

عنوان البحث

تأثير التحول الرقمي على تطوير أداء فرق الصيانة الطبية: دراسة تطبيقية على شركات الأجهزة الطبية

إعداد الطالب/

م. كنان الخالدي

إشراف/

د. الفيصّل عبد الحميد

د. فايز جراد

العام الدراسي:

٢٠٢٥

مقدمة:

يشهد العالم في العقدین الأخيرین تسارعاً ملحوظاً في التحول الرقمي الذي يعيد تشكيل أساليب العمل والإنتاج وتقديم الخدمات عبر توظيف تقنيات رقمية متقدمة مثل إنترنت الأشياء (IoT) ، البيانات الضخمة، الحوسبة السحابية، والتعلم الآلي والذكاء الاصطناعي. هذا التحول لم يقتصر على تحسين الكفاءة التشغيلية فحسب، بل امتد ليشمل نماذج جديدة لاتخاذ القرار، أتمتة العمليات، وتطوير خدمات قائمة على التحليل التنبؤي لخفض التكلفة وزيادة الاعتمادية (Uçar وآخرون، ٢٠٢٤).

في القطاع الصحي، اتخذ التحول الرقمي أبعاداً استراتيجية كونه يؤثر مباشرةً على سلامة المرضى وجودة الرعاية وإدارة الموارد الصحية. دول ومنظمات صحية كبيرة أطلقت مبادرات وطنية وإقليمية لرقمنة السجلات الصحية، ربط الأنظمة وإنشاء منصات بيانات موحدة، ما سهل التكامل بين الخدمات وفتح الطريق أمام حلول ذكية تدعم التشخيص، المتابعة، وإدارة الأصول الطبية. أمثلة وطنية على ذلك تظهر في مبادرات رؤية السعودية ٢٠٣٠ وبرامج تحويل القطاع الصحي التي تضع الرقمنة كأحد الركائز الأساسية لرفع كفاءة النظام الصحي (CDA-AMC، ٢٠٢٢).

ضمن منظومة المستشفيات والمراكز الصحية، تُعد إدارة الصيانة للأجهزة الطبية عنصراً حيوياً للحفاظ على استمرارية الخدمات وضمان سلامة المرضى. فالأجهزة الطبية. وخصوصاً أجهزة التصوير التشخيصي الكبيرة والمعدات الحاسمة في غرف العمليات والعناية المركزة. تتطلب برامج صيانة دقيقة لمنع الأعطال المفاجئة وتقليل فترات التوقف عن العمل. التقليدي منها يعتمد جداول زمنية ثابتة وفحوص دورية، وهو نهج مكلف وقد لا يستغل بيانات تشغيل الأجهزة المتاحة لاستباق الأعطال (Mauro وآخرون، ٢٠٢٤).

هنا يتداخل التحول الرقمي مع الصيانة الطبية عبر إدخال مفاهيم الصيانة التنبؤية (Predictive Maintenance) والتوأم الرقمي (Digital Twins) وأنظمة مراقبة الحالة الحية عبر حساسات مترابطة. تطبيقات الذكاء الاصطناعي تحلل بيانات الأداء والاهتزاز ودرجات الحرارة وسجلات التشغيل لتنبؤ الأعطال قبل حدوثها، ما يخفض زمن التوقف، يقلل الحاجة لقطع غيار مكلفة، ويحسن جداول أعمال فرق الصيانة الفنية. الأدبيات الحديثة تُظهر تزايداً في اعتماد تقنيات AI-PdM وتناقش مكونات تلك الأنظمة، متطلباتها وفرصها وتحدياتها المتعلقة بالثقة والخصوصية والتكامل مع بيانات الرعاية الصحية (Huang وآخرون، ٢٠٢٤).

أثر التحول الرقمي عبر القطاعات يتجلى في تحسين مؤشرات الأداء مثل زمن الاستجابة، تكلفة الصيانة على مدى دورة حياة الأصول، وجودة الخدمة، وقابلية اتخاذ القرار المبني على بيانات قوية. في السياق الصحي، هذه التحسينات لا تقدّم فوائد اقتصادية فقط، بل تمتدّ لتشمل تحسين نتائج المرضى وتقليل المخاطر التشغيلية. مع ذلك، تواجه المؤسسات تحديات تطبيقية تتمثل في اختلاف جاهزية البنى التحتية الرقمية، الحاجة لسياسات بيانات واضحة، ومهارات تقنية لدى فرق الصيانة والإدارة. الأبحاث الحديثة تؤكد على أهمية إطار تشغيلي ومنهجي يربط بين البنية التحتية الرقمية واستراتيجيات إدارة الأصول والموارد البشرية لضمان نجاح الانتقال إلى نمط صيانة تنبؤية فعال. (Zamzam وآخرون، ٢٠٢٣)

وقد تبنت العديد من الدول برامج وطنية لتعزيز التحول الرقمي في الرعاية الصحية، منها برنامج تحول القطاع الصحي في المملكة العربية السعودية ضمن رؤية ٢٠٣٠ (وزارة الصحة السعودية، ٢٠٢٣). من هنا ينبع مبرر هذه الدراسة: فهم كيفية تأثير عناصر التحول الرقمي وتطبيقات الذكاء الاصطناعي على كفاءة إدارة الصيانة للأجهزة الطبية، وكيفية تطوير أداء فرق الصيانة داخل شركات الأجهزة الطبية والمستشفيات لزيادة الاعتمادية التشغيلية وتقليل المخاطر والتكاليف. دراسة ميدانية تطبيقية تستند إلى نماذج تحليلية وإحصائية ونماذج صنع قرار متعددة المعايير ستساعد في تقديم إطار عملي لتبني تقنيات الصيانة التنبؤية في بيئات الرعاية الصحية المحلية والإقليمية، مع مراعاة خصوصيات البنى التنظيمية والتقنية.

وعلى الرغم من التقدم الملحوظ في تطبيق التحول الرقمي داخل الأنظمة الصحية، إلا أن الدراسات التطبيقية التي تربط بين التحول الرقمي وأداء فرق الصيانة الطبية في الشركات المزودة للأجهزة ما تزال محدودة، خاصة في السياق السعودي

مشكلة الدراسة:

يشهد قطاع الأجهزة الطبية تحولاً كبيراً نحو الرقمنة واعتماد التكنولوجيا الحديثة، بما في ذلك تطبيقات الذكاء الاصطناعي والصيانة التنبؤية، بهدف تحسين جودة الصيانة واستدامة أداء الأجهزة، تواجه شركات الأجهزة الطبية تحديات عدة مثل ضعف الاستفادة من التحول الرقمي، تفاوت كفاءة فرق الصيانة، ونقص الأدوات الرقمية المتكاملة لدعم عمليات الصيانة. وتشير الدراسات الحديثة إلى أن تبني التحول الرقمي يمكن أن يحسن الأداء التشغيلي للفرق الفنية ويقلل من الأعطال المتكررة (Uçar وآخرون، ٢٠٢٤؛ Huang وآخرون، ٢٠٢٤)

ومن هنا تبرز مشكلة الدراسة في التساؤل الرئيس:

ما مدى تأثير التحول الرقمي على تطوير أداء فرق الصيانة الطبية في شركات الأجهزة الطبية؟

أهمية الدراسة:

أ. الأهمية العلمية

- تسهم في توسيع المعرفة حول العلاقة بين التحول الرقمي وأداء الفرق الفنية في قطاع الأجهزة الطبية، الذي لم تحظ به الدراسات العربية بشكل كافٍ.
- تقدم أساسًا لبناء استبيانات مستقبلية ودراسات تحليلية متقدمة في مجال الصيانة الرقمية والذكاء الاصطناعي.

