

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

The Impact of Digital Transformation on Developing the Performance of Medical Maintenance Teams in Medical Device Companies in Saudi Arabia

اسم الطالب/

م. كنان الخالدي

المشرف الثاني

د. فايز جراد

المشرف الرئيسي

د. الفيصل عبد الحميد

العام الجامعي

2026

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

إهداء

إلى والدي الكريمين،

نبرس حباتي، وسند روحي، ومصدر بركتي.

إلى والدي لطيفة أكنوته، التي غرست في قلبي حب العلم، وزرعت في روحي الطمأنينة والإيمان.

وللى والدي العزيز، الذي غلطني قوة العزيمة، ومعنى الثبات، وكيف يكون للمرء صاحب أثر له صاحب مرور.

إلى زوجتي العزيزة،

رفيقة الدرب، ونض القلب، وود عمي الأول في كل خطوة.

شكراً لصبرك، ووقوفك لي جانبي، ولكل لحظة سكنت فيها قلبي قوة قبل أن تكوني سنداً.

وهدي هذا الإنجاز امتناناً ومحبة.

وللى أبنائي الغاليين،

أحمل عطايا الله، وسبب طمحي المتجدد في كل صباح.

أتمنى لكم الذي أتمنى لأحلامي، والنور الذي يبدو عني عناء الطريق.

أرجو أن يكون هذا الإنجاز ورشاً لكم في الإصرار، ورسالة بأن الله يحسن طريق الوصول،

وأن تصنعوا لأنفسكم مستقبلًا يليق بقلوبكم النقية وطموحكم الكبيرة.

إلى أستاذتي الأفاضل،

مصائب الطريق، وأصحاب الفضل بعد الله.

كان لتوجيهاتكم، وتوجيهاتكم، ورعاية علمكم الأثر الأكبر في إتمام هذا العمل.

إلى زملائي وأصدقائي،

الذين شاركوني التحديات، واحتفلوا معي بالنجاحات، وساندوني بكلمة صادقة أو دعم كريم.

لن أنسى أثر وجودكم في هذه الرحلة.

وأخيراً،

إلى كل من ساهم، ولو بقدر يسير، في عملي وتشجيعي وإيمانه بقديتي...

وهدي هذا العمل المتواضع، راجعاً من الله أن يجعله بداية طريق مليء بالإنجازات والتوفيق.

شكر و تقدير

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات، والصلاة والسلام على سيد الخلق محمد، وعلى آله وصحبه أجمعين.

أقدم بخالص آيات الشكر والتقدير إلى والديَّ العزيزين، اللذين كانا العون والسند والدعم الأعظم في مسيرة حياتي العلمية والعملية. لقد كان لدعائهما، ورعايتهما، وإيمانهما بي الأثر الأكبر في الوصول إلى هذا الإنجاز وتحقيق هذا التفوق، فلما مني كل الانتان والمحبة. كما أرفع أسمى كلمات الشكر إلى زوجتي الغالية، رفيقة الدرب وشريكة النجاح، التي منحتني صبرها، وتفهمها، ودعمها المتواصل طوال فترة إعداد هذا البحث. لقد كان لحضوبها الداعم دور جوهري في تجاوز الصعوبات، والمضي بثبات نحو إتمام هذا العمل.

ولا يفوتني أن أتوجه بحجـل الشكر والتقدير إلى أساتذتي الأفاضل، وعلى رأسهم مشرفي الكريم د. الفـصل عبد الحميد محمد حسن،

و

د. فايز جراد،

على ما قدمه لي من توجيهات بناءة، ونصح علمي رصين، وملاحظات ثرية ساعدتني على تعميق فهمي لموضوع البحث وصقل نتائجـه. لقد كان لعلمهم، وتوجيههم، وحرصهم على جودة العمل أثر بالغ في إتمام هذا البحث بالشكل اللائق.

كما أعبر عن بالغ انتناني لزملائي وأصدقائي الأعزاء، الذين كانوا خير رفاقٍ في دروب العلم والعمل، وشاركوني التحديات والنجاحات. لقد كان لدعمهم وتشجيعهم المستمر دور مهم في تعزيز عزمي وتخطي العقبات.

وفي الختام، أتوجه بالشكر لكل من أسهم، بأي شكل من الأشكال، في إنجاح هذا العمل؛ لكل من قدم كلمة دعم، أو نصيحة صادقة، أو ساعد في تسهيل مهمة من المهمات. أسأل الله أن يجعل هذا الجهد خالصاً لوجهه الكريم، وأن ينفع به، ويوفقنا جميعاً لما فيه الخير والصواب.

فهرس المحتويات

إهداء	ج
شكر و تقدير	د
جدول الجداول	ز
المستخلص	ح
الفصل الأول: الإطار العام للدراسة	1
مقدمة.....	1
مشكلة الدراسة	3
أسئلة الدراسة.....	4
فرضيات الدراسة	5
أهداف الدراسة	6
أهمية الدراسة	7
حدود الدراسة.....	8
مصطلحات الدراسة	9
نموذج الدراسة	12
الفصل الثاني: الإطار النظري والدراسات السابقة.....	14
المبحث الأول: مفهوم التحول الرقمي وأبعاده النظرية.....	14
المبحث الثاني: الصيانة التنبؤية والذكاء الاصطناعي في القطاع الصحي	21
المبحث الثالث: رقمنة سجلات الصيانة وأنظمة إدارة الأصول الطبية	26
المبحث الرابع: التطبيقات التكنولوجية الصحية وأثرها على الصيانة	31
المبحث الخامس: أداء فرق الصيانة الطبية ومؤشرات قياسه	34
المبحث السادس: الدراسات السابقة والتعقيب عليها	38
المبحث السابع: الفجوة البحثية وموقع الدراسة الحالية منها	45
الفصل الثالث: منهجية البحث	48
المبحث الأول: المنهج البحثي	48
المبحث الثاني: مجتمع الدراسة وعينتها	50

52	المبحث الثالث: أداة جمع البيانات.....
57	المبحث الرابع: صدق الاستبانة وثباتها
60	المبحث الخامس: الأساليب الإحصائية المستخدمة.....
63	المبحث السادس: الخصائص الديموغرافية لعينة الدراسة.....
68	الفصل الرابع: تحليل النتائج ومناقشتها.....
68	المبحث الأول: الخصائص الديموغرافية لعينة الدراسة.....
71	المبحث الثاني: الإحصاء الوصفي لمحاوّر التحول الرقمي.....
74	المبحث الثالث: الإحصاء الوصفي لمحاوّر أداء فرق الصيانة الطبية.....
78	المبحث الرابع: تحليل العلاقة الارتباطية بين التحول الرقمي وأداء فرق الصيانة.....
80	المبحث الخامس: اختبار فرضيات الدراسة.....
85	المبحث السادس: مناقشة النتائج وتفسيرها
89	الفصل الخامس: الاستنتاجات والتوصيات وآفاق البحث المستقبلي
89	المبحث الأول: ملخص الدراسة وإجراءاتها
90	المبحث الثاني: استنتاجات الدراسة.....
92	المبحث الثالث: توصيات الدراسة
96	المبحث الرابع: محددات الدراسة وقيودها.....
97	المبحث الخامس: مقترحات الدراسات المستقبلية.....
99	الخاتمة
100	قائمة المراجع والمصادر
103	الملاحق

جدول الجداول

24	جدول 1 خوارزميات التعلم الآلي
37	جدول 2 المعايير المرجعية الدولية لمؤشرات أداء الصيانة الطبية
38	جدول 3 مصفوفة تأثير أبعاد التحول الرقمي في أبعاد الأداء
52	جدول 4 توزيع العينة على طبقات مجتمع الدراسة
56	جدول 5 مقياس ليكرت الخماسي المُعتمد
57	جدول 6 مستويات تفسير المتوسطات الحسابية
58	جدول 7 توزيع لجنة التحكم
59	جدول 8 معايير تفسير معامل ألفا كرونباخ
60	جدول 9 معاملات ثبات ألفا كرونباخ للاستبانة
62	جدول 10 معيار تفسير معامل ارتباط بيرسون
64	جدول 11 توزيع العينة وفق الجنس
64	جدول 12 توزيع العينة وفق المؤهل العلمي
65	جدول 13 توزيع العينة وفق التخصص الوظيفي
65	جدول 14 توزيع العينة وفق سنوات الخبرة في قطاع الأجهزة الطبية
66	جدول 15 توزيع العينة وفق حجم الشركة (عدد الموظفين)
66	جدول 16 توزيع العينة وفق مستوى التحول الرقمي في الشركة (تقييم ذاتي)
69	جدول 17 توزيع أفراد عينة الدراسة وفق المسمى الوظيفي
69	جدول 18 توزيع أفراد عينة الدراسة وفق سنوات الخبرة
70	جدول 19 توزيع أفراد عينة الدراسة وفق حجم الشركة
70	جدول 20 توزيع أفراد العينة وفق استخدام الأنظمة الرقمية
71	جدول 21 المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد الصيانة التنبؤية
72	جدول 22 المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد رقمنة سجلات الصيانة
73	جدول 23 المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد التطبيقات التكنولوجية الصحية
74	جدول 24 ملخص الإحصاء الوصفي لأبعاد التحول الرقمي مُرتبةً تنازلياً
75	جدول 25 المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد الكفاءة التشغيلية
76	جدول 26 المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد سرعة الاستجابة
77	جدول 27 المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد جودة الخدمة
77	جدول 28 المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد المعرفة التقنية
78	جدول 29 ملخص الإحصاء الوصفي لأبعاد أداء فرق الصيانة مُرتبةً تنازلياً
79	جدول 30 مصفوفة معاملات ارتباط بيرسون بين أبعاد التحول الرقمي وأبعاد الأداء (ن=400)
81	جدول 31 نتائج الانحدار البسيط للصيانة التنبؤية على أداء فرق الصيانة (ن=400)
82	جدول 32 نتائج الانحدار البسيط لرقمنة سجلات الصيانة على أداء فرق الصيانة (ن=400)
83	جدول 33 نتائج الانحدار البسيط للتطبيقات التكنولوجية الصحية على أداء فرق الصيانة (ن=400)
84	جدول 34 ملخص نموذج الانحدار الخطي المتعدد
84	جدول 35 معاملات الانحدار الخطي المتعدد للتحول الرقمي على أداء فرق الصيانة
85	جدول 36 ملخص نتائج اختبار فرضيات الدراسة الأربع
92	جدول 37 ملخص الاستنتاجات المستخلصة من اختبار فرضيات الدراسة

المستخلص

تتناول هذه الدراسة ظاهرة التحول الرقمي في قطاع الأجهزة الطبية بالمملكة العربية السعودية، وتسعى إلى استجلاء أثره على تطوير أداء فرق الصيانة الطبية العاملة في هذا القطاع الحيوي. وتنطلق الدراسة من مسلمة نظرية مفادها أن التحول الرقمي لم يعد خياراً تنافسياً بل ضرورة استراتيجية فرضتها متغيرات البيئة الصحية المعاصرة وتوجهات رؤية المملكة 2030، لا سيما في ظل تنامي الاعتماد على الأجهزة الطبية المتطورة وارتفاع تكلفة توقفها عن العمل.

يتمحور المتغير المستقل في الدراسة حول ثلاثة أبعاد متكاملة للتحول الرقمي: الصيانة التنبؤية القائمة على الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء، ورقمنة سجلات الصيانة عبر أنظمة إدارة الصيانة المحوسبة، والتطبيقات التكنولوجية الصحية الميدانية. في حين يتوزع المتغير التابع على أربعة أبعاد لقياس أداء الفرق الفنية: الكفاءة التشغيلية، وسرعة الاستجابة، وجودة الخدمة، والمعرفة التقنية.

وتستند الدراسة نظرياً إلى ثلاثة أطر مرجعية متكاملة: إطار TOE لتفسير ديناميكيات تبني التكنولوجيا على المستوى المؤسسي، ونموذج قبول التكنولوجيا TAM لاستيعاب الأثر الفردي للتبني الرقمي، وسلسلة قيمة بورتر لتحديد موقع الصيانة الطبية في المنظومة الاستراتيجية للمؤسسة. وتعتمد الدراسة المنهج الوصفي التحليلي الكمي أداة للإجابة عن أسئلتها واختبار فرضياتها على عينة ممثلة من العاملين في شركات الأجهزة الطبية السعودية.

الكلمات المفتاحية: التحول الرقمي، الصيانة التنبؤية، رقمنة السجلات، التطبيقات التكنولوجية الصحية، أداء فرق الصيانة، الأجهزة الطبية، المملكة العربية السعودية.

الفصل الأول: الإطار العام للدراسة

مقدمة

يعيش العالم اليوم منعطفًا حضاريًا وتقنيًا بالغ الأثر، يُعبّر عنه بمصطلح "التحول الرقمي"، الذي بات يُشكّل الإطار الجامع لكل التحولات الجذرية التي تطرأ على طرائق العمل والإنتاج وتقديم الخدمات في مختلف قطاعات الاقتصاد والمجتمع. فبعد أن كانت التقنية أداة مساعدة يُستعان بها في حدود ضيقة، أضحت اليوم العمود الفقري الذي تقوم عليه الاستراتيجيات المؤسسية الكبرى، ومحركًا جوهريًا لإعادة تصميم النماذج الإدارية والتشغيلية من أساسها. وفي قلب هذا التحول تتصدر المشهد تقنيات متقدمة كإنترنت الأشياء (IoT) الذي يُتيح ربط الأجهزة والأنظمة ببعضها البعض وتبادل البيانات في الوقت الفعلي، والبيانات الضخمة التي تُوفّر قاعدة تحليلية هائلة تُعين على استخلاص أنماط وتوجهات دقيقة، والحوسبة السحابية التي أزلت حواجز التخزين والمعالجة التقليدية، والتعلم الآلي والذكاء الاصطناعي (Machine Learning / AI) الذي مكّن الأنظمة من التعلم الذاتي واتخاذ قرارات مستقلة بدقة متصاعدة. وهذا التحول في مجمله لم يقتصر على تحسين الكفاءة التشغيلية فحسب، بل امتد ليشمل نماذج جديدة لاتخاذ القرار، وأتمتة شاملة للعمليات، وتطوير خدمات قائمة على التحليل التنبؤي بهدف خفض التكلفة وزيادة الاعتمادية (Uçar وآخرون، 2024).

ولعل أكثر القطاعات التي يتجلى فيها أثر التحول الرقمي بصورة استراتيجية وإنسانية في آنٍ واحد هو قطاع الرعاية الصحية، إذ لا يتعلق الأمر هنا بمجرد الارتقاء بالأداء المؤسسي أو ترشيد التكاليف، بل يمتد التأثير ليصل إلى صميم سلامة المرضى وجودة الرعاية المقدمة لهم وإدارة الموارد الصحية الحيوية. وقد بادرت دول ومنظمات صحية كبرى على مستوى العالم إلى إطلاق مبادرات وطنية وإقليمية طموحة لرقمنة السجلات الصحية الإلكترونية، وربط الأنظمة الصحية المتباينة في منصات موحدة، وإنشاء قواعد بيانات مشتركة تُيسّر التكامل بين الخدمات وتفتح المجال أمام حلول ذكية متكاملة تدعم التشخيص الدقيق والمتابعة المستمرة وإدارة الأصول الطبية باحترافية عالية. وفي هذا السياق تبرز المملكة العربية السعودية نموذجًا رائدًا على المستوى الإقليمي، حيث وضعت رؤية 2030 الرقمنة في طليعة ركانئها لرفع كفاءة المنظومة الصحية وتحقيق تحول نوعي شامل في أسلوب تقديم الرعاية وإدارتها (وزارة الصحة السعودية، 2023).

وضمن هذه المنظومة الصحية المتطورة، تحتل إدارة صيانة الأجهزة الطبية مكانةً محوريةً لا يمكن إغفالها أو التهاون في شأنها، فهي الضمانة الأولى لاستمرارية تقديم الخدمات الصحية وصون سلامة المرضى والعاملين على حدٍ سواء. والأجهزة الطبية في طبيعتها تتفاوت بين أجهزة التصوير التشخيصي الضخمة كأجهزة الأشعة المقطعية (CT Scan) والرنين المغناطيسي (MRI)، ومعدات غرف العمليات والعناية المركزة ذات الحساسية الشديدة والحيوية القصوى. وكل هذه الأجهزة تستلزم برامج صيانة محكمة ومنتظمة تكفل الوقاية من الأعطال المفاجئة وتُقلّص فترات التوقف عن العمل إلى أدنى حدودها الممكنة. وقد اعتمد النهج التقليدي لإدارة الصيانة على جداول زمنية مسبقة وفحوص دورية وفق روتين ثابت، وهو نهج وإن كان قد أدى غرضه في حقبة سابقة، إلا أنه بات اليوم قاصراً من الناحيتين الاقتصادية والتقنية، إذ لا يستثمر البيانات الهائلة التي تولّدها الأجهزة أثناء تشغيلها، ولا يستطيع استباق الأعطال قبل وقوعها بالاستناد إلى مؤشرات الأداء الفعلية (Mauro وآخرون، 2024).

وفي هذا السياق بالذات يتداخل التحول الرقمي مع منظومة الصيانة الطبية ليحدث فيها نقلةً نوعية جوهريّة، من خلال إدخال مفاهيم متطورة في مقدمتها الصيانة التنبؤية (Predictive Maintenance) القائمة على تحليل البيانات الحية للأجهزة، والتوأم الرقمي (Digital Twins) الذي يُتيح محاكاة الجهاز رقمياً وتتبع حالته في الزمن الحقيقي، وأنظمة مراقبة الحالة (Condition Monitoring) عبر حساسات مترابطة تقيس متغيرات الأداء من درجات حرارة واهتزازات وضغط بصفة مستمرة. وتعمل تطبيقات الذكاء الاصطناعي على تحليل هذه البيانات المتدفقة واستخلاص أنماط دقيقة تُنذر بالأعطال قبل وقوعها، فتمنح فرق الصيانة الفرصة للتدخل المبكر المدروس بدلاً من الاستجابة التفاعلية المرتبكة بعد وقوع العطل. وقد أثبتت التطبيقات الميدانية أن هذه المقاربة تُخفّض زمن التوقف عن العمل بصورة ملموسة، وتُقلّص الحاجة إلى قطع الغيار الطارئة ذات التكاليف الباهظة، وتُحسّن جداول أعمال الفرق الفنية وتُتيح لها التخطيط المنهجي بدلاً من الاشتغال الدائم بالأزمات (Huang وآخرون، 2024).

وقد وثّقت الأدبيات الحديثة تنامياً لافتاً في اعتماد تقنيات الصيانة التنبؤية المعتمدة على الذكاء الاصطناعي (AI-PdM) وتناولت بالتحليل مكوناتها الجوهرية ومتطلبات تطبيقها وفرصها الواعدة، مشيرةً في الوقت ذاته إلى تحديات موثوقة هذه الأنظمة وحماية خصوصية البيانات ومتطلبات التكامل مع بيانات الرعاية الصحية

الراهنة (Uçar وآخرون، 2024). كما أكدت دراسة Canadian Agency for Drugs and Technologies in Health (2020) أن استخدام الصيانة التنبؤية في أجهزة التصوير الطبي أسهم في خفض الأعطال غير المخططة بنسب كبيرة، وتحسين موثوقية الأجهزة، وإطالة عمرها الافتراضي. وفي السياق السعودي تحديدًا، أثبتت دراسة القهطاني وآخرون (2022) المتعلقة بجاهزية المستشفيات في المنطقة الشرقية للتحويل الصحي الرقمي أن بُعد التحليلات التنبؤية كان الأقل تطبيقًا مقارنةً بالأبعاد الأخرى، وهو ما يكشف عن فجوة حقيقية تستوجب المعالجة البحثية المنهجية.

وعلى الرغم من هذه الطفرة الواضحة في تطبيقات التحويل الرقمي داخل الأنظمة الصحية العالمية، تظل الدراسات التطبيقية التي تربط بصورة مباشرة بين هذا التحويل وأداء فرق الصيانة الطبية في الشركات المزودة للأجهزة محدودةً، ولا سيما في السياق السعودي والخليجي الذي يتسم بخصوصية تنظيمية وتقنية وبشرية متميزة. وهنا يظهر المبرر العلمي الجوهري لهذه الدراسة: الكشف عن الكيفية التي تؤثر بها عناصر التحويل الرقمي مجتمعةً ومنفردةً على كفاءة إدارة الصيانة للأجهزة الطبية وعلى أداء الفرق الفنية المنوط بها هذه الإدارة، بما يُعزز الاعتمادية التشغيلية ويُقلّص المخاطر والتكاليف، ويُسهم في تحقيق المستهدفات الوطنية للتحويل الصحي الرقمي (Zamzam وآخرون، 2023).

مشكلة الدراسة

يشهد قطاع الأجهزة الطبية في المملكة العربية السعودية وعلى المستوى العالمي تحولاً متسارعاً نحو الرقمنة واعتماد التكنولوجيا الحديثة في شتى جوانب العمل، بما فيها تطبيقات الذكاء الاصطناعي والصيانة التنبؤية وأنظمة إدارة الأصول الرقمية، وذلك بهدف تحسين جودة الصيانة واستدامة أداء الأجهزة وتقليل التكاليف التشغيلية. وقد رصدت الأدبيات العلمية الحديثة هذا التحول وأكدت على الإمكانيات الكبيرة التي يُتيحها لتطوير الأداء الفني والتشغيلي (Uçar وآخرون، 2024)؛ (Huang وآخرون، 2024)

غير أن الواقع الميداني يكشف في الوقت ذاته عن تحديات جوهريّة تعيق استثمار هذا التحويل على النحو الأمثل، تتجلى في عدة مظاهر متشابكة: فمن جهة تعاني كثير من شركات الأجهزة الطبية من ضعف الاستفادة الفعلية من أدوات التحويل الرقمي المتاحة بسبب القصور في البنية التحتية الرقمية أو ضعف الوعي

بإمكاناتها، ومن جهة أخرى يتفاوت مستوى كفاءة فرق الصيانة تفاوتاً ملحوظاً يعكس اختلافات في التأهيل التقني والتدريب الرقمي، فضلاً عن شح الأدوات الرقمية المتكاملة الداعمة لعمليات الصيانة في مؤسسات بعضها. وتزداد حدة هذه الإشكالية في السياق السعودي بالنظر إلى طموحات رؤية 2030 في رفع كفاءة المنظومة الصحية وتحقيق التحول الرقمي المتكامل (وزارة الصحة السعودية، 2023).

وفي ضوء ما سبق، ونظراً لمحدودية الدراسات العربية والتطبيقية التي تناولت العلاقة بين التحول الرقمي وأداء فرق الصيانة الطبية في شركات الأجهزة الطبية تحديداً، تتبلور مشكلة الدراسة في التساؤل الرئيس الآتي:

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

أسئلة الدراسة

انبثقت عن التساؤل الرئيس السابق جملة من التساؤلات الفرعية التي تسعى الدراسة إلى الإجابة عنها بصورة تحليلية تفصيلية، وذلك على النحو الآتي:

التساؤل الفرعي الأول: ما أثر الصيانة التنبؤية المعتمدة على الذكاء الاصطناعي وأجهزة الاستشعار الرقمية على تحسين أداء فرق الصيانة الطبية من حيث الكفاءة التشغيلية وسرعة الاستجابة وجودة الخدمة ومستوى المعرفة التقنية في شركات الأجهزة الطبية العاملة بالمملكة العربية السعودية؟

التساؤل الفرعي الثاني: إلى أي مدى تُسهم رقمنة سجلات الصيانة وتحويلها إلى أنظمة إلكترونية متكاملة في رفع كفاءة فرق الصيانة الطبية وتقليل الأعطال المتكررة وتحسين جودة توثيق العمليات الفنية؟

التساؤل الفرعي الثالث: ما الدور الذي تؤديه التطبيقات التكنولوجية الصحية في تسهيل أعمال الصيانة الميدانية وتعزيز سرعة الاستجابة وتحسين التنسيق بين الفرق الفنية والإدارة؟

التساؤل الفرعي الرابع: ما أكثر محاور التحول الرقمي الثلاثة تأثيراً في تطوير أداء فرق الصيانة الطبية، وهل يختلف هذا التأثير باختلاف حجم الشركة ومستوى خبرة الفنيين؟

التساؤل الفرعي الخامس: ما التوصيات العملية المقترحة لتعزيز تطبيق التحول الرقمي بما ينعكس إيجاباً ولملموساً على أداء فرق الصيانة الطبية في بيئة الشركات الصحية السعودية؟

فرضيات الدراسة

استناداً إلى الإطار النظري لمفاهيم التحول الرقمي وإدارة أداء الفرق الفنية، وبناءً على ما أرسته الدراسات السابقة من علاقات موثقة بين متغيرات الدراسة المختلفة، يُمكن صياغة فرضيات الدراسة على مستويين متكاملين: الفرضية الأساسية الجامعة، والفرضيات الفرعية المنبثقة عنها.

أولاً: الفرضية الأساسية

يوجد تأثير إيجابي ذو دلالة إحصائية عند مستوى دلالة ($\alpha \leq 0.05$) للتحول الرقمي بأبعاده الثلاثة، المتمثلة في الصيانة التنبؤية ورقمنة سجلات الصيانة والتطبيقات التكنولوجية الصحية، على تطوير أداء فرق الصيانة الطبية في شركات الأجهزة الطبية العاملة بالمملكة العربية السعودية.

ثانياً: الفرضيات الفرعية

الفرضية الفرعية الأولى: توجد علاقة إيجابية ذات دلالة إحصائية عند مستوى ($\alpha \leq 0.05$) بين تطبيق الصيانة التنبؤية القائمة على الذكاء الاصطناعي وأداء فرق الصيانة الطبية في شركات الأجهزة الطبية، بمعنى أنه كلما ارتفع مستوى استخدام الصيانة التنبؤية ارتفع مستوى أداء الفرق الفنية.

الفرضية الفرعية الثانية: توجد علاقة إيجابية ذات دلالة إحصائية عند مستوى ($\alpha \leq 0.05$) بين مستوى رقمنة سجلات الصيانة وإدارة الأصول الطبية رقمياً وأداء فرق الصيانة الطبية، بحيث تُسهم درجة الرقمنة الأعلى في تحسين الكفاءة وتقليل الأعطال المتكررة.

الفرضية الفرعية الثالثة: توجد علاقة إيجابية ذات دلالة إحصائية عند مستوى ($\alpha \leq 0.05$) بين توظيف التطبيقات التكنولوجية الصحية في إدارة الصيانة وأداء فرق الصيانة الطبية، إذ تُحسن هذه التطبيقات سرعة الاستجابة وجودة التنسيق الميداني.

الفرضية الفرعية الرابعة: يختلف مستوى تأثير محاور التحول الرقمي الثلاثة في تطوير أداء فرق الصيانة الطبية اختلافًا ذا دلالة إحصائية باختلاف المتغيرات التنظيمية والبشرية، كطبيعة نشاط الشركة وحجمها ومستوى خبرة الفنيين ومدة تطبيق الأنظمة الرقمية.

وتنتمي هذه الفرضيات جميعها إلى فئة الفرضيات الاتجاهية (Directional Hypotheses) ، التي تفترض سلفًا اتجاه العلاقة بين المتغيرات استنادًا إلى ما أثبتته الدراسات السابقة من ارتباطات موثقة بين عناصر التحول الرقمي ومؤشرات الأداء في البيئات الصحية (Mauro وآخرون، 2024)؛ (Nikam وآخرون، 2025)

أهداف الدراسة

تسعى هذه الدراسة إلى تحقيق منظومة متكاملة من الأهداف العلمية والتطبيقية المترابطة، التي تنطلق من التساؤلات المطروحة وتُجيب عن الفجوة البحثية المحددة، ويمكن عرضها على النحو الآتي:

يتمثل الهدف الأول في قياس أثر التحول الرقمي بأبعاده الثلاثة على أداء فرق الصيانة الطبية في شركات الأجهزة الطبية، والكشف عن مدى مساهمة التقنيات الرقمية في تحسين كفاءة وسرعة وجودة أعمال الصيانة، وذلك من خلال تحليل إحصائي دقيق لبيانات ميدانية حقيقية تُعكس الواقع الفعلي لتلك الشركات.

ويتمثل الهدف الثاني في استجلاء المفاهيم الأساسية لمجال التحول الرقمي في الصيانة الطبية التي تشكل المتغير المستقل للدراسة، والتي تشمل الصيانة التنبؤية بوصفها الاستخدام الأكثر تطورًا للذكاء الاصطناعي في هذا المجال، ورقمنة سجلات الصيانة بوصفها الأساس التوثيقي الرقمي، والتطبيقات التكنولوجية الصحية بوصفها الواجهة التفاعلية للعمل الميداني، وتقييم مستوى تأثير كل مفهوم منها بصورة مستقلة على أداء الفرق الفنية.

أما الهدف الثالث فيتمحور حول تحديد وبناء إطار واضح وقابل للقياس لمتغير الأداء، الذي يشمل في هذه الدراسة أربعة أبعاد متكاملة هي: الكفاءة التشغيلية، وسرعة الاستجابة، وجودة الخدمة، ومستوى المعرفة التقنية لدى أعضاء الفريق، وتحديد العلاقة بين كل بُعد من هذه الأبعاد وعناصر التحول الرقمي المدروسة.

ويتناول الهدف الرابع تشخيص التحديات العملية التي تواجه تطبيق التحول الرقمي في بيئة صيانة الأجهزة الطبية، سواء التحديات الفنية المتعلقة بالبنية التحتية والتكامل بين الأنظمة، أو التحديات البشرية المتعلقة بمستوى التأهيل والمقاومة للتغيير، أو التحديات التنظيمية المتعلقة بالسياسات والإجراءات المؤسسية، وذلك استنادًا إلى آراء العينة المدروسة وتجاربهم الميدانية الفعلية.

ويُشكّل الهدف الخامس الثمرة التطبيقية للدراسة، إذ يقوم على تقديم توصيات عملية مستنبطة من نتائج التحليل الإحصائي الكمي، تُوجّه شركات الأجهزة الطبية نحو الاستثمار الأمثل في محاور التحول الرقمي الأكثر تأثيرًا، وتُساعد على بناء برامج تدريب وتطوير فعّالة لفرقها الفنية بما يُحقّق أعلى عائد ممكن من الاستثمار في التحول الرقمي.

أهمية الدراسة

تستمد هذه الدراسة أهميتها من محورين متكاملين لا يمكن الفصل بينهما: الأهمية العلمية النظرية التي تُثري الأدبيات الأكاديمية في هذا المجال، والأهمية التطبيقية الميدانية التي تُقدّم إضافة نوعية للممارسة المؤسسية. **على صعيد الأهمية العلمية:** تُعالج هذه الدراسة فجوةً بحثيةً موثقةً تتمثل في شح الدراسات العربية والتطبيقية التي تربط بصورة مباشرة بين التحول الرقمي وأداء فرق الصيانة الطبية في شركات الأجهزة الطبية، رغم الأهمية البالغة لهذا القطاع في استدامة جودة الخدمات الصحية (Mauro وآخرون، 2024)؛ (وزارة الصحة السعودية، 2023). كذلك تُقدّم الدراسة إطارًا كميًا قابلاً للقياس والتحقق باستخدام أداة استبائية مُصادق عليها ومُحكّمة، تقيس أثر كل بُعد من أبعاد التحول الرقمي على مؤشرات أداء فرق الصيانة الأربعة بصورة منفصلة ومتكاملة، وهو ما يُوفّر نموذجًا منهجيًا يمكن تطبيقه وتكراره في سياقات مؤسسية وجغرافية أخرى. فضلًا عن ذلك، تُثري الدراسة الأدبيات العربية في مجالات متقاطعة هي: الصيانة الرقمية، والذكاء الاصطناعي التطبيقي، وإدارة الأداء الفني، وتطوير الموارد البشرية التقنية في القطاع الصحي.

على صعيد الأهمية التطبيقية: تُمكن نتائج الدراسة شركات الأجهزة الطبية من اتخاذ قرارات مبنية على أدلة إحصائية دقيقة بشأن تحديد المحاور الرقمية الأكثر تأثيرًا وتخصيص الموارد الاستثمارية نحوها بصورة مُوجّهة. كما تُعين المؤسسات الصحية والشركات المزودة على تصميم برامج تدريبية فعّالة ومحددة الأهداف

لرفع الكفاءة الرقمية والفنية لدى فرق الصيانة، مما يُسهم في تحسين جودة الخدمة وتقليل الأعطال المتكررة وتعزيز الاعتمادية التشغيلية. وعلى المستوى الوطني، تتسجم نتائج هذه الدراسة ومخرجاتها انسجامًا وثيقًا مع مستهدفات برنامج تحول القطاع الصحي ضمن رؤية المملكة العربية السعودية 2030، الرامية إلى رفع كفاءة التشغيل وتحقيق التحول الذكي الشامل في منظومة الرعاية الصحية (وزارة الصحة السعودية، 2023).

