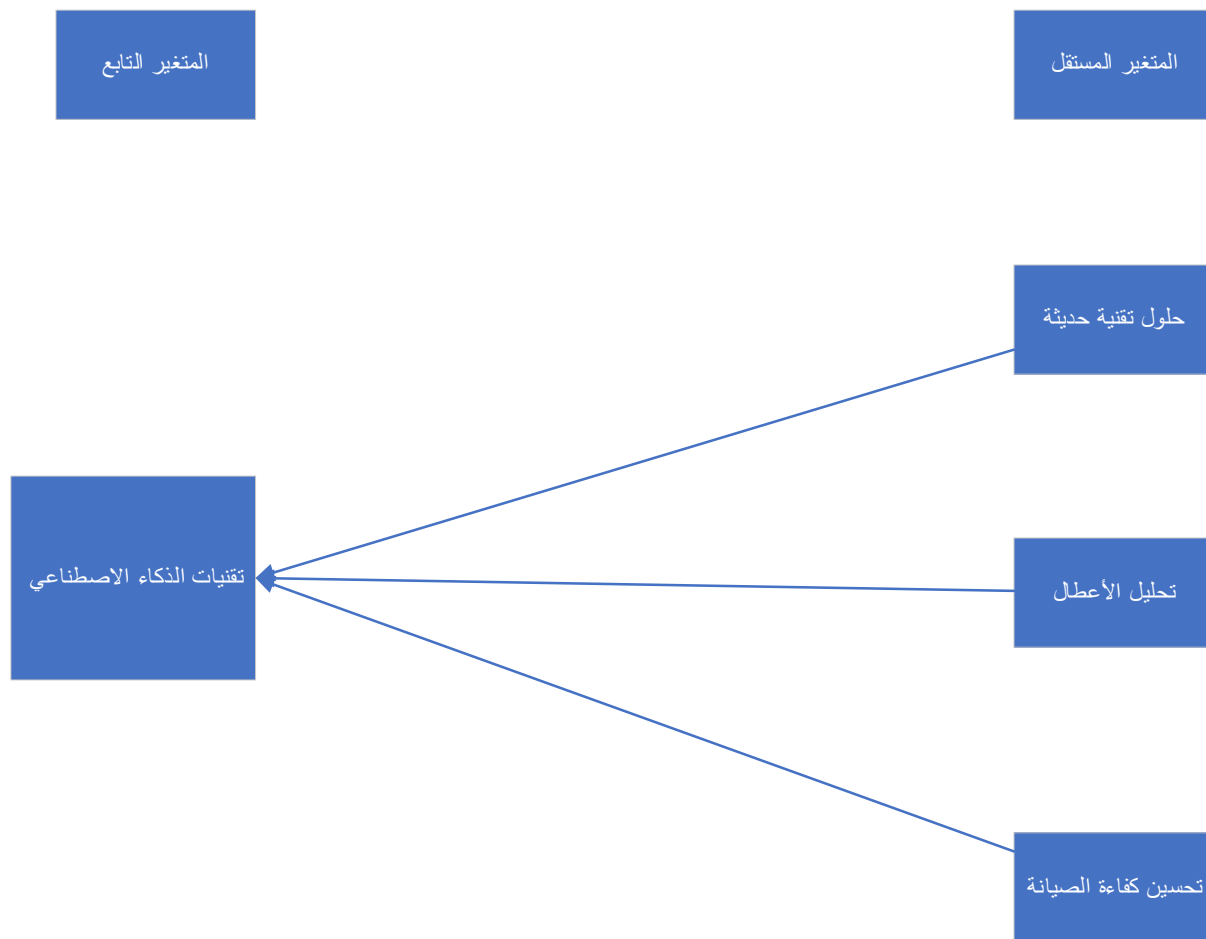
يُقاس الاتساق الداخلي للمقياس بواسطة ألفا كرونباخ، وهو بلا شك أكبر رقم عند ٠,٧٧٦. تتمتع بنود المقياس الثمانية عشر بدرجة عالية من الموثوقية، كما يتضح من ألفا كرونباخ البالغ ٠,٧٧٦. ويدعم موثوقية المقياس أيضًا ألفا كرونباخ الجيد البالغ ٠,٧٣٩، والمستند إلى بنود موحدة. تشير كلتا القيمتين إلى أن بنود المقياس مترابطة وتُقيّم باستمرار نفس المفهوم الأساسي في جميع أنحاء العينة.