ب. الأهمية العملية والتطبيقية

- تمكّن الشركات من تحديد المحاور الرقمية الأكثر تأثيرًا على الأداء وتحسين عمليات الصيانة.
- تساعد في تصميم برامج تدريبية فعّالة للفرق الفنية.
- توفر أساسًا لاتخاذ قرارات استراتيجية لتعزيز الإنتاجية وجودة الخدمة وتقليل الأعطال.
- تدعم أهداف رؤية السعودية ٢٠٣٠ في رفع كفاءة القوى البشرية والتقنية في القطاع الصحي (وزارة الصحة السعودية، ٢٠٢٣).

أهداف الدراسة:

١. تحديد قياس أثر التحول الرقمي على أداء فرق الصيانة الطبية، لمعرفة مدى مساهمة التقنيات الرقمية في تحسين كفاءة وسرعة وجودة أعمال الصيانة.
٢. تحديد المفاهيم الأساسية لمجال التحول الرقمي، وتشمل الصيانة التنبؤية، رقمنة سجلات الصيانة، والتطبيقات التكنولوجية الصحية، بهدف تقييم تأثير كل مفهوم على أداء الفرق الفنية.
٣. تحديد المفاهيم الأساسية لأداء الصيانة، والتي تشمل الكفاءة، سرعة الاستجابة، جودة الخدمة، ومستوى المعرفة التقنية، لتكوين إطار واضح لقياس الأداء.
٤. تحديد التحديات الناتجة عن استخدام التحول الرقمي وأنظمة الذكاء الصناعي، بما في ذلك الصعوبات الفنية والتنظيمية التي قد تؤثر على فعالية تطبيق التحول الرقمي في فرق الصيانة.
٥. تقديم توصيات عملية لتعزيز أثر التحول الرقمي في تطوير أداء فرق الصيانة، استنادًا إلى نتائج التحليل الكمي، وتوفير أدوات إرشادية للشركات لتحسين الأداء الفني والإداري.

تساؤلات الدراسة

التساؤل الرئيس:

ما مدى تأثير التحول الرقمي بأبعاده (الصيانة التنبؤية، رقمته سجلات الصيانة، التطبيقات التكنولوجية الصحية) على تطوير أداء فرق الصيانة الطبية في شركات الأجهزة الطبية؟

التساؤلات الفرعية:

١. ما أثر الصيانة التنبؤية على تحسين أداء فرق الصيانة الطبية من حيث الكفاءة، سرعة الاستجابة، جودة الخدمة، ومستوى المعرفة التقنية؟
٢. إلى أي مدى تسهم رقمته سجلات الصيانة في رفع كفاءة فرق الصيانة وتقليل الأعطال المتكررة؟
٣. ما دور التطبيقات التكنولوجية الصحية في تسهيل أعمال الصيانة وتعزيز سرعة الاستجابة وجودة الخدمة؟
٤. ما أكثر محاور التحول الرقمي تأثيراً في تطوير أداء فرق الصيانة الطبية؟
٥. ما التوصيات العملية المقترحة لتعزيز تطبيق التحول الرقمي بما ينعكس على أداء فرق الصيانة في بيئة الشركات الصحية؟

فروض الدراسة:

الفرضية الأساسية:

يوجد تأثير إيجابي ذو دلالة إحصائية للتحول الرقمي بأبعاده (الصيانة التنبؤية، رقمته سجلات الصيانة، التطبيقات التكنولوجية الصحية) على تطوير أداء فرق الصيانة الطبية في شركات الأجهزة الطبية.

الفروض الفرعية:

١. توجد علاقة إيجابية ذات دلالة إحصائية بين الصيانة التنبؤية وأداء فرق الصيانة الطبية.
٢. توجد علاقة إيجابية ذات دلالة إحصائية بين رقمته سجلات الصيانة وأداء فرق الصيانة الطبية.
٣. توجد علاقة إيجابية ذات دلالة إحصائية بين التطبيقات التكنولوجية الصحية وأداء فرق الصيانة الطبية.
٤. يختلف مستوى تأثير محاور التحول الرقمي الثلاثة في تطوير أداء فرق الصيانة الطبية باختلاف طبيعة النشاط وحجم الشركة وخبرة الفنيين.

(Canadian Agency for Drugs and Technologies in Health, 2020) هدفت هذه الدراسة إلى تقديم ملخص شامل حول تطبيقات الصيانة التنبؤية في أقسام التصوير الطبي، واستعراض الأدوات والتقنيات المستخدمة لتحسين أداء أجهزة الأشعة مثل الـCT والـMRI استخدمت الدراسة منهج تحليلي وصفي قائم على مراجعة الأدبيات والتقارير الميدانية الخاصة بصيانة الأجهزة الطبية في كندا، مع تحليل مقارنة بين نماذج الصيانة الوقائية والتنبؤية. توصلت النتائج إلى أن الصيانة التنبؤية تسهم في تقليل الأعطال غير المخطط لها بمعدل كبير، وتحسين موثوقية الأجهزة وجودة الأداء، وتقليل التكاليف التشغيلية بنسبة تصل إلى ١٢٪، وإطالة العمر الافتراضي للأجهزة بنسبة تقارب ٢٠٪. كما بينت أن دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي (AI) وإنترنت الأشياء (IoT) يُعزز دقة التنبؤ بالأعطال ويتيح مراقبة فورية للأداء وأشارت الدراسة إلى مجموعة من التحديات أبرزها: ارتفاع تكلفة التنفيذ، الحاجة إلى كوادر فنية متخصصة في تحليل البيانات، ضعف تكامل الأنظمة ومخاطر الأمن السيبراني المرتبطة بالأجهزة المتصلة بالشبكة وأوصت الدراسة بضرورة تدريب الكوادر الفنية على التعامل مع تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء، وتبني معايير صارمة للأمن السيبراني، ووضع إطار قانوني وتنظيمي يحدد مسؤوليات الأطراف المختلفة في عقود الصيانة التنبؤية، إضافة إلى تطوير نماذج معيارية تتيح تكامل البيانات بين مختلف الشركات والمصنعين.

(Ucar, Karakose, & Kırımça, 2024) بعنوان *Artificial Intelligence for Predictive Maintenance Applications: Key Components, Trustworthiness, and Future Trends*، هدفت الدراسة إلى تحليل التطورات الحديثة في الصيانة التنبؤية المعتمدة على الذكاء الاصطناعي (AI-Based Predictive Maintenance)، وتحديد مكوناتها الأساسية، ومستوى موثوقيتها، واتجاهاتها المستقبلية في القطاعات الصناعية. استخدم الباحثون منهج المراجعة المنهجية والتحليل المقارن للأدبيات العلمية المنشورة بين عامي ٢٠١٨ و ٢٠٢٣، وتناولوا أكثر من ٢٥٠ دراسة في مجالات التصنيع، والطاقة، والطيران، والأجهزة الطبية. توصلت النتائج إلى أن دمج تقنيات التعلم الآلي والعميق مثل (CNN) (LSTM, SVM) مع بيانات المستشعرات يسهم في رفع دقة التنبؤ بالأعطال، وتحسين كفاءة التشغيل، وتقليل تكاليف الصيانة، كما أكدت الدراسة أهمية استخدام الذكاء الاصطناعي القابل للتفسير (XAI) لزيادة الشفافية والثقة في الأنظمة التنبؤية. وأوصت بتطوير أنظمة صيانة ذاتية وذكية تعتمد على الذكاء الاصطناعي التوليدي، والتوهم الرقمي، وإنترنت الأشياء، لتعزيز موثوقية الأنظمة وتقليل التدخل البشري في عمليات الصيانة المستقبلية.