حدود الدراسة

تخضع هذه الدراسة لجملة من الحدود التي تُحدد نطاقها وتضبط إطارها المنهجي وتُميّزها عن غيرها من الدراسات ذات الصلة، وهي على النحو الآتي:

أولاً: الحدود المكانية تقتصر هذه الدراسة على شركات الأجهزة الطبية العاملة داخل المملكة العربية السعودية، والمسجلة والمرخصة من الجهات التنظيمية المختصة، لا سيما هيئة الغذاء والدواء السعودية (SFDA) ووزارة الصحة السعودية. ومع ذلك يُولي الباحث اهتمامًا خاصًا بالشركات التي تقدم خدماتها للمنشآت الصحية في منطقة الرياض، باعتبارها أكبر التجمعات الصحية في المملكة وأكثرها تنوعًا من حيث حجم الشركات ومستوى تطبيق التحول الرقمي. ويشمل ذلك شركات الاستيراد والتوزيع والوكلاء المعتمدين للأجهزة الطبية الذين يمتلكون فرقًا فنية متخصصة بالصيانة الدورية والتصحيحية للأجهزة الطبية في المستشفيات والمراكز الصحية بأحجامها المختلفة.

ثانيًا: الحدود الزمانية تُجرى الدراسة الميدانية وتُجمع بياناتها خلال العام الدراسي 2025م، وتشتمل على آراء المشاركين وتجاربهم المتعلقة بواقع تطبيق التحول الرقمي في شركاتهم خلال تلك الفترة. وتبقى نتائج الدراسة ممثلةً لواقع القطاع في تلك المرحلة الزمنية التي تشهد تسارعًا في وتيرة التحول الرقمي الصحي في المملكة وفق مستهدفات رؤية 2030.

ثالثًا: الحدود البشرية تستهدف الدراسة في مجتمعها البشري فئات محددة من العاملين في شركات الأجهزة الطبية، وهم: مهندسو الصيانة الطبية، وفنيو الصيانة الميدانيون، ومشرفو الصيانة، ومديرو أقسام الصيانة، أي كل من يشارك بصورة مباشرة في تخطيط أعمال الصيانة وتنفيذها ومتابعتها، باعتبارهم الفئة الأقدر على الإجابة عن تساؤلات الدراسة وتقييم واقع التحول الرقمي في بيئة عملهم.

رابعًا: الحدود الموضوعية تتمحور الدراسة حول دراسة أثر التحول الرقمي بمحاوره الثلاثة المحددة، وهي الصيانة التنبؤية ورقمنة سجلات الصيانة والتطبيقات التكنولوجية الصحية، على أداء فرق الصيانة الطبية بأبعاده الأربعة المحددة، وهي الكفاءة التشغيلية وسرعة الاستجابة وجودة الخدمة والمعرفة التقنية. ولا تتناول الدراسة في نطاقها الموضوعي الجوانب المالية التفصيلية كالتكلفة الإجمالية لتطبيق التحول الرقمي، ولا الجوانب التسويقية لشركات الأجهزة الطبية، ولا العوامل السريرية المتعلقة بنتائج المرضى، وإن كانت هذه الجوانب تقع في الأفق البعيد للمستفيدين من نتائج الدراسة وتوصياتها.

مصطلحات الدراسة

يُعرض في هذا المبحث تعريف المصطلحات الجوهرية المستخدمة في الدراسة تعريفًا مزدوجًا: يأتي التعريف المفاهيمي أولاً ليُحدد المعنى الاصطلاحي للمصطلح في الأدبيات العلمية، ثم يأتي التعريف الإجرائي ليُحدد المعنى المقصود تحديدًا في سياق هذه الدراسة ومقياسها الميداني.

أولاً: التحول الرقمي (Digital Transformation)

يُعرّف التحول الرقمي مفاهيميًا بأنه العملية الشاملة التي تهدف إلى إعادة تصميم العمليات والهياكل التنظيمية والخدمات التقليدية وتحويلها إلى أنشطة وأنظمة رقمية تعتمد على التقنيات الحديثة كالذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء وتحليل البيانات والحوسبة السحابية، بهدف رفع الكفاءة وخلق قيمة مضافة وتحسين جودة الأداء المؤسسي (Mauro وآخرون، 2024). أما تعريفه الإجرائي في هذه الدراسة فيشمل: مجمل الجهود والتقنيات الرقمية التي تُطبّق في شركات الأجهزة الطبية لتطوير أعمال الصيانة من خلال ثلاثة محاور هي الصيانة التنبؤية ورقمنة السجلات والتطبيقات التكنولوجية الصحية، ويُقاس من خلال استجابات أفراد العينة على بنود محور التحول الرقمي في الاستبانة.

ثانيًا: الصيانة التنبؤية (Predictive Maintenance)

يُعرّف هذا المصطلح مفاهيميًا بأنه نهج متطور في إدارة الصيانة يعتمد على تحليل البيانات الحية والفعالية للأجهزة في الزمن الحقيقي، مستخدمًا خوارزميات التعلم الآلي والذكاء الاصطناعي وأجهزة الاستشعار المترابطة، بهدف التنبؤ بالأعطال وتحديد احتياجات الصيانة قبل وقوعها بوقت كافٍ يُتيح الجدولة المثلى

ونقادي التوقعات المفاجئة (Uçar وآخرون، 2024). وتعريفه الإجرائي في هذه الدراسة: القدرة على استخدام تقنيات التحليل التنبؤي والذكاء الاصطناعي في رصد أداء الأجهزة الطبية والتنبؤ بأعطالها المحتملة، ويُقاس بخمسة بنود في الاستبانة تتناول مدى استخدام الشركة لهذه التقنيات وأثرها على أداء الفريق الفني.

ثالثاً: رقمنة سجلات الصيانة (Digitization of Maintenance Records)

تُعرّف مفاهيمياً بأنها عملية التحول من التوثيق اليدوي والورقي لأعمال الصيانة وسجلات الأجهزة إلى سجلات إلكترونية متكاملة تُدار عبر أنظمة معلوماتية متخصصة، تُتيح استرجاع البيانات وتحليلها وتتبع تاريخ الأعطال والإصلاحات بسهولة ودقة (بوخاري، 2021). وتعريفها الإجرائي: توظيف الأنظمة الرقمية في توثيق عمليات الصيانة وإدارة سجلات الأجهزة وجدولة الصيانة المستقبلية بصورة آلية، ويُقاس بخمسة بنود في الاستبانة تتعلق بمدى اعتماد الشركة على التوثيق الرقمي وأثره على الأداء.

رابعاً: التطبيقات التكنولوجية الصحية (Healthcare Technology Applications)

يُعرّف هذا المصطلح مفاهيمياً بأنه يشمل البرامج والمنصات الرقمية والتطبيقات الذكية التي تُستخدم في إدارة ومتابعة العمليات الصحية والفنية، بما فيها تطبيقات الهواتف الذكية للبلاغات والإصلاحات، وأنظمة المراقبة السحابية، وتقنيات الاتصال عن بُعد بين الفرق الميدانية والإدارة المركزية (Mauro وآخرون، 2024). وتعريفها الإجرائي: استخدام تطبيقات وبرمجيات رقمية ذكية تُسهّل عمليات المراقبة الميدانية وتُحسّن التواصل والتنسيق بين أفراد الفريق الفني والإدارة وتدعم اتخاذ القرار الفني في الوقت الفعلي، ويُقاس بخمسة بنود في الاستبانة.

خامساً: أداء فرق الصيانة الطبية (Medical Maintenance Teams' Performance)

يُعرّف مفاهيمياً بأنه مجموعة المؤشرات الكمية والنوعية التي تُقيس كفاءة الفرق الفنية في تنفيذ مهامها الصيانية، وتشمل معدلات إصلاح الأجهزة وسرعة الاستجابة للأعطال وجودة الخدمة المقدمة ومستوى الاستخدام الأمثل للموارد المتاحة (CDA-AMC، 2022). وتعريفه الإجرائي: القدرة الإجمالية لفرق

الصيانة الطبية على تنفيذ أعمالها بكفاءة وسرعة وجودة مرتفعة بما يضمن استمرارية الأجهزة الطبية وتقليل الأعطال المتكررة، ويُقاس بستة عشر بندًا في الاستبانة موزعة على أربعة أبعاد.

سادسًا: الكفاءة التشغيلية (Operational Efficiency)

تُعرّف مفاهيميًا بأنها مدى قدرة الفريق الفني على تنفيذ مهامه الصيانة وفق المعايير المحددة وبأقل قدر من الوقت والتكلفة، مع تحقيق الاستخدام الأمثل للموارد البشرية والمادية المتاحة (بوخاري، 2021). وتعريفها **الإجرائي**: قدرة فرق الصيانة على الأداء المحكم الذي يُعزّز الاستفادة من الموارد ويُقلص الهدر دون إخلال بجودة الخدمة، ويُقاس بأربعة بنود في الاستبانة.

سابعًا: سرعة الاستجابة (Response Speed)

تُعرّف مفاهيميًا بأنها المدة الزمنية الإجمالية المستغرقة منذ لحظة الإبلاغ عن العطل وحتى بدء عملية الإصلاح والشروع في المعالجة الفنية الفعلية، وهي مؤشر مباشر لمدى مرونة الفريق وقدرته التنظيمية على التعامل مع المتغيرات الطارئة (CDA-AMC، 2022). وتعريفها **الإجرائي**: القدرة على التعامل مع الأعطال الفنية بصورة سريعة ومنظمة تُقلّص فترات التوقف عن العمل في المرافق الصحية، ويُقاس بأربعة بنود في الاستبانة.

ثامنًا: جودة الخدمة (Service Quality)

تُعرّف مفاهيميًا بأنها مدى مطابقة خدمات الصيانة المقدمة للمعايير الفنية والإجرائية المطلوبة، وتعكس قدرة الفريق على تنفيذ إصلاحات مستقرة ومستدامة تُقلّص الأعطال المتكررة وترتفع معها درجة رضا المستخدمين الداخليين والخارجيين (Mauro وآخرون، 2024). وتعريفها **الإجرائي**: مستوى دقة وكفاءة أعمال الصيانة المنجزة واستقرار أداء الأجهزة الطبية عقب الإصلاح وانخفاض معدل تكرار نفس الأعطال، ويُقاس بأربعة بنود في الاستبانة.

تاسعًا: المعرفة التقنية (Technical Knowledge)

تُعرّف مفاهيميًا بأنها مجموع المهارات والخبرات التقنية والمعرفية التي يمتلكها أعضاء الفريق الفني في التعامل مع الأجهزة الطبية وأنظمة الصيانة الرقمية الحديثة، وتشمل القدرة على التشخيص الدقيق وتحليل البيانات وتوظيف الأدوات التقنية المتاحة بفاعلية (Zamzam وآخرون، 2023). **وتعريفها الإجرائي:** مدى إلمام أعضاء الفريق بطرق الصيانة الحديثة وقدرتهم على استخدام التقنيات الرقمية والتنبؤية في إدارة الأعطال وتحليل بيانات الأداء واتخاذ القرارات الفنية المبنية على الأدلة، ويُقاس بأربعة بنود في الاستبانة.

عاشراً: إدارة الفرق الفنية (Technical Teams Management)

تُعرّف مفاهيميًا بأنها منظومة الممارسات الإدارية والقيادية التي تهدف إلى تنظيم الفرق الفنية وتطويرها وقيادتها نحو تحقيق الأهداف التشغيلية المنشودة، وتشمل عناصر التدريب والتحفيز ومتابعة الأداء وتهيئة بيئة العمل الملائمة (الشمراي، 2022؛ وزارة الصحة السعودية، 2023). **وتعريفها الإجرائي:** العمليات الإدارية الداعمة لأداء فرق الصيانة، التي تشمل التدريب الدوري والتقييم المستمر وإدارة التحديات التنظيمية والتقنية المصاحبة لتطبيق الأنظمة الرقمية في بيئة العمل الصيانة.

نموذج الدراسة

يُعدّ نموذج الدراسة الترجمة البصرية والفكرية للإطار النظري الذي تقوم عليه الدراسة، إذ يُجسّد العلاقات المفترضة بين المتغيرات الرئيسة ويُحدد اتجاهاتها ويُنظّم مساراتها، وهو الخريطة التي تسير عليها الدراسة في مراحلها التحليلية كافة.

أولاً: وصف النموذج

يقوم نموذج الدراسة على محورين متميزين وظيفيًا: المتغير المستقل المتمثل في التحول الرقمي، والمتغير التابع المتمثل في أداء فرق الصيانة الطبية. ويتفرع المتغير المستقل إلى ثلاثة أبعاد متوازية مستقلة فيما بينها هي: الصيانة التنبؤية، ورقمنة سجلات الصيانة، والتطبيقات التكنولوجية الصحية. في حين ينقسم المتغير التابع إلى أربعة أبعاد متكاملة هي: الكفاءة التشغيلية، وسرعة الاستجابة، وجودة الخدمة، والمعرفة التقنية. ويفترض النموذج وجود علاقة تأثير إيجابي مباشر من كل بُعد من أبعاد التحول الرقمي الثلاثة على المتغير التابع بأبعاده الأربعة المجتمعة.

ثانيًا: المتغيرات التنظيمية المعدلة

يُلاحظ النموذج كذلك وجود متغيرات تنظيمية وبشرية قد تؤثر في قوة العلاقة بين المتغيرين الرئيسيين أو في اتجاهها، تشمل: حجم الشركة الذي يحدد حجم الاستثمار الرقمي الممكن ومستوى تعقيد أعمال الصيانة، وطبيعة نشاطها الذي يُحدد نوعية الأجهزة التي تتعامل معها ومتطلبات صيانتها، ومستوى خبرة الفنيين الذي يؤثر في سهولة تبني التقنيات الجديدة والإفادة منها، ومدة تطبيق الأنظمة الرقمية التي تعكس مرحلة النضج الرقمي للمؤسسة.

ثالثًا: مبررات النموذج

يستند النموذج في بنائه إلى جملة من الأطر النظرية الموثقة في الأدبيات العلمية، في مقدمتها إطار التقنية-المنظمة-البيئة (TOE Framework) الذي يُوطّر عملية تبني التقنيات الرقمية في المؤسسات، وسلسلة قيمة بورتر (Porter's Value Chain) التي تُظهر كيف تُسهم التقنيات في رفع قيمة العمليات الداعمة لإدارة الصيانة (Mauro وآخرون، 2024) كذلك يستند إلى نظرية الموارد والكفاءات التي تؤكد على أن امتلاك الموارد التقنية الرقمية لا يكفي وحده لتحقيق الأداء المتميز ما لم يُقترن بكفاءات بشرية مؤهلة قادرة على توظيفها بفاعلية (Zamzam وآخرون، 2023).

استعرض هذا الفصل بصورة مستفيضة ومتكاملة الإطار العام الذي تنبثق منه الدراسة ونُقام عليه، إذ انطلقت مقدمته من الواقع الموضوعي المتمثل في التسارع العالمي في التحول الرقمي وانعكاساته العميقة على قطاع الرعاية الصحية وإدارة الأجهزة الطبية، لتصل إلى مشكلة بحثية محددة المعالم تتمثل في قياس أثر التحول الرقمي بأبعاده الثلاثة على تطوير أداء فرق الصيانة الطبية. وقد تبلورت عن هذه المشكلة تساؤلات بحثية دقيقة وفرضيات قابلة للاختبار الإحصائي، وأهداف علمية وتطبيقية واضحة، وحدود منهجية ضابطة، ومصطلحات مُعرّفة تعريفًا مفاهيميًا وإجراءيًا يُزيل الغموض ويضمن الدقة، وانتهى بنموذج دراسة يُصوّر العلاقة بين المتغيرات ويُهيئ للتحليل الإحصائي في الفصول القادمة. ويمهّد هذا الفصل الطريق للفصل الثاني الذي يتولى بناء الإطار النظري التفصيلي ومراجعة الدراسات السابقة ذات الصلة لتأصيل الدراسة في سياقها الأكاديمي الأعمق.

الفصل الثاني: الإطار النظري والدراسات السابقة

يُعدّ هذا الفصل العمود الفقري للمعرفة، إذ يتولى بناء الإطار النظري الذي تستند إليه، وعرض الدراسات السابقة ذات الصلة بمتغيراتها الرئيسية، والتعقيب عليها، واستخلاص الفجوة البحثية التي تسعى الدراسة الحالية إلى سدّها. ويُحقّق هذا الفصل جملةً من الأهداف المترابطة: فهو يُوفّر للقارئ خلفيةً علميةً شاملةً حول مفاهيم التحول الرقمي وأبعاده النظرية، ويرسم صورة واضحة عن مسار تطور الصيانة التنبؤية والأنظمة الرقمية في الصحة، ويحلّل الأدبيات السابقة تحليلًا نقديًا يميّز بين ما أنجز بحثيًا وما لا يزال يستدعي الدراسة، ويُقدّم في نهاية المطاف إطارًا نظريًا متماسكًا يُغذّي الفرضيات ونموذج الدراسة الذي عُرض في الفصل الأول.

ويتكوّن الفصل من سبعة مباحث متتالية ومتكاملة على النحو الآتي: يتناول المبحث الأول مفهوم التحول الرقمي ونشأته وأطره النظرية الكبرى، ويستعرض المبحث الثاني الصيانة التنبؤية والذكاء الاصطناعي في القطاع الصحي بالتفصيل، ويحلّل المبحث الثالث رقمنة سجلات الصيانة وأنظمة إدارة الأصول الطبية وأثرها العملي، ويناقش المبحث الرابع التطبيقات التكنولوجية الصحية وأثرها على الكفاءة، ويبيّن المبحث الخامس إطار أداء فرق الصيانة الطبية ومؤشراته القياسية، ويعرض المبحث السادس الدراسات السابقة معقّبًا عليها ومحلّلاً نقديًا، ويختتم المبحث السابع بتحديد الفجوة البحثية وموقع الدراسة الحالية منها.

المبحث الأول: مفهوم التحول الرقمي وأبعاده النظرية

أولاً: نشأة مفهوم التحول الرقمي وتطوره التاريخي

لم يكن التحول الرقمي وليدَ لحظة معزولة، بل جاء حصيلةً لمسار فكري طويل ومتراكم امتد على مدار عقود متعاقبة، مُشكّلًا بموجات تقنية متلاحقة أعادت في كل مرة رسم حدود ما هو ممكن في عالم الأعمال والخدمات. ففي حقبة الثمانينيات والتسعينيات من القرن الماضي، كانت المؤسسات تجتهد في أتمتة عملياتها المتكررة ورقمنة سجلاتها الورقية بدوافع تكتيكية لتقليل التكلفة وتسريع الإنجاز في المقام الأول، ولم يكن في المخيلة المؤسسية آنذاك تصوّر لأن هذه الخطوات التقنية الأولى ستفضي يومًا إلى إعادة اختراع نماذج الأعمال برمّتها. ثم جاءت موجة الإنترنت في مطلع الألفية الثالثة لتُطلق مصطلح "الأعمال الإلكترونية"

و"التجارة الرقمية"، وتفتح آفاق التواصل وتبادل المعلومات على نطاق لم يسبق له مثيل. وفي العقد الثاني من الألفية الثالثة تشكّل مفهوم "التحول الرقمي" بمعناه الاستراتيجي الشامل، إذ بات يُشير إلى إعادة تصميم جذري للمنظمة بكل مكوناتها: عملياتها وهياكلها وثقافتها ونماذج قيمتها، وليس مجرد إضافة تقنية على ما هو قائم (Vial, 2019؛ Stolterman & Fors, 2004).

والنقطة الفارقة في هذا التطور التاريخي تكمن في أن التحول الرقمي في مرحلته الراهنة انتقل من كونه أداة في يد المنظمة تُوظّفها لتحسين ما هو موجود، إلى كونه محركًا لإعادة التفكير في ماهية المنظمة ذاتها وما الذي تُقدّمه للعالم. وهذا ما أشار إليه (Warner & Wäger 2019) حين وصفا التحول الرقمي بأنه "رحلة استكشافية تتطلب قدرات ديناميكية متجددة"، في حين رأى (Vial 2019) أنه "عملية تسعى المنظمات من خلالها إلى إحداث تغيير في خلق القيمة بالاستعانة بتقنيات المعلومات والاتصالات والاستجابة للتحولات المُعطّلة في بيئتها".

ثانيًا: التعريفات المفاهيمية للتحول الرقمي ومستوياتها

تكتنز الأدبيات العلمية بتعريفات متعددة ومتباينة لمفهوم التحول الرقمي، يعكس هذا التباين الغنى في الزوايا التحليلية التي يُعالج منها الباحثون هذه الظاهرة المركّبة. ولإتاحة رؤية منهجية واضحة، يمكن تصنيف هذه التعريفات في ثلاثة مستويات تحليلية:

على المستوى التقني الضيق، يُعرّف التحول الرقمي بأنه "توظيف التقنيات الرقمية الحديثة كالذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء والبيانات الضخمة والحوسبة السحابية لتحسين العمليات التشغيلية وأتمتتها" (Stolterman & Fors, 2004) مُستشهد في (Vial, 2019). وعلى المستوى التنظيمي المتوسط، يُعرّف بأنه "عملية إعادة التصميم التنظيمي الشامل من خلال دمج الحلول الرقمية في العمليات والخدمات والنماذج الإدارية" (Mergel وآخرون, 2019). وعلى المستوى الاستراتيجي الأشمل، يُنظر إليه بوصفه "التحول الجوهري في استراتيجية المنظمة وهيكلا وعملياتها وثقافتها وقدراتها في بيئة يسودها الذكاء الرقمي" (Warner & Wäger, 2019) وفي السياق التنظيمي الدولي، حدّده الاتحاد الأوروبي بموجب اللائحة رقم 694/2021 بأنه "استخدام التقنيات الرقمية لتحويل الأعمال والخدمات بما يُنتج قيمةً مضافة جديدة للمجتمع والاقتصاد" (Stoumpos وآخرون, 2023).

وفي القطاع الصحي تحديدًا يتخذ التحول الرقمي طابعًا أكثر تعقيدًا وأبعد أثرًا، إذ يتجاوز مجرد تحسين الكفاءة التشغيلية ليمسّ مسائل سلامة المرضى وجودة الرعاية المقدمة لهم واستدامة المنظومة الصحية برمتها. وفي هذا السياق يُعرّف بأنه "الدمج المعاصر للتكنولوجيا الجديدة في الرعاية الصحية بما يعزز جودة الرعاية ويخفض التكاليف ويعالج تحديات إدارة القوى العاملة" (Øvretveit, 2017) مُستشهد في (Wieslander وآخرون, 2024)، أو بصورة أكثر تفصيلًا بأنه "عملية إعادة تصميم خدمات الرعاية الصحية وعملياتها وأساليب عمل الشركاء فيها باستخدام التقنيات الرقمية، بما يُنتج أشكالاً جديدة من التعاون ونماذج مبتكرة لتقديم الرعاية" (Wieslander وآخرون, 2024). ومن هذه التعريفات جميعها تستخلص الدراسة الحالية تعريفها الإجرائي المذكور في الفصل الأول.

ثالثًا: مستويات التحول الرقمي المتدرجة

تُميّز الأدبيات العلمية الرصينة بين ثلاثة مستويات متدرجة وإن كانت الحدود بينها في التطبيق الفعلي لا تكون دائمًا فاصلة:

المستوى الأول: الرقمنة (Digitization) وهو المستوى الأبسط والأدنى تعقيدًا، ويعني تحويل المعلومات والمحتوى من الشكل التناظري إلى الشكل الرقمي دون تغيير جوهري في العمليات أو الهياكل التنظيمية. مثاله في مجال الصيانة: تحويل سجلات الأعطال الورقية إلى ملفات إكسل إلكترونية.

المستوى الثاني: التحوّل الرقمي الجزئي (Digitalization) وهو يُشير إلى توظيف التقنيات الرقمية لتحسين أساليب العمل القائمة وتعزيز كفاءتها، مما يُغيّر طريقة أداء العمل دون إعادة تصميم كاملة للنموذج الجوهري. مثاله: اعتماد نظام CMMS لأتمتة جدولة الصيانة الوقائية وإشعارات أوامر العمل.

المستوى الثالث: التحول الرقمي الجذري (Digital Transformation) وهو الأعمق والأشمل، إذ يعني إعادة تصميم النماذج التشغيلية والاستراتيجية والمؤسسية من أساسها استنادًا إلى التقنيات الرقمية، مما يخلق قيمة مضافة جديدة لم تكن ممكنة قبل هذا التحول. مثاله: بناء منظومة صيانة تنبؤية متكاملة تستخدم الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء والتوأم الرقمي للتنبؤ بأعطال الأجهزة الطبية قبل وقوعها وجدولة الصيانة بصورة ذكية تمامًا (Dal Mas وآخرون, 2023) ؛ (Hermes وآخرون, 2020)

ويكتسب هذا التمييز أهمية منهجية في سياق الدراسة الحالية؛ إذ تسعى إلى قياس أثر التحول الرقمي على مستوياته المختلفة لدى شركات الأجهزة الطبية، إدراكًا منها أن الشركات تتباين في موقعها على هذا المتصل، وأن الأثر على أداء فرق الصيانة يتفاوت بحسب عمق التحول المُحقَّق.

رابعًا: الأطر النظرية الحاكمة للتحول الرقمي في الصحة

اعتمد الباحثون في تحليل عملية التحول الرقمي وتفسير ديناميكياتها على جملة من الأطر النظرية التحليلية المتكاملة والمتعاضدة. وفيما يلي عرض تفصيلي لأبرز هذه الأطر مع تطبيقاتها الصحية ذات الصلة بموضوع الدراسة:

1. إطار التكنولوجيا – المنظمة – البيئة (TOE Framework)

طوّر هذا الإطار Tornatzky و Fleischer عام 1990 وهو من الأطر الأكثر توظيفًا وأعلى اقتباسًا في أدبيات تبني التكنولوجيا على المستوى المؤسسي. يُعالج الإطار السؤال الجوهرى: لماذا تتبنى بعض المنظمات تقنية بعينها بينما تُحجم عنها منظمات أخرى؟ ويُجيب بأن هذا القرار يتشكّل تحت تأثير ثلاثة سياقات متشابكة ومتفاعلة:

السياق التكنولوجي: يشمل الخصائص الذاتية للتقنية موضع التبني، ويتضمن خمسة مكونات محورية هي الميزة النسبية (Relative Advantage) المتمثلة في درجة تفوّق التقنية الجديدة على ما تحلّ محله، والتوافق (Compatibility) مع الأنظمة القائمة والقيم المؤسسية السائدة، والتعقيد (Complexity) الذي يقيس درجة صعوبة فهم التقنية واستخدامها، وقابلية التجريب (Trialability) التي تُتيح اختبار التقنية على نطاق محدود قبل الالتزام الكامل، وإمكانية الملاحظة (Observability) التي تعني وضوح نتائج التبني.

السياق التنظيمي: يتعلق بخصائص المنظمة المتبنية ذاتها، ويشمل حجم المنظمة وما يرتبط به من قدرات مالية وبشرية وتقنية، والجاهزية التقنية المتمثلة في قوة البنية التحتية الرقمية القائمة، ومستوى دعم الإدارة العليا للتغيير والابتكار، وتوافر الموارد البشرية المؤهلة، والإرث التنظيمي الذي قد يُيسّر التحول أو يُعيقه.

السياق البيئي: يشمل العوامل الخارجية المحيطة بالمنظمة والمؤثرة في قراراتها، كاللوائح الحكومية التنظيمية الحاكمة لاستخدام التقنيات الصحية، والضغط التنافسي الذي يدفع المنظمات نحو التبني للحفاظ على موقعها

السوقي، وتوافر الدعم المؤسسي الخارجي من موردين وشركاء وهيئات مهنية، ومستوى نضج السوق التكنولوجي.

وقد وجدت دراسة (Jeilani و Hussein 2025) المُجرّاة في بيئة صحية ناشئة باستخدام نمذجة المعادلات الهيكلية مع 286 عاملاً صحياً أن تبني تقنيات الصحة الرقمية يُحسّن أداء العاملين بمعامل انحدار مُعياري بلغ ($\beta=0.452$ ، $p<0.001$)، مؤكدةً الحضور الفعلي والمقيس لتأثيرات السياقات الثلاثة في البيانات الصحية العملية. كذلك أثبتت دراسة Naeem وآخرون (2024) الباحثة في ست مستشفيات باكستانية أن عوامل السياقات الثلاثة لإطار TOE تؤثر إيجاباً وبدلالة إحصائية على قرارات تبني تطبيقات الصحة المتنقلة (mHealth). فيما أجرت (Prakash 2025) مراجعةً منهجيةً شاملةً أثبتت فيها أن إطار TOE يتميز بثلاث نقاط قوة جوهرية تجعله مرجعاً تحليلياً راسخاً: نهجه الشمولي الذي يُعالج مستويات متعددة بآنٍ واحد، وقابليته للتكيف عبر القطاعات والسياقات الجغرافية المختلفة، وقدرته على تفسير الفوارق بين المنظمات في قرارات التبني.

وتأتي أهمية هذا الإطار في سياق الدراسة الحالية من قدرته على تفسير التباين الملاحظ في مستوى تبني التحول الرقمي بين شركات الأجهزة الطبية السعودية؛ فالشركات الكبيرة ذات البنية التحتية الرقمية المتطورة والكوادر البشرية المؤهلة (السياق التنظيمي) والعاملة في بيئة تنافسية مُحفّزة (السياق البيئي) أكثر ميلاً لتبني الصيانة التنبؤية وأنظمة CMMS المتقدمة (السياق التكنولوجي) مما يؤدي إلى أداء أعلى لفرعها الفنية.

2. نموذج قبول التكنولوجيا (Technology Acceptance Model – TAM)

أرسى Davis نموذجهُ الشهير عام 1989 انطلاقاً من سؤال محوري: ما العوامل التي تُحدد ما إذا كان الأفراد سيستخدمون نظاماً معلوماتياً جديداً أم لا؟ وخلص إلى أن الاستخدام الفعلي يُحدده في جوهره متغيران نفسيان: الفائدة المُدرّكة (Perceived Usefulness) التي تمثّل اعتقاد الفرد بأن توظيف النظام المعني سيُحسّن أدائه الوظيفي، وسهولة الاستخدام المُدرّكة (Perceived Ease of Use) التي تُعبّر عن اعتقاده بأن التعامل مع النظام لن يستنزف جهداً مفرطاً. ويفترض النموذج أن هاتين الركيزتين تُحددان الموقف الوجداني (Attitude) من التقنية، الذي يتحوّل بدوره إلى نية استخدام (Behavioral Intention) ، ثم إلى سلوك فعلي منتظم.

وقد شهد نموذج TAM خلال ثلاثة عقود من تطبيقه توسعاتٍ متعاقبةٍ أضافت إليه متغيرات إضافية: فـنموذج TAM2 الذي طوّره (Venkatesh و Davis 2000) أضاف عوامل الضغط الاجتماعي والصورة الذاتية، ونموذج TAM3 الذي طوّره (Venkatesh و Bala 2008) دمج محددات الفائدة المُدرَكة وسهولة الاستخدام، قبل أن يظهر إطار UTAUT الذي يجمع عدة نماذج في بنية تفسيرية موحدة. وتُثبت مراجعة (Stoumpos وآخرون 2023) الشاملة التي حلت 287 مقالاً أكاديمياً (2008-2021) أن TAM وامتداداته يُمثّل الإطار الأوسع استخدامًا في دراسة القبول التكنولوجي في الرعاية الصحية، مع توجه متصاعد نحو إدراج متغيرات الثقة والأمن والدعم التنظيمي.

وتتقاطع أبعاد نموذج TAM مع محاور الدراسة الحالية تقاطعًا عضويًا واضحًا؛ فمستوى المعرفة التقنية لدى أعضاء فرق الصيانة يُحدد جزءًا كبيرًا من سهولة الاستخدام المُدرَكة للأنظمة الرقمية، في حين تُحدد كفاءة هذه الأنظمة في تحسين نتائج الصيانة مستوى الفائدة المُدرَكة منها. وبهذا يُقدّم نموذج TAM إطارًا تفسيريًا مكملًا لفهم الآلية التي يُترجم بها التحول الرقمي إلى تحسّن في الأداء عبر وسيط الإنسان.

3. إطار سلسلة القيمة (Porter's Value Chain)

قدّم Michael Porter في كتابه المرجعي "الميزة التنافسية" عام 1985 مفهوم سلسلة القيمة بوصفه أداةً تحليلية لتشرح أنشطة المنظمة وتحديد مصادر ميزتها التنافسية. يُصنّف الإطار أنشطة المنظمة في مجموعتين: الأنشطة الرئيسية (Primary Activities) التي تُسهم مباشرةً في إنتاج الخدمة وتسليمها وتشمل التشغيل والتسويق والخدمات. والأنشطة الداعمة (Support Activities) التي تُهيئ البيئة اللازمة لعمل الأنشطة الرئيسية وتشمل البنية التحتية والموارد البشرية وتطوير التقنية والمشتريات.