Reliability Statistics		
Cronbach's Alpha	Cronbach's Alpha Based on Standardized Items	N of Items
.776	.739	18

جدول ٢١: احصائيات الموثوقية

- متغيرات الدراسة

وفقاً لهذا الرسم البياني، تبحث الدراسة في كيفية تأثير أو مساهمة "تحسين كفاءة الصيانة" و"حلول التكنولوجيا الحديثة" و"تحليل الأعطال" في تبني وتطبيق "تقنيات الذكاء الاصطناعي". يشير وضع "المتغير المستقل" بشكل مستقل إلى أنه قد يكون متغيراً مستقلاً في الدراسة أو جانباً سياقياً أعم. يوضح النموذج كيف أن استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي مدعوم، أو مُتاح، بالتطورات في التكنولوجيا المعاصرة، وتحليل الأعطال، والمبادرات الرامية إلى زيادة كفاءة الصيانة.



رسم توضيحي ٢٠ متغيرات الدراسة التابعة والمستقلة

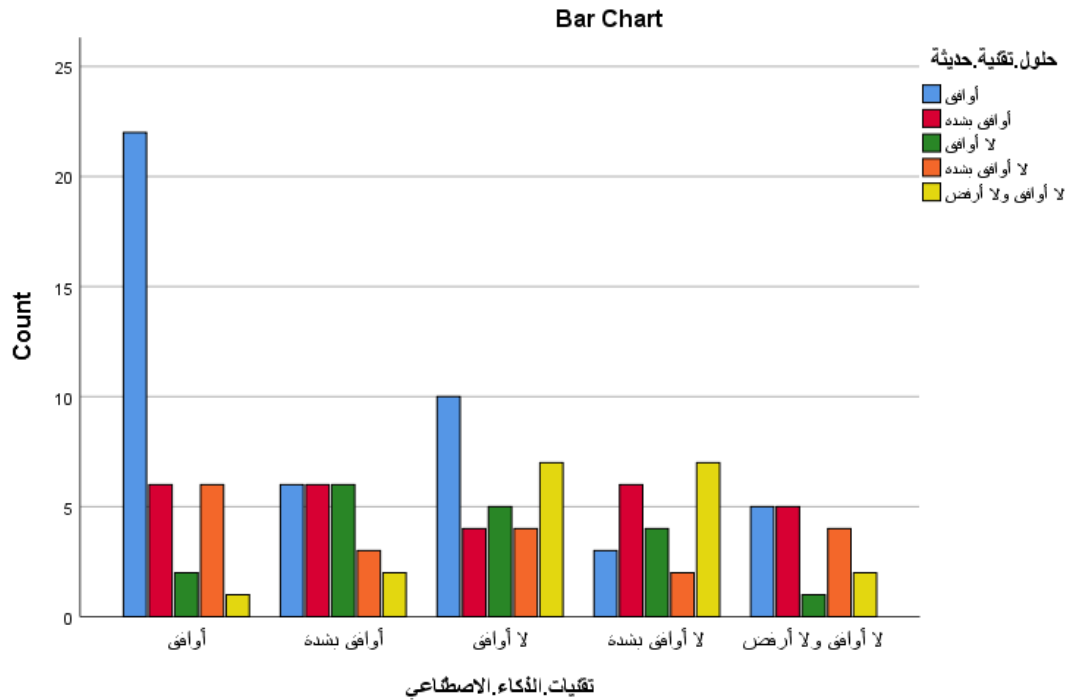
- تحليل الجداول المتقاطعة لمتغيرات الدراسة

- دور تقنيات الذكاء الاصطناعي في تطوير حلول تقنية حديثة

كما هو واضح، فإن إحصاء مربع كاي بيرسون، المستخدم لفحص العلاقة بين المتغيرات الفئوية، يُمثل بأكبر قيمة، وهي ٢٩,٤٩١. تُظهر هذه النتيجة علاقة ذات دلالة إحصائية بين المتغيرات قيد الدراسة عند مستوى الدلالة المعياري ٠,٠٥، مع ٤ درجات حرية (df) ودلالة مقارنة ٠,٠٢١. وبما أن الفرضية الصفرية مرفوضة لأن قيمة $p = 0.021$ أصغر من ٠,٠٥، فمن غير المرجح أن يكون الارتباط المرصود نتيجة صدفة. ومع ذلك، فإن ملاحظة أن "١٥ خلية (٦٠,٠٪) لديها عدد متوقع أقل من ٥"، مع حد أدنى متوقع للعدد ٢,٣٧، تشير إلى خرق خطير لافتراضات اختبار مربع كاي بيرسون. لفحص هذه البيانات بدقة وموثوقية أكبر، يُنصح باستخدام اختبار فيشر الدقيق، إذ إن النسبة العالية للخلايا ذات الترددات المنخفضة المتوقعة تزيد من احتمالية عدم موثوقية تقريب مربع كاي.

Chi-Square Tests			
	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)
Pearson Chi-Square	29.491 ^a	4	.021
Likelihood Ratio	30.411	4	.016
Linear-by-Linear Association	7.968	1	.005
N of Valid Cases	129		
a. 15 cells (60.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 2.37.			