(البازعي، فيصل، ٢٠٢٥) بعنوان منهجية مقترحة لتطبيق أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي في المنشآت الصحية: التحديات والفرص هدفه الدراسة الى اقتراح منهجية متكاملة لتطبيق أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي في المنشآت الصحية مع تحليل التحديات والفرص المرتبطة بهذا التطبيق. استخدم الباحث المنهج النظري التحليلي القائم على مراجعة الأدبيات والدراسات السابقة لتوضيح دور الذكاء الاصطناعي في تطوير نظم الصيانة بالمرافق الصحية. توصلت النتائج إلى أن تبني الذكاء الاصطناعي في الصيانة يساهم في رفع كفاءة الصيانة وجودة الخدمات الصحية وتقليل التكاليف التشغيلية شرط مراعاة العوامل الوسيطة مثل الجاهزية التقنية والبشرية والتنظيمية. كما حددت الدراسة التحديات التقنية والقانونية والأخلاقية التي تواجه هذا النوع من التطبيقات، واقترحت منهجية مكونة من خمس مراحل تشمل: التقييم، التخطيط، التنفيذ، المتابعة، والتقييم النهائي. وأوصت الدراسة بضرورة تهيئة البنية التحتية الرقمية، وتدريب الكوادر الفنية، ووضع أطر تنظيمية واضحة لضمان نجاح تطبيق أنظمة الصيانة الذكية في القطاع الصحي وتعظيم أثرها على كفاءة واستدامة الخدمات.

Digital Transformation in Healthcare: بعنوان (Mauro, M., Noto, G., Prenestini, A., & Sarto, F., 2024) هدفت هذه الدراسة إلى تحليل أثر التقنيات الرقمية في دعم العمليات الإدارية والقيادية في المنشآت الصحية بالاستناد إلى سلسلة القيمة لبورتر (Value Chain) وإطار التقنية-المنظمة-البيئة (TOE)، وذلك من خلال التركيز على ست فئات من التقنيات الرقمية: إنترنت الأشياء، الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي، البيانات الضخمة والتحليلات، الحوسبة والتخزين السحابي، وسائل التواصل الاجتماعي، والبلوكتشين. استخدمت الدراسة منهجًا نوعيًا استقرائيًا بالاعتماد على منهجية دلفي (Delphi) عبر مقابلات شبه مقننة مع 11 خبيرًا في التحول الرقمي داخل النظام الصحي الوطني الإيطالي، لاستطلاع درجة تأثير هذه التقنيات وتحديد محددات تبنيها. توصلت النتائج إلى أن إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي/التعلم الآلي يمثلان أعلى تأثير على العمليات الإدارية والداعمة (مثل إدارة الصيانة، التدفقات، والإمداد)، في حين كان البلوكتشين الأقل أهمية في هذا السياق، مع بروز دور الحوسبة السحابية والبيانات الضخمة في دعم القياس والتحليل والأداء. كما أظهرت الدراسة أن مهارات وكفاءات العاملين تمثل العامل الحاسم الأهم في نجاح التحول الرقمي، إلى جانب دعم الإدارة العليا، والثقافة التنظيمية المنفتحة، وتوافر الموارد والبنية التحتية الملائمة. وأوصت الدراسة بضرورة تركيز الاستثمارات على تقنيات إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي في العمليات الإدارية، وبناء القدرات الرقمية للموارد

البشرية، وتبني استراتيجيات تنظيمية داعمة للتحويل الرقمي مع الحذر في تبني البلوكتشين، واستخدام النتائج كإطار إرشادي لصناع القرار عند تخطيط التحويل الرقمي في الأنشطة الإدارية بالمؤسسات الصحية.

(Huang, etall, 2024) بعنوان تحويل إدارة المعدات الطبية في الصحة العامة الرقمية: نموذج اتخاذ قرار لاستبدال الأجهزة الطبية، هدفت الدراسة إلى تطوير نموذج متعدد المعايير لاتخاذ القرار في عملية استبدال الأجهزة الطبية، بهدف تحسين كفاءة القرارات الإدارية المتعلقة بتحديث المعدات الطبية في المستشفيات وتعزيز الاستخدام الأمثل للموارد. استخدم الباحثون المنهج الكمي التحليلي من خلال بناء نموذج شامل لاتخاذ القرار يعتمد على دمج طريقتي (COWA-PCA) لتحديد الأوزان و (GRA-TOPSIS) للمفاضلة بين البدائل، وذلك لتحقيق تقييم أكثر دقة وموضوعية لأولويات استبدال المعدات. تم اختبار النموذج تطبيقًا على أجهزة التصوير بالرنين المغناطيسي (MRI) في أحد المستشفيات الثلاثية، وأظهرت النتائج أن النموذج المقترح يتفوق في التمييز والدقة مقارنة بالأساليب التقليدية، إذ مكّن من تحديد الأولويات المثلى للاستبدال بكفاءة عالية. خلصت الدراسة إلى أن استخدام هذا النموذج يساهم في ترشيد القرارات الإدارية وتقليل الهدر المالي وتحسين الأداء التشغيلي للمستشفيات. وأوصت بضرورة تبني مثل هذه النماذج المدعومة بالتحليل الكمي في إدارة دورة حياة المعدات الطبية، مع التوسع في دمج تقنيات البيانات الضخمة والذكاء الاصطناعي لتطوير أنظمة إدارة ذكية قادرة على دعم قرارات الاستبدال في المستقبل.

(2025, Nikam) بعنوان التحويل في صيانة المعدات الطبية باستخدام الذكاء الاصطناعي وتقنية التوأم الرقمي، تناول هذا الفصل تطوير نموذج متكامل لصيانة المعدات الطبية يعتمد على الذكاء الاصطناعي والتوأم الرقمي بهدف رفع كفاءة الموثوقية التشغيلية، وتقليل فترات التعتّل، وإطالة العمر الافتراضي للأجهزة الحيوية في القطاع الصحي. أوضح الفصل المنهجية المقترحة لبناء التوأم الرقمي من خلال جمع البيانات عبر أجهزة الاستشعار المتصلة بالإنترنت وتحليلها بخوارزميات الذكاء الاصطناعي للتنبؤ بالأعطال قبل وقوعها. أظهرت النتائج أن التوأم الرقمي المدعوم بالذكاء الاصطناعي يحقق دقة تنبؤية عالية في تحديد احتياجات الصيانة، كما يساهم في تحسين جداول الصيانة وتقليل تكاليف الإصلاح وفترات التوقف غير المخطط لها. وأظهرت المقارنة أن النموذج المقترح يتفوق على الأساليب التقليدية في الكفاءة التشغيلية والالتزام بمعايير الجودة الصحية. وأوصى الفصل بضرورة تبني هذه التقنيات في المؤسسات الصحية لتعزيز الأداء التشغيلي وضمان استمرارية الخدمة الطبية بأعلى مستويات الكفاءة والجودة.