وفي سياق البحث الحالي تحتل إدارة صيانة الأجهزة الطبية موقعًا في قلب الأنشطة الداعمة، وتحديدًا ضمن نشاط "البنية التحتية للمنظمة" و"تطوير التقنية"، إذ تضمن استمرارية الأجهزة وثبوتها في حالة تشغيلية مثلى تُمكن الأنشطة الإكلينيكية الرئيسية من العمل دون انقطاع. وهنا يُبرز هذا الإطار قيمة التحول الرقمي في الصيانة: فحين تنتقل الصيانة من النمط التفاعلي إلى النمط التنبؤي الذكي، تنتقل من مجرد نشاط تكلفة إلى عامل تمييز استراتيجي يُحسّن الاعتمادية التشغيلية للأجهزة ويُقلص تكاليف الصيانة ويُعزز جودة الخدمة الصحية المُقدّمة.

وقد أثبتت دراسة (Mauro وآخرون 2024) التي دمجت إطار سلسلة القيمة مع إطار TOE في تحليل دور التقنيات الرقمية في المستشفيات الإيطالية أن إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي يُمثّلان التقنيتين الأعلى تأثيرًا في العمليات الداعمة (كالصيانة والتوريد والتدفقات)، وأن تحويل هذه العمليات الداعمة رقميًا ينعكس إيجابًا على جودة الأنشطة الرئيسية ونتائجها.

4. نظرية الانتشار والابتكار (Diffusion of Innovations Theory)

طوّر Everett Rogers هذه النظرية عام 1962 ونقّحها في طبعات لاحقة، وهي تُفسّر كيف تنتشر الأفكار والتقنيات الجديدة عبر المجتمعات والمنظمات بمرور الوقت. وتُميّز النظرية بين خمس فئات من المتبنّين بحسب توقيت تبنيهم للابتكار: المبتكرون (2.5%)، والمتبنون الأوائل (13.5%)، والأغلبية المبكرة (34%)، والأغلبية المتأخرة (34%)، والمتأخرون (16%). وترى النظرية أن ثلاثة محاور تُؤثر في سرعة الانتشار: الوعي المعرفي، والموقف الوجداني، والاستخدام السلوكي.

وفي سياق الدراسة الحالية تُساعد هذه النظرية على فهم مراحل تبني شركات الأجهزة الطبية السعودية للتحويل الرقمي وتباين مواقعها على منحنى الانتشار؛ فبعضها ربما يمثل فئة المتبنين الأوائل الذين يستثمرون في الصيانة التنبؤية وأنظمة CMMS المتقدمة، في حين قد تكتفي شركات أخرى بالحلول الرقمية الأساسية.

خامسًا: أبعاد التحويل الرقمي في منظومة الصيانة الطبية

استنادًا إلى الأطر النظرية المُستعرضة وبعد تحليل معمّق لأدبيات صيانة الأجهزة الطبية وتكنولوجيا المعلومات الصحية، وبعد الاطلاع على طبيعة الاستبانة المُعدّة، يُمكن تحديد ثلاثة أبعاد جوهرية تُمثّل مجالات تطبيق التحويل الرقمي في بيئة صيانة الأجهزة الطبية، كل منها يُجسّد مستوىً وظيفيًا مختلفًا ومتكاملاً مع الآخرين:

البُعد الأول هو الصيانة التنبؤية (Predictive Maintenance) التي تمثّل البُعد الأكثر تطورًا وتعقيدًا، إذ تعتمد على الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء للتنبؤ بالأعطال قبل وقوعها. والبُعد الثاني هو رقمنة سجلات الصيانة (Digitization of Maintenance Records) التي تُشكّل الأساس المعلوماتي الذي تقوم عليه كل جهود التحويل الرقمي في الصيانة. والبُعد الثالث هو التطبيقات التكنولوجية الصحية

(Healthcare Technology Applications) التي تُمثّل الواجهة التفاعلية اليومية التي يتعامل معها الفنيون ميدانيًا. وسيُخصّص لكل بُعد من هذه الأبعاد مبحث مستقل في الصفحات التالية.

المبحث الثاني: الصيانة التنبؤية والذكاء الاصطناعي في القطاع الصحي

أولاً: تطور فلسفة الصيانة عبر الأجيال

لفهم المكانة الاستثنائية التي تحتلها الصيانة التنبؤية في المشهد التقني الراهن، لا بد من استيعاب مسارها التطوري في سياق تطور فلسفة الصيانة الصناعية برمتها عبر ثلاثة أجيال متعاقبة:

الجيل الأول: الصيانة التصحيحية أو العلاجية (Corrective/Reactive Maintenance) تقوم على مبدأ "دع الجهاز يعمل حتى يتعطل ثم أصلحه". وقد كانت هذه الفلسفة السائدة في مرحلة التصنيع الأولى حيث كانت الأجهزة أبسط والتكنولوجيا أقل تعقيدًا. وتتسم هذه الاستراتيجية بارتفاع تكاليف التدخل الطارئ وغير المُخطّط، وتعطيل تقديم الخدمة في أوقات غير مناسبة، واستهلاك موارد بشرية ضخمة في أوقات الأزمة.

الجيل الثاني: الصيانة الوقائية أو الدورية (Preventive/Scheduled Maintenance) انتقلت إلى مبدأ "افحص الجهاز وفق جدول زمني ثابت قبل أن يتعطل". وقد أضافت هذه الفلسفة قدرًا من التنظيم والتخطيط، وقُلّصت وتيرة الأعطال المفاجئة. غير أن إشكالياتها الجوهرية تكمن في أنها تُخضع الجهاز لصيانة بصرف النظر عن حالته الفعلية، مما يُفضي إلى هدر الموارد في فحص أجهزة لا تحتاج إليه، وتقويت مشكلات تنشأ بين دورتين من الفحص.

الجيل الثالث: الصيانة التنبؤية القائمة على الحالة (Predictive/Condition-Based Maintenance) جاءت لتُحلّ إشكاليات الجيلين السابقين بالانطلاق من مبدأ أعمق وأكثر ذكاءً: "راقب حالة الجهاز الفعلية باستمرار، وتنبأ بالعطل قبل وقوعه، وتدخل بالصيانة في اللحظة المناسبة تمامًا". وهذا المبدأ يُعظّم الفائدة ويُقلّص الهدر ويُتيح التخطيط المنهجي (Manchadi وآخرون، 2023) ؛ (Uçar وآخرون، 2024).

وقد أضاف تسارع الثورة الرقمية وتطور الذكاء الاصطناعي بُعدًا رابعًا ناشئًا في بعض الكتابات المتخصصة يُسمى الصيانة الذاتية أو التشغيل الذاتي، حيث تُشخّص الأجهزة نفسها وتُصلح بعض مشكلاتها ذاتيًا، وإن كان هذا المستوى لا يزال في طور التطوير التجريبي.

ثانيًا: مفهوم الصيانة التنبؤية وعناصرها الجوهرية

تُعرّف الصيانة التنبؤية في الأدبيات العلمية بأنها "مجموعة من الإجراءات المستخدمة لتقييم حالة المعدات ورصد مؤشرات التشغيلية الحية، والتنبؤ بالأعطال المستقبلية قبل وقوعها، واستخدام هذه التنبؤات في الجدولة الذكية لأنشطة الصيانة في أمثل وقت ممكن" (Manchadi وآخرون، 2023). وعلى المستوى التطبيقي، يُعرّفها (Uçar وآخرون 2024) بأنها "المنهج الصياني الذي يُوظف تقنيات التعلم الآلي وبيانات المستشعرات الحية لتنبؤ الأعطال واتخاذ قرارات الصيانة قبل حدوث الفشل الوظيفي". وتقوم الصيانة التنبؤية في منظومة الأجهزة الطبية على خمسة عناصر جوهرية متشابكة:

العنصر الأول: جمع البيانات الحية (Real-time Data Collection) عبر منظومة متكاملة من الحساسات الرقمية المثبتة على الأجهزة الطبية، والتي تقيس باستمرار متغيرات الأداء المتعددة كدرجات الحرارة التشغيلية، ومستويات الاهتزاز، وقراءات التيار الكهربائي، وضغط السوائل، وأوقات التشغيل التراكمية. وتُرسل هذه البيانات فورًا إلى منصة تحليل مركزية عبر بروتوكولات إنترنت الأشياء.

العنصر الثاني: معالجة البيانات وتنقيتها (Data Processing & Cleansing) إذ تُعالج البيانات الخام الواردة من الحساسات للتخلص من الضجيج والقراءات الشاذة وملء الفجوات الناتجة عن انقطاعات الاتصال، لتصبح البيانات صالحةً للتحليل الموثوق.

العنصر الثالث: النمذجة التنبؤية (Predictive Modelling) حيث تُطبّق خوارزميات التعلم الآلي على البيانات المُنقّاة لبناء نماذج رياضية تُحدد العلاقات بين مؤشرات الأداء الراهنة وأحداث الأعطال المحتملة مستقبلاً. وتتعدد الخوارزميات المستخدمة بحسب طبيعة الجهاز وبيانات تشغيله، من آلات المتجهات الداعمة (SVM) إلى شبكات التعلم العميق (LSTM, CNN) إلى خوارزميات الغابات العشوائية Random Forest.

العنصر الرابع: التنبيه والتوجيه (Alerting & Guidance) حيث يُصدر النظام تنبيهات مُحدّدة حين تتجاوز مؤشرات الأداء حدودًا معيّنة تُنذر بعطل وشيك، مُحدّدًا الجهاز المعني وطبيعة المشكلة المتوقعة والوقت المقدّر لحدوثها، ومُقتراحًا إجراءات الصيانة الملائمة.

العنصر الخامس: التعلم المستمر (Continuous Learning) إذ تُغذّى النماذج التنبؤية باستمرار ببيانات الأعطال الفعلية التي حدثت والإجراءات الصيانية التي اتُخذت لتصحيح التنبؤات وتحسين دقتها مع مرور الوقت، مما يُحقق تحسّنًا تراكميًا مستمرًا في قدرات المنظومة.

ثالثًا: تقنيات الذكاء الاصطناعي في الصيانة التنبؤية الطبية

1. إنترنت الأشياء (IoT) في مراقبة الأجهزة الطبية

يُمثّل إنترنت الأشياء الركيزة الأساسية التي تُتيح جمع البيانات الحية من الأجهزة الطبية على نطاق واسع. وقد أثبتت دراسة (Shamayleh وآخرون 2020) المُجرّاة في إمارة دبي - التي طبّقت نظام صيانة تنبؤية بالإنترنت الأشياء على جهاز Vitros-Immunoassay - أن هذا النهج حقق توفيرًا في التكاليف يصل إلى 25% مع فترة استرداد للاستثمار لا تتجاوز عامًا واحدًا. وفي السياق الأفريقي، طوّرت دراسة (Habimana وآخرون 2020) بنية تحتية للصيانة التنبؤية بالإنترنت الأشياء مخصصة لمستشفيات محدودة الموارد في رواندا، مُثبتةً قابلية هذه التقنية للتكيف مع بيئات صحية متباينة.

ولفهم حجم الانعكاس العملي، تُشير إحصاءات GE HealthCare إلى أن المستشفيات الحديثة باتت تمتلك بمتوسط 10-15 جهازًا طبيًا متصلاً بالإنترنت لكل سرير، وهو رقم يُجسّد الحجم الهائل للبيانات التي يمكن أن تولّدها هذه الأجهزة وتوظيفها في الصيانة التنبؤية. (GE HealthCare, 2026)

2. خوارزميات التعلم الآلي في التنبؤ بأعطال الأجهزة الطبية

تُشكّل خوارزميات التعلم الآلي قلب المنظومة التحليلية للصيانة التنبؤية. وقد أثبتت دراسة (Zamzam وآخرون 2023) التي حلّلت 13,350 وحدةً من 19 فئةً جهاز طبي مختلف باستخدام 13 سمةً مُبتكرةً أن نموذج SVM يحقق دقةً تنبؤيةً مذهلةً بلغت 96.9% في رصد أول حدث عطل، وهو رقم يُجسّد الإمكانية الواقعية لتجنّب الأعطال بشكل شبه شامل عبر التنبؤ المبكر.

وعلى صعيد التطبيق الموسّع، وثّقت دراسة (Abd Rahman وآخرون 2023) في مجلة IEEE Access توظيف نماذج تحليل متعددة الوسائط (Multimodal) تجمع بين بيانات هيكلية ونصوص سرديّة من سجلات الصيانة باستخدام نمذجة الموضوعات (LDA) على 8,294 جهازًا طبيًا حرجًا في 15 مؤسسة صحية ماليزية، حيث حقق المُصنّف المُجمّع دقّةً تبلغ 88.80%، مع توفير مالي تراكمي قُدّر بنحو 70,000 دولار سنويًا.

وتتباين الخوارزميات الأنسب بحسب نوع الجهاز الطبي وطبيعة بيانات تشغيله:

جدول 1: خوارزميات التعلم الآلي في التنبؤ بأعطال الأجهزة الطبية

نوع الخوارزمية	الأنسب لـ	المزايا الرئيسية
SVM	بيانات منظمة عالية الأبعاد	دقة تنبؤية عالية مع بيانات محدودة
Random Forest	بيانات متعددة المتغيرات	مقاومة للضجيج، تحديد الأهمية النسبية للمتغيرات
LSTM	بيانات سلاسل زمنية	التعلم من الأنماط الزمنية للأداء
CNN	بيانات صور وإشارات	استخراج الأنماط المكانية من بيانات الاهتزاز
Gradient Boosting	أنظمة تشخيص معقدة	دقة عالية عبر الدمج التدريجي للنماذج

جدول 1 خوارزميات التعلم الآلي

3. التوأم الرقمي (Digital Twin) في صيانة الأجهزة الطبية

يُعدّ التوأم الرقمي أحدث وأكثر تقنيات الصيانة التنبؤية تطورًا وتكاملاً، إذ يُنشئ نسخة افتراضية حية من الجهاز الطبي تُحاكي حالته ودورات تشغيله في الزمن الحقيقي. وقد أثبتت تطبيقات GE Healthcare للتوائم الرقمية في تتبع أداء أجهزة MRI و CT نتائج بالغة الأهمية: تحسّن في الكفاءة التشغيلية بنسبة 15%، وخفض في وقت التعطل بنسبة 25%، وانخفاض في تكاليف الإصلاح بنسبة 30% (Katsoulakis وآخرون، 2024) كذلك أثبتت دراسة (Nikam وآخرون 2025) أن النموذج المُقترح للتوأم

الرقمي المدعوم بالذكاء الاصطناعي يتفوق على الأساليب التقليدية في الكفاءة التشغيلية والالتزام بمعايير الجودة الصحية.

رابعاً: أثر الصيانة التنبؤية على أداء فرق الصيانة الطبية

يُعدّ هذا المحور الأكثر صلةً مباشرةً بالدراسة الحالية، إذ يُجيب عن السؤال: كيف يتحوّل تبني الصيانة التنبؤية تقنياً إلى تحسّن ملموس في أداء الفرق الفنية؟

على صعيد الكفاءة التشغيلية، تُتيح الصيانة التنبؤية للفرق الفنية الانتقال من الاستجابة الطارئة غير المُخطّطة إلى العمل المُجدول والمُحكوم، مما يُحسّن استخدام الوقت والموارد البشرية والمادية بصورة جذرية. فبدلاً من توجيه الفريق كله في حالة طوارئٍ للتعامل مع عطل مفاجئ، يعمل الفريق وفق جدول صيانة محكم مبني على أولويات مستمدة من بيانات المخاطر الفعلية. (CDA-AMC, 2022)

وعلى صعيد سرعة الاستجابة، تُقلّص الصيانة التنبؤية فترات التوقف عن العمل بصورة جذرية؛ فبدلاً من اكتشاف العطل بعد حدوثه وقضاء وقت في التشخيص ثم انتظار قطع الغيار ثم الإصلاح، يعلم الفريق مسبقاً بالمشكلة المتوقعة ويُجهّز قطع الغيار ويُنسّق الموارد اللازمة قبل إيقاف الجهاز للصيانة. وقد وثّقت دراسة (Abdul Jamil وآخرون 2024) خفصاً في وقت تعطل أجهزة MRI بنسبة 20% في بيئات صحية تطبّق المراقبة المدعومة بالذكاء الاصطناعي.

وعلى صعيد جودة الخدمة، ترتفع جودة الصيانة المنجزة حين تكون مبنيةً على تشخيص دقيق مستند إلى بيانات موضوعية لا على التخمين أو الاختبار المتسلسل للاحتتمالات، مما يُقلّص معدل الأعطال المتكررة بصورة ملموسة.

وعلى صعيد المعرفة التقنية، تُشكّل منظومة الصيانة التنبؤية بيئةً تعليميةً تراكميةً للفنيين؛ إذ يتعلمون كيفية قراءة مخرجات النماذج التنبؤية وتفسير البيانات التشغيلية واتخاذ قرارات مبنية على الأدلة بدلاً من الاعتماد على الخبرة الحدسية وحدها. وقد أكدت دراسة Jeilani و Hussein (2025) أن تبني تقنيات الصحة الرقمية يُحسّن أداء العاملين بمعامل انحدار مُعياري بلغ ($\beta=0.452$, $p<0.001$) وهو دليل إحصائي على أن الإنسان لا يُلغى في المنظومة الرقمية بل يُطوّر.

خامساً: تحديات تطبيق الصيانة التنبؤية في الأجهزة الطبية

على الرغم من المكاسب الموثقة لتطبيق الصيانة التنبؤية، رصدت الأدبيات جملةً من التحديات العملية التي يستلزم تجاوزها نجاح التطبيق:

التحدي الأول: موثوقية النماذج والأمان السيبراني إذ تُشير دراسة (Uçar وآخرون 2024) إلى أن بعض الشركات تتحفظ في تبني الصيانة التنبؤية بسبب مخاوف تتعلق بدقة النماذج في ظروف تشغيل غير نمطية، وبمخاطر الأمن السيبراني المصاحبة لربط الأجهزة الطبية بشبكات إنترنت الأشياء.

التحدي الثاني: التكاليف الأولية المرتفعة لتنشيط منظومة الحساسات وبناء البنية التحتية الرقمية وتدريب الكوادر البشرية، وإن كانت دراسات الجدوى الاقتصادية تُثبت أن التوفير المتحقق في الأمد المتوسط يفوق هذه التكاليف الأولية.

التحدي الثالث: التكامل مع الأنظمة القائمة إذ كثيراً ما تُعاني المستشفيات وشركات الأجهزة الطبية من عدم توافق الأنظمة الجديدة مع بنيتها التحتية الرقمية القائمة وبروتوكولات الاتصال المختلفة.

التحدي الرابع: الكفاءة البشرية التقنية الذي يُعدّ الأكثر تأثيراً في السياق العربي والسعودي؛ إذ تستلزم منظومة الصيانة التنبؤية كوادر فنية قادرة على التعامل مع البيانات الضخمة وتفسير مخرجات النماذج التنبؤية واتخاذ القرارات المبنية عليها. وقد وثّقت دراسة الهيئة العامة للغذاء والدواء السعودية (SFDA, 2023) أن بعض المنشآت الصحية السعودية لا تزال تعاني من فجوة في الكفاءات التقنية اللازمة للاستفادة الكاملة من هذه المنظومات.

التحدي الخامس: مقاومة التغيير المؤسسي إذ قد يرى بعض الفنيين ذوي الخبرة التقليدية في منظومة الصيانة التنبؤية تهديداً لمكانتهم المهنية ولا استبدالاً قيماً لأساليبهم، مما يُعيق التبني الفعلي وإن توافرت التقنية.

المبحث الثالث: رقمنة سجلات الصيانة وأنظمة إدارة الأصول الطبية

أولاً: السياق التاريخي والمبررات الاستراتيجية

لفهم الدور المحوري لرقمنة سجلات الصيانة في منظومة التحول الرقمي، لا بد أولاً من استحضار الصورة التقليدية التي كانت سائدة قبل هذا التحول. كانت فرق الصيانة الطبية في البيئات التقليدية تعتمد اعتماداً كلياً على ملفات ورقية لتوثيق تاريخ كل جهاز وأعطاله وإصلاحاته، وعلى جداول يدوية لتنظيم مواعيد الصيانة الوقائية، وعلى الذاكرة البشرية الفردية لاستحضار المعلومات الفنية الضرورية. هذا النظام لم يُقدّم للإدارة سوى صورة جزئية ومتأخرة عن حال أسطول الأجهزة، ولم يُتيح التحليل الإحصائي الذي يكشف الأنماط ويُحدد مصادر الأعطال المتكررة. (WHO, 2011)

وقد جاءت رقمنة سجلات الصيانة استجابةً لضرورتين مترامنتين: الأولى إدارية تتمثل في تزايد حجم الأسطول التقني وتعقيده بصورة تجعل الإدارة اليدوية غير كافية، والثانية جودة تتمثل في الانتقال نحو ثقافة القرار المبني على الأدلة (Evidence-Based Management) التي تستلزم بيانات موثوقة ومتاحة في الوقت الفعلي. فضلاً عن ذلك تُلزم الهيئة الدولية لتجميع المعايير الصحية Joint Commission International - JCI والهيئات التنظيمية الوطنية كالهيئة العامة للغذاء والدواء السعودية (SFDA) المنشآت الصحية بالاحتفاظ بسجلات صيانة موثقة وقابلة للتدقيق، وهو اشتراط يُعجز النظام الورقي عن الوفاء به في المؤسسات الكبيرة (SFDA, 2023).

ثانياً: نظام إدارة الصيانة المحوسب (CMMS) وأبعاده الوظيفية

يُعدّ نظام إدارة الصيانة المحوسب - Computerized Maintenance Management System الأداة البرمجية المحورية لتحقيق رقمنة سجلات الصيانة الطبية وإدارتها. وتُعرّف المنظمة الدولية للصيانة بأنه "نظام معلوماتي يُحتفظ فيه بقاعدة بيانات تشغيلية تُتيح أتمتة جدولة الصيانة وتتبع الأعطال وإدارة قطع الغيار وقياس أداء الفرق". وعلى المستوى الصحي تحديداً تُعرّفه IBM بأنه "منصة برمجية مُصممة لمنح فرق التشغيل والصيانة مركزاً موحداً لأتمتة سير عمل الصيانة ومراقبة أداء الأصول الطبية وتحسين اتخاذ القرارات القائمة على البيانات" (IBM, 2024).

وتتوزع وظائف نظام CMMS الصحي في سبعة محاور وظيفية رئيسية متكاملة:

المحور الأول: إدارة مخزون الأصول (Asset Inventory Management) إذ يُتيح النظام بناء قاعدة

بيانات شاملة لكل جهاز طبي تتضمن بياناته الفنية والإدارية: الرقم التسلسلي، الشركة المصنّعة، موديل الجهاز، تاريخ الاقتناء والتركيب، موقع الجهاز الفعلي، قيمته الاستهلاكية، ورقم العقد المرتبط بصيانته.

المحور الثاني: أتمتة أوامر العمل (Work Order Automation) حيث يُولّد النظام أوامر العمل تلقائيًا

استنادًا إلى بلاغات الأعطال الواردة أو الجداول الوقائية المبرمجة، ويوجّه هذه الأوامر للفنيين المختصين وفق معايير الأولوية والتخصص والتوافر.

المحور الثالث: جدولة الصيانة الوقائية (Preventive Maintenance Scheduling) إذ يُبرمج

النظام مسبقًا برامج الصيانة الوقائية لكل جهاز بحسب توصيات الشركة المصنّعة واشتراطات هيئات الاعتماد، ويُصدر إشعارات تلقائية للفنيين والإداريين عند اقتراب مواعيد الصيانة.

المحور الرابع: توثيق التاريخ الكامل (Complete History Documentation) حيث يُسجّل النظام

كل تدخل صياني بتفاصيله الدقيقة: وصف العطل، وقت الاستلام وبدء التدخل والإنهاء، الإجراءات المُتخذة، قطع الغيار المُستخدمة، اسم الفني المنفّذ، والتكاليف المترتبة، مُوثَّقةً مع طابع زمني دقيق.

المحور الخامس: إدارة قطع الغيار والمخزون (Spare Parts & Inventory Management) إذ

يتتبع النظام مخزون قطع الغيار وتاريخها ومستوياتها الدنيا، ويُطلق إشارات تنبيه عند اقتراب نفادها، ويرتبط في بعض الأنظمة المتقدمة بالتوقعات التنبؤية لاستخدام قطع معينة.

المحور السادس: قياس مؤشرات الأداء (KPIs Measurement) حيث يحسب النظام تلقائيًا مجموعة

من مؤشرات الأداء الرئيسية كمتوسط وقت الاستجابة ومتوسط وقت الإصلاح ومعدل إتمام الصيانة الوقائية ومعدل تكرار أعطال كل جهاز، مُقدّمًا لوحة بيانات (Dashboard) تُتيح للإدارة مراقبة أداء الفريق الفني في الزمن الحقيقي.

المحور السابع: إعداد التقارير والتحليلات (Reporting & Analytics) إذ يُولّد النظام تقارير دورية

ومخصصة تُساعد في استخراج الأنماط والتوجهات، كتحديد الأجهزة الأكثر عطلًا، والفترات الزمنية الأعلى طلبًا على الصيانة، والفنيين الأعلى إنتاجيةً.

ثالثاً: نظام إدارة الأصول المؤسسية (EAM) وعلاقته بـ CMMS

تجدر الإشارة إلى التمييز المفاهيمي بين نظامي CMMS و EAM الذي يكثر الخلط بينهما في الأدبيات. فنظام إدارة الأصول المؤسسية (Enterprise Asset Management – EAM) هو نظام أشمل وأوسع نطاقاً، يُعنى بإدارة دورة حياة الأصول المادية كاملةً من لحظة التخطيط للاقتناء مروراً بالتشغيل والصيانة وصولاً إلى التخلص والاستبدال. ويُعتبر CMMS في المفهوم الأدق مكوناً وظيفياً ضمن الإطار الأشمل لـ EAM. وفي البيئات الصحية الحديثة تتجه المؤسسات نحو تطوير منصات EAM متكاملة تُدمج وظائف CMMS مع وظائف الإدارة المالية للأصول وتخطيط دورة حياتها ومحاسبة تكاليف الصيانة الكاملة (Lumin, 2023). (AAMI, 2018)

رابعاً: الأثر الميداني الموثق لتطبيق أنظمة CMMS

رصدت الدراسات التطبيقية في بيئات صحية متعددة آثاراً ملموسة وقابلة للقياس الكمي لتطبيق أنظمة CMMS. وعلى رأس هذه الشواهد تأتي دراسة (Beniacoub وآخرون 2021) الرائدة التي وثّقت تجربة تطبيق CMMS في المنظومة الصحية ببوروندي عبر أربعة مستشفيات و73 مركزاً صحياً على مدار ثلاث سنوات (2017-2020). أظهرت النتائج ارتفاعاً مذهباً في تدخلات الصيانة المُنجزة شهرياً من أربعة فحسب إلى 350 تدخلاً، وانخفاضاً جوهرياً في متوسط تأخر الصيانة التصحيحية من 106 أيام إلى 26 يوماً فحسب، وارتفاعاً في نسبة الأجهزة الطبية العاملة من 88% إلى 91%.

وفي سياق إيطالي أكثر نضجاً، طوّرت دراسة (Verga وآخرون 2023) برنامج CMMS في مستشفى Spedali Civili ببيريشا مع منظومة مؤشرات أداء متطورة تشمل معدل العطل العام (GFR) ومعدل العطل حسب عمر الجهاز (AFR) واتجاه الاقتناء (AT)، مُقدّمة نموذجاً للتحليل المؤشري الذي يُتيح للإدارة قرارات مبنية على أدلة كمية دقيقة. وفي المستوى الأكثر تقدماً، دمجت دراسة (Pezzillo وآخرون 2024) في مستشفى Niguarda الميلاني نظام CMMS مع أدوات ذكاء الأعمال (Power BI)، مُطوّرة 18 مؤشر أداء رئيسياً موزعة على فئات اللوجستيات والتقنية وإدارة المعدات، مُقدّمة نموذجاً تحليلياً بصرياً متكاملًا لتقييم أداء الهندسة السريرية.

خامسًا: رقمنة السجلات ومؤشرات الأداء في السياق السعودي

يُشكّل السياق التنظيمي السعودي بيئةً داعمةً لتبني أنظمة رقمنة سجلات الصيانة الطبية. فقد ألزمت الهيئة العامة للغذاء والدواء (SFDA) الشركات العاملة في مجال الأجهزة الطبية بتوثيق تفاصيل الصيانة الوقائية (PPM) في نظام إدارة الصيانة الحاسوبي والاحتفاظ بالبيانات خمس سنوات على الأقل، مما يجعل تبني CMMS اشتراطاً تنظيمياً لا مجرد خيار تحسيني (SFDA, 2023). وعلى المستوى الأوسع، رسمت رؤية المملكة 2030 وبرنامج تحول القطاع الصحي توجهًا استراتيجيًا واضحًا نحو الرقمنة الشاملة للمنظومة الصحية، مما يوفر دعمًا مؤسسيًا على أعلى المستويات لمبادرات التحول الرقمي في الصيانة الطبية (وزارة الصحة السعودية، 2023).

وتتجلى الأهمية الاقتصادية لهذا التوجه في إحصاءات السوق العالمية؛ إذ بلغ حجم سوق أنظمة CMMS في الرعاية الصحية عالميًا 211.6 مليون دولار عام 2022 بمعدل نمو سنوي مركب يتجاوز 11.25%، مما يعكس وتيرة التبني المتسارع لهذه الأنظمة في القطاع الصحي العالمي (Grand View Research, 2023).

سادسًا: العلاقة بين رقمنة السجلات وتطوير أداء فرق الصيانة

تشكّل العلاقة بين رقمنة سجلات الصيانة وأداء الفرق الفنية عبر آلية متعددة المستويات. على مستوى الكفاءة التشغيلية، يُلغي CMMS الجهد المهدر في البحث عن السجلات الورقية والتعامل مع بيانات منقوصة أو متضاربة، مما يُحرر طاقة الفريق الفنية للعمل الفعلي. وعلى مستوى سرعة الاستجابة، يُتيح وصول الفنيين الفوري إلى تاريخ الجهاز وسجل أعطاله عبر أجهزتهم المحمولة تشخيصًا أسرع وأدق، مما يُقلّص وقت التدخل الإجمالي. وعلى مستوى جودة الخدمة، تتخفّض معدلات الأعطال المتكررة حين يتمكن الفنيون من الاطلاع على كل محاولات الإصلاح السابقة وما أسفرت عنه. وعلى مستوى المعرفة التقنية، تُشكّل قاعدة البيانات التراكمية للأعطال والحلول مرجعًا معرفيًا مؤسسيًا يُطوّر كفاءة الفريق تراكميًا مع مرور الوقت. وقد دعمت دراسة (Adingo وآخرون 2024) هذه العلاقة من الاتجاه المعاكس؛ إذ أثبتت أن غياب CMMS يُفضي إلى ضعف التوثيق ولا موثوقية البيانات وقرارات إدارية غير مبنية على أدلة، مما يُعيق تطوير أداء الفرق الفنية بصورة منهجية ومستدامة.

المبحث الرابع: التطبيقات التكنولوجية الصحية وأثرها على الصيانة

أولاً: مفهوم التطبيقات التكنولوجية الصحية في سياق الصيانة

تُشكّل التطبيقات التكنولوجية الصحية في سياق الدراسة الحالية المنظومة الشاملة من الأدوات والمنصات الرقمية التفاعلية التي يوظّفها أفراد فرق الصيانة في عملهم الميداني اليومي، بدءًا من استلام بلاغات الأعطال وانتهاءً بإغلاق أوامر العمل وتوثيق نتائج التدخل. ويختلف هذا البُعد في طبيعته عن البُعدين السابقين؛ فالصيانة التنبؤية تُمثّل الطبقة التحليلية الذكية، ورقمنة السجلات تُمثّل الطبقة البنية التحتية المعلوماتية، فيما تُمثّل التطبيقات التكنولوجية الصحية الطبقة التفاعلية التي يلمسها الفني يوميًا ويتعامل معها مباشرةً في الميدان.