جدول ٢٢: اختبار كاي اسكوير لدور تقنيات الذكاء الاصطناعي في تطوير حلول تقنية حديثة



رسم توضيحي ٢١: المقاييس المتمثلة في تحليل العلاقة لدور تقنيات الذكاء الاصطناعي في تطوير حلول تقنية حديثة

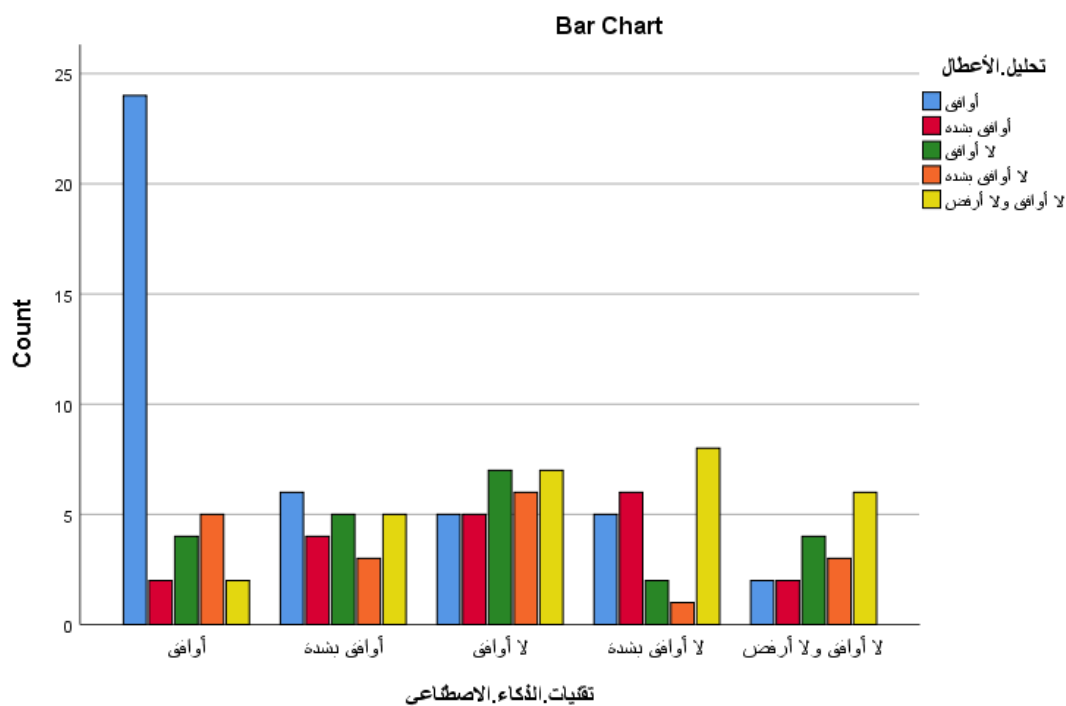
- دور تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحليل الأعطال

يُمثل إحصاء مربع كاي بيرسون، المستخدم لفحص الارتباطات بين المتغيرات الفئوية، بأكبر رقم، وهو ٣٥,٨٤٥. تُظهر هذه النتيجة علاقة ذات دلالة إحصائية بين المتغيرات قيد الاختبار عند مستوى الدلالة المعياري ٠,٠٥، مع ٣ درجات حرية (df) ودلالة مقارنة ٠,٠٠٣. تُرفض الفرضية الصفرية لأن قيمة الاحتمالية ٠,٠٠٣ أقل بكثير من ٠,٠٥، مما يشير إلى أن الارتباط المرصود ليس على الأرجح نتيجة صدفة. مع ذلك، فإن ملاحظة أن "١٤ خلية (٥٦,٠٪) لديها عدد متوقع أقل من ٥"، مع حد أدنى متوقع قدره ٢,٣٧، تشير إلى خرق خطير لافتراضات اختبار مربع كاي بيرسون. لإجراء دراسة أكثر شمولاً ومصادقية لهذه البيانات، قد يكون من الحكمة التفكير في استخدام اختبار فيشر الدقيق، لأن العدد الكبير من الخلايا ذات الترددات المتوقعة المنخفضة يثير احتمال عدم موثوقية تقريب مربع كاي.

Chi-Square Tests			
	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)
Pearson Chi-Square	35.845 ^a	3	.003
Likelihood Ratio	36.660	3	.002
Linear-by-Linear Association	14.936	1	.000
N of Valid Cases	129		

a. 14 cells (56.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 2.37.