دراسة القهطاني وآخرون (2022) بعنوان التحويل الصحي الرقمي في المملكة العربية السعودية بالاعتماد على مؤشرات جمعية نظم وإدارة المعلومات الصحية هدفت إلى قياس جاهزية المستشفيات في المنطقة الشرقية بالمملكة للتحويل

الصحي الرقمي في ضوء مستهدفات رؤية المملكة ٢٠٣٠، وذلك من خلال أربعة أبعاد رئيسة هي: الصحة المُمكنة من قبل الأفراد، والتحليلات التنبؤية، والحوكمة والقوى العاملة، وقابلية تشابك الأنظمة وتكاملها. استخدمت الدراسة المنهج الكمي الوصفي التحليلي عبر دراسة مقطعية شملت عشر منشآت صحية حكومية وخاصة، وجمعت البيانات بواسطة استبانة إلكترونية معتمدة من جمعية نظم وإدارة المعلومات الصحية. توصلت النتائج إلى أن المنشآت الصحية الخاصة حققت مستوى أعلى من الجاهزية الرقمية مقارنة بالمنشآت الحكومية، وأن بُعد الحوكمة والقوى العاملة كان الأعلى تطبيقًا، في حين كان بُعد التحليلات التنبؤية الأقل تنفيذًا، كما أظهرت النتائج أن المستشفيات ذات الخدمة الثلاثية أقل جاهزية رقمية من المستشفيات الأولية والثانوية. وأوصت الدراسة بضرورة تعزيز التكامل بين الأنظمة الصحية، وتطوير قدرات التحليل التنبئي خاصة في المستشفيات الحكومية، والاهتمام بتدريب الكوادر الصحية وتحسين البنية التحتية الرقمية بما يساهم في تحقيق تحول صحي رقمي فعال ومتوافق مع مستهدفات رؤية ٢٠٣٠.

(العنزي، بدر، والسديري، نوف، والمطيري، منى، ٢٠٢٣) بعنوان دور تطبيق صحي في تطوير الخدمات الصحية الرقمية بالمملكة العربية السعودية: دراسة تحليلية، هدفت الدراسة إلى تحليل دور تطبيق صحي في تحسين جودة وكفاءة الخدمات الصحية الرقمية في المملكة، ومدى إسهامه في تحقيق أهداف التحول الصحي ضمن رؤية السعودية ٢٠٣٠. استخدم الباحثون المنهج التحليلي الوصفي من خلال تحليل تجربة تطبيق "صحي" ودوره في تسهيل التواصل بين المرضى والمنشآت الصحية، وتحسين تجربة المستفيدين في الحصول على الخدمات الطبية إلكترونياً. توصلت الدراسة إلى أن تطبيق "صحي" أسهم بفاعلية في تعزيز كفاءة النظام الصحي، وتقليل الضغط على المرافق الطبية، وتسهيل الوصول إلى الخدمات الصحية الرقمية، خصوصاً أثناء جائحة كورونا. كما أظهرت النتائج أن التطبيق ساعد في رفع الوعي الصحي وتمكين الأفراد من متابعة حالتهم الصحية ذاتياً. وأوصت الدراسة بضرورة توسيع نطاق استخدام تطبيق صحي وربطه بجميع الأنظمة الصحية الإلكترونية بالمملكة، وتطوير البنية التحتية التقنية بما يضمن استدامة الخدمات الرقمية، وتكثيف برامج تدريب الكوادر الصحية على استخدام التقنيات الحديثة في تقديم الرعاية الصحية.

تعقيب على الدراسات السابقة

يتضح من مجمل الدراسات أن التحول الرقمي في القطاع الصحي يساهم بوضوح في رفع كفاءة الصيانة، وتقليل الأعطال، وتحسين جودة الخدمات الصحية من خلال توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء والتوأم الرقمي. كما تؤكد النتائج على أهمية تأهيل الكوادر الفنية وتطوير البنية التحتية الرقمية لضمان نجاح التحول، إلى

جانب ضرورة وجود حوكمة فعّالة وتكامل بين الأنظمة. ويمكن الاستفادة من هذه الاتجاهات في الدراسة الحالية لتأكيد دور التقنيات الذكية في تحسين إدارة الصيانة بالمؤسسات الصحية وتعزيز الاستدامة التشغيلية ضمن إطار التحول الصحي الرقمي.

الفجوة البحثية

على الرغم من التوسع العالمي في تطبيقات التحول الرقمي في المجالات الصناعية والصحية، إلا أن الدراسات التي تناولت العلاقة بين التحول الرقمي وأداء فرق الصيانة الطبية في شركات الأجهزة الطبية ما تزال محدودة للغاية، خصوصًا في السياق العربي والخليجي ويمكن تلخيص الفجوة البحثية فيما يلي:

١. ندرة الدراسات العربية والتطبيقية التي تناولت أثر التحول الرقمي على أداء فرق الصيانة الطبية في شركات الأجهزة الطبية، رغم أهمية هذا القطاع في استدامة جودة الخدمات الصحية Mauro وآخرون، ٢٠٢٤؛ وزارة الصحة السعودية، ٢٠٢٣)
٢. ضعف الاهتمام البحثي بمحاور التحول الرقمي التفصيلية مثل الصيانة التنبؤية، ورقمته سجلات الصيانة، والتطبيقات التكنولوجية الصحية، وتأثير كل منها بشكل منفصل على الأداء الفني للفرق.
٣. قلة الدراسات التي ربطت بين البُعد الإداري والفني لإدارة فرق الصيانة الرقمية وبين النتائج التشغيلية الفعلية، مما يترك فجوة في فهم العلاقة بين التحول التقني والأداء البشري والتنظيمي.
٤. غياب أداة قياس كمية عربية موثوقة لقياس أثر كل محور من محاور التحول الرقمي على مؤشرات أداء فرق الصيانة (الكفاءة، سرعة الاستجابة، جودة الخدمة، المعرفة التقنية).
٥. قلة الدراسات المقارنة التي تربط بين نتائج تطبيق التحول الرقمي في القطاعات الصحية والصناعية، رغم تقاطعها في مفاهيم الصيانة التنبؤية وإدارة الأصول الذكية.

مبررات الدراسة الحالية

تستند أهمية هذه الدراسة إلى مجموعة من الجوانب العلمية والعملية التي تبرر الحاجة إلى إجرائها، ويمكن توضيحها على النحو الآتي:

١. الأهمية القطاعية:

كونها مجال تخصصي وكذلك تُعد شركات الأجهزة الطبية التي تعتبر ركيزة أساسية في النظام الصحي، حيث يعتمد مستوى جودة الرعاية وسلامة المرضى على كفاءة أعمال الصيانة الفنية لهذه الأجهزة الحيوية (CDA)

AMC، ٢٠٢٢) واسعاً دائماً لدراسة ما قد يطور مجال عملي والوصول لأفضل وسائل للإدارة و التأكد من تأثيرها والتقييم المستمر للأدوات لتقديم التحسينات المستمرة .