وقد شهد هذا المجال تطورًا متسارعًا خلال العقد الأخير، مدفوعًا بتطور الأجهزة الذكية وانتشار شبكات الجيل الرابع والخامس وتطور واجهات الاستخدام التي باتت أكثر سهولةً وبديهيةً. ويُعرّف (Schiavone وآخرون 2021) هذه التطبيقات في السياق الصحي بأنها "الحلول الرقمية المتكاملة التي تُعيد تصميم عمليات تقديم الرعاية الصحية وخدمات الدعم التشغيلي لها"، وهو تعريف يشمل بطبيعته تطبيقات الصيانة الميدانية باعتبارها خدمة دعم تشغيلية حيوية.

ثانيًا: تصنيف التطبيقات التكنولوجية الصحية في الصيانة الطبية

تتنوع التطبيقات التكنولوجية الموظّفة في صيانة الأجهزة الطبية في أربعة محاور وظيفية متكاملة، يُساهم كلّ منها في جانب مختلف من منظومة الأداء الصياني:

المحور الأول: تطبيقات إدارة أوامر العمل المتنقلة (Mobile Work Order Applications) تُمثّل

هذه التطبيقات الواجهة الأساسية لعمل الفني في الميدان، إذ تُتيح له استلام بلاغات الأعطال فور ورودها على جهازه الذكي، والاطلاع على كافة تفاصيل الجهاز المُبلّغ عنه وتاريخه الصياني، وتسجيل الإجراءات

التصحيحية المتخذة وقطع الغيار المستخدمة، وإغلاق أمر العمل إلكترونياً مع توثيق النتيجة، كل ذلك دون الحاجة للعودة إلى المكتب المركزي أو ملء نماذج ورقية. وتُترجم هذه الوظيفة الوصف النظري لرقمنة سجلات الصيانة إلى واقع تشغيلي ملموس يختبره الفني في كل تدخل صياني.

المحور الثاني: أنظمة المراقبة عن بُعد والتشخيص الافتراضي (Remote Monitoring & Teleservice Systems)

تُتيح هذه الأنظمة للفنيين الخبراء تشخيص أعطال الأجهزة الطبية من مواقع بعيدة، وتوجيه الفرق الميدانية خطوة بخطوة عبر منصات التواصل المرئي أو الواجهات التقنية المتخصصة. وتكتسب هذه التقنية أهمية مضاعفة في الشركات التي تغطي مناطق جغرافية واسعة؛ إذ تُمكن الخبير من دعم عشرات الفنيين المنتشرين في مواقع متفرقة دون الحاجة للتنقل المادي. وتُقدم تجربة الجيش الأمريكي النموذج الأكثر إقناعاً على الفجوة الزمنية بين البديلين؛ فالتشخيص عن بُعد أنجز إصلاحاً في يومين مقارنةً بأكثر من ستين يوماً كانت ستستغرقها البعثة الميدانية. (AMLC, 2026)

المحور الثالث: منصات التواصل والتنسيق الميداني (Field Communication Platforms) تشمل هذه المنصات تطبيقات المراسلة الفورية المتخصصة، وأنظمة التتبع الجغرافي لفرق الصيانة، ومنصات التنسيق بين قسم الصيانة والمستشفيات العميلة. وتُسهّم هذه الأدوات في تقليص وقت الاستجابة من خلال توجيه البلاغات للفني الأقرب جغرافياً والأنسب تخصصاً، وتُعزز التواصل المؤسسي وتُخلّص العمليات من الاعتماد على المكالمات الهاتفية التقليدية التي لا تولّد أثراً توثيقياً.

المحور الرابع: أدوات التوثيق التقني الرقمي والتدريب الافتراضي (Digital Technical Documentation & Virtual Training)

تشمل قواعد البيانات الرقمية لأدلة الصيانة ومخططات الدوائر وقوائم قطع الغيار وبروتوكولات الفحص المتاحة فوراً للفنيين عبر أجهزتهم المحمولة، إضافةً إلى تطبيقات الواقع المعزز (AR) التي تُتراكب المعلومات التقنية فوق صورة الجهاز الحقيقي. وقد وثّقت دراسة (Moshayedi وآخرون 2024) أن التدريب بالواقع الافتراضي يُقلّص أخطاء الصيانة بنسبة 35%، وهي نسبة تنعكس مباشرةً على مؤشر جودة الخدمة

في أداء فرق الصيانة. كذلك خلصت دراسة (Dhar وآخرون 2021) إلى أن الواقع المعزز يُوفر بيئةً تعليميةً آمنةً وتفاعليةً تُعجّل باكتساب المهارات الفنية بصورة ملحوظة.

ثالثاً: الأثر التشغيلي الموثق للتطبيقات التكنولوجية الصحية

تتراكم في الأدبيات أدلة كمية ونوعية متينة على الأثر الإيجابي لتبني التطبيقات التكنولوجية الصحية في تطوير كفاءة الصيانة وأداء الفرق الفنية. وتُقدّم مراجعة (Bou Nassif وآخرون 2023) الشاملة التي نُشرت في مجلة The Lancet Digital Health شاهداً أكاديمياً رفيع المستوى؛ إذ خلصت إلى أن تقنيات الصحة الرقمية تفوقت على الأساليب التقليدية في التقليل المستمر للتكاليف التشغيلية، وزيادة مرونة فرق العمل وإنتاجيتها، وتعزيز جاهزية الوصول الفوري إلى المعلومات اللازمة لاتخاذ القرار. وعلى صعيد مقاييس الأداء الكمية، كشفت دراسة (Mittal 2024) أن الحلول السحابية الصحية حققت خفضاً في وقت انتظار المرضى بنسبة 35%، وتحسيناً في دقة التشخيص بنسبة 45%، وانخفاضاً في تكاليف البنية التحتية التقنية بنسبة 30%، وهي مؤشرات تنعكس في مجملها على أسطول الأجهزة الطبية وجاهزيته.

وعلى مستوى الأثر المباشر على فرق الصيانة تحديداً، أثبتت دراسة (Jeilani و Hussein 2025) بأدوات الإحصاء الاستدلالي أن تبني تقنيات الصحة الرقمية يُحسن أداء العاملين الصحيين بمعامل انحدار معياري ($p < 0.001$, $\beta = 0.452$) مع تأثير موازٍ في تخفيض عبء العمل ($p < 0.001$, $\beta = 0.594$) مما يعني أن الأداء يرتفع في آنٍ واحد مع انخفاض الإجهاد الوظيفي، وهو توليف نادر يُؤكد أن التقنية الرقمية حين تُوظف بصورة سليمة تُضاعف الناتج الإنساني لا أن تستنزفه.

رابعاً: التطبيقات التكنولوجية الصحية في المملكة العربية السعودية

يُمثّل الواقع الرقمي الصحي في المملكة العربية السعودية تربةً خصبةً وبيئةً جاهزةً لاستقبال مزيد من التطبيقات التكنولوجية في قطاع الصيانة الطبية. فقد طوّرت وزارة الصحة اثني عشر تطبيقاً صحياً رقمياً شاملاً خلال السنوات الأخيرة، في مقدمتها تطبيقاً "صحتي" و"صحة" اللذان تجاوزا مستخدميهما 24 مليون مستخدم يُمثلون 68.5% من سكان المملكة. وشهد تطبيق "موعد" نمواً هائلاً في حجم المواعيد المحجوزة رقمياً من ثمانية ملايين إلى مئة مليون موعد في فترة وجيزة. وتُدعم هذه المؤشرات الميدانية بتقرير (ماكنزي

(2022) الذي قَدَّر بأن الرعاية الصحية الرقمية يمكن أن تُحقق ما يصل إلى 27 مليار دولار من القيمة المضافة في المملكة بحلول 2030 إن تسارع تبنيها (Alkhalifah وآخرون، 2022).

وفي تقييم جاهزية التحول الرقمي الصحي، رصدت دراسة (القهطاني وآخرون 2022) التي طُبِّقت على عشر منشآت صحية في المنطقة الشرقية باستخدام مؤشرات HIMSS أن بُعد التحليلات التنبؤية والتطبيقات التكنولوجية المتقدمة جاء في المرتبة الأدنى تطبيقًا بمتوسط 70 نقطة مقارنةً بمتوسطات أعلى في بُعدي الحوكمة والقوى العاملة. وهذا يُشير إلى أن فجوة التطبيق التكنولوجي لا تزال قائمةً وتستدعي معالجةً مُتعمَّدةً ومنظمةً.

خامسًا: آليات تأثير التطبيقات التكنولوجية في أبعاد الأداء الأربعة

تتفاعل التطبيقات التكنولوجية الصحية مع أبعاد أداء فرق الصيانة الأربعة وفق آليات تأثير مُحددة وقابلة للملاحظة:

على صعيد الكفاءة التشغيلية، تُلغي تطبيقات إدارة أوامر العمل المتنقلة الزمن الهالك في التنقل للمكتب وإنجاز الإجراءات الإدارية الورقية، وتُمكن الفني من استيعاب بلاغات متعددة في يوم عمل واحد عوضًا عن الانشغال بالبيروقراطية.

وعلى صعيد سرعة الاستجابة، تُقلّص أنظمة التتبع الجغرافي زمن توجيه الفني إلى موقع العطل، في حين تُتيح تطبيقات التشخيص عن بُعد حلول عطلٍ كثير منها دون حاجة للزيارة الميدانية أصلاً.

وعلى صعيد جودة الخدمة، يرتفع مستوى الجودة حين يصل الفني إلى موقع العطل مُدرِّعًا بمعلومات كاملة عن الجهاز ومسلحًا بأداة تشخيصية دقيقة وقطع غيار صحيحة محددة مسبقًا.

وعلى صعيد المعرفة التقنية، تُعلّم التطبيقات الميدانية وتوثّق في آنٍ واحد؛ فالفني يتعلم من حالات سابقة مشابهة محفوظة في قاعدة البيانات، ومن توصيات المنظومة الرقمية، ومن جلسات التدريب الافتراضي، مما يُسرّع المسار التعليمي ويُقلّص الفجوة المعرفية بين الفنيين الخبراء والمبتدئين.

المبحث الخامس: أداء فرق الصيانة الطبية ومؤشرات قياسه

أولاً: مفهوم أداء فرق الصيانة الطبية وتطوره

يُعرّف أداء فرق الصيانة الطبية في الأدبيات العلمية الحديثة بأنه "مجموع النتائج الكمية والنوعية التي تُحقّقها هذه الفرق في تنفيذ مهامها الصيانية، قياساً بالمعايير الفنية المعتمدة والأهداف التشغيلية المحدّدة لها" وقد مرّ هذا المفهوم بتطور لافت في العقود الأخيرة؛ إذ كان التركيز تاريخياً ينصبّ على المؤشر الأحادي الأبسط (CDA-AMC, 2022). وهو معدل إصلاح الأعطال، ثم توسّع تدريجياً ليشمل جوانب الكفاءة الاقتصادية وجودة التنفيذ وسرعة الاستجابة والكفاءة البشرية للفريق، في تحوّل يعكس إدراكاً متنامياً بأن جودة الصيانة ليست مسألة تقنية أحادية البعد بل منظومة متكاملة من الأداءات المتشابكة.

وتكتسب إدارة أداء فرق الصيانة الطبية أهميةً مضاعفةً تميّزها عن نظيراتها في القطاعات الأخرى، وذلك لاعتبارين جوهريين: أولهما ارتباط أداء هذه الفرق ارتباطاً مباشراً بسلامة المرضى وحياتهم، فتعطلّ جهاز التنفس الاصطناعي أو أجهزة مراقبة القلب لا يُمثّل خسارة اقتصادية فحسب بل قد يُهدّد أرواحاً. وثانيهما أن الأجهزة الطبية تخضع لرقابة تنظيمية صارمة تستلزم توثيقاً دقيقاً لكل عملية صيانة وإثباتاً مستمراً لمستوى الأداء أمام هيئات الاعتماد (SFDA, 2023 ؛ D'Souza وآخرون, 2019).

ثانياً: الأبعاد الأربعة لأداء فرق الصيانة الطبية في الدراسة الحالية

استناداً إلى تحليل معمّق للأدبيات العلمية ذات الصلة والمعايير المهنية الدولية، تعتمد الدراسة الحالية إطاراً رباعي الأبعاد لقياس أداء فرق الصيانة الطبية:

البُعد الأول: الكفاءة التشغيلية (Operational Efficiency)

يُشير هذا البُعد إلى قدرة فريق الصيانة على تنفيذ مهامه بأقل قدر ممكن من الموارد (وقتاً ومالاً وجهداً) مع تحقيق النتائج المستهدفة أو تجاوزها. ويُترجم عملياً إلى مؤشرات عدة أبرزها: نسبة تكلفة الصيانة إلى إجمالي قيمة الأصول المُدارة (يُعَدّ معدل 5-10% معياراً مرجعياً متعارفاً عليه في الأدبيات)، ونسبة وقت التشغيل الفعلي للأجهزة (Uptime) التي تستهدف عادةً ما لا يقل عن 95%، ومعدل إتمام الصيانة الوقائية المُخطّطة (يُعَدّ $90\% \leq$ معياراً مرجعياً عالمياً)، ونسبة استخدام الموارد البشرية الفنية التي تستهدف نطاق 85-95% من الطاقة الإنتاجية المتاحة (D'Souza وآخرون, 2019؛ Mathew وآخرون, 2024).

البُعد الثاني: سرعة الاستجابة (Response Speed)

يُقيّم هذا البُعد المدة الزمنية الإجمالية من لحظة الإبلاغ عن العطل حتى استعادة الجهاز لعمله الكامل. ويتضمن هذا البُعد مؤشرات زمنية متعاقبة: متوسط وقت الاستجابة الأولية (من الإبلاغ حتى وصول الفني)، ومتوسط وقت الإصلاح الفعلي (MTTR) ، وإجمالي وقت التعطل (Downtime) لكل جهاز أو لأسطول الأجهزة بأكمله. وتُعد سرعة الاستجابة من أكثر المؤشرات حساسيةً في بيئة الأجهزة الطبية الحرجة، إذ تُقاس بالساعات لا بالأيام في حالات الأجهزة الحيوية كأجهزة التخدير وأجهزة مراقبة العمليات. وقد وثّقت دراسة (Beniacoub وآخرون 2021) انخفاضًا جوهريًا في متوسط وقت الاستجابة من 106 أيام إلى 26 يومًا فحسب بعد تطبيق CMMS ، وهو تحسّن درامي في هذا البُعد.

البُعد الثالث: جودة الخدمة (Service Quality)

يُقيّم هذا البُعد مدى مطابقة الصيانة المنجزة للمعايير الفنية الصحيحة، واستدامة نتائجها، ومستوى رضا الجهات الطالبة للخدمة. ويُترجم إلى مؤشرات عدة أبرزها: معدل الإصلاح الناجح من أول مرة (First-Time Fix Rate - FTFR) الذي يستهدف عادةً ما لا يقل عن 85%، ومعدل تكرار الأعطال للجهاز ذاته خلال فترة محددة، ومستوى رضا العميل الداخلي (المستشفى أو القسم الطبي) الذي يُقاس عبر استبيانات دورية ويستهدف ما يزيد على 80% (D'Souza وآخرون، 2019؛ Boudinar وآخرون، 2021). وتُضيف دراسة (Verga وآخرون 2023) مؤشر معدل العطل حسب عمر الجهاز (Age Failure Rate - AFR) كأداة لتقييم جودة قرارات الإحلال والصيانة وفق معايير مدروسة.

البُعد الرابع: المعرفة التقنية (Technical Knowledge)

يُقيّم هذا البُعد مستوى الكفاءة المهنية والمعرفة التقنية الفعلية لدى أعضاء فريق الصيانة، وإتقانهم للأنظمة الرقمية الموظفة في أعمالهم. ويُعدّ هذا البُعد من أكثر الأبعاد ارتباطاً بموضوع التحول الرقمي؛ إذ تولّد الأنظمة الرقمية الحديثة قدرًا من متطلبات المعرفة لم تكن موجودةً في بيئة الصيانة التقليدية. ويشمل هذا البُعد: مستوى إتقان الأنظمة والتطبيقات الرقمية المستخدمة في الصيانة، وقدرة الفني على قراءة بيانات الأداء وتفسير مخرجات النماذج التحليلية، ومشاركة الفريق في برامج التدريب والتطوير المستمر، وقدرته على

التعامل مع الأجهزة الطبية الحديثة ذات التقنيات المتطورة (Saleh وآخرون، 2021؛ Thapa وآخرون، 2022).

ثالثاً: المعايير المرجعية الدولية لمؤشرات أداء الصيانة الطبية

تُقدّم الأدبيات العلمية ومنظمات المعايير المهنية منظومةً من المعايير المرجعية (Benchmarks) التي تُتيح للمؤسسات تقييم موقعها من أفضل الممارسات العالمية:

جدول 2: المعايير المرجعية الدولية لمؤشرات أداء الصيانة الطبية

المعيار المرجعي	التعريف	المؤشر
$\geq 95\%$	نسبة الوقت الذي تكون فيه الأجهزة عاملة وجاهزة	وقت تشغيل المعدات (Uptime)
أقل = أفضل (يتفاوت حسب نوع الجهاز)	متوسط الوقت من بدء التدخل حتى استعادة التشغيل	متوسط وقت الإصلاح (MTTR)
2000 - 500 ساعة (حسب الجهاز)	متوسط فترة التشغيل بين عطلين متتاليين	متوسط الوقت بين الأعطال (MTBF)
$\geq 85\%$	نسبة الأعطال التي أُصلحت بصورة صحيحة في أول زيارة	معدل الإصلاح من أول مرة (FTFR)
$\geq 90\%$	نسبة مهام الصيانة الوقائية المنجزة في موعدها	معدل إتمام الصيانة الوقائية (PMC)
85 - 95%	نسبة ساعات العمل الفعلي إلى إجمالي الساعات المتاحة	معدل استخدام الفنيين
5 - 10%	التكلفة السنوية للصيانة كنسبة من قيمة الجهاز	نسبة تكلفة الصيانة إلى قيمة الأصل
$> 80\%$	تقييم الجهات الطالبة لمستوى الخدمة	رضا العميل الداخلي

جدول 2 المعايير المرجعية الدولية لمؤشرات أداء الصيانة الطبية

المصادر: D'Souza وآخرون 2019؛ Mathew وآخرون 2024؛ Boudinar وآخرون 2021؛ CDA-AMC 2022.

رابعاً: العلاقة التفاعلية بين التحول الرقمي وأبعاد الأداء

تتشكل العلاقة بين التحول الرقمي بأبعاده الثلاثة وأداء فرق الصيانة بأبعاده الأربعة وفق نمط تفاعلي مُتشابك يمكن تمثيله في المخطط التالي:

جدول 3: مصفوفة تأثير أبعاد التحول الرقمي في أبعاد الأداء

المعرفة التقنية	جودة الخدمة	سرعة الاستجابة	الكفاءة التشغيلية	
♦♦	♦♦♦	♦♦♦	♦♦♦	الصيانة التنبؤية
♦♦	♦♦	♦♦	♦♦♦	رقمنة السجلات
♦♦♦	♦♦	♦♦♦	♦♦	التطبيقات التكنولوجية

جدول 3 مصفوفة تأثير أبعاد التحول الرقمي في أبعاد الأداء

(♦♦♦ = تأثير مباشر وقوي؛ ♦♦ = تأثير مباشر ومتوسط)

وتُعزز هذه المصفوفة الفرضية الرئيسية للدراسة بأن أبعاد التحول الرقمي الثلاثة تؤثر معاً وكلٌّ على حدة في أداء فرق الصيانة، وإن تفاوتت قوة التأثير ومساراته بحسب طبيعة كل بُعد وكل مؤشر. فالصيانة التنبؤية تُحوّل جذرياً طريقة عمل الفريق وتُعظّم كفاءته واستجابته وجودة خدمته، ورقمنة السجلات تُوفّر البنية التحتية المعلوماتية التي تُمكن القرارات السليمة وتُتيح قياس الأداء بدقة، فيما تُشكّل التطبيقات التكنولوجية الأداة اليومية التي يتفاعل من خلالها الفريق الفني مع منظومة التحول الرقمي برمتها.

المبحث السادس: الدراسات السابقة والتعقيب عليها

أولاً: الدراسات الأجنبية

الدراسة الأولى (2022) Canadian Agency for Drugs and Technologies in Health :

بعنوان "تطبيقات الصيانة التنبؤية في أقسام التصوير الطبي: مراجعة تحليلية مقارنة"، هدفت الدراسة إلى تقديم ملخص شامل وتحليل مقارن لأثر اعتماد الصيانة التنبؤية في أقسام التصوير الطبي بكندا. اعتمدت المنهج التحليلي الوصفي من خلال مراجعة الأدبيات المتخصصة ودراسة الحالات الميدانية المتاحة لعينة من المستشفيات الكندية. وتوصلت إلى أن الصيانة التنبؤية تُقلّص الأعطال غير المُخطّطة بنسب ملموسة،

وتُحسّن موثوقية الأجهزة التشخيصية، وتُخفّض التكاليف التشغيلية الإجمالية بنسبة تصل إلى 12% مقارنةً بالصيانة الوقائية التقليدية، وتُطيل العمر الاستخدامي للأجهزة بنسبة تقترب من 20%. وأوصت بتدريب الكوادر الفنية على الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء، وتبني بروتوكولات أمن سيبراني صارمة تحكم اتصال الأجهزة الطبية بالشبكات.

التعليق: تتقاطع هذه الدراسة مع البحث الحالي في التأكيد على دور الصيانة التنبؤية في رفع الأداء التشغيلي للأجهزة الطبية وخفض التكاليف. غير أنها تعالج الظاهرة من منظور اقتصادي مؤسسي بحت دون قياس تأثيرها على أداء فرق الصيانة ذاتها، كما أن تركيزها على سياق الدول المتقدمة يُقلّص من إمكانية نقل نتائجها إلى السياق السعودي مباشرةً.

الدراسة الثانية Uçar, Karaköse, & Kırımça 2024 :

بعنوان "Artificial Intelligence for Predictive Maintenance Applications: Key Components, Trustworthiness, and Future Trends"، نُشرت في مجلة Applied Sciences (MDPI)، المجلد 14. هدفت إلى تحليل التطورات الحديثة في تطبيقات الصيانة التنبؤية المعتمدة على الذكاء الاصطناعي عبر قطاعات صناعية متعددة بما فيها القطاع الصحي، وتحديد مكوناتها الأساسية وتحدياتها وسيناريوهات المستقبلية. اعتمدت المراجعة المنهجية الشاملة وتحليل أكثر من 250 دراسة تطبيقية في مجالات التصنيع والطاقة والطيران والأجهزة الطبية خلال الفترة (2018-2023). وتوصلت إلى أن دمج تقنيات التعلم الآلي والعميق (CNN, LSTM, SVM) مع بيانات المستشعرات الحية يُسهم في رفع دقة التنبؤ بالأعطال وتحسين كفاءة التشغيل وتقليل تكاليف الصيانة بصورة موثقة. كما أكدت أهمية الذكاء الاصطناعي القابل للتفسير (XAI) لزيادة شفافية القرارات التنبؤية وثقة المستخدمين البشريين فيها. وأوصت بتطوير أنظمة صيانة ذاتية تعتمد على الذكاء الاصطناعي التوليدي والتوأم الرقمي في الجيل القادم من المنظومات.

التعليق: تُقدّم هذه الدراسة أشمل استعراض نظري وتطبيقي للصيانة التنبؤية الذكية في الأدبيات الراهنة، وتُعدّ مرجعاً أساسياً للبُعد الأول من التحول الرقمي في الدراسة الحالية. غير أن نطاقها الواسع عبر القطاعات يمنعها من التعمق في السياق الصحي تحديداً، ولا تتناول بصورة مباشرة أثر هذه التقنيات على أداء فرق الصيانة البشرية وتطويرهم المهني، وهو الجانب المحوري الذي تُعالجه الدراسة الحالية.

الدراسة الثالثة 2024 Mauro, Noto, Prenestini, & Sarto :

بعنوان "Digital Transformation in Healthcare: Assessing the Role of Digital Technological Technologies for Managerial Support Processes"، نُشرت في مجلة Forecasting and Social Change، المجلد 197. هدفت إلى تقييم دور التقنيات الرقمية المختلفة في دعم العمليات الإدارية والتشغيلية في المنشآت الصحية الإيطالية، مُركّزةً على العمليات الداعمة لا الإكلينيكية الرئيسية. اعتمدت المنهج النوعي الاستقرائي بتقنية دلفي (Delphi) مع 11 خبيراً دولياً في التحول الرقمي الصحي، إضافةً إلى تحليل محتوى وثائقي معمّق. وتوصلت إلى أن إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي يُمثّلان التقنيتين الأعلى تأثيراً في العمليات الإدارية الداعمة (كالصيانة والإمداد والموارد البشرية)، وأن مهارات وكفاءات الموظفين الرقمية تُمثّل العامل الحاسم الأول لنجاح التحول الرقمي بفارق واضح عن سائر العوامل. وأوصت بالتركيز الاستثماري على تقنيات IoT والذكاء الاصطناعي مع التطوير الموازي والمُتعمّد لرأس المال البشري الرقمي.

التعليق: تُقدّم هذه الدراسة الداعم النظري الأقوى والأكثر مباشرةً للدراسة الحالية؛ إذ تُثبت بالمنهج الخبرائي أن العمليات الداعمة كالصيانة هي بالضبط الميدان الأنسب لتوظيف IoT والذكاء الاصطناعي، وأن كفاءة الموظفين هي المحدد الأول للنجاح. وهذان الاستنتاجان يُرسيان ركيزتي الدراسة الحالية: التحول الرقمي متغيراً مستقلاً، وأداء الفريق الفني متغيراً تابعاً. ويُعدّ غياب القياس الكمي الميداني في الدراسة الإيطالية (بسبب الاعتماد على دلفي وليس مسحاً ميدانياً) نقطةً تنطلق منها الدراسة الحالية بفارق منهجي مضاف.

الدراسة الرابعة (2023) Zamzam, Hasikin, & Wahab :

بعنوان "Integrated Failure Analysis Using Machine Learning Predictive System for Smart Management of Medical Equipment Maintenance"، نُشرت في مجلة Engineering Applications of Artificial Intelligence (Elsevier)، المجلد 125. هدفت إلى تطوير نظام تحليل أعطال مُتكامل يعتمد على التعلم الآلي لأتمتة عملية التشخيص والتنبؤ في صيانة الأجهزة الطبية. اعتمدت المنهج الكمي التجريبي بتحليل 13,350 وحدة طبية من 19 فئة مختلفة، مُدخلةً 13 سمةً مُبتكرةً للتوصيف. وتوصلت إلى أن نموذج SVM يحقق دقة 96.9% في التنبؤ بأول حدث عطل، وأن الجمع بين الخوارزميات المختلفة يُعطي نتائج تفوق الخوارزمية الواحدة. وأوصت بتوسيع تطبيق الأنظمة الذكية في إدارة الأعطال وربطها بقواعد بيانات CMMS لتكامل أفضل.

التعليق: تُقدّم هذه الدراسة الدليل الكمي الأقوى على قدرة الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بأعطال الأجهزة الطبية، وتدعم الفرضية الأولى للدراسة الحالية المتعلقة بأثر الصيانة التنبؤية. بيد أن تركيزها المنصب على بناء النموذج التقني يجعلها قاصرةً عن معالجة الجانب الإنساني المؤسسي، أي: كيف يُؤثر توظيف هذه الأنظمة على فرق الصيانة وكفاءتها ومعرفتها؟ وهذه بالضبط الهوة المعرفية التي تتصدى لها الدراسة الحالية.

الدراسة الخامسة (2024) : Huang et al.

بعنوان "Transforming Medical Equipment Management in Digital Public Health: A Decision-Making Model for Medical Equipment Replacement"، نُشرت في مجلة Frontiers in Medicine، المجلد 11. هدفت إلى تطوير نموذج كمي متعدد المعايير لدعم قرارات استبدال الأجهزة الطبية في البيئات الصحية الرقمية. اعتمدت المنهج الكمي الرياضي بدمج طريقتي COWA-PCA و GRA-TOPSIS وتطبيقهما على بيانات صيانة حقيقية. وتوصلت إلى أن النموذج المقترح يُتفوق على الأساليب التقليدية في الدقة التمييزية، وأن رقمنة بيانات الصيانة تُحسّن جوهريًا جودة قرارات الإحلال وكفاءتها الاقتصادية. وأوصت بتبني هذه النماذج في المنظومات الصحية الرقمية مع التوسع في دمج البيانات الضخمة.

التعليق: تُعزز هذه الدراسة البُعد الثاني للتحول الرقمي (رقمنة السجلات) وتُبرهن على أن البيانات الرقمية المحوسبة للصيانة لا تُحسّن العمليات التشغيلية فحسب بل تُحسّن القرارات الاستراتيجية المتعلقة بدورة حياة الأجهزة. وتختلف عن الدراسة الحالية في أنها تُعالج ناتج الرقمنة على مستوى القرار المؤسسي لا على مستوى أداء الفريق الفني الميداني.

الدراسة السادسة (2025) Jeilani & Hussein :

بمعنوان "Impact of Digital Health Technologies Adoption on Healthcare Workers' Performance and Workload"، نُشرت في مجلة BMC Health Services Research ، المجلد 25. هدفت إلى قياس الأثر المباشر لتبني تقنيات الصحة الرقمية على أداء العاملين الصحيين وعبء عملهم في بيئة صحية ناشئة. اعتمدت نموذج المعادلات الهيكلية (SEM) مع 286 عاملاً صحياً في مستشفيات مقديشو. وتوصلت إلى أن تقنيات الصحة الرقمية تُحسّن أداء العاملين بمعامل ($\beta=0.452$ ، $p<0.001$) وتُخفّض عبء العمل بمعامل ($\beta=0.594$ ، $p<0.001$)، وأن العوامل التنظيمية والبيئية (إطار TOE) تُعزز هذه العلاقات. وأوصت ببناء بيئة داعمة على المستويين التنظيمي والبيئي لتعظيم عائد التحول الرقمي على العاملين.

التعليق: تُعدّ هذه الدراسة الأقرب منهجياً وموضوعياً للدراسة الحالية، وتُقدم الدليل الإحصائي الأعلى جودةً على وجود العلاقة المحورية التي تسعى الدراسة الحالية إلى قياسها. ويتميز البحث الحالي عنها في ثلاثة أوجه جوهرية: تخصيص الفئة المستهدفة (فرق الصيانة الطبية لا العاملين الصحيين عموماً)، وتفصيل المتغير المستقل (ثلاثة أبعاد مُحددة للتحويل الرقمي لا مفهوم إجمالي)، والسياق الجغرافي (المملكة العربية السعودية لا الصومال)، مما يُنتج مساهمةً معرفيةً مستقلةً لا مجرد تكرار.

ثانياً: الدراسات العربية

الدراسة السابعة: القهطاني وآخرون (2022)

بعنوان "التحول الصحي الرقمي في المملكة العربية السعودية بالاعتماد على مؤشرات جمعية نظم وإدارة المعلومات الصحية". (HIMSS) هدفت إلى قياس جاهزية المستشفيات في المنطقة الشرقية للتحول الصحي الرقمي وفق أربعة أبعاد رئيسية: الصحة المُمكنة من قبل الأفراد، والتحليلات التنبؤية، والحوكمة والقوى العاملة، وقابلية تكامل الأنظمة. اعتمدت المنهج الكمي الوصفي التحليلي عبر دراسة مقطعية شملت عشر منشآت صحية. وتوصلت إلى أن المنشآت الخاصة حققت جاهزيةً رقميةً أعلى بمتوسط 77 نقطة مقابل 71 للمنشآت الحكومية، وأن بُعد التحليلات التنبؤية كان الأقل تطبيقاً بمتوسط 70 نقطة. وأوصت بضرورة تعزيز التكامل بين الأنظمة وتطوير قدرات التحليل التنبؤي وتأهيل الكوادر البشرية.

التعليق: تُقدّم هذه الدراسة خارطةً تشخيصيةً للواقع الرقمي الصحي السعودي وتُبرز الفجوات القائمة في التحليلات التنبؤية، مما يدعم مبرر الدراسة الحالية. غير أنها تتناول المنشآت الصحية (المستشفيات) لا شركات الأجهزة الطبية الموردة، وتتوقف عند التشخيص دون قياس الأثر على أداء الفرق الفنية.

الدراسة الثامنة: الغنزي والسديري والمطيري (2023)

بعنوان "دور تطبيق صحي في تطوير الخدمات الصحية الرقمية بالمملكة العربية السعودية: دراسة تحليلية". هدفت إلى تحليل دور تطبيق "صحي" الذي أطلقته وزارة الصحة السعودية في تطوير كفاءة وجودة الخدمات الصحية الرقمية. اعتمدت المنهج التحليلي الوصفي القائم على تحليل البيانات الإحصائية المتاحة وتقارير الوزارة. وتوصلت إلى أن التطبيق أسهم في تعزيز كفاءة النظام الصحي وتسهيل الوصول إلى الخدمات وتعزيز الوعي الصحي الذاتي. وأوصت بتوسيع نطاق التطبيق وتعزيز البنية التحتية التقنية الداعمة له.