جدول ٢٣: اختبار كاي اسكوير لدور تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحليل الأعطال



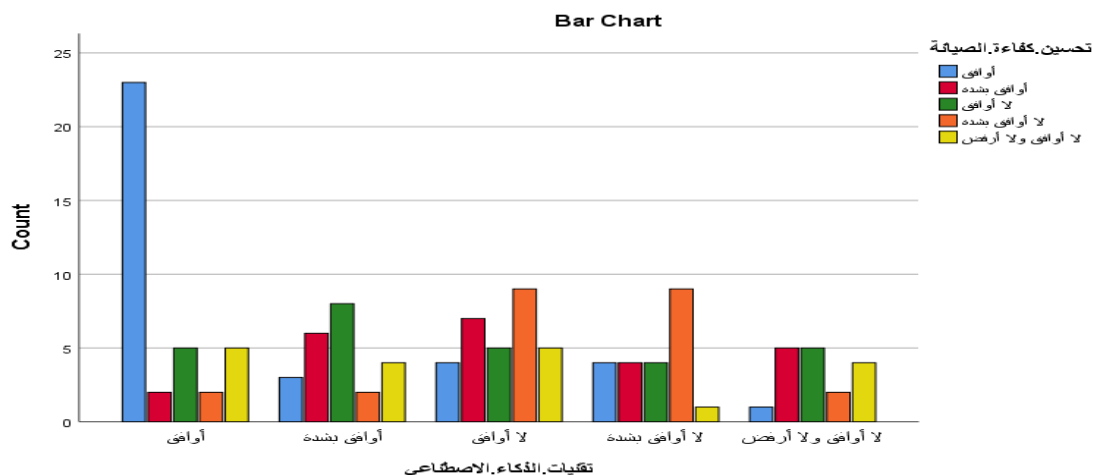
رسم توضيحي ٢٢: المقاييس المتمثلة في تحليل العلاقة لدور تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحليل الأعطال

- دور تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة الصناعة

من الواضح أن إحصائية مربع كاي بيرسون، وهي أداة أساسية لفحص العلاقة بين المتغيرات الفئوية، لها أكبر قيمة، ٤٩,٣٤٣. تشير هذه النتيجة إلى وجود علاقة ذات دلالة إحصائية عالية بين المتغيرات قيد الدراسة، مع ٤ درجات حرية (df) ودلالة تقاربية قدرها ٠,٠٠٠ (صفر تقريبًا). رُفضت الفرضية الصفرية رفضًا قاطعًا نظرًا لانخفاض قيمة الاحتمالية (p < 0.001)، مما يشير إلى أن الارتباط المرصود من غير المرجح أن يكون نتيجة صدفة. ومع ذلك، فإن ملاحظة أن ١٤ خلية (٥٦,٠٪) لديها عدد متوقع أقل من ٥، مع حد أدنى متوقع للعدد ٢,٥٠، تشير إلى خرق كبير لافتراضات اختبار مربع كاي بيرسون. قد لا يكون تقريب مربع كاي دقيقًا نظرًا للنسبة الكبيرة من الخلايا ذات الترددات المتوقعة المنخفضة. ونظرًا لأهمية النتيجة، يُنصح بشدة بالتفكير في تطبيق اختبار فيشر الدقيق لتحليل أكثر دقة وموثوقية لهذه البيانات.

Chi-Square Tests			
	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)
Pearson Chi-Square	49.343 ^a	4	.000
Likelihood Ratio	48.291	4	.000
Linear-by-Linear Association	9.550	1	.002
N of Valid Cases	129		
a. 14 cells (56.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 2.50.			

جدول ٢٤: اختبار كاي اسكوير لدور تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة الصناعة



رسم توضيحي ٢٣: المقابيس المتماثلة في تحليل العلاقة لدور تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة الصناعة

- تحليل التباين الأحادي لمتغيرات الدراسة

يُشار إلى مجموع مربعات نموذج الانحدار بأكبر قيمة، وهي ٧٤,٤٦٠. يمتلك المتغير التابع، "تقنيات الذكاء الاصطناعي" (تقنيات.الذكاء.الاصطناعي)، هذه القيمة، مما يشير إلى مدى إمكانية تفسير تباينه بواسطة المتغيرات المستقلة في النموذج. يضم النموذج، إلى جانب نقطة التقاطع، "حلول التكنولوجيا الحديثة" (حلول.تقنية.حديثة)، و"تحليل الأعطال"، و"تحسين.كفاءة.الصيانة". تبلغ قيمة دلالة الانحدار 0.000 (Sig.) ، أو صفرًا تقريبًا، وهي أقل بكثير من مستوى الدلالة الاعتيادي ٠.٠٥. وبالتالي، فإن للمتغيرات المستقلة مجتمعة تأثيرًا ذا دلالة إحصائية على المتغير التابع. ويدعم ذلك أيضًا إحصاء F البالغ ٤,١٤٨، والذي يشير إلى أن