٢. الأهمية التقنية:

يشهد قطاع الصيانة الطبية توسعاً سريعاً في تطبيقات التحول الرقمي والذكاء الاصطناعي، مما يستدعي تقييماً علمياً دقيقاً لمدى تأثير هذه التقنيات على أداء الفرق الفنية وفعاليتها التشغيلية (Uçar وآخرون، ٢٠٢٤).

٣. الأهمية المنهجية:

تعتمد الدراسة على تصميم تطبيقي كمي قابل للقياس والتحليل الإحصائي، ما يتيح بناء نموذج علمي قابل للتطبيق العملي لقياس أثر التحول الرقمي على أداء فرق الصيانة.

٤. الأهمية التطبيقية:

ستساعد نتائج الدراسة الشركات والمؤسسات الصحية على تحديد أولويات التحول الرقمي والتدريب الفني، وتطوير استراتيجيات لتحسين أداء فرق الصيانة، بما يتماشى مع مستهدفات رؤية السعودية ٢٠٣٠ في رفع كفاءة التشغيل وجودة الخدمات الصحية (وزارة الصحة السعودية، ٢٠٢٣).

المنطلقات النظرية للدراسة:

مصطلحات الدراسة

١- التحول الرقمي

هو عملية شاملة تهدف إلى تحويل العمليات والإجراءات والخدمات التقليدية إلى أنشطة رقمية تعتمد على التقنيات الحديثة مثل الذكاء الاصطناعي، وإنترنت الأشياء، وتحليل البيانات، بهدف رفع الكفاءة وتحسين جودة الأداء (Mauro وآخرون، ٢٠٢٤) ويُعرّف في هذه الدراسة بأنه: مجمل الجهود والتقنيات الرقمية التي تُطبّق في شركات الأجهزة الطبية لتطوير أعمال الصيانة وتحسين سرعة الاستجابة وجودة الخدمة من خلال استخدام الأنظمة الذكية والبيانات الرقمية.

٢- الصيانة التنبؤية

هي نوع من الصيانة يعتمد على تحليل البيانات الفعلية للأجهزة باستخدام أدوات الذكاء الاصطناعي وأجهزة الاستشعار للتنبؤ بالأعطال قبل حدوثها، مما يتيح جدولة الإصلاحات في الوقت المناسب (Uçar وآخرون، ٢٠٢٤) ويُقصد بها في

هذه الدراسة: أي القدرة على استخدام التحليل التنبؤي والذكاء الاصطناعي في التنبؤ بأعطال الأجهزة الطبية بهدف تقليل فترات التوقف وتحسين كفاءة فرق الصيانة.

٣- رقمته سجلات الصيانة

تشير إلى عملية تحويل السجلات اليدوية الخاصة بأعمال الصيانة إلى سجلات إلكترونية تدار عبر أنظمة رقمية متكاملة تُتيح تتبع الأعطال والعمليات الفنية بدقة (بوخاري، ٢٠٢١؛ شركة الصالحية الطبية، ٢٠٢٣). أي هي استخدام الأنظمة الرقمية لتوثيق بيانات الصيانة وإدارة الأصول، بما يُمكن من تتبع أداء الأجهزة ومراقبة سير العمل الفني وتحليل الأعطال بشكل آلي.

٤- التطبيقات التكنولوجية الصحية

هي البرامج والمنصات الرقمية التي تُستخدم في إدارة ومتابعة عمليات الصيانة الطبية، وتشمل تطبيقات الهواتف الذكية، والأنظمة السحابية، وتقنيات الاتصال عن بُعد بين الفرق الفنية والإدارية (الشمراي، ٢٠٢٢؛ Mauro وآخرون، ٢٠٢٤). ويُقصد بها استخدام تطبيقات وبرمجيات ذكية تُسهّل عمليات المراقبة الميدانية، وتُحسّن التواصل بين أفراد فرق الصيانة والإدارة، وتدعم اتخاذ القرار الفني في الوقت الفعلي.

٥- أداء فرق الصيانة

هو مجموعة من المؤشرات التي تُقاس من خلالها كفاءة الفرق الفنية في تنفيذ مهام الصيانة الطبية، وتشمل جودة الإصلاحات، سرعة الاستجابة، وكفاءة استخدام الموارد (CDA-AMC، ٢٠٢٢) ويُعرّف في هذه الدراسة بأنه القدرة الإجمالية لفرق الصيانة الطبية على تنفيذ أعمالها بكفاءة وسرعة وجودة عالية، بما يضمن استمرارية الأجهزة الطبية وتقليل الأعطال المتكررة

٦- الكفاءة التشغيلية

تشير إلى مدى قدرة الفريق على تنفيذ مهامه الفنية بأقل تكلفة ووقت ممكن مع تحقيق نتائج دقيقة ومستدامة (بوخاري، ٢٠٢١) وفي هذه الدراسة تُعرّف بأنها قدرة فرق الصيانة على تحقيق الاستخدام الأمثل للموارد المادية والبشرية أثناء تنفيذ أعمال الصيانة دون التأثير على جودة الخدمة.

٧- سرعة الاستجابة

هي الزمن المستغرق منذ لحظة الإبلاغ عن العطل حتى بدء عملية الإصلاح أو المعالجة (CDA-AMC، ٢٠٢٢) وتُعرّف القدرة على التعامل السريع مع الأعطال الفنية وتقليص فترات التوقف عن العمل داخل المرافق الصحية.

٨- جودة الخدمة

هي مدى مطابقة خدمات الصيانة للمعايير الفنية والإجرائية المطلوبة، ومدى رضا المستخدمين النهائيين عن الخدمة المقدمة (Mauro وآخرون، ٢٠٢٤) وتعني مستوى دقة وكفاءة أعمال الصيانة المنجزة واستقرار أداء الأجهزة الطبية بعد الإصلاح.

٩- المعرفة التقنية

تشير إلى ما يمتلكه أفراد فرق الصيانة من مهارات وخبرات تقنية في التعامل مع الأجهزة والأنظمة الرقمية (Zamzam وآخرون، ٢٠٢٣) وهي مدى إلمام الفنيين بطرق الصيانة الحديثة واستخدام التقنيات الرقمية والتنبؤية في إدارة الأعطال وتحليل البيانات.

١٠- إدارة الفرق الفنية

هي مجموعة الممارسات الإدارية التي تهدف إلى تنظيم وتطوير فرق العمل الفنية بما يشمل التدريب المستمر، متابعة الأداء، وتحفيز الالتزام المهني (الشمراي، ٢٠٢٢؛ وزارة الصحة السعودية، ٢٠٢٣). تعرف على انها العمليات الإدارية الداعمة لأداء فرق الصيانة، وتشمل التدريب الدوري، التقييم المستمر، وإدارة التحديات المرتبطة بتطبيق الأنظمة الرقمية.