التعليق: تُدعم هذه الدراسة البُعد الثالث للتحول الرقمي في الدراسة الحالية (التطبيقات التكنولوجية الصحية) وتثبت أن التطبيقات الرقمية الصحية تحقق أثرًا وظيفيًا ملموسًا في السياق السعودي. وتختلف في تركيزها على تطبيق المريض لا تطبيقات فرق الصيانة الفنية، مما يُبقي مجالاً بحثيًا غير مُستكشف تتصدى له الدراسة الحالية.

الدراسة التاسعة: الشمراني (2022)

بعنوان "أثر التحول الرقمي على أداء المنشآت الصحية السعودية: دراسة ميدانية على مستشفيات منطقة الرياض". هدفت إلى قياس أثر التحول الرقمي الشامل على مستوى أداء المنشآت الصحية السعودية قياساً بعدة مؤشرات موازنة. اعتمدت المنهج الكمي الوصفي التحليلي عبر استبانة على عينة مدروسة. وتوصلت إلى وجود علاقة إيجابية ذات دلالة إحصائية بين مستوى التحول الرقمي ومؤشرات الأداء المؤسسي. وأوصت بالاستثمار في تدريب الكوادر البشرية وبناء البنية التحتية التقنية.

التعليق: تتقاطع هذه الدراسة مع الدراسة الحالية في إثبات وجود العلاقة الإيجابية بين التحول الرقمي والأداء في السياق الصحي السعودي. وتمتاز الدراسة الحالية بأنها تُخصّص الفئة المستهدفة لتكون فرق الصيانة في شركات الأجهزة الطبية وليس المستشفيات بأكملها، مما يُضيف دقةً بحثيةً لم تُعالجها الشمراني.

الدراسة العاشرة: البازعي (2025)

بعنوان "منهجية مقترحة لتطبيق أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي في المنشآت الصحية: التحديات والفرص". هدفت إلى اقتراح منهجية تطبيقية متكاملة لاعتماد أنظمة الصيانة القائمة على الذكاء الاصطناعي في سياق المنشآت الصحية مع تشخيص التحديات المرافقة وتحديد فرص الاستثمار. اعتمد الباحث المنهج النظري التحليلي مستنداً إلى الأدبيات ذات الصلة. وتوصل إلى أن تبني الذكاء الاصطناعي في الصيانة يُحسّن الكفاءة التشغيلية شريطة مراعاة التكامل بين الجاهزية التقنية والبشرية والتنظيمية، واقترح منهجية خماسية المراحل تبدأ بالتقييم التشخيصي وتنتهي بالمراجعة المستمرة.

التعليق: تُقدّم هذه الدراسة أشمل مرجع عربي يُعالج صيانة الأجهزة الطبية الذكية في السياق الصحي العربي، وتؤكد أن الجاهزية البشرية التقنية شرط لا تفاوض فيه لنجاح التحول الرقمي في الصيانة. وتتعلق الدراسة الحالية من حيث توقفت دراسة البازعي نظرياً لتُضيف بُعد القياس الكمي الميداني وتختبر الفرضيات المستخلصة من هذا الإطار المقترح.

ثالثاً: التعليق العام للمقارن على الدراسات السابقة

بعد الاستعراض التفصيلي للدراسات السابقة يمكن استخلاص جملة من الملاحظات التحليلية المقارنة التي تُحدد إضافة الدراسة الحالية بوضوح:

من حيث المحتوى الموضوعي: تؤكد جميع الدراسات المُستعرضة الأثر الإيجابي للتحول الرقمي على الأداء في القطاع الصحي، غير أن هذا الأثر وُثِّق في معظمها إما على مستوى المنظمة الصحية ككيان كلي (مستشفى أو نظام رعاية)، أو على مستوى التقنية في حد ذاتها (دقة نموذج التنبؤ، تحسّن مؤشرات الجهاز)، دون التعمق في فريق الصيانة بوصفه وحدة بشرية مستقلة ذات ديناميكيات أداء خاصة.

من حيث المنهجية: تتوزع الدراسات السابقة بين مراجعات أدبية (Uçar وآخرون، 2024) ، ودراسات نوعية (Mauro وآخرون، 2024) ، ودراسات تقنية تجريبية (Zamzam وآخرون، 2023) ، ودراسات وصفية (القحطاني وآخرون، 2022). ويُميّز الدراسة الحالية اعتمادها على المسح الكمي الميداني بأداة استنبائية مُحكَّمة تُتيح قياس العلاقات السببية بين المتغيرات واختبار الفرضيات إحصائيًا في بيئة سعودية.

من حيث السياق الجغرافي: تعمل معظم الدراسات في سياقات غربية أو آسيوية، في حين تندر الدراسات المتخصصة في السياق السعودي والخليجي، وأندر منها الدراسات التي تتناول شركات الأجهزة الطبية الموردة بدلاً من المنشآت الصحية المستخدمة.

المبحث السابع: الفجوة البحثية وموقع الدراسة الحالية منها

أولاً: الفجوات البحثية المحددة

يكشف الاستعراض الشامل للأدبيات النظرية والدراسات السابقة عن خمس فجوات بحثية متميزة تتشابه في مجملها لتُبرر الدراسة الحالية وتمنحها مشروعيتها العلمية الكاملة:

الفجوة الأولى: فجوة الفئة المستهدفة تناولت الدراسات السابقة العاملين الصحيين عمومًا أو فرق التمريض والأطباء بصورة رئيسية، في حين تبقى فرق الصيانة في شركات الأجهزة الطبية الموردة من أقل الفئات حظًا في البحث العلمي التطبيقي على الرغم من دورها الحيوي في استمرارية الخدمة الصحية وجودتها. وتؤكد دراسة (Thapa وآخرون 2022) هذا الدور بإثبات الفارق الموضوعي في أداء الأجهزة الطبية بوجود فنيين متخصصين أو غيابهم.

الفجوة الثانية: فجوة التخصص والتفصيل تناولت أغلب الدراسات التحول الرقمي بوصفه مفهومًا إجماليًا دون تفصيل أبعاده وقياس الأثر النسبي المستقل لكل بُعد على كل مؤشر أداء. والدراسة الحالية تسدّ هذه

الفجوة بتصميمها الذي يُميّز بين ثلاثة أبعاد متميزة للتحويل الرقمي (الصيانة التنبؤية، ورقمنة السجلات، والتطبيقات التكنولوجية) ويُقيّم أثر كل منها مستقلاً ومتضافراً على أربعة أبعاد للأداء.

الفجوة الثالثة: فجوة الأداة القياسية العربية تفتقر الأدبيات العربية إلى أداة قياس كمية مُحكّمة ومُتحقّق من صدقها وثباتها لقياس العلاقة بين التحويل الرقمي وأداء فرق الصيانة الطبية في السياق العربي، وهو ما يُعيق المقارنات البحثية والتراكم المعرفي المنهجي. وتُقدّم الدراسة الحالية استبانةً مُصمّمةً بعناية خُضعت لاختبارات الصدق والثبات لسدّ هذه الفجوة.

الفجوة الرابعة: فجوة السياق الجغرافي السعودي المتخصص تُعالج الدراسات العربية القليلة ذات الصلة سياقَ المستشفيات لا سياق شركات الأجهزة الطبية الخاصة الموردة، وتعمل في بيئات مختلفة عن البيئة السعودية ذات خصوصيتها التنظيمية (SFDA) والاستراتيجية (رؤية 2030) والثقافية. وتُشكّل الدراسة الحالية المُجرّاة في شركات الأجهزة الطبية السعودية إضافةً أصيلةً تملأ هذا الفراغ.

الفجوة الخامسة: فجوة التحقق الميداني الكمي تُهيمن المراجعات الأدبية والدراسات النوعية والتجريبية التقنية على مجال البحث في صيانة الأجهزة الطبية والتحويل الرقمي، في حين تندر الدراسات الميدانية الكمية التي تستخدم أدوات استبائية على عينات ممثّلة وتختبر فرضيات محددة بأساليب إحصاء استدلالِي كالانحدار المتعدد. وتتبنى الدراسة الحالية هذا النهج الكمي الميداني الذي يُتيح التعميم والمقارنة والتحقق.

ثانياً: ما تُضيفه الدراسة الحالية

تتمثّل المساهمة الأصيلة للدراسة الحالية في معالجة الفجوات الخمس المذكورة بصورة منهجية ومتكاملة، مُحققةً ذلك عبر أربعة مستويات من الإضافة المعرفية:

على **المستوى النظري**، تبني الدراسة إطاراً تحليلياً مُتكاملاً يجمع بين نموذج TAM وإطار TOE وسلسلة القيمة لتفسير علاقة التحويل الرقمي بأداء فرق الصيانة، وهو جمع نظري لم يُجرّبه الباحثون في هذا الميدان المحدد.

وعلى **المستوى المنهجي**، تُقدّم الدراسة أداة قياس كمية ثنائية المتغيرات (مستقل وتابع) مُحكّمة ومُتحقّق منها، صالحة للتوظيف في دراسات لاحقة مماثلة في البيئة العربية.

وعلى **المستوى التطبيقي**، تُرشد الدراسة شركات الأجهزة الطبية السعودية وصنّاع القرار في القطاع الصحي بنتائج ميدانية كمية تُحدد أي أبعاد التحول الرقمي أعلى أثرًا في أداء فرق الصيانة، مما يُرشّد قرارات الاستثمار التقني والتدريبي.

وعلى **المستوى الأكاديمي**، تفتح الدراسة أمام الباحثين العرب نافذةً بحثيةً جديدةً في ميدان صيانة الأجهزة الطبية الذي يستحق اهتمامًا أكاديميًا أعمق مما يناله راهنًا، وتوفّر أساسًا للدراسات المقارنة بين الدول والقطاعات.

استعرض هذا الفصل بصورة تفصيلية ومنهجية الأطر النظرية التي تُشكّل المنطلق الفكري للدراسة، والأبعاد المفاهيمية التي تُغطيها متغيراتها، والأدبيات التطبيقية التي تُسند فرضياتها. فقد تبين أن التحول الرقمي في القطاع الصحي ظاهرة متعددة الأبعاد يُمكن استيعابها تحليليًا من خلال إطار TOE المُفسّر لديناميكيات التبنى المؤسسي، ونموذج TAM المُفسّر للقبول الفردي، وسلسلة القيمة الكاشفة عن موضع الصيانة في المنظومة الاستراتيجية.

وقد تبين كذلك أن الصيانة التنبؤية باتت تُجسّد أرقى توظيف للذكاء الاصطناعي في بيئة الأجهزة الطبية مع أدلة كمية دامغة وموثقة على فاعليتها في رفع الكفاءة وتقليص التعطل وتوفير التكاليف. وأن رقمنة سجلات الصيانة عبر أنظمة CMMS تُحدث تحولاً جذريًا في بنية المعلومات وجودة القرار وكفاءة الفريق. وأن التطبيقات التكنولوجية الصحية تُشكّل الواجهة اليومية التي يعيش من خلالها الفني واقع التحول الرقمي في ميدانه.

وأظهر الاستعراض النقدي المُقارن للدراسات السابقة فجواتٍ بحثيةً حقيقيةً تُمنح الدراسة الحالية مشروعيتها المنهجية، إذ تجتمع فيها فريدةُ الفئة المستهدفة وخصوصية السياق الجغرافي والتمايز المنهجي الكمي والتكامل النظري في منتج بحثي لم تتناوله الأدبيات العربية والدولية بهذا المستوى من التخصص والتكامل. ويمهّد هذا الفصل بكل ثقله النظري للفصل الثالث الذي سيُفصّل الإجراءات المنهجية الكفيلة بتحويل هذه الأطر النظرية إلى بيانات ميدانية قابلة للتحليل والتفسير.

الفصل الثالث: منهجية البحث

يُعنى هذا الفصل بعرض الإجراءات المنهجية التي اتبعتها الدراسة في جمع بياناتها الميدانية وتحليلها واختبار فرضياتها؛ إذ يُمثّل المنهج البحثي الجسر الذي يصل الإطار النظري الذي عرضه الفصل الثاني بالنتائج الميدانية التي سيكشفها الفصل الرابع. ويشمل هذا الفصل ستة مباحث متتالية ومتكاملة: يستعرض المبحث الأول المنهج البحثي المُتبّع ومبرراته، ويُعرّف المبحث الثاني مجتمع الدراسة وأسلوب اختيار العينة وخصائصها، ويُفصّل المبحث الثالث أداة جمع البيانات وبناءها وتطويرها، ويُعالج المبحث الرابع إجراءات التحقق من صدق الأداة وثباتها، ويستعرض المبحث الخامس الأساليب الإحصائية المستخدمة في تحليل البيانات، ويعرض المبحث السادس الخصائص الديموغرافية لعينة الدراسة.

المبحث الأول: المنهج البحثي

أولاً: المدخل الفلسفي للدراسة

تتطلق الدراسة الحالية من المدخل الوضعي (Positivism) الذي يُؤسّس للمعرفة العلمية على أساس الملاحظة الموضوعية والقياس الكمي والاستدلال الإحصائي المُحكّم. ويُعدّ هذا المدخل الفلسفي الأنسب للدراسات التي تسعى إلى اختبار علاقات سببية محددة بين متغيرات قابلة للقياس في بيئات اجتماعية وتنظيمية (Saunders وآخرون، 2019). وينعكس هذا المدخل على خيارات الدراسة المنهجية كلها، من تبني الاستبانة الكمية أداةً للجمع، إلى الاستعانة بالإحصاء الاستدلالي وسيلةً للاختبار.

ثانياً: المنهج البحثي المُعتمد

اعتمدت الدراسة الحالية المنهج الوصفي التحليلي (Descriptive-Analytical Method) الذي يجمع بين وظيفتين بحثيتين متكاملتين:

الوظيفة الأولى: الوصف (Description) وتعني رصد الظاهرة موضع الدراسة وتصويرها تصويراً دقيقاً من خلال قياس مستوى تطبيق التحول الرقمي في شركات الأجهزة الطبية السعودية، وتشخيص مستوى أداء فرق الصيانة فيها وفق مؤشرات الأربعة، واستخلاص الصورة الراهنة لهذه المتغيرات عبر أفراد العينة.

الوظيفة الثانية: التحليل (Analysis) وتعني استيعاب العلاقات بين الظواهر المرصودة وتفسيرها؛ إذ لا يكتفي البحث بوصف مستوى التحول الرقمي ومستوى الأداء كلّ على حدة، بل يذهب أبعد من ذلك ليختبر طبيعة العلاقة بينهما ويقيس حجمها واتجاهها وقدرة كل بُعد من أبعاد التحول الرقمي على التنبؤ بمستوى الأداء في أبعاده المختلفة.

ويُبرر اختيار هذا المنهج جملةً من المسوّغات الموضوعية: أولها أن أسئلة الدراسة وفرضياتها ذات طابع ارتباطي تنبؤي يستلزم قياساً كمياً لمتغيرات محددة واختباراً إحصائياً لعلاقاتها. وثانيها أن الفئة المستهدفة (فرق الصيانة في الشركات) يمكن الوصول إليها عبر الاستبانة بصورة أكثر كفاءةً وشمولاً مما تُتيحها المناهج النوعية. وثالثها أن نتائج الدراسة مُوجّهة إلى صنّاع القرار في الشركات والجهات التنظيمية، وهؤلاء يتعاملون بصورة أيسر مع نتائج رقمية وعلاقات إحصائية موثوقة.

ثالثاً: نوع الدراسة من حيث الزمن

تُصنّف الدراسة الحالية ضمن الدراسات المقطعية (Cross-Sectional Studies)، إذ تجمع بياناتها في نقطة زمنية واحدة محددة خلال عام 2025. ويُناسب هذا التصميم الزمني الطبيعة الوصفية التحليلية للبحث وأهدافه في رصد العلاقة بين المتغيرات في الوضع الراهن دون متابعة تطورها عبر الزمن. ومما يُقوّي هذا الاختيار أن المتغيرات الرئيسية للدراسة (مستوى تطبيق التحول الرقمي وأداء فرق الصيانة) ذات طبيعة نسبياً مستقرة في المدى القصير، مما يجعل التصميم المقطعي كافياً للإجابة عن أسئلة الدراسة واختبار فرضياتها.

رابعاً: طبيعة البيانات والمنهج الكمي

تُوظّف الدراسة البيانات الكمية الأولية (Primary Quantitative Data) التي تُجمع مباشرةً من مفردات العينة عبر استبانة مُهيّأة لهذا الغرض. وتتجلى مزايا هذا النهج في سياق الدراسة في عدة جوانب: إمكانية تعميم النتائج على المجتمع الأصلي ضمن حدود خطأ إحصائي محدود ومحسوب، وإمكانية اختبار

الفرضيات بأساليب إحصائية موضوعية تُقلّص من أثر التحيز الشخصي في تفسير النتائج، وإمكانية إجراء مقارنات كمية بين متغيرات فرعية متعددة في آنٍ واحد، وإمكانية تكرار الدراسة في سياقات أخرى بالأداة ذاتها مما يُعزز من تراكم المعرفة المنهجي.

المبحث الثاني: مجتمع الدراسة وعينتها

أولاً: تحديد مجتمع الدراسة

يتكوّن مجتمع الدراسة الحالية من جميع المهندسين والفنيين والمشرفين والمديرين العاملين في أقسام الصيانة الفنية لدى شركات الأجهزة الطبية المرخصة من الهيئة العامة للغذاء والدواء (SFDA) ووزارة الصحة السعودية، والعاملة في المملكة العربية السعودية خلال عام 2025.

وقد استند تحديد هذا المجتمع إلى جملة من المعايير المنهجية الموضوعية: فمن حيث طبيعة النشاط، اقتصرَت الدراسة على الشركات المتخصصة في تزويد الأجهزة الطبية وصيانتها، باستثناء الشركات التجارية البحتة التي تتبع الأجهزة دون تقديم خدمات صيانة ميدانية. ومن حيث الموقع الجغرافي، شملت الدراسة الشركات العاملة في المملكة العربية السعودية مع التركيز الميداني على منطقة الرياض باعتبارها المقر الرئيسي لأكبر عدد من هذه الشركات. ومن حيث الفئة الوظيفية، استهدفت الدراسة العاملين الذين يُشاركون بصورة مباشرة أو إشرافية في عمليات الصيانة الميدانية للأجهزة الطبية، وهم المهندسون البيوطبيون والمهندسون الكهربائيون والإلكترونيون، والفنيون المتخصصون في الأجهزة الطبية، والمشرفون على فرق الصيانة، ومديرو خدمات ما بعد البيع والدعم الفني.

ثانياً: حجم مجتمع الدراسة

يُشكّل المجتمع المستهدف ما يمكن وصفه بمجتمع شبه محدود (Quasi-Finite Population) ؛ إذ تُشير إحصاءات الهيئة العامة للغذاء والدواء (SFDA, 2023) إلى أن المملكة تضم ما يزيد على 400 شركة مرخصة في قطاع الأجهزة الطبية، يعمل في كل منها ما يتراوح بين 5 و50 موظفًا في أقسام الدعم الفني والصيانة تبعًا لحجم الشركة وتخصصها. وبناءً على ذلك يُقدّر المجتمع المستهدف بما يتراوح بين 3,000

و6,000 موظف، وهو ما يُصنّف مجتمع الدراسة ضمن المجتمعات الكبيرة (Large Population) التي تستلزم أساليب تقدير حجم العينة الإحصائية المناسبة.

ثالثاً: أسلوب اختيار العينة

اعتمدت الدراسة أسلوب العينة العشوائية الطبقية (Stratified Random Sampling) الذي يُعدّ من أكثر أساليب المعاينة دقةً وتمثيلاً في دراسة المجتمعات المتباينة داخلياً. وتقوم الفكرة على تقسيم المجتمع المستهدف إلى طبقات (Strata) متجانسة داخلياً ومتباينة فيما بينها، ثم اختيار عينة عشوائية بسيطة من كل طبقة بنسبة تتناسب مع حجمها في المجتمع الأصلي. وقد تمّ تقسيم المجتمع إلى ثلاث طبقات رئيسية:

الطبقة الأولى: الشركات الكبرى (Large Companies) وهي الشركات متعددة الجنسيات والشركات الوطنية الكبرى ذات الأذرع الواسعة في الأجهزة الطبية المتخصصة كأجهزة التصوير الطبي وغرف العمليات والعناية المركزة. تتسم هذه الشركات بامتلاكها أقسام دعم فني مكتملة الهيكل، وفرق صيانة متخصصة ومُدرّبة، وموارد رقمية أكثر نضجاً. تُشكّل هذه الشركات نحو 15% من إجمالي الشركات المرخصة وتستوعب ما يتراوح بين 40-50% من إجمالي القوى العاملة في القطاع.

الطبقة الثانية: الشركات المتوسطة (Medium-sized Companies) وهي الشركات التي توزّع أنشطتها على قطاعات متعددة من الأجهزة الطبية، وتمتلك فرق صيانة متخصصة لكنها أقل حجماً وتنوعاً من الكبرى. تُشكّل هذه الشركات نحو 35% من إجمالي الشركات المرخصة.

الطبقة الثالثة: الشركات الصغيرة والمتخصصة (Small & Specialized Companies) وهي الشركات المتخصصة في نوع محدد من الأجهزة الطبية أو في منطقة جغرافية بعينها، وقد تعمل بفرق صيانة صغيرة أو تعتمد على نموذج العقود. تُشكّل هذه الشركات نحو 50% من إجمالي الشركات.

رابعاً: حجم العينة وتحديده

لتحديد الحجم الكافي للعينة استُعين بمعادلة كريجسي ومورغان (Krejcie & Morgan, 1970) الأكثر شيوعاً في الدراسات الإدارية والاجتماعية:

جدول 4: توزيع العينة على طبقات مجتمع الدراسة

عدد المفردات في العينة	النسبة المئوية في المجتمع	طبقة الشركات
60	15%	الشركات الكبرى
140	35%	الشركات المتوسطة
200	50%	الشركات الصغيرة والمتخصصة
400	100%	الإجمالي

جدول 4 توزيع العينة على طبقات مجتمع الدراسة

خامساً: معايير الاختيار والإقصاء

حرصت الدراسة على تحديد معايير واضحة لاختيار مفردات العينة وضبطها بما يضمن التمثيل الصادق للمجتمع المستهدف:

معايير الاختيار (Inclusion Criteria): يشترط في المستجيب أن يكون موظفاً في شركة أجهزة طبية مرخصة في المملكة العربية السعودية، وأن يكون مرتبطاً بشكل مباشر أو إشرافي بعمليات الصيانة الفنية الميدانية، وأن تكون خبرته في القطاع لا تقل عن سنة واحدة مما يضمن امتلاكه معرفة عملية كافية بالموضوع، وأن يوافق طوعاً على المشاركة في الدراسة.

معايير الإقصاء (Exclusion Criteria): يُستثنى من العينة الموظفون العاملون في الأقسام الإدارية البحتة كالمحاسبة والمشتريات والموارد البشرية غير المرتبطة بالدعم الفني، والموظفون الجدد بخبرة أقل من سنة، والاستبانات المكتملة جزئياً بنسبة إجابة تقل عن 80%.

المبحث الثالث: أداة جمع البيانات

أولاً: مبررات اختيار الاستبانة

اعتمدت الدراسة الاستبانة (Questionnaire) أداةً رئيسيةً ووحيدةً لجمع البيانات الأولية، وذلك لجملة من المبررات الموضوعية: فمن حيث ملاءمة المنهج، تتوافق الاستبانة توافقاً عضوياً مع المنهج الكمي الوصفي التحليلي المُعتمد ومع الحاجة لقياس متغيرات نوعية-كمية على مقياس تدرجي موحد. ومن حيث القدرة على التغطية، تُتيح الاستبانة الوصول إلى أعداد كبيرة من المستجيبين المُوزعين جغرافياً في مناطق مختلفة بوقت وجهد أقل مما تستلزمه المقابلة الشخصية. ومن حيث الموضوعية، تُقلص الاستبانة من تحيزات القائم بالمقابلة وتُتيح للمستجيبين الإجابة بحرية أكبر خاصةً في المواضيع المتعلقة بتقييم بيئة العمل وجودتها.

ثانياً: مصادر بناء الاستبانة

لم تُبنِ الاستبانة من فراغ، بل اعتمدت على ثلاثة مصادر متكاملة لضمان سلامة محتواها ودقة تمثيله للمفاهيم النظرية:

المصدر الأول: الأدبيات النظرية والدراسات السابقة إذ استُعين بمقاييس الأداء البحثية المستخدمة في دراسات ذات صلة كمقياس (Jeilani و Hussein 2025) لتقييم أثر التقنيات الرقمية على أداء العاملين الصحيين، ومؤشرات (D'Souza وآخرون 2019) لقياس أداء فرق الهندسة الطبية الحيوية، وإطار (Mauro وآخرون 2024) لتقييم التقنيات الرقمية في العمليات الداعمة الصحية.

المصدر الثاني: المعايير والبروتوكولات التنظيمية إذ راعت الاستبانة متطلبات الهيئة العامة للغذاء والدواء (SFDA) في صيانة الأجهزة الطبية، ومعايير الرابطة الدولية لهندسة التقنيات الطبية (AAMI) ، وإرشادات منظمة الصحة العالمية للصيانة الطبية. (WHO, 2011)

المصدر الثالث: الاستبانة الأصلية المُعدّة للدراسة المشار إليها في خطة البحث والمُقسّمة إلى محاور تُغطي المتغير المستقل والتابع بأبعادهما المُحددة.

ثالثاً: هيكل الاستبانة وأقسامها

تتكوّن الاستبانة في صيغتها النهائية من أربعة أقسام رئيسية:

القسم الأول: البيانات الديموغرافية والوظيفية (8 فقرات)

يجمع هذا القسم المعلومات التعريفية عن المستجيب والتي ستُستخدم في تحليل العينة وتوصيف خصائصها، وتشمل: الجنس، والمؤهل العلمي، والتخصص الوظيفي (مهندس/ فني/ مشرف/ مدير)، وعدد سنوات الخبرة في قطاع الأجهزة الطبية، وحجم الشركة من حيث عدد العاملين، ومستوى اعتماد الشركة على التقنيات الرقمية في الصيانة (منخفض/ متوسط/ عالٍ)، والمنطقة الجغرافية التي تعمل فيها الشركة.

القسم الثاني: المتغير المستقل - التحول الرقمي (15 فقرة)

يقيس هذا القسم مستوى تطبيق التحول الرقمي في الشركة وفق أبعاده الثلاثة:

الْبُعد الأول: الصيانة التنبؤية (5 فقرات)

- تُوظف الشركة أجهزة استشعار (Sensors) متصلة بالإنترنت لرصد أداء الأجهزة الطبية في الوقت الفعلي.
- تستخدم الشركة خوارزميات الذكاء الاصطناعي أو التعلم الآلي للتنبؤ بأعطال الأجهزة الطبية قبل وقوعها.
- يعتمد الفريق الفني على تنبيهات الأنظمة الذكية في جدولة مهام الصيانة الوقائية.
- تُستخدم بيانات أداء الأجهزة التاريخية لتحليل الأنماط وتحسين خطط الصيانة.
- أسهمت تقنيات الصيانة التنبؤية في تقليل الأعطال غير المُخططة للأجهزة الطبية.

الْبُعد الثاني: رقمنة سجلات الصيانة (5 فقرات)

- تعتمد الشركة نظام إدارة صيانة محوسب (CMMS) لتوثيق جميع عمليات الصيانة.
- يُحتفظ بسجل رقمي شامل لكل جهاز طبي يتضمن تاريخ الأعطال والإصلاحات والفحوصات.
- يمكن للفريق الفني الوصول إلى سجلات الصيانة الرقمية بسرعة ودقة من أي موقع.
- تُستخدم البيانات الرقمية المُجمّعة في قياس مؤشرات الأداء وتقييم الفريق بصورة دورية.
- تُسهم رقمنة سجلات الصيانة في تحسين جودة قرارات الاستبدال والصيانة الوقائية.

النُعد الثالث: التطبيقات التكنولوجية الصحية (5 فقرات)

- يستخدم أفراد الفريق الفني تطبيقات الهاتف الذكي لاستلام بلاغات الأعطال وأوامر العمل وإغلاقها.
- تُوظّف الشركة تقنيات التشخيص عن بُعد لتقليل الحاجة للزيارات الميدانية.
- تُتاح للفريق الفني أدلة الصيانة والوثائق التقنية رقميًا عبر الأجهزة الذكية في الميدان.
- تُستخدم منصات تواصل رقمية متخصصة لتنسيق العمل بين أفراد فريق الصيانة.
- تُوظّف الشركة تقنيات الواقع المعزز أو الافتراضي في تدريب الفريق الفني وتطويره.

القسم الثالث: المتغير التابع - أداء فرق الصيانة (16 فقرة)

يقيس هذا القسم مستوى أداء فرق الصيانة وفق أبعاده الأربعة:

النُعد الأول: الكفاءة التشغيلية (4 فقرات)

- يُنجز الفريق الفني مهام الصيانة الوقائية المُجدولة ضمن الأطر الزمنية المحددة لها.
- تُحقق الشركة مستوى مرتفعًا من وقت تشغيل الأجهزة الطبية (uptime) بالنسبة للأجهزة التي تتولى صيانتها.
- يُوظّف الفريق الفني الموارد المتاحة (وقت وعمالة وقطع غيار) بصورة رشيدة وفعّالة.
- تُنجز مهام الصيانة التصحيحية ضمن ميزانيات التكاليف المُحددة مسبقًا.

النُعد الثاني: سرعة الاستجابة (4 فقرات)

- يستجيب الفريق الفني لبلاغات الأعطال ضمن الأوقات المعيارية المتفق عليها مع العملاء.
- يتسم أداء الفريق بالسرعة في الوصول إلى مواقع الأعطال وبدء التدخل.
- تُنجز عمليات الإصلاح في أقل وقت ممكن مع المحافظة على معايير الجودة المطلوبة.
- يُقلّص الفريق من فترات توقف الأجهزة الطبية الحرجة إلى الحد الأدنى الممكن.

النُعد الثالث: جودة الخدمة (4 فقرات)

- تتسم عمليات الصيانة المُنجزة بالدقة الفنية وتتوافق مع معايير الشركة المصنّعة والهيئات المعتمدة.
- تتخفض معدلات تكرار الأعطال في الأجهزة التي يُجري لها الفريق عمليات الصيانة.
- يُعبر عملاء الشركة (المستشفيات والمنشآت الصحية) عن رضاهم عن مستوى خدمة الصيانة.
- يُنجز الفريق الفني عمليات الإصلاح بصورة صحيحة وكاملة من التدخل الأول في أغلب الحالات.

النُعد الرابع: المعرفة التقنية (4 فقرات)

- يمتلك أفراد الفريق الفني مهارات وظيفية رقمية كافية للتعامل مع أنظمة الصيانة الرقمية المستخدمة.
- يتلقى الفريق الفني تدريباً مستمراً ومنتظماً على التقنيات والأجهزة الطبية الحديثة.
- يتمكن الفريق من توظيف البيانات التشغيلية الرقمية لاتخاذ قرارات الصيانة بدقة أعلى.
- ترتفع كفاءة الفريق الفني باستمرار في التعامل مع الأجهزة الطبية المتطورة تكنولوجياً.

رابعاً: مقياس قياس الإجابات

اعتمدت الدراسة مقياس ليكرت الخماسي (Five-Point Likert Scale) الأكثر شيوعاً في دراسات الإدارة وعلوم السلوك التنظيمي لتحديد درجة موافقة المستجيبين على فقرات الاستبانة:

جدول 5: مقياس ليكرت الخماسي المُعتمد

الدرجة العددية	1	2	3	4	5
المستوى	لا أوافق بشدة	لا أوافق	محايد	أوافق	أوافق بشدة

جدول 5 مقياس ليكرت الخماسي المُعتمد

ولتفسير المتوسطات الحسابية الناتجة وتصنيف مستوياتها اعتمد المعيار التالي المستخلص من الأدبيات المنهجية:

جدول 6: مستويات تفسير المتوسطات الحسابية

مستوى الموافقة	المتوسط الحسابي
منخفض	1.00 – 2.33
متوسط	2.34 – 3.66
مرتفع	3.67 – 5.00

جدول 6 مستويات تفسير المتوسطات الحسابية

خامساً: الاستبانة الإلكترونية وإجراءات التوزيع

وُزعت الاستبانة في صيغتين متوازيتين لضمان أعلى معدل استرداد ممكن: صيغة إلكترونية عبر منصة Google Forms أرسلت بروابطها إلى مجموعات واتساب المهنية و بريد الشركات ومنصة لينكدإن الاحترافية، وصيغة ورقية وُزعت ميدانياً في مقر الشركات للمستجيبين المُفضّلين للتوثيق التقليدي. واستغرقت مرحلة التوزيع والجمع ستة أسابيع امتدت خلال الفترة المحددة لجمع البيانات، مع إرسال تذكيرات للمستجيبين الذين لم يستكملوا الاستبانة بعد أسبوعين من إرسالها.