ANOVA ^{a,b}					
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	74.460	4	6.205	4.148	.000
Residual	173.509	116	1.496		
Total	247.969	120			
a. Dependent Variable: تقنيات.الذكاء.الاصطناعي					
b. Model: (Intercept), تحسين.كفاءة.الصيانة, تحليل.الأعطال, حلول.تقنية.حديثة					

جدول ٢٥: تحليل التباين الأحادي

يُمثل معامل الارتباط المتعدد، أو قيمة R، بأكبر رقم، وهو بوضوح ٠,٥٤٨، كما هو موضح. يُشير هذا الرقم إلى قوة الارتباط الخطي بين المتغير التابع (تقنيات الذكاء الاصطناعي) والمتغيرات المستقلة (تحليل الأعطال، وحلول التكنولوجيا الحديثة، وتحسين كفاءة الصيانة). يُشير R إلى وجود ارتباط إيجابي متوسط إلى قوي بـ ٠,٥٤٨. تُمثل هذه المتغيرات المستقلة حوالي ٣٠,٠٪ من التباين في تقنيات الذكاء الاصطناعي، وفقاً لقيمة مربع R البالغة ٠,٣٠٠. بعد التحكم في عدد المتنبئين، يكون مربع R المعدل، الذي يشير إلى أن النموذج يتمتع بقوة تفسيرية معتدلة، ٠,٢٢٨، مما يشير إلى أن حوالي ٢٢,٨٪ من التباين مُفسَّر. يُمثل الفرق النموذجي بين القيم المرصودة والقيم التي تنبأ بها النموذج بالخطأ الانحراف المعياري للتقدير، وهو ١,٢٢. بمقارنة البيانات بالنموذج الصفري (للاعتراض فقط)، يشير معامل بايز البالغ ١,٤٩٦ إلى عدم وجود دعم كافٍ للنموذج الذي يتضمن المتنبئات. يُشير معامل بايز الأكبر من ١ إلى دعم الفرضية البديلة، بينما تشير الدرجة ١,٤٩٦ إلى ضعف الأدلة فحسب.

Bayes Factor Model Summary ^{a,b}				
Bayes Factor ^c	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1.496	.548	.300	.228	1.22
a. Method: JZS				
b. Model: (Intercept), كفاءة الصيانة، تحسين، تحليل الأعطال، حلول تقنية حديثة، تحليل الأعطال، تحسين كفاءة الصيانة (Intercept)				
c. Bayes factor: Testing model versus null model (Intercept).				

جدول ٢٦: ملخص عامل نموذج بايز

التوصيات:

- تحسين دمج الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في عمليات الصيانة

يُنصح أصحاب المصلحة في صيانة المصاعد والسلالم المتحركة في مركز الملك عبدالله المالي بتعزيز تكامل أدوات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء. فهذه التقنيات قادرة على تقليل وقت تعطل النظام وزيادة دقة اكتشاف الأعطال بشكل كبير. ويمكن اتخاذ إجراءات وقائية قبل وقوع الأعطال الفعلية بفضل الكشف المبكر عن المشاكل الميكانيكية الذي يُتاح من خلال جمع البيانات في الوقت الفعلي عبر أجهزة استشعار إنترنت الأشياء والتحليلات التنبؤية المدعومة بالذكاء الاصطناعي.

- الاستثمار في التوعية الرقمية وتدريب الموظفين

يجب تدريب الموظفين الفنيين والمشرفين ومهندسي الصيانة لضمان نجاح تطبيق هذه التقنيات. وينبغي أن تركز برامج التعليم المستمر على تعريف الأفراد بالمنصات الحديثة، وفك تشفير بيانات إنترنت الأشياء، وتشغيل الأجهزة المدعومة بالذكاء الاصطناعي. وسيكون الموظفون الذين يتمتعون بتمكين أكبر أكثر قدرة على الاستفادة من هذه التقنيات.

- تعزيز البنية التحتية والجاهزية التنظيمية

تشير النتائج إلى أن الجاهزية التنظيمية عامل مهم في نجاح التنفيذ. لذلك، يُعد تخصيص الأموال للتطورات التكنولوجية ووضع خطط استراتيجية تُكمل أهداف البنية التحتية الذكية أمرًا بالغ الأهمية. للإشراف على عملية التكامل وضمان التوحيد، كان لا بد من إنشاء وحدات فنية متخصصة.

- تشجيع الإدارة عن بُعد والمراقبة اللحظية

تُظهر النتائج أن انقطاعات الخدمة الناتجة عن التشخيص عن بُعد باستخدام الذكاء الاصطناعي والمراقبة اللحظية باستخدام مستشعرات إنترنت الأشياء أقل. ينبغي على إدارات الصيانة تطبيق لوحات معلومات مركزية تتيح تتبع حالة الآلات لحظيًا وإرسال إشعارات آلية عند اكتشاف أي أعطال.