متغيرات الدراسة

أولاً: محاور التحول الرقمي في الصيانة الطبية

يُعد التحول الرقمي في قطاع الصيانة الطبية أحد الركائز الرئيسة لتطوير الأداء التشغيلي وضمان استدامة جودة الخدمات الصحية، إذ أصبح توظيف التقنيات الذكية والأنظمة الرقمية جزءاً لا يتجزأ من منظومة إدارة الأجهزة الطبية (Mauro وآخرون، ٢٠٢٤؛ وزارة الصحة السعودية، ٢٠٢٣). وتتجسد أبعاد التحول الرقمي في ثلاثة محاور رئيسة كما يلي:

1. الصيانة التنبؤية والذكاء الاصطناعي

يقصد بها استخدام الخوارزميات الذكية وتقنيات التعلم الآلي لتحليل بيانات الأداء الحيّة للأجهزة الطبية من أجل التنبؤ بالأعطال قبل وقوعها، بدلاً من الاعتماد على الجداول الزمنية الثابتة للصيانة الوقائية. تُسهم هذه المقاربة في تقليل الأعطال المفاجئة وفترات التوقف عن العمل، وتحسين الجداول التشغيلية لفرق الصيانة، إضافةً إلى خفض تكاليف التشغيل وزيادة الاعتمادية (Uçar وآخرون، ٢٠٢٤). وقد أظهرت دراسات علمية تطبيقية، مثل تقرير)

(CDA-AMC 2022)، أن استخدام الصيانة التنبؤية في أجهزة التصوير الطبي أدى إلى خفض الأعطال بنسبة تجاوزت ٣٠٪ وتحسين كفاءة الفريق الفني في تحليل الأسباب الجذرية للفشل. كما أشار (Zamzam وآخرون 2023) إلى أن النمذجة القائمة على التعلّم الآلي تمكّن من التنبؤ بالفشل الوظيفي بدقة عالية، ما يجعلها أداة استراتيجية لإدارة الأصول الطبية.

2. رقمته سجلات الصيانة وإدارة الأصول

تعني رقمته السجلات تحويل بيانات الصيانة التقليدية (الورقية أو اليدوية) إلى سجلات رقمية متكاملة من خلال أنظمة إدارة متخصصة تُعرف بأنظمة إدارة صيانة الأجهزة الطبية. يتيح هذا التحول تتبع الأداء التاريخي لكل جهاز، وتوثيق الإصلاحات السابقة، وجدولة الصيانة المستقبلية بصورة آلية. وتُظهر نتائج دراسات عربية مثل بوخاري (2021) وشركة الصالحية الطبية (2023) أن الرقمته تسهّل عمليات المراقبة والتخطيط وتحدّ من الفاقد الزمني والمعلوماتي في المنشآت الصحية، إذ تمكّن من تحليل الاتجاهات التشغيلية والتنبؤ بالحاجة المستقبلية للموارد. كما بيّنت (Huang وآخرون، 2024) أن رقمته بيانات الصيانة تعزز عملية اتخاذ القرار في إحلال واستبدال الأجهزة الطبية، كونها توفر قاعدة بيانات دقيقة وحديثة.

3. التطبيقات التكنولوجية الصحية

تشمل مختلف الأدوات والمنصات الرقمية التي تُستخدم في إدارة ومتابعة الصيانة الطبية، مثل تطبيقات الهواتف الذكية لتسجيل الأعطال، وبرامج المتابعة السحابية، وتقنيات الاتصال عن بُعد بين المهندسين والمستشفيات. هذه التطبيقات تمكّن من مراقبة أداء الأجهزة لحظة بلحظة، وتحسّن سرعة الاستجابة والتنسيق بين الفرق الفنية والإدارية، وتدعم التكامل بين البيانات التشغيلية والمعلومات الطبية (Mauro وآخرون، ٢٠٢٤). كما أكدت دراسة الشمراني (2022) أن تطبيقات الصحة الرقمية مثل "صحتي" أسهمت في تسريع العمليات الفنية وتحسين جودة الخدمة ورضا المستخدمين. وتشير الأدلة الميدانية في المملكة إلى أن التوسع في تطبيق الأنظمة الصحية الرقمية يتماشى مع مستهدفات رؤية السعودية ٢٠٣٠ في رفع كفاءة التشغيل وتحقيق التحول الذكي في الخدمات (وزارة الصحة السعودية، ٢٠٢٣).

ثانيًا: محاور أداء فرق الصيانة الطبية

يُعد أداء فرق الصيانة الطبية أحد العوامل الحاسمة في ضمان سلامة الأجهزة واستمرارية تقديم الخدمات العلاجية دون انقطاع. وقد تناولت الأدبيات الحديثة الأداء الفني من خلال مجموعة من الأبعاد القابلة للقياس الكمي والنوعي (CDA-AMC ، ٢٠٢٢؛ Mauro وآخرون، ٢٠٢٤)، وتشمل:

1. الكفاءة التشغيلية

تشير إلى مدى قدرة الفريق الفني على تنفيذ مهام الصيانة وفق المعايير المحددة وبأقل وقت وتكلفة ممكنة، مع الاستخدام الأمثل للموارد البشرية والمادية. تُعد الكفاءة مؤشراً محورياً في تقييم الأداء، إذ ترتبط مباشرة بمستوى الاعتمادية التشغيلية وتقليل الهدر. وقد أشار بوخاري (2021) إلى أن المؤسسات التي اعتمدت أنظمة رقمية لإدارة الصيانة شهدت ارتفاعاً ملحوظاً في معدلات الكفاءة مقارنةً بالمؤسسات التي تعتمد على النماذج اليدوية.

2. سرعة الاستجابة

تعني المدة الزمنية بين الإبلاغ عن العطل وبدء عملية الإصلاح أو الصيانة. وهي مقياس مهم يعكس مرونة الفريق وكفاءته التنظيمية، خاصة في الأجهزة الحرجة كأجهزة التخدير أو التنفس الصناعي. ووفقاً لتقرير (CDA-AMC (2022، فإن التحول الرقمي ساعد على تسريع عمليات التواصل الداخلي وتقصير زمن الاستجابة بنسبة تصل إلى ٤٠٪ في بعض المرافق الصحية.

3. جودة الخدمة

تعكس جودة الخدمة مدى دقة وكفاءة عمليات الصيانة ومدى رضا المستخدمين الداخليين من أطباء وفنيين. ويرتبط هذا البعد بقدرة الفريق على تنفيذ إصلاحات مستقرة وطويلة الأمد تقلل من الأعطال المتكررة. وأشارت دراسة (Mauro وآخرون 2024) إلى أن التحول الرقمي يساهم في رفع جودة الخدمات الفنية من خلال توحيد إجراءات العمل واعتماد مراقبة فورية للعمليات.

4. مستوى المعرفة التقنية

يقصد به مدى امتلاك أعضاء الفريق للمعرفة والمهارات اللازمة للتعامل مع الأنظمة الرقمية والتقنيات الحديثة. ويرتبط هذا البعد ارتباطاً وثيقاً بفعالية تطبيق التحول الرقمي، إذ إن ضعف التأهيل التقني يشكل أحد أبرز معوقات الصيانة الرقمية (Zamzam وآخرون، ٢٠٢٣؛ Salehiya ، ٢٠٢٣). وتوصي الدراسات بضرورة تطوير برامج تدريبية

مستمرة لرفع مستوى الكفاءة الرقمية والفنية لدى المهندسين والفنيين لضمان استدامة جودة الأداء (Uçar وآخرون، ٢٠٢٤).