المبحث الرابع: صدق الاستبانة وثباتها

أولاً: صدق الاستبانة (Validity)

يُعرّف الصدق بأنه "مدى قياس الأداة للمفهوم الذي صُممت لقياسه" (Hair وآخرون, 2019). واعتمدت الدراسة ثلاثة مستويات متكاملة من التحقق من الصدق:

1. الصدق الظاهري (Face Validity)

قبل عرض الاستبانة على المحكّمين، أجرت الدراسة مراجعةً داخليةً دقيقةً للتأكد من وضوح صياغة كل فقرة وسلامتها اللغوية وخلوها من الغموض أو الازدواجية أو التحيز. وتُعبّر هذه الخطوة عن الحد الأدنى من الصدق الذي يُمكن المستجيب من فهم الفقرة وتقييمها بصورة صحيحة.

2. صدق المحتوى (Content Validity)

عُرضت الاستبانة في صورتها الأولية على مجموعة من المُحكِّمين المتخصصين بهدف التحقق من مدى تغطية فقراتها للأبعاد النظرية المراد قياسها. وتكوّنت لجنة التحكيم من سبعة أعضاء يُمثّلون الكفاءات المطلوبة لتقييم أداة كهذه:

جدول 7: توزيع لجنة التحكيم

عدد المُحكِّمين	المجال
3	أساتذة إدارة الأعمال والتحول الرقمي
2	أساتذة المناهج وأساليب البحث العلمي
2	خبراء ممارسون في قطاع الأجهزة الطبية
7	الإجمالي

جدول 7 توزيع لجنة التحكيم

طُلب من كل مُحكِّم تقييم كل فقرة على مقياس ثلاثي (مناسبة/ مناسبة مع تعديل/ غير مناسبة)، وتقديم ملاحظاته التفصيلية حول الصياغة ومدى ارتباط الفقرة بالبُعد الذي تقيسه. وقُبِلت الفقرات التي حصلت على موافقة ما لا يقل عن 75% من المُحكِّمين دون تعديل، وعُدِلت الفقرات التي تراوحت نسبة قبولها بين 60-74% وفق مقترحات المُحكِّمين، وحُذفت الفقرات التي لم تبلغ نسبة قبولها 60%. وأسفر هذا الإجراء عن تعديل صياغة ثلاث فقرات وحذف فقرة واحدة من البُعد الثاني وإحلال بديلٍ عنها أكثر وضوحًا.

3. الصدق البنائي (Construct Validity)

يُعَدّ الصدق البنائي المستوى الأعمق والأكثر دقّةً في التحقق من صدق الأداة، إذ يُجيب عن السؤال: هل تُقيس فقرات كل بُعد ذلك البُعد بالفعل دون غيره؟ ويُحقّق هذا الصدق من خلال التحليل العاملي الاستكشافي (Exploratory Factor Analysis – EFA) الذي يكشف عن البنية الكامنة للاستبانة والارتباطات بين فقراتها. فإذا تجمّعت فقرات كل بُعد في عاملٍ واحد متميز وبلغت تشبّعاتها على العوامل الأخرى مستوىً منخفضًا، دلّ ذلك على صدق بنائي مقبول.

وقد استُكمل التحليل العاملي على بيانات العينة الاستطلاعية وفق المراحل الآتية: أولاً اختبار مناسبة البيانات للتحليل العاملي باستخدام اختبار كايزر ماير أولكن (KMO) الذي يستوجب قيمةً لا تقل عن

0.60، واختبار بارتلليت للكروية (Bartlett's Test of Sphericity) الذي يستوجب دلالة إحصائية ($p < 0.05$). ثم استخراج العوامل بطريقة المكونات الأساسية مع التدوير الإيجابي (Varimax Rotation) لتحقيق البنية الأوضح. وقُبلت الفقرات التي بلغ تشبعها على عاملها الأصلي 0.40 فأكثر.

ثانيًا: ثبات الاستبانة (Reliability)

يُعرّف الثبات بأنه "مدى اتساق نتائج القياس عند تكرار تطبيق الأداة في ظروف مماثلة. (Field, 2018) " اعتمدت الدراسة معامل ألفا كرونباخ (Cronbach's Alpha) الأكثر استخدامًا لقياس الاتساق الداخلي للمقاييس. وتُصنّف الأدبيات المنهجية معامل الثبات عادةً على النحو الآتي:

جدول 8: معايير تفسير معامل ألفا كرونباخ

مستوى الثبات	قيمة معامل ألفا
ضعيف وغير مقبول	أقل من 0.60
مقبول بالحد الأدنى	0.60 – 0.69
جيد	0.70 – 0.79
جيد جدًا	0.80 – 0.89
ممتاز	0.90 فأكثر

جدول 8 معايير تفسير معامل ألفا كرونباخ

طُبِّقت الاستبانة في مرحلة استطلاعية على عينة من 40 مستجيبًا من خارج عينة الدراسة الأساسية قبل التوزيع النهائي بغرض حساب معاملات الثبات واكتشاف أي إشكاليات في الفقرات. وقد أسفرت النتائج الاستطلاعية عن معاملات ألفا كرونباخ التالية:

جدول 9: معاملات ثبات ألفا كرونباخ للاستبانة

معامل ألفا	عدد الفقرات	المقياس / البعد
0.891	15	التحول الرقمي (المقياس الكلي)
0.847	5	الصيانة التنبؤية
0.863	5	رقمنة سجلات الصيانة

التطبيقات التكنولوجية الصحية	5	0.835
أداء فرق الصيانة (المقياس الكلي)	16	0.904
الكفاءة التشغيلية	4	0.821
سرعة الاستجابة	4	0.856
جودة الخدمة	4	0.838
المعرفة التقنية	4	0.812
الاستبانة الكلية	31	0.934

جدول 9 معاملات ثبات ألفا كرونباخ للاستبانة

تكشف هذه المعاملات أن جميع أبعاد الاستبانة وأقسامها تجاوزت عتبة 0.80 وهو مستوى الثبات الجيد جداً، في حين بلغ ثبات الاستبانة الكلية 0.934 وهو مستوى ممتاز يؤكد الاتساق الداخلي العالي للأداة ويُرسخ الثقة في موثوقية البيانات التي تولّدها.

ثالثاً: الثبات بطريقة إعادة الاختبار (Test-Retest Reliability)

تعزيزاً للتحقق من الثبات، طُبِّقَت الاستبانة على مجموعة مصغرة مكونة من 20 مستجيباً من العينة الاستطلاعية ذاتها بفواصل زمني مدته أسبوعان بين التطبيقين. وحُسب معامل ارتباط بيرسون بين نتيجتي التطبيقين لكل بُعد، وبلغت معاملات الارتباط بين 0.82 و 0.91، وهي قيم تُشير إلى استقرار قياسي مرتفع وتؤكد أن الاستبانة لا تولّد نتائج عشوائية أو مُتقلّبة.

المبحث الخامس: الأساليب الإحصائية المستخدمة

أولاً: البرامج الإحصائية المستخدمة

اعتمدت الدراسة على حزميتين إحصائيتين متكاملتين:

برنامج SPSS (Statistical Package for Social Sciences)

الإصدار 26 للتحليلات الإحصائية الاستنتاجية والوصفية الرئيسية، وبرنامج Microsoft Excel للتنظيم الأولي للبيانات وإعداد الجداول والرسوم البيانية التوضيحية.

ثانيًا: الإحصاء الوصفي (Descriptive Statistics)

وُظِّفَت مجموعة من مقاييس الإحصاء الوصفي لتقديم صورة واضحة عن بيانات الدراسة وتوزيعاتها:

المتوسط الحسابي (Mean): لقياس الاتجاه المركزي لإجابات المستجيبين على كل فقرة وكل بُعد، مما يُتيح ترتيب الفقرات والأبعاد وفق مستوى الموافقة.

الانحراف المعياري (Standard Deviation): لقياس مدى التشتت والتباين في إجابات المستجيبين حول المتوسط، مما يُشير إلى مدى الاتساق في تقييماتهم؛ فانحراف منخفض يعني توافقًا عاليًا بين المستجيبين، وانحراف مرتفع يعني تباينًا ملحوظًا في الآراء.

التكرارات والنسب المئوية (Frequencies & Percentages): لتوصيف خصائص العينة الديموغرافية وتحليل توزيع الإجابات على فئات مقياس ليكرت.

المئينيات (Percentiles) والمدى (Range): لاستكشاف توزيع الإجابات وتحديد الحدود القصوى لمتغيرات الدراسة.

ثالثًا: اختبارات التوزيع الطبيعي

قبل الانتقال إلى الإحصاء الاستدلالي، أجرت الدراسة اختبارات التوزيع الطبيعي للتحقق من مدى استيفاء بيانات كل متغير لهذا الشرط الأساسي للاختبارات الإحصائية البارامترية. اعتمد اختبار كولموغوروف-سميرنوف (Kolmogorov-Smirnov) لكل متغير مستقل وتابع، فضلاً عن فحص قيم الالتواء (Skewness) والتقلطح (Kurtosis) التي ينبغي أن تقع ضمن النطاق $(-2, +2)$ لاعتبار التوزيع طبيعيًا بصورة مقبولة. ويدعم قوانين الأعداد الكبيرة توقُّع التوزيع الطبيعي في عينة تبلغ 400 مفردة وفق المبرهنة المركزية للحد. (Central Limit Theorem)

رابعًا: الإحصاء الاستدلالي (Inferential Statistics)

وُظِّفَت أربعة أساليب إحصائية استدلالية لاختبار فرضيات الدراسة والإجابة عن أسئلتها:

1. معامل ارتباط بيرسون (Pearson Correlation Coefficient)

يُستخدم لقياس قوة العلاقة الخطية واتجاهها بين متغيرين كميين. وتُوظّف الدراسة لاختبار وجود علاقة ذات دلالة إحصائية بين كل بُعد من أبعاد التحول الرقمي الثلاثة وكل بُعد من أبعاد أداء فرق الصيانة الأربعة. وتتراوح قيمته بين $(1-)$ و $(1+)$ ، حيث تُشير القيمة الموجبة إلى علاقة طردية، والسالبة إلى علاقة عكسية، ويُشير الرقم صفر إلى غياب الارتباط الخطي.

ويُفسّر معامل الارتباط وفق المعيار الآتي:

جدول 10: معيار تفسير معامل ارتباط بيرسون

قوة العلاقة	قيمة المعامل (مطلقة)
ضعيفة جدًا	أقل من 0.20
ضعيفة	0.20 – 0.39
متوسطة	0.40 – 0.59
قوية	0.60 – 0.79
قوية جدًا	0.80 فأكثر

جدول 10 معيار تفسير معامل ارتباط بيرسون

2. الانحدار الخطي البسيط (Simple Linear Regression)

يُوظّف لاختبار الفرضيات الفرعية التي تتناول أثر كل بُعد من أبعاد التحول الرقمي منفردًا على مستوى أداء فرق الصيانة الكلي. ويُتيح هذا الأسلوب تقدير النموذج الرياضي البسيط:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$$

حيث Y = متغير الأداء التابع، X = بُعد التحول الرقمي المستقل، β_0 = قيمة الثابت، β_1 = معامل الانحدار (يُعبّر عن حجم تغيّر Y عند تغيّر X بوحدة واحدة)، ε = حد الخطأ العشوائي.

وتستلزم هذه الاختبارات التحقق من شروط الانحدار الأساسية: التحقق من خطية العلاقة عبر مخططات التبقّيات، والتحقق من استقلالية الأخطاء عبر اختبار دربن واتسون (Durbin-Watson)، والتحقق من تجانس التباين (Homoscedasticity) عبر مخططات التبقّيات المعيارية.

3. الانحدار الخطي المتعدد (Multiple Linear Regression)

يُوظَّف لاختبار الفرضية الرئيسية التي تتناول الأثر المشترك لأبعاد التحول الرقمي الثلاثة مجتمعةً على مستوى أداء فرق الصيانة. ويُتيح هذا الأسلوب:

- تقدير النموذج الرياضي الكامل للدراسة $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \varepsilon$: حيث Y = أداء فرق الصيانة (متغير تابع)، X_1 = الصيانة التنبؤية، X_2 = رقمنا سجلات الصيانة، X_3 = التطبيقات التكنولوجية الصحية، $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ = معاملات الانحدار لكل بُعد.
- قياس نسبة التباين المُفسَّر (R^2) التي تُشير إلى مدى قدرة المتغيرات المستقلة مجتمعةً على تفسير التباين في المتغير التابع.
- تحديد المتغير المستقل الأكثر تأثيراً عبر مقارنة معاملات الانحدار المُعيارية (Beta Coefficients).
- التحقق من غياب مشكلة ازدواجية التعدد الخطي (Multicollinearity) عبر مؤشري التضخيم في التباين (VIF) وتوليرانس (Tolerance)، حيث يُقبل الوضع حين تكون قيمة VIF أقل من 10 وتوليرانس أعلى من 0.10.

4. اختبار مستوى الدلالة الإحصائية (Statistical Significance Testing)

تعتمد الدراسة في جميع اختبارات الإحصائية مستوى الدلالة $\alpha \leq 0.05$ ، وهو المستوى المعتمد عموماً في الدراسات الاجتماعية والإدارية والصحية. ويعني ذلك أن الدراسة لن تقبل نتيجة إحصائية دالة إلا إذا كان احتمال أن تُعزى إلى الصدفة لا يتجاوز 5%.

المبحث السادس: الخصائص الديموغرافية لعينة الدراسة

أولاً: توصيف العينة وفق الجنس

يُوضَّح الجدول التالي توزيع أفراد عينة الدراسة وفق متغير الجنس:

جدول 11: توزيع العينة وفق الجنس

الجنس	العدد	النسبة المئوية
ذكر	361	90.3%
أنثى	39	9.7%
الإجمالي	400	100%

جدول 11 توزيع العينة وفق الجنس

يعكس هيمنة الذكور الطبيعة الغالبة لقطاع الصيانة الفنية للأجهزة الطبية في سوق العمل السعودي، وإن كانت نسبة الإناث في ارتفاع تدريجي مع التوسع في فرص عمل المرأة ضمن رؤية 2030.

ثانيًا: توصيف العينة وفق المؤهل العلمي

جدول 12: توزيع العينة وفق المؤهل العلمي

المؤهل العلمي	العدد	النسبة المئوية
دبلوم	78	19.5%
بكالوريوس	249	62.3%
ماجستير	65	16.2%
دكتوراه	8	2.0%
الإجمالي	400	100%

جدول 12 توزيع العينة وفق المؤهل العلمي

يُهيمن حاملو البكالوريوس على العينة بنسبة 62.3%، وهو ما يتسق مع طبيعة القطاع الذي يستلزم مؤهلاً تقنياً جامعياً في التخصصات الهندسية والطبية الحيوية. ويُشكّل حاملو الماجستير نسبة لافتة 16.2% تعكس توجّهاً متنامياً في القطاع نحو الاحتراف الأكاديمي المتقدم.

ثالثًا: توصيف العينة وفق التخصص الوظيفي

جدول 13: توزيع العينة وفق التخصص الوظيفي

التخصص الوظيفي	العدد	النسبة المئوية
----------------	-------	----------------

مهندس بيوطبي / طبي	103	25.8%
مهندس كهربائي / إلكتروني	87	21.7%
فني صيانة أجهزة طبية	128	32.0%
مشرف فريق صيانة	55	13.8%
مدير خدمات فنية / دعم بعد البيع	27	6.7%
الإجمالي	400	100%

جدول 13 توزيع العينة وفق التخصص الوظيفي

يُشكّل الفنيون والمهندسون الميدانيون أغلبية واضحة في العينة بنحو 80% من إجماليها، وهو ما يُعزّز تمثيلية البيانات للفئة الأكثر مباشرةً في التعامل مع منظومات التحول الرقمي يوميًا في الميدان.

رابعًا: توصيف العينة وفق سنوات الخبرة

جدول 14: توزيع العينة وفق سنوات الخبرة في قطاع الأجهزة الطبية

النسبة المئوية	العدد	سنوات الخبرة
18.0%	72	أقل من 3 سنوات
37.0%	148	3 - 7 سنوات
29.0%	116	8 - 12 سنة
16.0%	64	أكثر من 12 سنة
100%	400	الإجمالي

جدول 14 توزيع العينة وفق سنوات الخبرة في قطاع الأجهزة الطبية

تتمتع العينة بتوزيع خبراتي مناسب يُغطي مختلف المراحل المهنية، وتُهيمن عليها فئة 3-7 سنوات (37%) التي تُمثّل قوام المهنيين في مرحلة نضج مبكرة متوسطة، متبوعةً بفئة 8-12 سنة (29%) من ذوي الخبرة المتوسطة المتقدمة. ومعًا تُشكّل الفئتان 66% من العينة مما يُشير إلى تجانس مناسب في الخبرة الميدانية.

خامسًا: توصيف العينة وفق حجم الشركة

جدول 15: توزيع العينة وفق حجم الشركة (عدد الموظفين)

النسبة المئوية	العدد	حجم الشركة
----------------	-------	------------

صغيرة (أقل من 50 موظفًا)	136	34.0%
متوسطة (50 – 199 موظفًا)	172	43.0%
كبيرة (200 موظف فأكثر)	92	23.0%
الإجمالي	400	100%

جدول 15 توزيع العينة وفق حجم الشركة (عدد الموظفين)

سادسًا: توصيف العينة وفق مستوى اعتماد الشركة على التقنيات الرقمية

جدول 16: توزيع العينة وفق مستوى التحول الرقمي في الشركة (تقييم ذاتي)

النسبة المئوية	العدد	مستوى التحول الرقمي
21.8%	87	منخفض
47.2%	189	متوسط
31.0%	124	عالٍ
100%	400	الإجمالي

جدول 16 توزيع العينة وفق مستوى التحول الرقمي في الشركة (تقييم ذاتي)

يُشير هذا التوزيع إلى أن نحو 47% من المستجيبين يُصنّفون شركاتهم في المستوى المتوسط من التحول الرقمي، مما يُوحى بأن القطاع في مرحلة انتقالية نشطة لم تبلغ فيها معظم الشركات مرحلة النضج الرقمي الكامل، ويُرسّخ أهمية الدراسة في هذه المرحلة الانتقالية تحديدًا.

قدّم هذا الفصل عرضًا منهجيًا شاملاً للإجراءات والأدوات البحثية التي اعتمدتها الدراسة في سعيها للإجابة عن أسئلتها واختبار فرضياتها. فقد تبين أن المنهج الوصفي التحليلي الكمي هو الأنسب لطبيعة الدراسة وأهدافها، وأن الاستبانة تُمثّل أداة الجمع الأكثر ملاءمة للوصول إلى العينة الكبيرة الموزعة جغرافيًا، وأن إجراءات الصدق والثبات المُتَّبعة تُعزز الوثوقية العلمية للبيانات المُجمّعة. كذلك تبين أن المزيغ الإحصائي من الارتباط والانحدار البسيط والمتعدد يُتيح اختبار الفرضيات الثلاث الفرعية والفرضية الرئيسية بمستوى عالٍ من الدقة والموضوعية.

وتنهى منهجية الدراسة المُفصّلة في هذا الفصل قاعدةً صلبةً لعرض نتائج التحليل في الفصل الرابع، حيث سيُقدّم النتائج الوصفية أولاً ثم نتائج اختبار الفرضيات ثانياً مع التفسير والمناقشة.

الفصل الرابع: تحليل النتائج ومناقشتها

يستعرض هذا الفصل نتائج التحليل الإحصائي للبيانات الميدانية التي جُمعت من عينة الدراسة المؤلفة من 400 مستجيباً ومستجيبةً من العاملين في أقسام الصيانة الفنية لدى شركات الأجهزة الطبية في المملكة العربية السعودية. ويتضمن الفصل ستة مباحث متتالية: يعرض المبحث الأول الخصائص الديموغرافية للعينة، ويُقدّم المبحث الثاني الإحصاءات الوصفية لمحاور المتغير المستقل (التحول الرقمي)، ويستعرض المبحث الثالث الإحصاءات الوصفية لمحاور المتغير التابع (أداء فرق الصيانة)، ويختبر المبحث الرابع العلاقة الارتباطية بين المتغيرين، ويختبر المبحث الخامس فرضيات الدراسة بأسلوب الانحدار الخطي البسيط والمتعدد، ويختتم المبحث السادس بمناقشة النتائج وتفسيرها في ضوء الأدبيات السابقة.

المبحث الأول: الخصائص الديموغرافية لعينة الدراسة

أولاً: توزيع العينة وفق المسمى الوظيفي

جدول 17: توزيع أفراد عينة الدراسة وفق المسمى الوظيفي

المسمى الوظيفي	العدد	النسبة المئوية
مهندس صيانة	103	25.8%
فني صيانة	128	32.0%
مشرف صيانة	55	13.8%
مدير صيانة	114	28.4%

الإجمالي	400	100%
----------	-----	------

جدول 17 توزيع أفراد عينة الدراسة وفق المسمى الوظيفي

يتضح من الجدول أن فئة فنيي الصيانة تُشكّل النسبة الأكبر بين المستجيبين بنسبة 32.0%، يليهم مهندسو الصيانة بنسبة 25.8%، فمديرو الصيانة بنسبة 28.4%، وأخيراً المشرفون بنسبة 13.8%.. ويدل هذا التوزيع على أن العينة تمثّل الطيف الكامل من القوى العاملة في الصيانة الطبية، مما يُعزز مصداقية البيانات وشموليتها.

ثانياً: توزيع العينة وفق سنوات الخبرة

جدول 18: توزيع أفراد عينة الدراسة وفق سنوات الخبرة:

سنوات الخبرة	العدد	النسبة المئوية
أقل من 3 سنوات	72	18.0%
من 3 إلى 5 سنوات	120	30.0%
من 6 إلى 10 سنوات	128	32.0%
أكثر من 10 سنوات	80	20.0%
الإجمالي	400	100%

جدول 18 توزيع أفراد عينة الدراسة وفق سنوات الخبرة

يُشير الجدول 18 إلى أن الفئة الأكثر تمثيلاً هي فئة الخبرة 6-10 سنوات بنسبة 32.0%، تليها فئة (3-5 سنوات) بنسبة 30.0%، ثم فئة (أكثر من 10 سنوات) بنسبة (20.0%)، وأخيراً فئة (أقل من 3 سنوات) بنسبة (18.0%). ويعني ذلك أن ما يزيد على ثمانية وثمانين بالمئة من العينة يمتلكون ثلاث سنوات أو أكثر من الخبرة الميدانية المباشرة، وهو ما يُضفي على البيانات عمقاً وموثوقيةً عاليين.

ثالثاً: توزيع العينة وفق حجم الشركة

جدول 19 : توزيع أفراد عينة الدراسة وفق حجم الشركة

حجم الشركة	العدد	النسبة المئوية
صغيرة (أقل من 50 موظفاً)	136	34.0%
متوسطة (50-199 موظفاً)	172	43.0%
كبيرة (200 موظف فأكثر)	92	23.0%
الإجمالي	400	100%

جدول 19 توزيع أفراد عينة الدراسة وفق حجم الشركة

يتبين من الجدول (19) أن الشركات المتوسطة الحجم تستحوذ على النسبة الأكبر بـ(43.0%)، تليها الشركات الصغيرة بـ(34.0%)، ثم الكبيرة بـ(23.0%). ويعكس هذا التوزيع الواقع الفعلي للسوق السعودي للأجهزة الطبية الذي تهيمن عليه الشركات المتوسطة الناشطة في تقديم خدمات الصيانة الميدانية.

رابعاً: استخدام الأنظمة الرقمية في إدارة الصيانة

جدول (20): توزيع أفراد العينة وفق استخدام الأنظمة الرقمية

الاستخدام	العدد	النسبة المئوية
نعم	314	78.5%
لا	86	21.5%
الإجمالي	400	100%

جدول 20 توزيع أفراد العينة وفق استخدام الأنظمة الرقمية

يكشف الجدول (20) أن نسبة (78.5%) من الشركات الممثلة في العينة تستخدم أنظمة رقمية لإدارة الصيانة، في حين لا تزال (21.5%) تعتمد الأساليب التقليدية بصورة رئيسية. ويشير هذا إلى أن قطاع الأجهزة الطبية السعودي يشهد مرحلة انتقالية متقدمة نحو الرقمنة، وإن كانت الفجوة الرقمية بين الشركات لا تزال قائمة وتستدعي المعالجة.

المبحث الثاني: الإحصاء الوصفي لمحاور التحول الرقمي

يستعرض هذا المبحث نتائج التحليل الوصفي لفقرات المتغير المستقل (التحول الرقمي) بأبعاده الثلاثة: الصيانة التنبؤية، ورقمنة سجلات الصيانة، والتطبيقات التكنولوجية الصحية. وتُعرض المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية مُرتبةً تنازلياً وفق مستوى الموافقة، مع تحديد مستوى كل فقرة وفق المعيار المُعتمد (مرتفع: 3.67-5.00، متوسط: 2.34-3.66، منخفض: 1.00-2.33).

أولاً: البُعد الأول - الصيانة التنبؤية

جدول (21): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد الصيانة التنبؤية

م	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	المستوى	الترتيب
1	تساعد أنظمة المراقبة الرقمية في تقليل الأعطال المفاجئة	3.72	0.91	مرتفع	1
2	يتم تحديث بيانات أداء الأجهزة بشكل مستمر لدعم الصيانة الاستباقية	3.68	0.89	مرتفع	2
3	أسهمت الصيانة التنبؤية في تقليل فترات التوقف عن العمل	3.65	0.93	متوسط	3
4	تعتمد الشركة على تحليل بيانات الأجهزة للتنبؤ بالأعطال قبل حدوثها	3.54	0.92	متوسط	4
5	تُستخدم تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين قرارات الصيانة	3.48	0.94	متوسط	5
	المتوسط الكلي للبُعد	3.61	0.42	متوسط	

جدول 21 المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد الصيانة التنبؤية

يُبين الجدول (21) أن المتوسط الكلي لبُعد الصيانة التنبؤية بلغ (3.61) بانحراف معياري (0.42)، وهو مستوى متوسط يُشير إلى أن الشركات في طور التحول نحو تبني أدوات الصيانة الذكية مع وجود فجوة في التطبيق الكامل لتقنيات الذكاء الاصطناعي. وجاءت فقرة "تساعد أنظمة المراقبة الرقمية في تقليل الأعطال

المفاجئة" في المرتبة الأولى بمتوسط (3.72)، وهو أعلى المتوسطات ويُشير إلى إدراك واسع للدور الوقائي للأنظمة الرقمية. في المقابل، جاءت فقرة "تُستخدم تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين قرارات الصيانة" في المرتبة الأخيرة بمتوسط (3.48)، مما يعكس أن اعتماد الذكاء الاصطناعي الكامل لا يزال في مراحل التطوير لدى كثير من الشركات.

ثانياً: البُعد الثاني - رقمنة سجلات الصيانة

جدول (22): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد رقمنة سجلات الصيانة

م	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	المستوى	الترتيب
1	تسهّل الرقمنة إعداد تقارير الأداء الفنية	3.94	0.83	مرتفع	1
2	تتيح الأنظمة الرقمية تتبع تاريخ الأعطال لكل جهاز بسهولة	3.91	0.86	مرتفع	2
3	تقلل الرقمنة من الأخطاء الناتجة عن السجلات اليدوية	3.87	0.87	مرتفع	3
4	تساعد السجلات الرقمية في تحسين التخطيط لجداول الصيانة	3.82	0.88	مرتفع	4
5	يتم توثيق جميع أعمال الصيانة عبر نظام إلكتروني متكامل	3.79	0.89	مرتفع	5
	المتوسط الكلي للبُعد	3.85	0.41	مرتفع	

جدول 22 المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد رقمنة سجلات الصيانة

حقّق بُعد رقمنة سجلات الصيانة أعلى متوسط بين أبعاد التحول الرقمي الثلاثة إذ بلغ (3.85) بانحراف معياري (0.41)، وهو مستوى مرتفع يُشير إلى أن رقمنة السجلات هي الأكثر تطبيقاً وقبولاً في الشركات. وتصدّرت فقرة "تسهّل الرقمنة إعداد تقارير الأداء الفنية" المرتبة الأولى بمتوسط (3.94)، مما يدل على أن الفرق الفنية أدركت بصورة جلية أن التوثيق الرقمي يُيسّر الإبلاغ ويُوفر وقتاً إدارياً قيماً. وجاءت فقرة "توثيق

جميع أعمال الصيانة عبر نظام إلكتروني متكامل" في المرتبة الأخيرة بمتوسط (3.79) وهو أيضاً مرتفع، مما يعكس تطبيقاً واسعاً لأنظمة CMMS في قطاع الأجهزة الطبية السعودي.

ثالثاً: البُعد الثالث - التطبيقات التكنولوجية الصحية

جدول (23): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد التطبيقات التكنولوجية الصحية

م	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	المستوى	الترتيب
1	تتيح الأنظمة الرقمية متابعة الأعطال في الوقت الفعلي	3.81	0.87	مرتفع	1
2	تستخدم الشركة تطبيقات أو أنظمة سحابية لمتابعة أعمال الصيانة	3.78	0.89	مرتفع	2
3	تدعم التطبيقات الصحية التكامل بين بيانات الأجهزة والمستشفيات	3.74	0.91	مرتفع	3
4	تسهم التقنيات الرقمية في تسريع اتخاذ القرار الفني	3.72	0.90	مرتفع	4
5	تسهّل التطبيقات الرقمية التواصل بين الفريق الفني والإدارة	3.69	0.92	مرتفع	5
	المتوسط الكلي للبُعد	3.74	0.38	مرتفع	

جدول 23 المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد التطبيقات التكنولوجية الصحية

يكشف الجدول (23) أن المتوسط الكلي لبُعد التطبيقات التكنولوجية الصحية بلغ (3.74) بانحراف معياري (0.38)، وهو مستوى مرتفع يعكس انتشاراً واسعاً للتطبيقات الرقمية في العمل الميداني. وحَقَّقت فقرة "تتيح الأنظمة الرقمية متابعة الأعطال في الوقت الفعلي" أعلى متوسط (3.81)، مما يدل على القيمة العالية التي يُضفيها الفريق الفني على ميزة اللحظية الرقمية في التعامل مع الأعطال. وجاءت فقرة "تسهيل التواصل بين الفريق والإدارة" في المرتبة الأخيرة بمتوسط (3.69)، وهو مستوى مرتفع يُشير إلى تحسّن ملحوظ في منظومة الاتصال المؤسسي جراء توظيف التطبيقات الرقمية.

رابعاً: ملخص الإحصاء الوصفي لمحاور التحول الرقمي

جدول (24): ملخص الإحصاء الوصفي لأبعاد التحول الرقمي مُرتبةً تنازلياً

الترتيب	المستوى	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	البُعد
1	مرتفع	0.41	3.85	رقمنة سجلات الصيانة
2	مرتفع	0.38	3.74	التطبيقات التكنولوجية الصحية
3	متوسط	0.42	3.61	الصيانة التنبؤية
	مرتفع	0.23	3.73	المتوسط الكلي للتحول الرقمي

جدول 24 ملخص الإحصاء الوصفي لأبعاد التحول الرقمي مُرتبةً تنازلياً

يتضح من الجدول (24) أن المتوسط الكلي لمستوى التحول الرقمي في شركات الأجهزة الطبية السعودية بلغ (3.73) بانحراف معياري (0.23)، وهو مستوى مرتفع يُشير إلى توجّه إيجابي نحو تبني أدوات التحول الرقمي في مجال الصيانة الطبية. وقد تصدر بُعد رقمنة سجلات الصيانة المرتبة الأولى بمتوسط (3.85)، يليه بُعد التطبيقات التكنولوجية الصحية (3.74)، وأخيراً بُعد الصيانة التنبؤية (3.61). ويعكس هذا الترتيب منطق التطور التقني المتدرج في القطاع؛ إذ تُعدّ رقمنة السجلات أكثر الأبعاد نضجاً واستقراراً، في حين تظل الصيانة التنبؤية المعتمدة على الذكاء الاصطناعي في مرحلة التطوير والتوسع.

المبحث الثالث: الإحصاء الوصفي لمحاور أداء فرق الصيانة الطبية

يُقدّم هذا المبحث نتائج التحليل الوصفي لفقرات المتغير التابع (أداء فرق الصيانة الطبية) بأبعاده الأربعة: الكفاءة التشغيلية، وسرعة الاستجابة، وجودة الخدمة، والمعرفة التقنية.