- تعزيز معايير المقارنة والتعاون بين القطاعات

يمكن لمبادرات البنية التحتية الذكية الأخرى في المملكة الاستفادة من تجربة مركز الملك عبدالله المالي كنموذج. ومن أجل تطوير معايير وقواعد موحدة لاستخدام الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في أنظمة النقل العمودي، يُشجع التعاون بين مطوري المباني وشركات تكنولوجيا المعلومات والجهات التنظيمية الحكومية.

- إجراء تقييم دوري وتحسين مستمر

يُعد وضع إطار عمل للتقييم الدوري لتأثيرات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء على أداء الصيانة أمرًا بالغ الأهمية. ولضمان التحسين المستمر وفعالية التكلفة، يجب مراقبة مقاييس الأداء، بما في ذلك تكرار الأعطال، ووقت استجابة الصيانة، ومدة التوقف.

Abstract:

With a particular focus on the King Abdullah Financial District (KAJD) in Riyadh, this study investigates how artificial intelligence (AI), and the Internet of Things (IoT) affect elevator and escalator maintenance in the framework of Saudi Arabia's smart infrastructure transformation. The goal of the study is to assess how predictive maintenance, operational effectiveness, and system reliability are enhanced by the combination of AI and IoT technologies. Data was gathered via a standardized questionnaire given to engineers, technicians, and maintenance specialists employed by KAJD as part of a descriptive analytical process. The results show that IoT and AI applications greatly improve maintenance planning, decrease downtime, and improve detection. Nonetheless, the report also draws attention to issues with system complexity, workforce training, and organizational preparedness. The findings support a robust relationship between the degree of personnel proficiency and digital infrastructure and the efficacy of smart maintenance. To encourage sustainable smart maintenance practices throughout Saudi Arabia's urban developments, the research ends with recommendations for enhancing technical integration, enhancing training, and encouraging ongoing evaluation.

- Abdulrazzak, H. M. (2022). A Blend of Magnificent Sustainable Architectural Design: An Overview of the King Abdullah Financial District; Potentials and Challenges; Riyadh Kingdom of Saudi Arabia. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/360778460_A_Blend_of_Magnificent_Sustainable_Architectural_Design_An_Overview_of_the_King_Abdullah_Financial_District_Potentials_and_Challenges_Riyadh_Kingdom_of_Saudi_Arabia
- Achouch, M. (2022). On Predictive Maintenance in Industry 4.0: Overview, Models, and Challenges. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/16/8081>
- Aldoseri, A. (2023). Re-Thinking Data Strategy and Integration for Artificial Intelligence: Concepts, Opportunities, and Challenges. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/12/7082#:~:text=Data%20collection%20to%20ensure%20data,security%20and%20privacy%20%5B46%5D>.
- Ali, O. (2024). The effects of artificial intelligence applications in educational settings: Challenges and strategies. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162523007618>
- AL-KINANI, M. (2025). KAFD at the heart of Saudi Arabia's economic and investment future. Retrieved from <https://www.arabnews.com/node/2600247/amp>
- Alnaser, A. A. (2025). Benefits and Challenges of AI-Based Digital Twin Integration in the Saudi Arabian Construction Industry: A Correspondence Analysis (CA) Approach. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/9/4675#:~:text=The%20findings%20revealed%20that%20AI,in%20Saudi%20Arabia's%20construction%20sector>.
- Alotaibi, B. S. (2024). Assimilation of 3D printing, Artificial Intelligence (AI) and Internet of Things (IoT) for the construction of eco-friendly intelligent homes: An explorative review. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844024128770#:~:text=Highlights,application%20is%20in%20high%20demand>.
- Alsabt, R. (2024). Exploring the Roles, Future Impacts, and Strategic Integration of Artificial Intelligence in the Optimization of Smart City—From Systematic Literature Review to Conceptual Model. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/8/3389#:~:text=This%20research%20fills%20a%20notable,environmental%20sustainability;%20quality%20of%20life>