ثالثاً: إدارة الفرق والعوامل التنظيمية

تُعد إدارة فرق الصيانة عاملاً مؤثراً في العلاقة بين التحول الرقمي والأداء الفني، حيث تشمل:

- التدريب المستمر الذي يرفع قدرة الفريق على التكيف مع التقنيات الحديثة (الشمراي، ٢٠٢٢).
- أنظمة متابعة الأداء التي تتيح مراقبة مؤشرات الأداء في الزمن الحقيقي عبر منصات رقمية (Mauro وآخرون، ٢٠٢٤).

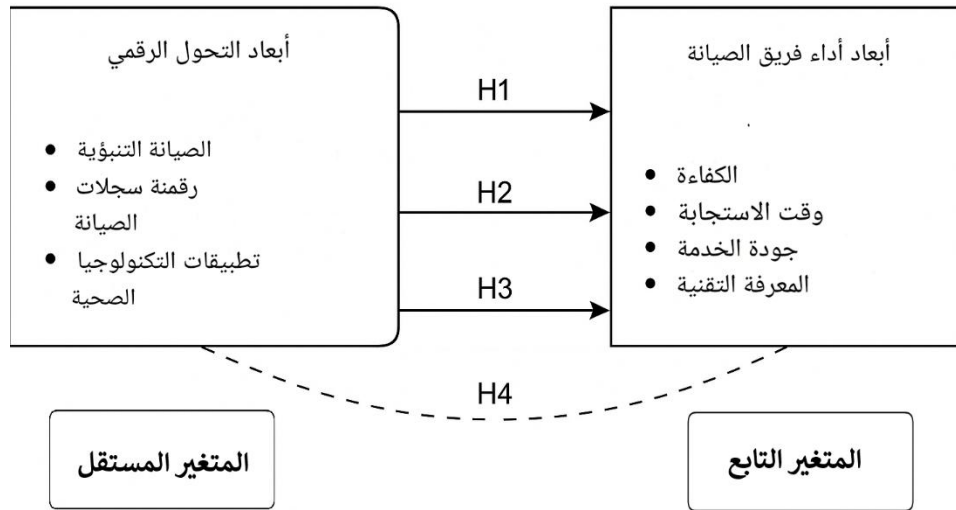
- التحديات التنظيمية والتقنية مثل مقاومة التغيير وضعف البنية الرقمية، والتي قد تؤثر سلباً على الأداء في

حال غياب الدعم المؤسسي (Zamzam وآخرون، ٢٠٢٣)

وتتفق هذه النتائج مع التوجهات الوطنية في برنامج تحول القطاع الصحي (وزارة الصحة، ٢٠٢٣) الذي يؤكد على تطوير رأس المال البشري التقني وربط الأداء التشغيلي بمنصات رقمية موحدة.

يظهر من تحليل الأدبيات أن محاور التحول الرقمي الثلاثة (الصيانة التنبؤية، رقمنة السجلات، التطبيقات التكنولوجية الصحية) تُعدّ المحرك الأساس لتطوير أداء فرق الصيانة في أبعادها الأربعة (الكفاءة، سرعة الاستجابة، جودة الخدمة، والمعرفة التقنية). وأن فعالية هذا التحول تعتمد بدرجة كبيرة على جاهزية العنصر البشري وقدرته على التفاعل مع الأنظمة الرقمية، وهو ما يتوافق مع أهداف رؤية السعودية ٢٠٣٠ الرامية إلى رفع كفاءة القطاع الصحي من خلال الرقمنة والتكامل التقني (وزارة الصحة السعودية، ٢٠٢٣؛ Salehiya، ٢٠٢٣).

نموذج الدراسة



المنهجية وطرق البحث:

منهج الدراسة

تعتمد الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي باعتباره الأنسب لدراسة الظواهر الإدارية والتقنية وتحليل العلاقات بين المتغيرات كما هي في الواقع، دون تدخل مباشر من الباحث. يُستخدم هذا المنهج لوصف واقع تطبيق التحول الرقمي في شركات الأجهزة الطبية وتحليل أثره على أداء فرق الصيانة الفنية من خلال جمع البيانات الميدانية وتحليلها إحصائياً لاستخلاص العلاقات والدلالات العلمية إذ تهدف إلى قياس العلاقة بين المتغير المستقل (التحول الرقمي) والمتغير التابع (أداء فرق الصيانة الطبية)، اعتماداً على بيانات كمية تُجمع عبر استبانة ميدانية وتحلل باستخدام الأساليب الإحصائية المناسبة.

مجتمع وعينة الدراسة:

يتكوّن مجتمع الدراسة من جميع الشركات والمؤسسات العاملة في مجال توريد وصيانة الأجهزة الطبية داخل المملكة العربية السعودية، والتي تمتلك أقساماً فنية متخصصة بالصيانة الدورية والتوصيحية للأجهزة الطبية في المستشفيات والمراكز الصحية، مع التركيز خصوصاً على الشركات التي تخدم منشآت منطقة الرياض.

1. الخلفية الإحصائية للقطاع الصحي والأجهزة الطبية في المملكة

- يُعدّ قطاع الأجهزة الطبية في المملكة الأكبر في منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا؛ حيث قُدّرت قيمة سوق الأجهزة الطبية بحوالي 20 مليار ريال سعودي في عام ٢٠٢٠.

- وتشير تقديرات حديثة إلى أن قيمة سوق الأجهزة الطبية في السعودية بلغت تقريبًا ٦,٢٩ مليار دولار في ٢٠٢٤ مع توقع نموها إلى نحو 9.96 مليار دولار بحلول ٢٠٣٤ بمعدل نمو سنوي مركب يقارب ٤,٧ %.
- على مستوى التصنيع، بلغ عدد مصانع الأدوية والأجهزة الطبية في المملكة ٢٠٦ مصنعًا حتى عام ٢٠٢٤، بإجمالي استثمارات تقارب ١٠ مليارات ريال، ما يعكس توسعًا ملحوظًا في الصناعة المرتبطة بالأجهزة الطبية وخدماتها.

2. حجم القطاع الصحي الذي تخدمه هذه الشركات (خاصة في الرياض)

- يوجد في المملكة حوالي ٥٠٤ مستشفيات (حسب بيانات ٢٠٢٠)، منها ٢٨٧ مستشفى تابعة لوزارة الصحة، و ٥٠ مستشفى لجهات حكومية أخرى، و ١٦٧ مستشفى للقطاع الخاص
- منطقة الرياض تمثل إحدى أكبر التجمعات الصحية في المملكة؛ فمثلًا يشير تجمع صحة الرياض الأول إلى أنه يخدم أكثر من 3.9 مليون مستفيد من خلال 157 مركز رعاية أولية إضافة إلى مدينة طبية ومستشفيات تابعة، ما يعكس كثافة المنشآت الصحية التي تعتمد على أنظمة صيانة متقدمة للأجهزة الطبية.
- 3. مجتمع الشركات المستهدفة إحصائيًا

استنادًا إلى البيانات المتاحة من هيئة الغذاء والدواء السعودية (SFDA)، توجد مئات المنشآت المرخصة في مجال الأجهزة الطبية (مصنّعون، مستوردون، موزعون، وكلاء معتمدون) مدرجة في قوائم المنشآت المرخصة للأجهزة الطبية.