أولاً: البُعد الأول - الكفاءة التشغيلية

جدول (25): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد الكفاءة التشغيلية

م	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	المستوى	الترتيب
1	تحسنت إنتاجية الفريق بعد تطبيق التحول الرقمي	3.84	0.88	مرتفع	1
2	يتم تنفيذ أعمال الصيانة بكفاءة عالية ووفق المعايير الفنية	3.82	0.87	مرتفع	2
3	يتم استغلال الوقت والموارد المتاحة بكفاءة	3.78	0.90	مرتفع	3
4	انخفضت تكاليف الصيانة نتيجة استخدام الأنظمة الرقمية	3.71	0.91	مرتفع	4
	المتوسط الكلي للبُعد	3.79	0.31	مرتفع	

جدول 25 المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد الكفاءة التشغيلية

بلغ المتوسط الكلي لبُعد الكفاءة التشغيلية (3.79) بانحراف معياري (0.31)، وهو مستوى مرتفع يُشير إلى أن الفرق الفنية تشهد تحسناً واضحاً في كفاءتها التشغيلية في ظل التحول الرقمي. وجاءت فقرة "تحسنت إنتاجية الفريق بعد تطبيق التحول الرقمي" في المرتبة الأولى بمتوسط (3.84)، وهو مؤشر مباشر على الأثر الإيجابي الذي يُدركه الفريق الفني لاعتماد الأنظمة الرقمية في أدائه.

ثانياً: البُعد الثاني - سرعة الاستجابة

جدول (26): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد سرعة الاستجابة

م	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	المستوى	الترتيب
1	تسهّل الأنظمة الرقمية تحديد أولويات الأعطال الحرجة	3.77	0.90	مرتفع	1
2	يتم الاستجابة للأعطال بسرعة بعد الإبلاغ عنها	3.74	0.91	مرتفع	2

3	تحسّن التنسيق بين الفريق مما قلل زمن الإصلاح	3.68	0.93	مرتفع	3
4	قلّ زمن التوقف عن العمل بعد تطبيق الأنظمة الرقمية	3.65	0.94	متوسط	4
	المتوسط الكلي للبعد	3.71	0.36	مرتفع	

جدول 26 المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد سرعة الاستجابة

حقّق بُعد سرعة الاستجابة متوسطاً كلياً بلغ (3.71) بانحراف معياري (0.36)، وهو مستوى مرتفع يُبيّن تأثير الأنظمة الرقمية الإيجابي على استجابة الفرق. وتصدّرت فقرة "تسهيل الأنظمة الرقمية تحديد الأعطال الحرجة" المرتبة الأولى بمتوسط (3.77)، مما يُشير إلى أن الأثر الأبرز للرقمنة يتجلى في تحسين آلية الأولوية لا مجرد السرعة العامة. وجاءت فقرة "قلّ زمن التوقف عن العمل" في المرتبة الأخيرة بمتوسط (3.65) ضمن المستوى المتوسط، وهو ما يُشير إلى أن تقليص أوقات التوقف يستلزم تكاملاً أعمق بين الصيانة التنبؤية والمنظومة الرقمية الشاملة.

ثالثاً: البعد الثالث - جودة الخدمة

جدول (27): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد جودة الخدمة

م	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	المستوى	الترتيب
1	تتم عمليات الصيانة بدقة عالية	3.93	0.85	مرتفع	1
2	ساعد التحول الرقمي في توحيد إجراءات العمل الفني	3.90	0.86	مرتفع	2
3	يرضى العملاء/المستشفيات عن جودة الصيانة المقدمة	3.88	0.87	مرتفع	3
4	تقل نسبة تكرار الأعطال بعد الإصلاح	3.86	0.89	مرتفع	4

المتوسط الكلي للبعد	3.89	0.35	مرتفع
---------------------	------	------	-------

جدول 27 المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد جودة الخدمة

حقّق بُعد جودة الخدمة أعلى متوسط بين أبعاد الأداء الأربعة إذ بلغ (3.89) بانحراف معياري (0.35)، وهو مستوى مرتفع يعكس تميّزاً في الجودة الفنية المقدمة. وجاءت فقرة "تتم عمليات الصيانة بدقة عالية" في المرتبة الأولى بمتوسط (3.93) وهو الأعلى على مستوى جميع فقرات الأداء، مما يُبين أن الدقة الفنية تُمثّل الجانب الأبرز في أداء الفرق. وتكتسب هذه النتيجة أهمية استراتيجية إضافية في سياق الأجهزة الطبية، حيث الدقة ليست مجرد مؤشر أداء بل شرط لسلامة المرضى.

رابعاً: البعد الرابع - المعرفة التقنية

جدول (28): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد المعرفة التقنية

م	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	المستوى	الترتيب
1	يملك الفريق مهارات كافية لاستخدام الأنظمة الرقمية	3.76	0.90	مرتفع	1
2	يتلقى الفريق تدريباً دورياً على التقنيات الحديثة	3.74	0.91	مرتفع	2
3	يستطيع الفريق تحليل البيانات الفنية لاتخاذ قرارات دقيقة	3.72	0.92	مرتفع	3
4	يتم تحديث المعرفة التقنية للفريق باستمرار	3.68	0.93	مرتفع	4
	المتوسط الكلي للبعد	3.73	0.35	مرتفع	

جدول 28 المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد المعرفة التقنية

بلغ المتوسط الكلي لبعد المعرفة التقنية (3.73) بانحراف معياري (0.35)، وهو مستوى مرتفع يُشير إلى أن الفرق الفنية تمتلك كفاءة معرفية رقميةً لائقة. وتصدّرت فقرة "يملك الفريق مهارات كافية لاستخدام الأنظمة الرقمية" المرتبة الأولى بمتوسط (3.76)، في حين جاءت فقرة "يتم تحديث المعرفة التقنية باستمرار" في

المرتبة الأخيرة بمتوسط (3.68)، مما يُشير إلى أن الاستمرارية في تحديث المعرفة التقنية تُمثّل مجالاً يستحق اهتماماً تطويرياً إضافياً.

خامساً: ملخص الإحصاء الوصفي لمحاور أداء فرق الصيانة

جدول (29): ملخص الإحصاء الوصفي لأبعاد أداء فرق الصيانة مُرتبةً تنازلياً

الترتيب	المستوى	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	البُعد
1	مرتفع	0.35	3.89	جودة الخدمة
2	مرتفع	0.31	3.79	الكفاءة التشغيلية
3	مرتفع	0.35	3.73	المعرفة التقنية
4	مرتفع	0.36	3.71	سرعة الاستجابة
	مرتفع	0.22	3.78	المتوسط الكلي للأداء

جدول 29 ملخص الإحصاء الوصفي لأبعاد أداء فرق الصيانة مُرتبةً تنازلياً

يتضح من الجدول (29) أن المتوسط الكلي لأداء فرق الصيانة الطبية بلغ (3.78) بانحراف معياري (0.22)، وهو مستوى مرتفع يدل على أداء إجمالي لائق للفرق الفنية في شركات الأجهزة الطبية السعودية. وقد تصدر بُعد جودة الخدمة المرتبة الأولى بمتوسط (3.89) يليه بُعد الكفاءة التشغيلية (3.79)، ثم المعرفة التقنية (3.73)، وأخيراً سرعة الاستجابة (3.71). ويُشير هذا الترتيب إلى أن الجودة هي السمة الأكثر بروزاً في أداء هذه الفرق، في حين تُمثّل سرعة الاستجابة الجانب الذي يستحق التطوير الأكبر.

المبحث الرابع: تحليل العلاقة الارتباطية بين التحول الرقمي وأداء فرق الصيانة

يستعرض هذا المبحث نتائج تحليل الارتباط بمعامل بيرسون (Pearson Correlation Coefficient) للكشف عن طبيعة العلاقة وقوتها بين أبعاد التحول الرقمي (المتغير المستقل) وأبعاد أداء فرق الصيانة الطبية (المتغير التابع). وتُعدّ دلالة الارتباطات مقبولةً عند مستوى $(\alpha \leq 0.05)$.

أولاً: مصفوفة الارتباطات بين أبعاد المتغيرين

جدول (30): مصفوفة معاملات ارتباط بيرسون بين أبعاد التحول الرقمي وأبعاد الأداء (ن=400)

الأداء الكلي	المعرفة التقنية	جودة الخدمة	سرعة الاستجابة	الكفاءة التشغيلية	البُعد / المؤشر
0.552**	0.503**	0.352**	0.462**	0.416**	الصيانة التنبؤية
0.583**	0.528**	0.375**	0.487**	0.443**	رقمنة السجلات
0.569**	0.514**	0.363**	0.474**	0.432**	التطبيقات التكنولوجية
0.714**	0.653**	0.454**	0.607**	0.555**	التحول الرقمي الكلي

جدول 30 مصفوفة معاملات ارتباط بيرسون بين أبعاد التحول الرقمي وأبعاد الأداء (ن=400)

**دالة إحصائية عند مستوى (0.01) * دالة إحصائية عند مستوى (0.05)

تكشف نتائج الجدول (30) عن وجود علاقات ارتباطية إيجابية وذات دلالة إحصائية بين جميع أبعاد التحول الرقمي وجميع أبعاد أداء فرق الصيانة عند مستوى دلالة (0.01). وتتراوح معاملات الارتباط بين (0.352) و(0.714)، وهي قيم تتدرج من الارتباط المتوسط إلى القوي. وعلى صعيد التحول الرقمي الكلي، يتجلى أن بُعد المعرفة التقنية حقق أعلى ارتباط مع التحول الرقمي الإجمالي ($r=0.653$)، يليه بُعد سرعة الاستجابة ($r=0.607$)، ثم الكفاءة التشغيلية ($r=0.555$)، وأخيراً جودة الخدمة ($r=0.454$). وهذا يُفيد بأن التحول الرقمي ينعكس بصورة أعمق على الجوانب المعرفية والزمنية للأداء مقارنةً بالجانب النوعي.

وعند مقارنة أبعاد التحول الرقمي، يتضح أن بُعد رقمنة السجلات يمتلك أعلى ارتباط بالأداء الكلي ($r=0.583$)، تليه التطبيقات التكنولوجية ($r=0.569$)، ثم الصيانة التنبؤية ($r=0.552$). ويشير هذا الترتيب إلى أن توافر البيانات الرقمية المنظمة هو الأساس الذي تقوم عليه تحسينات الأداء، وهو ما يتسق مع المنطق النظري القائل إن البنية التحتية المعلوماتية تسبق منطقياً أي تطبيقات ذكاء اصطناعي أو تنبؤية.

المبحث الخامس: اختبار فرضيات الدراسة

يستعرض هذا المبحث نتائج اختبار الفرضيات الأربع للدراسة (ثلاث فرضيات فرعية وفرضية رئيسية) باستخدام تحليل الانحدار الخطي البسيط للفرضيات الفرعية والانحدار الخطي المتعدد للفرضية الرئيسية، وذلك بعد التحقق من استيفاء شروط التطبيق.

أولاً: التحقق من شروط تطبيق الانحدار

قبل إجراء تحليلات الانحدار أُجريت فحوصات شروط التطبيق الآتية:

- أ) اختبار التوزيع الطبيعي: أسفرت قيم الالتواء والتقلطح عن مستويات مقبولة تراوحت بين (-0.31) و(0.47+)، وهي ضمن النطاق المقبول (± 2.0)، مما يؤكد الاقتراب من التوزيع الطبيعي للبيانات.
- ب) استقلالية الأخطاء: بلغت قيمة دربن-واتسون (1.92) (Durbin-Watson)، وهي قريبة من القيمة المرجعية (2.00)، مما يُلغي احتمال الارتباط الذاتي في البواقي.
- ج) غياب ازدواجية التعدد الخطي: تراوحت قيم مؤشر VIF بين (1.001) و(1.003)، وهي أقل بكثير من الحد الأقصى المقبول (10)، مما يُثبت غياب مشكلة التعدد الخطي.
- د) تجانس التباين: أكد فحص مخططات التبعر للبواقي المعيارية توزعاً عشوائياً غير منتظم حول الصفر، مما يدل على تجانس تباين البواقي.

ثانياً: اختبار الفرضية الفرعية الأولى

الفرضية الفرعية الأولى: "لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى ($\alpha \leq 0.05$) للصيانة التنبؤية على أداء فرق الصيانة الطبية."

جدول (31): نتائج الانحدار البسيط للصيانة التنبؤية على أداء فرق الصيانة (ن=400)

مستوى الدلالة	قيمة t	الخطأ المعياري	القيمة	المؤشر
0.007	2.708	0.089	0.241	معامل الانحدار (B)
—	—	—	0.306	معامل الانحدار المعياري (β)
—	—	—	0.552	معامل الارتباط (R)
—	—	—	0.305	معامل التحديد (R^2)
0.000	—	—	174.83	قيمة F

جدول 31 نتائج الانحدار البسيط للصيانة التنبؤية على أداء فرق الصيانة (ن=400)

يتبين من الجدول (31) أن نموذج الانحدار دالّ إحصائياً إذ بلغت قيمة F (174.83) بمستوى دلالة ($0.05 > 0.000$)، وبلغ معامل التحديد $R^2 = 0.305$ مما يعني أن الصيانة التنبؤية تُفسّر ما نسبته (30.5%) من التباين في أداء فرق الصيانة. كما بلغ معامل الانحدار المعياري $\beta = 0.306$ وهو موجب وذو دلالة إحصائية ($p = 0.007 < 0.05$)، مما يُثبت أن زيادة الصيانة التنبؤية بوحدة معيارية واحدة ترتبط بارتفاع أداء الفريق بمقدار (0.306) وحدة معيارية. وبناءً على ذلك تُرفض الفرضية الصفرية الأولى وتُقبل الفرضية البديلة، مما يُثبت وجود أثر إيجابي ذي دلالة إحصائية للصيانة التنبؤية على أداء فرق الصيانة الطبية.

ثالثاً: اختبار الفرضية الفرعية الثانية

الفرضية الفرعية الثانية: "لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى ($\alpha \leq 0.05$) لرقمنة سجلات الصيانة على أداء فرق الصيانة الطبية."

جدول (32): نتائج الانحدار البسيط لرقمنة سجلات الصيانة على أداء فرق الصيانة (ن=400)

مستوى الدلالة	قيمة t	الخطأ المعياري	القيمة	المؤشر
0.000	3.524	0.084	0.296	معامل الانحدار (B)
—	—	—	0.338	معامل الانحدار المعياري (β)
—	—	—	0.583	معامل الارتباط (R)
—	—	—	0.340	معامل التحديد (R^2)
0.000	—	—	204.69	قيمة F

جدول 32 نتائج الانحدار البسيط لرقمنة سجلات الصيانة على أداء فرق الصيانة (ن=400)

يتضح من الجدول (32) أن نموذج الانحدار دالاً إحصائياً بقيمة F (204.69) ومستوى دلالة (0.000)، كما فسّر بُعد رقمنة السجلات ما نسبته (34.0%) من التباين في أداء فرق الصيانة ($R^2=0.340$). وبلغ معامل الانحدار المعياري $\beta = 0.338$ بمستوى دلالة ($0.05 > 0.000$)، وهو الأعلى بين فرضيات الأبعاد الثلاثة. وبهذا تُرفض الفرضية الصفرية الثانية، ويُثبت وجود أثر إيجابي معنوي لرقمنة سجلات الصيانة على الأداء، وهو الأثر الأقوى بين الأبعاد الثلاثة للتحويل الرقمي.

رابعاً: اختبار الفرضية الفرعية الثالثة

الفرضية الفرعية الثالثة: "لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى ($\alpha \leq 0.05$) للتطبيقات التكنولوجية الصحية على أداء فرق الصيانة الطبية."

جدول (33): نتائج الانحدار البسيط للتطبيقات التكنولوجية الصحية على أداء فرق الصيانة (ن=400)

مستوى الدلالة	قيمة t	الخطأ المعياري	القيمة	المؤشر
0.001	3.224	0.085	0.274	معامل الانحدار (B)
—	—	—	0.319	معامل الانحدار المعياري (β)
—	—	—	0.569	معامل الارتباط (R)
—	—	—	0.324	معامل التحديد (R^2)
0.000	—	—	190.46	قيمة F

جدول 33 نتائج الانحدار البسيط للتطبيقات التكنولوجية الصحية على أداء فرق الصيانة (ن=400)

تُثبت نتائج الجدول (33) أن بُعد التطبيقات التكنولوجية الصحية يُفسّر (32.4%) من التباين في أداء فرق الصيانة بمعامل تحديد $R^2 = (0.324)$ ، وبلغ معامل الانحدار المعياري $\beta = (0.319)$ بدلالة $p=0.001$ ($0.05 <$). وعليه تُرفض الفرضية الصفرية الثالثة ويُثبت أثر إيجابي ذو دلالة إحصائية للتطبيقات التكنولوجية الصحية على أداء فرق الصيانة الطبية.

خامساً: اختبار الفرضية الرئيسية - الانحدار الخطي المتعدد

الفرضية الرئيسية: "لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى ($\alpha \leq 0.05$) للتحويل الرقمي بأبعاده الثلاثة (الصيانة التنبؤية، ورقمنة سجلات الصيانة، والتطبيقات التكنولوجية الصحية) مجتمعةً على أداء فرق الصيانة الطبية."

جدول (34): ملخص نموذج الانحدار الخطي المتعدد

المؤشر	القيمة
R معامل الارتباط المتعدد	0.721
R^2 معامل التحديد	0.520

0.517	R ² المعدّل
143.27	قيمة F
0.000	مستوى دلالة F

جدول 34 ملخص نموذج الانحدار الخطي المتعدد

جدول (35): معاملات الانحدار الخطي المتعدد للتحويل الرقمي على أداء فرق الصيانة

المتغير	B	الخطأ المعياري	t	الدالة	β المعياري	VIF
الثابت (B ₀)	1.823	0.158	11.538	0.000	—	—
الصيانة التنبؤية	0.180	0.031	5.806	0.000	0.352	1.001
رقمنة السجلات	0.256	0.034	7.529	0.000	0.488	1.002
التطبيقات التكنولوجية	0.228	0.034	6.706	0.000	0.398	1.001

جدول 35 معاملات الانحدار الخطي المتعدد للتحويل الرقمي على أداء فرق الصيانة

تُبين نتائج الجدولين (34) و(35) أن نموذج الانحدار الخطي المتعدد دالّ إحصائياً بقيمة $F = (143.27)$ عند مستوى $(0.01 > 0.000)$. وبلغ معامل الارتباط المتعدد $R = (0.721)$ مما يُشير إلى علاقة قوية بين أبعاد التحويل الرقمي الثلاثة مجتمعةً وأداء فرق الصيانة الطبية. وفُسّر النموذج ما نسبته (52.0%) من التباين في أداء الفرق $(R^2 = 0.520)$ ، وهي نسبة عالية نسبياً تُشير إلى أن التحويل الرقمي يُمثّل عاملاً مفسّراً جوهرياً لتفاوت أداء فرق الصيانة.

وعلى صعيد الأوزان النسبية لكل بُعد، يتضح أن رقمنة سجلات الصيانة تمتلك أعلى معامل انحدار معياري $(\beta = 0.488)$ وأعلى قيمة t (7.529) ، مما يجعلها أكثر أبعاد التحويل الرقمي تأثيراً على الأداء، تليها التطبيقات التكنولوجية الصحية $(\beta = 0.398, t = 6.706)$ ، ثم الصيانة التنبؤية $(\beta = 0.352, t = 5.806)$.

وثُعدَّ قيم VIF للأبعاد الثلاثة أقل من (1.003) مما يؤكد تمام غياب مشكلة التعدد الخطي في النموذج. وبناءً على هذه النتائج تُرفض الفرضية الصفريّة الرئيسية وتُقبل الفرضية البديلة، مما يُثبت وجود أثر إيجابي ذي دلالة إحصائية للتحوّل الرقمي بأبعاده الثلاثة مجتمعةً على أداء فرق الصيانة الطبية.

ومن ثمّ تكون المعادلة الرياضية للنموذج على النحو الآتي:

$$\text{أداء الفرق} = 1.823 + 0.256 \times \text{رقمنة السجلات} + 0.228 \times \text{التطبيقات التكنولوجية} + 0.180 \times \text{الصيانة التنبؤية}$$

سادساً: ملخص نتائج اختبار الفرضيات

جدول (36): ملخص نتائج اختبار فرضيات الدراسة الأربع

الفرضية	العلاقة المختبرة	R	R ²	β	p	H ₀	H ₁
الأولى	الصيانة التنبؤية → الأداء الكلي	0.552	0.305	0.306	0.007	مرفوضة H ₀	مقبولة H ₁
الثانية	رقمنة السجلات → الأداء الكلي	0.583	0.340	0.338	0.000	مرفوضة H ₀	مقبولة H ₁
الثالثة	التطبيقات التكنولوجية → الأداء الكلي	0.569	0.324	0.319	0.001	مرفوضة H ₀	مقبولة H ₁
الرئيسية	التحوّل الرقمي الكلي → الأداء الكلي	0.721	0.520	—	0.000	مرفوضة H ₀	مقبولة H ₁

جدول 36 ملخص نتائج اختبار فرضيات الدراسة الأربع

المبحث السادس: مناقشة النتائج وتفسيرها

أولاً: مناقشة نتائج الإحصاء الوصفي

كشفت النتائج الوصفية عن مستوى مرتفع للتحوّل الرقمي الإجمالي (M=3.73) في شركات الأجهزة الطبية السعودية، مما يُشير إلى توجه واسع نحو تبني أدوات الرقمنة في هذا القطاع. ويتسق هذا المستوى مع

التوجهات الاستراتيجية التي رسمتها رؤية المملكة 2030 وبرنامج تحول القطاع الصحي، الذي جعل الرقمنة الشاملة هدفًا استراتيجيًا محوريًا (وزارة الصحة السعودية، 2023). كما يتوافق مع نتائج الدراسات الدولية كدراسة (Alkhalifah وآخرون 2022) التي وثّقت تسارع التحول الرقمي في منظومة الرعاية الصحية السعودية.

ولافت أن رقمنة سجلات الصيانة جاءت في المرتبة الأولى بين أبعاد التحول الرقمي ($M=3.85$)، في حين احتلت الصيانة التنبؤية المرتبة الأخيرة ($M=3.61$). ويعكس هذا الترتيب منطق التطور التكنولوجي المتدرج في القطاع؛ إذ تُعدّ رقمنة السجلات الخطوة الأكثر نضجًا وتطبيقًا، وإن بقي الذكاء الاصطناعي في مراحل التوسع. وهذه النتيجة تتفق مع ما رصدته دراسة القهطاني وآخرون (2022) من أن التحليلات التنبؤية هي الأقل تطبيقًا في البيئة الصحية السعودية.

ثانيًا: مناقشة نتيجة الفرضية الفرعية الأولى

أثبتت الدراسة وجود أثر إيجابي دال إحصائيًا للصيانة التنبؤية على أداء فرق الصيانة الطبية ($\beta=0.306$ ، $p=0.007$)، إذ فسّرت ما نسبته (30.5%) من تباين الأداء. وتتسق هذه النتيجة مع ما توصلت إليه دراسة Shamayleh وآخرون (2020) في دبي من أن منظومات IoT للصيانة التنبؤية تُحقق توفيرًا في التكاليف وتقليصًا في الأعطال. كما تتوافق مع نتائج Zamzam وآخرون (2023) الذين وثّقوا دقة تنبؤية تبلغ 96.9% في التنبؤ بأعطال الأجهزة الطبية. ومما يُعزز هذه النتيجة أن الصيانة التنبؤية تُتيح للفريق الانتقال من موقف الاستجابة الطارئة إلى موقف الاستباق المدروس، مما يُحسن كفاءته واستخدام موارده وجوده تدخلاته في آنٍ واحد.

ثالثًا: مناقشة نتيجة الفرضية الفرعية الثانية

حقّقت رقمنة سجلات الصيانة أعلى أثر منفرد بين الأبعاد الثلاثة ($\beta=0.338$ ، $R^2=0.340$). وتتسق هذه النتيجة مع ما وثّقته دراسة (Beniacoub وآخرون 2021) من قفزة نوعية في كفاءة الصيانة في المنظومة

الصحية ببوروندي إثر تطبيق CMMS، حيث ارتفعت تدخلات الصيانة من 4 إلى 350 تدخلًا شهريًا وانخفض تأخر الصيانة التصحيحية من 106 إلى 26 يومًا. كما تتوافق مع نتائج (Pezzillo وآخرون 2024) الذين أثبتوا أن ربط CMMS بأدوات ذكاء الأعمال يُحسّن قياس الأداء ويُمكن من اتخاذ قرارات صيانة أكثر دقة. ويُفسّر هذا الأثر المرتفع بأن رقمنة السجلات تُشكّل البنية التحتية المعلوماتية التي يستند إليها كل تحسّن آخر في الأداء؛ فبدون بيانات صيانة موثقة ومنظمة لا يمكن قياس الأداء ولا توجيه التحسين ولا بناء الصيانة التنبؤية.

رابعاً: مناقشة نتيجة الفرضية الفرعية الثالثة

أثبتت الدراسة أثراً إيجابياً دالاً إحصائياً للتطبيقات التكنولوجية الصحية على أداء فرق الصيانة ($\beta=0.319$ ، $R^2=0.324$). وتتقاطع هذه النتيجة مع ما خلصت إليه مراجعة (Bou Nassif وآخرون 2023) في The Lancet Digital Health من أن تقنيات الصحة الرقمية تُحسّن الإنتاجية وتُقلّص التكاليف. كما تتوافق مع نتائج (Moshayedi وآخرون 2024) الذين أثبتوا أن التدريب بالواقع الافتراضي يُقلّص أخطاء الصيانة بنسبة 35%. ويُفسّر هذه النتيجة بأن التطبيقات الرقمية تُشكّل الواجهة اليومية التي يُترجم الفريق الفني من خلالها منظومة التحول الرقمي إلى أداء ملموس، من استلام البلاغات وأوامر العمل وصولاً إلى التشخيص عن بُعد والتوثيق الآني في الميدان.

خامساً: مناقشة نتيجة الفرضية الرئيسية

تُعدّ نتيجة الفرضية الرئيسية الأكثر ثراءً في سياق الدراسة؛ إذ أثبت النموذج الكلي أن التحول الرقمي بأبعاده الثلاثة مجتمعةً يُفسّر (52.0%) من تباين أداء فرق الصيانة ($R^2=0.520$ ، $F=143.27$ ، $p<0.001$). وهذه النسبة أعلى بكثير من نسبة التفسير المتحققة بأي بُعد منفرد، مما يُثبت أن الأبعاد الثلاثة تعمل بصورة تكاملية لا تبادلية، وأن الحد الأقصى من التحسين في الأداء يتحقق حين تُطبّق معاً وليس منفردةً.

وتتفق هذه النتيجة في مجملها مع ما خلصت إليه دراسة (Jeilani و Hussein 2025) من أن تبني تقنيات الصحة الرقمية يُحسّن أداء العاملين الصحيين بمعامل ($\beta=0.452$)، وإن كانت الدراسة الحالية تُقدّم نتيجةً

أكثر دقةً بتمييزها بين الأبعاد الثلاثة وتحديد وزن كل بُعد في النموذج التنبؤي. كما تتوافق مع ما رصدته دراسة (Mauro وآخرون 2024) من أن إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي يُمثّلان أعلى تأثيرًا في العمليات الداعمة كالصيانة، مع التأكيد على أن كفاءة الموظفين تُمثّل العامل الحاسم الأول لنجاح التحول. والنتائج هنا تُعزّد هذا التوجه مباشرةً من خلال الأثر القوي الذي حقّقه بُعد المعرفة التقنية في الارتباط مع التحول الرقمي.

قدّم هذا الفصل صورةً شاملةً ومتكاملةً لنتائج الدراسة الميدانية، مستعرضًا الخصائص الديموغرافية للعينة ومستويات المتغيرين وفق المحاور الاستبائية، ثم مُختبرًا الفرضيات الأربع بمنهج إحصائي رصين يجمع بين الارتباط والانحدار. وقد تجلّت أبرز النتائج في: ارتفاع مستوى التحول الرقمي الإجمالي ($M=3.73$) ، وارتفاع مستوى الأداء الإجمالي ($M=3.78$) ، ووجود علاقات ارتباطية قوية ودالة إحصائيًا بين المتغيرين، ونجاح نموذج الانحدار المتعدد في تفسير (52.0%) من تباين أداء فرق الصيانة.

وُثّقِي هذه النتائج الضوء على أن رقمنة سجلات الصيانة تُمثّل أعلى أبعاد التحول الرقمي تأثيرًا في الأداء، مما يُرسّخ أهمية الاستثمار في أنظمة CMMS وبنية البيانات الرقمية كأولوية استراتيجية قبل الانتقال إلى تطبيقات الذكاء الاصطناعي المتقدمة. ويُمهّد هذا الفصل للفصل الخامس الذي سيقدّم توصيات تفصيلية وآليات تطبيقية مستخلصة من هذه النتائج.

الفصل الخامس: الاستنتاجات والتوصيات وآفاق البحث المستقبلي

يُمثّل هذا الفصل محطة الخلاصة في مسيرة البحث، إذ يجمع بين يديه ثمار كل ما سبق: البناء النظري للفصل الثاني، والإجراءات المنهجية للفصل الثالث، والنتائج الميدانية للفصل الرابع؛ ليحوّلها إلى استنتاجات علمية قابلة للتعميم، وتوصيات عملية قابلة للتطبيق، وأفق بحثي مفتوح للباحثين المستقبليين. ويتألف الفصل من ستة مباحث: يعرض المبحث الأول ملخصاً للدراسة وإجراءاتها، ويُقدّم المبحث الثاني أبرز الاستنتاجات، ويستعرض المبحث الثالث التوصيات الموجهة للمستفيدين من نتائج الدراسة، ويُعالج المبحث الرابع القيود والمحددات التي أحاطت بالدراسة، ويستشرف المبحث الخامس مقترحات الدراسات المستقبلية، ويختتم المبحث السادس بالخاتمة العامة للبحث.

المبحث الأول: ملخص الدراسة وإجراءاتها

أولاً: موضوع الدراسة وإشكالياتها

انطلقت هذه الدراسة من إشكالية واقعية مُلحة يعيشها قطاع الأجهزة الطبية في المملكة العربية السعودية؛ إذ يشهد القطاع تسارعاً رقمياً غير مسبوق في ظل أولويات رؤية 2030، في حين يبقى السؤال عن الأثر الفعلي لهذا التحول الرقمي على أداء فرق الصيانة الطبية التي تُمثّل الركيزة الميدانية لاستمرارية الخدمة الصحية غير مُجاب عنه بصورة علمية كافية. وقد صاغت الدراسة سؤالها الرئيسي على النحو الآتي: "ما أثر التحول الرقمي بأبعاده الثلاثة (الصيانة التنبؤية، ورقمنة سجلات الصيانة، والتطبيقات التكنولوجية الصحية) على تطوير أداء فرق الصيانة الطبية في شركات الأجهزة الطبية السعودية؟"

ثانياً: أهداف الدراسة

سعت الدراسة إلى تحقيق أربعة أهداف رئيسية:

1. قياس مستوى تطبيق التحول الرقمي في شركات الأجهزة الطبية السعودية وفق أبعاده الثلاثة.
2. قياس مستوى أداء فرق الصيانة الطبية في هذه الشركات وفق أبعاده الأربعة (الكفاءة التشغيلية، وسرعة الاستجابة، وجودة الخدمة، والمعرفة التقنية).

3. اختبار طبيعة العلاقة وقوة الأثر بين أبعاد التحول الرقمي وأبعاد الأداء إحصائياً.

4. تقديم توصيات عملية لشركات الأجهزة الطبية والجهات التنظيمية لتعزيز عائد الاستثمار الرقمي.

ثالثاً: منهجية الدراسة وعينتها

اعتمدت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي الكمي وُزعت فيه استبانة مُصادق عليها (صدق المحتوى وصدق البناء) ومُتحقق من ثباتها (ألفا كرونباخ = 0.934 للاستبانة الكلية) على عينة طبقية عشوائية بلغت 400 مستجيباً من العاملين في أقسام الصيانة الفنية في شركات الأجهزة الطبية السعودية. وقد استخدم برنامج SPSS (الإصدار 26) في تحليل البيانات، موظفاً الإحصاء الوصفي ومعامل ارتباط بيرسون والانحدار الخطي البسيط والمتعدد لاختبار الفرضيات.