- Alzahrani, A. (2023). analysis of the Technology Acceptance Model TAM in understanding Faculty's behavioral intention to use Internet of Things IOT. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/370792552_analysis_of_the_Technology_Acceptance_Model_TAM_in_understanding_Faculty's_behavioral_intention_to_use_Internet_of_Things_IOT
- Binsaedan, L. (2022). Developing an Urban Computing Framework for Smart and Sustainable Neighborhoods: A Case Study of Alkhaleidia in Jizan City, Saudi Arabia. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/5/4057>
- Chhatre, R. (2024). AI And Organizational Change: Dynamics And Management Strategies. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/380929689_AI_And_Organizational_Change_Dynamics_And_Management_Strategies
- Cui, T. (2025). On-Demand Maintenance Method Using Fault Prediction to Reduce Elevator Entrapment. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/15/8644#:~:text=The%20scheduled%20maintenance%20approach%20is,of%20fatalities%20remains%20alarmingly%20high.>
- Elsayed, M. F. (2025). Technology Acceptance Model as a Mediator Explaining Factors. Retrieved from https://aja.journals.ekb.eg/article_216149_556786d874116d9b2e56f85c642b30c8.pdf
- Espina-Romero, L. (2024). Challenges and Opportunities in the Implementation of AI in Manufacturing: A Bibliometric Analysis. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2413-4155/6/4/60#:~:text=However%2C%20one%20of%20the%20main,Cassoli%20et%20al.>
- Fattah, D. A. (2025). Towards inclusive public open space in CBD case study of King Abdallah financial district. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/393510035_Towards_inclusive_public_open_space_in_CBD_case_study_of_King_Abdallah_financial_district
- Gouiza, N. (2024). INTEGRATION OF IOT-ENABLED TECHNOLOGIES AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN DIVERSE DOMAINS: RECENT ADVANCEMENTS AND FUTURE TRENDS. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/379034933_INTEGRATION_OF_IOT-ENABLED_TECHNOLOGIES_AND_ARTIFICIAL_INTELLIGENCE_IN_DIVERSE_DOMAINS_RECENT_ADVANCEMENTS_AND_FUTURE_TRENDS

- Guo, Q. (2024). Analyzing the Diffusion of Innovations Theory. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/387746866_Analyzing_the_Diffusion_of_Innovations_Theory
- Hadad, H. (2025). Artificial Intelligence (AI) in Application Maintenance. Retrieved from <http://flairstech.com/blog/artificial-intelligence-ai-in-application-maintenance#:~:text=One%20of%20the%20key%20advantages,Automated%20Testing%20and%20Quality%20Assurance>
- Halton, C. (2025). Diffusion of Innovations Theory: Definition and Examples. Retrieved from <https://www.investopedia.com/terms/d/diffusion-of-innovations-theory.asp>
- Hooks, D. (2021). Exploring factors influencing technology adoption rate at the macro level: A predictive model. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/356828309_Exploring_factors_influencing_technology_adoption_rate_at_the_macro_level_A_predictive_model
- Janipha, N. A. (2018). Maintenance and Safety Practices of Escalator in Commercial Buildings. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/323674587_Maintenance_and_Safety_Practices_of_Escalator_in_Commercial_Buildings
- Jin, Y. (2025). Reassessing smart city development and personal data protection: A regulatory framework. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1059056025001856>
- Lai, C. T. (2019). Internet of Things enabling condition-based maintenance in elevators service. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/331697884_Internet_of_Things_enabling_condition-based_maintenance_in_elevators_service
- Lawal, O. O. (2025). AI-Enabled Cognitive Predictive Maintenance of Urban Assets Using City Information Modeling—Systematic Review. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2075-5309/15/5/690>
- Lee, A. T. (2025). Understanding Psychosocial Barriers to Healthcare Technology Adoption: A Review of TAM Technology Acceptance Model and Unified Theory of Acceptance and Use of Technology and UTAUT Frameworks. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2227-9032/13/3/250>
- Maharani, A. (2020). The Effect of Perceived Usefulness and Perceived Ease of Use on the Technology Acceptance Model to Use Online Travel Agency. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/347188746_The_Effect_of_Perceived_Usefulness_and_Perceived_Ease_of_Use_on_the_Technology_Acceptance_Model_to_Use_Online_Travel_Agency

efulness_and_Perceived_Ease_of_Use_on_the_Technology_Acceptance_Model_to_Use_Online_Travel_Agency

McEwan, M. (2021). Early adopters versus the majority: Characteristics and implications for academic development and institutional change. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/363087872_Early_adopters_versus_the_majority_Characteristics_and_implications_for_academic_development_and_institutional_change

Mohamed, N. A. (2024). THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ACHIEVING SUSTAINABLE MAINTENANCE IN RESIDENTIAL BUILDING. Retrieved from https://jaes.journals.ekb.eg/article_371693_2fe573780059ed1225a50afd6b1e7282.pdf

Morandini, S. (2023). The Impact of Artificial Intelligence on Workers' Skills: Upskilling and Reskilling in Organisations. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/368721087_The_impact_of_artificial_intelligence_on_workers_skills_Upskilling_and_reskilling_in_organisations

Muhammed, A. (2024). AI-Powered Predictive Maintenance: Optimizing Industrial Efficiency. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/387428815_AI-Powered_Predictive_Maintenance_Optimizing_Industrial_Efficiency