وبناءً على ذلك، يمكن تعريف مجتمع الدراسة إجرائيًا كما يلي:

يتكوّن مجتمع الدراسة من جميع الشركات والمؤسسات المسجلة والمرخصة في المملكة العربية السعودية للعمل في أنشطة توريد وتركيب وصيانة الأجهزة الطبية، والتي تمتلك فرقًا فنية أو إدارات صيانة مسؤولة عن الصيانة الدورية والتصحيحية للأجهزة الطبية في المستشفيات والمراكز الصحية، مع التركيز على الشركات التي تقدم خدماتها لمنشآت الرعاية الصحية في منطقة الرياض.

أما عينة الدراسة فتشمل مجموعة من المهندسين والفنيين ومديري الصيانة العاملين في هذه الشركات، وذلك لقياس أثر تطبيق التحول الرقمي على أدائهم الفني والإداري وسيتم اختيار العينة بطريقة عشوائية طبقية لضمان تمثيل مختلف فئات الشركات (كبيرة، متوسطة، صغيرة)، على أن يبلغ حجم العينة المبدئي نحو (١٥٠-٢٠٠ مفردة) وفقًا لإمكانات التحليل الإحصائي واختبار الفرضيات.

أدوات الدراسة:

تعتمد الدراسة على الاستبانة (Questionnaire) كأداة رئيسة لجمع البيانات، حيث تُصمم بنودها وفق مقياس ليكرت الخماسي (من "أوافق بشدة" إلى "لا أوافق بشدة")، وتقيس محورين أساسيين:

١. التحول الرقمي (المتغير المستقل)

ويُقاس من خلال ثلاثة أبعاد رئيسة:

- الصيانة التنبؤية.
- رقمنة سجلات الصيانة.
- التطبيقات التكنولوجية الصحية.

٢. أداء فرق الصيانة الطبية المتغير التابع:

ويُقاس عبر أربعة أبعاد رئيسة:

- الكفاءة التشغيلية.
- سرعة الاستجابة.
- جودة الخدمة.
- المعرفة التقنية.

تم بناء بنود الأداة استنادًا إلى الدراسات السابقة (Uçar وآخرون، ٢٠٢٤؛ Mauro وآخرون، ٢٠٢٤؛ CDA-AMC ،

٢٠٢٢؛ بوخاري، ٢٠٢١) مع تكييفها لتناسب البيئة المحلية السعودية.

كما ستخضع الأداة إلى اختبار الصدق والثبات وفق المعايير التالية:

- الصدق باستخدام معامل ارتباط بيرسون (Pearson Correlation)
- الثبات باستخدام معامل كرونباخ ألفا (Cronbach's Alpha) للتأكد من الاتساق الداخلي لبنود الاستبانة.

أساليب التحليل الإحصائي

سُتُحلل البيانات باستخدام البرنامج الإحصائي و (SPSS) - excel، من خلال الأساليب التالية:

١. الإحصاءات الوصفية: (Descriptive Statistics)

- المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والانحراف النسبي لوصف خصائص العينة.

٢. اختبارات الصدق والثبات. (Validity & Reliability Tests)

٣. تحليل الارتباط بيرسون (Pearson Correlation) لاختبار العلاقة بين المتغيرات.
٤. الانحدار الخطي البسيط والمتعدد (Simple & Multiple Regression) لقياس أثر التحول الرقمي بأبعاده الثلاثة على أداء فرق الصيانة.

حدود الدراسة

تخضع هذه الدراسة لعدد من الحدود التي تحدد نطاقها الزمني والمكاني والمنهجي كما يلي:

١. الحدود المكانية: تقتصر الدراسة على شركات الأجهزة الطبية العاملة داخل المملكة العربية السعودية، وخاصة الشركات المعتمدة من وزارة الصحة السعودية.
٢. الحدود الزمنية: تُجرى الدراسة خلال العام 2025م، وتشمل البيانات المستقاة من المشاركين في تلك الفترة.
٣. الحدود البشرية: المهندسين والفنيين ومديري الصيانة العاملين في شركات الأجهزة الطبية.
٤. الحدود الموضوعية: تتمحور حول دراسة أثر التحول الرقمي (الصيانة التنبؤية، رقمنة السجلات، التطبيقات التكنولوجية) على أداء فرق الصيانة (الكفاءة، سرعة الاستجابة، جودة الخدمة، المعرفة التقنية)، ولا تتناول الجوانب الإدارية أو المالية أو التسويقية لتلك الشركات.

المراجع

- وزارة الصحة السعودية. (2023). برنامج تحول القطاع الصحي في المملكة العربية السعودية (رؤية ٢٠٣٠). الرياض: وزارة الصحة. <https://www.vision2030.gov.sa/ar/programs/HSTP>
- شركة الصالحية الطبية. (2023). دور التحول الرقمي للأجهزة الطبية في تطوير المستشفيات. الرياض: شركة الصالحية الطبية. <https://www.salehiya.com/ar/whitepapers/digital-transformation-in-medical-devices>
- الشمراني، أ. م. (2022). دور تطبيق "صحتي" في تطوير الخدمات الصحية الرقمية في المملكة العربية السعودية. مجلة العلوم الإدارية، ١٩(٢)، ٤٤-٦١. <https://www.marefa.org>
- بوخاري، م. ر. (2021). منهجية مقترحة لتطبيق أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي في المنشآت الصحية. المجلة الجزائرية للمهندسة الصناعية، ٧(٣)، ١١٥-١٣٠. <https://www.asjp.cerist.dz/en/article/153874>

مراجع انجليزية

1. Uçar, A., Karaköse, M., & Kırımça, N. (2024). Artificial intelligence for predictive maintenance applications: Key components, trustworthiness, and future trends. Applied Sciences, 14(13), 5472. MDPI. <https://doi.org/10.3390/app14135472>
2. CDA-AMC. (2022). Predictive maintenance for medical imaging equipment [White paper]. CDA—Advanced Medical Center. <https://www.cda-amc.ca/predictive-maintenance-medical-imaging.pdf>
3. Mauro, M., Noto, G., Prenestini, A., & Sarto, F. (2024). Digital transformation in healthcare: Assessing the role of digital technologies for managerial support processes. Technological Forecasting and Social Change, 197, 122–168.
 - a. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.122168>

4. Huang, L., Lv, W., Huang, Q., Lin, L., & Guo, Y. (2024). Transforming medical equipment management in digital public health: A decision-making model for medical equipment replacement. *Frontiers in Medicine*, 11, 1457320.
 - a. <https://doi.org/10.3389/fmed.2024.1457320>
5. Zamzam, A. H., Elbeltagi, E., & Eltawil, A. B. (2023). Integrated failure analysis using machine learning for predictive maintenance in industrial systems. *Engineering Failure Analysis*, 155, 107564. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2023.107564>
6. Huang, L., Lv, W., Huang, Q., Zhang, H., Jin, S., Chen, T., & Shen, B. (2024). Transforming medical equipment management in digital public health: a decision-making model for medical equipment replacement. *Frontiers in Medicine*, 10, 1239795.
7. Nikam, S. T., Jadhav, B., & Lal, M. (2025). Predictive Maintenance for Medical Equipment Using AI-Powered Digital Twins. In *Accelerating Product Development Cycles With Digital Twins and IoT Integration* (pp. 131-154). IGI Global Scientific Publishing.
8. <https://www.oracle.com/sa-ar/scm/ai-predictive-maintenance>
9. <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/2/898>