Onag, G. (2019). AI and IoT are the keys to smarter lifts and escalators. Retrieved from <http://futureiot.tech/ai-and-iot-are-the-keys-to-smarter-lifts-and-escalators/>

Park, J. (2024). Artificial Intelligence and Smart Technologies in Safety Management: A Comprehensive Analysis Across Multiple Industries. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/24/11934>

Patil, D. (2024). Artificial intelligence-driven predictive maintenance in manufacturing: Enhancing operational efficiency, minimizing downtime, and optimizing resource utilization. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/385885091_Artificial_intelligence-driven_predictive_maintenance_in_manufacturing_Enhancing_operational_efficiency_minimizing_downtime_and_optimizing_resource_utilization

Perrucci, G. (2025). Assessing Comfort and Safety in Use of Elevators' Human–Machine Interaction Devices. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2075-5309/15/5/709>

Ramadhan, Y. Z. (2023). Exploring the Role of Interdisciplinary Communication Theories in Diffusion of Innovations: A Review. Retrieved from

- https://www.researchgate.net/publication/376883456_Exploring_the_Role_of_Interdisciplinary_Communication_Theories_in_Diffusion_of_Innovations_A_Review
- Rashed, A. N. (2024). Connected smart elevator systems for smart power and time saving. Retrieved from <https://www.nature.com/articles/s41598-024-69173-1>
- Regona, M. (2022). Opportunities and Adoption Challenges of AI in the Construction Industry: A PRISMA Review. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2199-8531/8/1/45>
- S., A. (2025). How Facility Management can reduce costs with tech. Retrieved from <https://www.taqt.com/articles/facility-management-iot>
- Saadioui, Z. (2025). Preparing for an AI-Dominated Future: Skills for Success. Retrieved from <https://www.arsturn.com/blog/preparing-for-an-ai-dominated-future-skills-for-success>
- Saleh, O. (2024). Improving Predictive Maintenance in Industrial Environments via IIoT and Machine Learning. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/380291518_Improving_Predictive_Maintenance_in_Industrial_Environments_via_IIoT_and_Machine_Learning
- Sandu, A. K. (2022). AI-Powered Predictive Maintenance for Industrial IoT Systems. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/380969569_AI-Powered_Predictive_Maintenance_for_Industrial_IoT_Systems
- Shah, J. (2024). Integration of AI-based predictive maintenance for energy-efficient mechanical systems. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/389959539_Integration_of_AI-based_predictive_maintenance_for_energy-efficient_mechanical_systems
- Shorfuzzaman, M. (2024). IoT—A Promising Solution to Energy Management in Smart Buildings: A Systematic Review, Applications, Barriers, and Future Scope. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/385358843_IoT-A_Promising_Solution_to_Energy_Management_in_Smart_Buildings_A_Systematic_Review_Applications_Barriers_and_Future_Scope
- Sidhu, G. S. (2024). AI AND WORKFORCE DEVELOPMENT: A COMPARATIVE ANALYSIS OF SKILL GAPS AND TRAINING NEEDS IN EMERGING ECONOMIES. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/383296063_AI_AND_WORKFORCE_DEVELOPMENT_A_COMPARATIVE_ANALYSIS_OF_SKILL_GAPS_AND_TRAINING_NEEDS_IN_EMERGING_ECONOMIES

- Somasekaran, S. (2024). ENHANCING USER EXPERIENCE IN ELEVATOR SERVICE -A FIELD STUDY. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/380426248_ENHANCING_USER_EXPERIENCE_IN_ELEVATOR_SERVICE_-A_FIELD_STUDY
- Totakhail, A. (2024). Transformative Impact of Artificial Intelligence on IoT Applications: A Systematic Review of Advancements, Challenges, and Future Trends. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/381043810_Transformative_Impact_of_Artificial_Intelligence_on_IoT_Applications_A_Systematic_Review_of_Advancements_Challenges_and_Future_Trends#:~:text=the%20Author/s-,The%20integration%20of%20Artificial%20Intellig
- Vlachou, E. I. (2024). Overview of IoT Security Challenges and Sensors Specifications in PMSM for Elevator Applications. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2075-1702/12/12/839#:~:text=Technological%20advances%20in%20the%20Internet,any%20faults%20that%20may%20occur.>

Midocean University

College of Management

Department/Major in Project Management



Research Title:

The Impact of Artificial Intelligence and the Internet of Things Technologies on Elevator and Escalator
Maintenance in the Kingdom of Saudi Arabia: A Case Study of the King Abdullah Financial District (KAJD)

Student Preparation/

Ayman Ibrahim Mlli

Supervision/

Dr. Al-Faisal Abdulhamid

Dr. Fayez Jarad

Academic Year:

2025