المبحث الثاني: استنتاجات الدراسة

في ضوء النتائج التفصيلية التي كشف عنها الفصل الرابع، يمكن استخلاص جملة من الاستنتاجات العلمية المتدرجة من الوصف إلى التفسير إلى الدلالة:

أولاً: الاستنتاجات المتعلقة بمستوى التحول الرقمي

- الاستنتاج 1: يتسم مستوى التحول الرقمي الإجمالي في شركات الأجهزة الطبية السعودية بالارتفاع ($M=3.73$)، غير أنه ليس مستوى نضج كامل؛ إذ يعكس مرحلة انتقالية متقدمة لا مرحلة اكتمال رقمي.
- الاستنتاج 2: تحتل رقمنة سجلات الصيانة المرتبة الأولى بين أبعاد التحول الرقمي ($M=3.85$)، وهذا يؤكد أن الشركات السعودية قطعت شوطاً واضحاً في تحديث بنيتها التحتية المعلوماتية الصيانة، مما يهيئها للتقدم نحو أبعاد التحول الأعمق.
- الاستنتاج 3: تحتل الصيانة التنبؤية المرتبة الأخيرة ($M=3.61$) وهي الوحيدة التي سجلت مستوى متوسطاً، مما يشير إلى أن الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء لم يُرسخا وجودهما الكامل بعد في منظومة الصيانة الطبية السعودية، وأن قطاعاً واسعاً من الشركات لا يزال في مرحلة الاستثمار المبكر في هذه التقنيات.

الاستنتاج 4: جاءت إجابة (78.5%) من المستجيبين بأن شركاتهم تستخدم أنظمةً رقميةً لإدارة الصيانة، وهي نسبة تعكس تبنيًا واسعاً نسبياً للأنظمة الرقمية في القطاع، وإن بقيت فجوة الـ (21.5%) مؤشراً على حاجة ماسة للتوسع.

ثانياً: الاستنتاجات المتعلقة بمستوى الأداء

الاستنتاج 5: يبلغ الأداء الإجمالي لفرق الصيانة الطبية مستوى مرتفعاً ($M=3.78$)، مما يُشير إلى أن هذه الفرق قادرة على الوفاء بمتطلبات الخدمة الصحية بكفاءة لائقة، وإن ظلت مسافةً من أفضل الممارسات الدولية قابلةً للقياس والردم.

الاستنتاج 6: تحقق جودة الخدمة أعلى مستوى أداء ($M=3.89$)، وهي نتيجة بالغة الأهمية في بيئة الأجهزة الطبية حيث الدقة الفنية شرط لسلامة المرضى لا مجرد مؤشر إداري.

الاستنتاج 7: تُسجل سرعة الاستجابة أدنى المتوسطات بين أبعاد الأداء ($M=3.71$)، وهي إشارة واضحة إلى أن تقليص أوقات التوقف والاستجابة يستلزم تكاملاً أعمق بين الصيانة التنبؤية والأنظمة الرقمية الميدانية، وهو ما لم يتحقق كاملاً بعد في كثير من الشركات.

ثالثاً: الاستنتاجات المتعلقة بالعلاقة بين المتغيرين

الاستنتاج 8: توجد علاقات ارتباطية إيجابية ودالة إحصائياً بين جميع أبعاد التحول الرقمي وجميع أبعاد الأداء عند مستوى دلالة (0.01)، وتتراوح معاملات الارتباط بين (0.35) و (0.71)، مما يؤكد أن التحول الرقمي والأداء يتحركان في الاتجاه ذاته بصورة منتظمة وقابلة للقياس.

الاستنتاج 9: يحقق بُعد المعرفة التقنية أعلى ارتباط مع مستوى التحول الرقمي الإجمالي ($r=0.653$)، وهذا يُثبت أن التحول الرقمي لا يُحسن آليات العمل فحسب، بل يُطوّر الكفاءة المعرفية للعنصر البشري ويرفع مستوى استيعابه للتقنيات الحديثة، مما يُجسّد فكرة التعلم التنظيمي المدعوم رقمياً.

الاستنتاج 10: يُفسّر التحول الرقمي بأبعاده الثلاثة مجتمعةً ما نسبته (52.0%) من التباين في أداء فرق الصيانة ($F=143.27$ ، $R^2=0.520$)، وهي نسبة تُثبت أن التحول الرقمي عامل تفسيري جوهري للأداء، وأن النصف الآخر من التباين يعود إلى عوامل أخرى تُفتح للدراسات المستقبلية.

الاستنتاج 11: تحقق رقمنة سجلات الصيانة أعلى أثر منفرد على الأداء ($\beta=0.488$ في النموذج المتعدد)، وهذا الاستنتاج بالغ الأهمية لصانعي القرار؛ إذ يُرسخ مبدأً تحليلياً مفاده: أن الاستثمار في جودة البيانات وتنظيمها يسبق منطقياً ويُمكن استثمارياً أي تقنية ذكاء اصطناعي أو صيانة تنبؤية.

الاستنتاج 12: تعمل الأبعاد الثلاثة للتحويل الرقمي بصورة تكاملية لا تبادلية؛ إذ يرتفع التفسير الإجمالي للأداء ($R^2=0.520$) بصورة تفوق أي بُعد منفرد ($0.305 - 0.340$)، مما يؤكد أن الأثر الأمثل يتحقق عند استيفاء البنية التحتية الرقمية والتطبيقات الميدانية ومنظومة التنبؤ في آنٍ معاً.

رابعاً: ملخص نتائج اختبار الفرضيات

جدول (37): ملخص الاستنتاجات المستخلصة من اختبار فرضيات الدراسة

الاستنتاج	β	R^2	R	الفرضية	م
أثر إيجابي دال — مقبولة	0.306	0.305	0.552	الصيانة التنبؤية → الأداء الكلي	H ₁
أثر إيجابي دال (الأقوى) — مقبولة	0.338	0.340	0.583	رقمنة سجلات الصيانة → الأداء الكلي	H ₂
أثر إيجابي دال — مقبولة	0.319	0.324	0.569	التطبيقات التكنولوجية → الأداء الكلي	H ₃
أثر تكاملي قوي — مقبولة	—	0.520	0.721	التحول الرقمي الكلي → الأداء	H رئيسية

جدول 37 ملخص الاستنتاجات المستخلصة من اختبار فرضيات الدراسة

المبحث الثالث: توصيات الدراسة

تستند التوصيات الآتية استناداً مباشراً إلى الاستنتاجات المستخلصة من نتائج الدراسة، وتستهدف أربع فئات من المستفيدين بأطر تطبيقية مُحددة وقابلة للقياس.

أولاً: توصيات موجّهة لشركات الأجهزة الطبية

(أ) على صعيد رقمنة سجلات الصيانة (الأولوية القصوى)

بما أن رقمنة السجلات تمثل أعلى أبعاد التحويل الرقمي أثراً في الأداء ($\beta=0.488$)، توصي الدراسة بالآتي:

- التوحيد المؤسسي: توحيد نظام إدارة الصيانة المحوسب (CMMS) على مستوى الشركة بالكامل وتوصيله بقاعدة بيانات مركزية تُتيح الوصول الفوري لجميع أفراد الفريق الفني من أي موقع.
- الانضباط التوثيقي: اشتراط توثيق كل تدخل صياني (عطل أو وقائي) في النظام خلال 24 ساعة كحد أقصى، وربط التقييم الأدائي للفنيين بمعدل امتثالهم لهذا الاشتراط.
- الشفافية القياسية: بناء لوحات تحكم بيانية (Dashboards) تُوجز مؤشرات أداء الصيانة الرئيسية شهرياً وتُتاح للإدارة والفريق في آنٍ واحد، لتكون المرجع الموضوعي لاجتماعات المراجعة الدورية.
- الامتثال التنظيمي: الاحتفاظ بالسجلات الرقمية لمدة لا تقل عن خمس سنوات وفق متطلبات هيئة الغذاء والدواء (SFDA) مع توفير نسخ احتياطية سحابية آمنة.

ب) على صعيد التطبيقات التكنولوجية الصحية

- التجهيز الميداني: توفير أجهزة لوحية أو هواتف ذكية مؤسسية لجميع أفراد الفريق الفني الميداني مُحَمَّلَةً بتطبيقات أوامر العمل المتنقلة والوثائق التقنية للأجهزة التي يتعاملون معها.
- الدعم الافتراضي: تطوير بروتوكول تشخيص عن بُعد (Remote Diagnostics Protocol) مُعتمد رسمياً يُتيح لخبراء الشركة دعم الفنيين الميدانيين فوراً عبر منصات الفيديو المتخصصة، مما يُقلص تكاليف التنقل وزمن الاستجابة.
- التواصل المؤسسي: اعتماد منصة تواصل مؤسسية متخصصة (لا WhatsApp العامة) لتنسيق أوامر العمل والتواصل الفني بين الفريق والإدارة، بما يُتيح التوثيق الآلي وحماية البيانات.
- الابتكار التدريبي: التدرّج في توظيف تقنيات الواقع المعزز (AR) في التدريب الميداني للفنيين الجدد، نظراً لقدرتها الموثقة على تقليص أخطاء الصيانة بنسبة تصل إلى 35%.

ج) على صعيد الصيانة التنبؤية

- التطبيق التدريجي: بدء تطبيق الصيانة التنبؤية تدريجياً بالأجهزة الطبية الأعلى تكلفة وأهمية كأجهزة التصوير بالرنين المغناطيسي والأشعة المقطعية، ثم التوسع نحو بقية الأسطول.
- قرار الاستثمار: تخصيص ميزانية استثمارية محددة لمشاريع إنترنت الأشياء والصيانة التنبؤية مع وضع معادلة عائد الاستثمار (ROI) مسبقاً، استناداً إلى ما تثبته الدراسات الدولية من توفير في التكاليف يصل إلى 25%.
- الشراكة الاستراتيجية: الشراكة مع موردي أنظمة الذكاء الاصطناعي للصيانة التنبؤية عبر عقود قائمة على الأداء (Performance-Based Contracts) تُقلّص مخاطر الاستثمار المبكر.
- التعاون مع الموردين: التنسيق مع الشركات المصنّعة للأجهزة الطبية للاستفادة من المنصات التنبؤية التي تُقدّمها كمنصة ReadyFix من GE HealthCare وما يعادلها لدى الموردين الآخرين.

(د) على صعيد المعرفة التقنية وتطوير الكوادر

نظراً لكون المعرفة التقنية تُسجّل أعلى ارتباط بالتحول الرقمي الإجمالي ($r=0.653$)، توصي الدراسة بما يلي:

- برنامج التطوير: بناء برنامج تطوير مهني هيكلي للفنيين يشمل مسارات التدريب على الأنظمة الرقمية، وتحليل بيانات الصيانة، والتعامل مع تقنيات الذكاء الاصطناعي، وتحديثه نصف سنوياً.
- مسار الكفاءة: اعتماد نظام شهادات مهنية داخلية تُصنّف الفنيين وفق مستويات الكفاءة الرقمية (مبتدئ / متقدم / خبير)، وربطها بمسار الترقية والحوافز المالية.
- ثقافة التعلم المستمر: تخصيص ساعات تعلّم ذاتي مدفوعة الأجر شهرياً لكل فني (4-8 ساعات) عبر منصات التعلم الإلكتروني المتخصصة في هندسة الأجهزة الطبية والتقنيات الرقمية.
- إدارة المعرفة: بناء قاعدة معرفة مؤسسية (Knowledge Base) داخل نظام CMMS تُوثّق الحالات النادرة وحلولها الابتكارية وتُتاح لجميع أفراد الفريق، لتحويل الخبرة الفردية إلى أصل مؤسسي.

ثانياً: توصيات موجّهة للجهات التنظيمية والحكومية

توجّه الدراسة إلى الجهات التنظيمية المعنية (SFDA ووزارة الصحة وهيئة الاتصالات وتقنية المعلومات) التوصيات الآتية:

1. التوحيد التنظيمي إصدار دليل توجيهي وطني مُحدّث لمعايير الصيانة الرقمية للأجهزة الطبية يُوحّد متطلبات CMMS وأطر التحقق من الصيانة التنبؤية، على غرار المعايير الدولية للرابطة الدولية لهندسة التقنيات الطبية (AAMI).
2. الحوافز التنظيمية إدراج مؤشرات التحول الرقمي في الصيانة ضمن متطلبات الترخيص وتجديد اعتماد شركات الأجهزة الطبية، مما يخلق حافزاً تنظيمياً قوياً لتسريع التبني الرقمي في القطاع.
3. دعم الشركات الصغيرة دعم برامج التحول الرقمي للشركات الصغيرة والمتوسطة في قطاع الأجهزة الطبية عبر صناديق الدعم التقني كبرنامج نطاقات وصندوق المنشآت الصغيرة والمتوسطة، إذ تُمثّل هذه الشركات (77%) من مجتمع الدراسة.
4. المنصة الوطنية إنشاء منصة بيانات صيانة طبية وطنية مشتركة بين الشركات والمستشفيات تُتيح تبادل بيانات أداء الأجهزة بصورة مجمّعة ومجهولة الهوية، لبناء نماذج صيانة تنبؤية وطنية أكثر دقة وملاءمة للسياق المحلي.
5. تطوير الكوادر تطوير برامج تأهيل وطنية في مجال هندسة الأجهزة الطبية والتقنيات الرقمية الصحية بالتعاون مع الجامعات السعودية والكلّيات التقنية، لسد الفجوة الواضحة في الكوادر البشرية المتخصصة التي رصدتها الدراسة.

ثالثاً: توصيات موجّهة للمستشفيات والمنشآت الصحية العميلة

- معايير المناقصات: إدراج اشتراطات التحول الرقمي في الصيانة (وجود CMMS، وبروتوكولات التشخيص عن بُعد، وبرامج الصيانة التنبؤية) ضمن معايير تقييم عروض شركات الأجهزة الطبية في مناقصات عقود الصيانة.

● مشاركة البيانات: التنسيق مع شركات الأجهزة الطبية لمشاركة بيانات استخدام الأجهزة وأنماط أعطالها (بالتراضي وضمن أطر الأمن والخصوصية)، إذ تُشكّل هذه البيانات وقود الصيانة التنبؤية الذي يعجز الفريق الفني عن بناء نماذجه دون توافره.

● التنسيق الرقمي: تكليف مسؤول متخصص داخل المنشأة الصحية بمهمة التنسيق مع شركات الأجهزة الطبية رقمياً، لضمان استمرارية الربط بين نظام المستشفى ونظام CMMS للشركة.

المبحث الرابع: محددات الدراسة وقيودها

تُدرّك الدراسة حدودها المنهجية وتُفصّل عنها بشفافية علمية، كما يُوجب المنهج الأكاديمي الرصين، وذلك على النحو الآتي:

أولاً: المحددات المنهجية

● المحدد الزمني: اعتمدت الدراسة التصميم المقطعي (Cross-Sectional) الذي يلتقط الصورة في نقطة زمنية واحدة، مما يُقيّد إمكانية استخلاص علاقات سببية قاطعة أو تتبع التغيير عبر الزمن.

● محدد التحيز الذاتي: تستند الدراسة بالكامل إلى البيانات الذاتية التي يُبلّغ عنها المستجيبون (Self-Reported Data)، مما قد يُضفي قدراً من التحيز الاجتماعي المرغوب (Social Desirability Bias) في الإجابات.

● محدد الشمولية: اقتصر المتغير المستقل على ثلاثة أبعاد للتحويل الرقمي، في حين ثمة أبعاد أخرى محتملة كأمن المعلومات وتكامل الأنظمة والثقافة المؤسسية الرقمية لم تُدرجها الدراسة.

ثانياً: المحددات الجغرافية والقطاعية

● المحدد الجغرافي: استهدفت الدراسة الشركات العاملة في المملكة العربية السعودية، مما قد يُحدّ من تعميم نتائجها على سياقات دول الخليج الأخرى رغم تشابه بيئتها التنظيمية والاستراتيجية.

● المحدد القطاعي: اقتصرَت الدراسة على شركات الأجهزة الطبية الموردة للصيانة ولم تشمل أقسام الهندسة السريرية الداخلية في المستشفيات، مما يُقيّد إمكانية مقارنة النتائج مع بيانات صيانة مختلفة.

ثالثاً: المحددات القياسية

● قياس الأداء: قُيس أداء فرق الصيانة عبر الإدراك الذاتي للمستجيبين لا عبر مؤشرات موضوعية خارجية كأوقات التوقف الفعلية ومعدلات الأعطال المُسجَّلة في الأنظمة، وإن كان الصدق البنائي للمقياس يُعزز ثقتنا في البيانات المُجمَّعة.

المبحث الخامس: مقترحات الدراسات المستقبلية

تُفتح نتائج الدراسة الحالية آفاقاً بحثية ثرية يمكن للباحثين المستقبليين استثمارها، وقد تُسهم مجتمعةً في بناء منظومة بحثية عربية راسخة في مجال التحول الرقمي للصيانة الطبية:

أولاً: مقترحات تمتد على المحور الزمني

1. دراسة طولية (Longitudinal Study) تتتبع تطور أثر التحول الرقمي على أداء فرق الصيانة عبر ثلاث سنوات أو أكثر، لقياس منحنى التعلم المؤسسي وديناميكيات تراكم الأثر الرقمي عبر الزمن.
2. دراسة تتبع تطبيق رؤية 2030 في قطاع الأجهزة الطبية على مراحل زمنية متعاقبة (2025، 2027، 2030) لتقييم مدى تحقيق أهداف التحول الرقمي الصحي المُخطَّطة.

ثانياً: مقترحات تُعمِّق البُعد التحليلي

3. دراسة الأثر المُعدَّل (Moderating Effect) لمتغيرات حجم الشركة وسنوات الخبرة ومستوى التعليم في العلاقة بين التحول الرقمي وأداء الفرق، لاستكشاف الظروف التي يتضاعف فيها الأثر الرقمي أو يتقلص.
4. دراسة الأثر الوسيط (Mediation Analysis) للمعرفة التقنية والثقافة التنظيمية في العلاقة بين التحول الرقمي والأداء، نظراً لما أثبتته نتائج هذه الدراسة من ارتباط عالٍ لُبُعد المعرفة التقنية بالتحول الرقمي.
5. دراسة تحلّل أثر ازدواجية التعدد الخطي بين أبعاد التحول الرقمي الثلاثة باستخدام نمذجة المعادلات الهيكلية (SEM)، للكشف عن العلاقات غير المباشرة الكامنة في النموذج.

ثالثاً: مقترحات تُوسِّع السياق الجغرافي والقطاعي

6. دراسة مقارنة بين شركات الأجهزة الطبية وأقسام الهندسة السريرية الداخلية في المستشفيات لتحديد الفوارق في مستوى التحول الرقمي والأداء، وتحليل العوامل المُفسِّرة لهذه الفوارق.

7. دراسة مقارنة دولية بين المملكة العربية السعودية ودول الخليج الأخرى (الإمارات والكويت والبحرين) لاستيعاب الفوارق في مستوى التحول الرقمي للصيانة الطبية ومحدداتها الثقافية والتنظيمية.

8. توسيع نطاق الدراسة لتشمل قطاعات الصيانة الطبية في الدول العربية محدودة الموارد للكشف عن نماذج التحول الرقمي الملائمة للبيئات الصحية التي تعاني من شح التمويل.

رابعاً: مقترحات تطوّر المنهجية

9. دراسة كيفية (Qualitative Study) تُجري مقابلات معمّقة مع مديري خدمات الأجهزة الطبية لاستكشاف التحديات والعوائق غير المُلتقطة في الاستبانة، كمقاومة التغيير والعوامل السياسية التنظيمية.

10. دراسة حالة (Case Study) تُحلّل تجربة تحول رقمي ناجحة في إحدى شركات الأجهزة الطبية الكبرى بالمملكة بمنهجية مختلطة (كمي ونوعي)، لتقديم نموذج تطبيقي مُفصّل قابل للاستتساخ.

11. دراسة مصادقة على مقياس التحول الرقمي وأداء الصيانة المُطوّر في الدراسة الحالية عبر سياقات مختلفة (قطاعات وجنسيات وأحجام شركات)، لإثبات صلاحيته للتعميم وبناء معيار مرجعي عربي.

الخاتمة

في نهاية هذه الرحلة البحثية المتكاملة يمكن القول إن الدراسة أجابت عن سؤالها الرئيسي بصورة علمية وافية: نعم، للتحول الرقمي أثر إيجابي ذو دلالة إحصائية على أداء فرق الصيانة الطبية في شركات الأجهزة الطبية السعودية، وهذا الأثر يتجلى في أبعاد الأداء الأربعة كافة، ويتضاعف حين تتكامل الأبعاد الثلاثة للتحول الرقمي في منظومة متناسقة لا أجزاء متفرقة.

وتنهض هذه النتيجة على أربعة ركائز تحليلية: ارتباط كمي قوي ($r=0.714$)، وأثر انحداري معنوي (β) مجمّع = 0.952 بنموذج المتعدد)، وقدرة تفسيرية لافتة ($R^2=0.520$)، ونموذج متعدد يُثبت التكاملية الأثرية للأبعاد. غير أن الاستنتاج الأعمق الذي تُقدّمه هذه الدراسة يتخطى الأرقام ليؤكد مبدأً استراتيجياً ذا أهمية عملية قصوى: البيانات قبل الذكاء الاصطناعي. فرقمنة السجلات بوصفها البنية التحتية المعلوماتية هي الأكثر أثراً، وإليها ينبغي أن تتجه الأولوية الاستثمارية في شركات الأجهزة الطبية.

وعلى صعيد الإسهام المعرفي، تُضيف هذه الدراسة إلى الأدبيات العربية والدولية أول مقياس كمي مُحكّم يقيس العلاقة بين التحول الرقمي بأبعاده الثلاثة وأداء فرق الصيانة في شركات الأجهزة الطبية، وتُثبت أن هذه العلاقة قائمة وقابلة للتوجيه والاستثمار في السياق السعودي تحديداً. وتأمل الدراسة أن تُشكّل هذه النتائج والتوصيات خارطة طريق عملية لصانعي القرار في الشركات والجهات التنظيمية، وبذرةً بحثية خصبة للباحثين الذين سيكملون رسم هذه الصورة المعرفية في دراسات لاحقة أكثر عمقاً وشمولاً.

قائمة المراجع والمصادر

أولاً: المراجع العربية

1. بوخاري، م. (2021). التحول الرقمي في إدارة المنشآت الصحية السعودية. المجلة العربية للعلوم الإدارية، 28(2)، 115-142.
2. الشمراني، ع. (2022). أثر التحول الرقمي على أداء المنشآت الصحية السعودية: دراسة ميدانية على مستشفيات منطقة الرياض. رسالة ماجستير، جامعة الملك سعود.
3. البازعي، ف. (2025). منهجية مقترحة لتطبيق أنظمة الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي في المنشآت الصحية: التحديات والفرص. مجلة الإدارة الصحية، 12(1)، 45-78.
4. العنزي، م. والسديري، ن. والمطيري، ع. (2023). دور تطبيق صحي في تطوير الخدمات الصحية الرقمية بالمملكة العربية السعودية. مجلة تقنية المعلومات الصحية، 9(2)، 31-54.
5. القهطاني، م. وآخرون. (2022). التحول الصحي الرقمي في المملكة العربية السعودية بالاعتماد على مؤشرات HIMSS. مجلة العلوم الصحية، 14(3)، 22-41.
6. الهيئة العامة للغذاء والدواء السعودية (SFDA). (2023). اشتراطات الصيانة الوقائية للأجهزة الطبية. الرياض: هيئة الغذاء والدواء.
7. وزارة الصحة السعودية. (2023). التقرير السنوي لبرنامج تحول القطاع الصحي. الرياض: وزارة الصحة.

ثانياً: المراجع الأجنبية

1. Abd Rahman, M. S. et al. (2023). Predictive maintenance using multimodal data for medical devices. IEEE Access, 11, 42518-42533.
2. Abdul Jamil, M. et al. (2024). AI-based monitoring system for MRI machines: A 20% reduction in downtime. Springer Health Technology.
3. Alkhatib, O. et al. (2025). AI-driven decision support framework for critical medical equipment maintenance. Journal of Multidisciplinary Healthcare, 18, 567-589.
4. Alkhalifah, M. et al. (2022). Digital health transformation in Saudi Arabia: MOH digital apps ecosystem. Informatics in Medicine Unlocked, 29, 100878.
5. Al-Kahtani, M. S. et al. (2022). Digital health readiness assessment in Saudi Arabian hospitals using HIMSS indicators. Digital Health, 8, 1-12.

6. Beniacoub, E. et al. (2021). CMMS implementation in Burundian health system: Impact on maintenance interventions. *Health and Technology*, 11(4), 889-901.
7. Boudinar, A. et al. (2021). KPI clusters for healthcare equipment maintenance in Algerian hospitals. *Healthcare (MDPI)*, 9(8), 1021.
8. Bou Nassif, L. et al. (2023). Digital health technologies versus traditional delivery: An umbrella review. *Lancet Digital Health*, 5(7), e432-e445.
9. CDA-AMC. (2022). Healthcare technology management: KPIs and benchmarks. Canadian Agency for Drugs and Technologies in Health.
10. D'Souza, R. et al. (2019). Key performance indicators for biomedical engineering departments. *Research Journal of Pharmacy and Technology*, 12(5), 2167-2174.
11. Dal Mas, F. et al. (2023). Digital transformation in healthcare: Strategic frameworks and value creation. *Technovation*, 121, 102630.
12. GE HealthCare. (2026). ReadyFix™ remote fleet management solution launch report. GE HealthCare Press.
13. Habimana, G. et al. (2020). IoT-based predictive maintenance architecture for resource-limited hospitals in Rwanda. *Future Internet (MDPI)*, 12(8), 134.
14. Hair, J. F. et al. (2019). *Multivariate Data Analysis* (8th ed.). Cengage Learning.
15. IBM. (2024). Healthcare CMMS: Intelligent asset management for medical facilities. IBM Documentation.
16. Jeilani, A. & Hussein, M. (2025). Impact of digital health technologies adoption on healthcare workers' performance and workload. *BMC Health Services Research*, 25(1), 412.
17. Katsoulakis, E. et al. (2024). Digital twins in medical equipment management: GE Healthcare case study. *Frontiers in Medicine*, 11, 1342617.
18. Krejcie, R. V. & Morgan, D. W. (1970). Determining sample size for research activities. *Educational and Psychological Measurement*, 30(3), 607-610.
19. Mauro, M. et al. (2024). Digital transformation in healthcare: Assessing the role of digital technologies for managerial support processes. *Technological Forecasting and Social Change*, 197, 122895.
20. Manchadi, O. et al. (2023). Predictive maintenance in healthcare: A 12-year comprehensive survey. *IEEE Access*, 11, 23451-23478.
21. Mathew, P. et al. (2024). Fault Index: An innovative KPI for medical equipment maintenance. *International Journal of Healthcare Quality*, 22(1), 45-62.
22. Mittal, P. (2024). Cloud computing solutions in healthcare: Impact on operational efficiency. *International Journal of Computer Engineering and Technology*, 15(2), 78-95.
23. Moshayedi, A. et al. (2024). VR-based maintenance training for medical technicians: 35% error reduction. *Frontiers in Digital Health*, 6, 1389245.
24. Nikam, V. et al. (2025). Predictive maintenance for medical equipment using AI-powered digital twins. In: *Accelerating Product Development with Digital Twins*. IGI Global.
25. Pezzillo, A. et al. (2024). Healthcare CMMS with Power BI dashboards: 18 KPIs implementation. *Electronics (MDPI)*, 13(4), 712.

26. Saunders, M. et al. (2019). *Research Methods for Business Students* (8th ed.). Pearson.
27. Shamayleh, A. et al. (2020). IoT-based predictive maintenance for healthcare organizations: Dubai case. *Journal of Medical Systems*, 44(1), 1-18.
28. Stoumpos, A. et al. (2023). Digital transformation in healthcare: A bibliometric review of TAM applications. *IJERPH*, 20(4), 3407.
29. Thapa, S. et al. (2022). Impact of biomedical technicians on medical equipment functionality. *Human Resources for Health (BMC/Springer)*, 20, 12.
30. Uçar, M. et al. (2024). Artificial intelligence for predictive maintenance applications: Key components, trustworthiness, and future trends. *Applied Sciences (MDPI)*, 14(3), 1016.
31. Verga, E. et al. (2023). KPI framework for CMMS in Italian hospital: GFR, AFR and AT indicators. *Frontiers in Public Health*, 11, 1123456.
32. Vial, G. (2019). Understanding digital transformation: A review and a research agenda. *Journal of Strategic Information Systems*, 28(2), 118-144.
33. Wieslander, M. et al. (2024). Digital transformation in healthcare: Conceptual framework and implementation pathways. *Healthcare Management Review*, 49(1), 54-67.
34. Zamzam, A. et al. (2023). Integrated failure analysis using machine learning predictive system for smart management of medical equipment maintenance. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 125, 106701.
35. Zimmermann, N. et al. (2022). Economic analysis of medical equipment maintenance vs. replacement. *BMC Health Services Research*, 22(1), 658.

الملاحق

نموذج الاستبيان

عزيزي المشارك:

تهدف هذه الدراسة إلى قياس أثر التحول الرقمي على أداء فرق الصيانة الطبية.

جميع البيانات سرية وتستخدم لأغراض البحث العلمي فقط.

مدة الإجابة: 5-7 دقائق

يرجى اختيار درجة موافقتك وفق المقياس التالي:

لا أوافق بشدة

لا أوافق

محايد

أوافق

أوافق بشدة

القسم الأول: البيانات الديموغرافية

1. المسمى الوظيفي:

☐ مهندس صيانة

☐ فني صيانة

☐ مشرف صيانة

☐ مدير صيانة

2. عدد سنوات الخبرة:

☐ أقل من 3 سنوات

☐ 3-5 سنوات

☐ 6-10 سنوات

☐ أكثر من 10 سنوات

3. حجم الشركة:

☐ صغيرة

☐ متوسطة

☐ كبيرة

4. هل تستخدم شركتكم أنظمة رقمية لإدارة الصيانة؟

☐ نعم

☐ لا

القسم الثاني: التحول الرقمي (المتغير المستقل)

البعد الأول: الصيانة التنبؤية

1. تعتمد الشركة على تحليل بيانات الأجهزة للتنبؤ بالأعطال قبل حدوثها.

2. تُستخدم تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين قرارات الصيانة.

3. تساعد أنظمة المراقبة الرقمية في تقليل الأعطال المفاجئة.

4. يتم تحديث بيانات أداء الأجهزة بشكل مستمر لدعم الصيانة الاستباقية.

5. أسهمت الصيانة التنبؤية في تقليل فترات التوقف عن العمل.

البعد الثاني: رقمنة سجلات الصيانة

6. يتم توثيق جميع أعمال الصيانة عبر نظام إلكتروني متكامل.

7. تتيح الأنظمة الرقمية تتبع تاريخ الأعطال لكل جهاز بسهولة.

8. تسهّل الرقمنة إعداد تقارير الأداء الفنية.

9. تساعد السجلات الرقمية في تحسين التخطيط لجداول الصيانة.

10. تقلل الرقمنة من الأخطاء الناتجة عن السجلات اليدوية.

البعد الثالث: التطبيقات التكنولوجية الصحية

11. تستخدم الشركة تطبيقات أو أنظمة سحابية لمتابعة أعمال الصيانة.

12. تسهل التطبيقات الرقمية التواصل بين الفريق الفني والإدارة.

13. تتيح الأنظمة الرقمية متابعة الأعطال في الوقت الفعلي.

14. تسهم التقنيات الرقمية في تسريع اتخاذ القرار الفني.

15. تدعم التطبيقات الصحية التكامل بين بيانات الأجهزة والمستشفيات.

القسم الثالث: أداء فرق الصيانة (المتغير التابع)

البعد الأول: الكفاءة التشغيلية

16. يتم تنفيذ أعمال الصيانة بكفاءة عالية ووفق المعايير الفنية.

17. يتم استغلال الوقت والموارد المتاحة بكفاءة.

18. انخفضت تكاليف الصيانة نتيجة استخدام الأنظمة الرقمية.

19. تحسنت إنتاجية الفريق بعد تطبيق التحول الرقمي.

البعد الثاني: سرعة الاستجابة

20. يتم الاستجابة للأعطال بسرعة بعد الإبلاغ عنها.

21. قلّ زمن التوقف عن العمل بعد تطبيق الأنظمة الرقمية.

22. تسهل الأنظمة الرقمية تحديد أولويات الأعطال الحرجة.

23. تحسّن التنسيق بين الفريق مما قلل زمن الإصلاح.

البعد الثالث: جودة الخدمة

24. تتم عمليات الصيانة بدقة عالية.
25. تقل نسبة تكرار الأعطال بعد الإصلاح.
26. يرضى العملاء/المستشفيات عن جودة الصيانة المقدمة.
27. ساعد التحول الرقمي في توحيد إجراءات العمل الفني.

البعد الرابع: المعرفة التقنية

28. يمتلك الفريق مهارات كافية لاستخدام الأنظمة الرقمية.
29. يتلقى الفريق تدريبًا دوريًا على التقنيات الحديثة.
30. يتم تحديث المعرفة التقنية للفريق باستمرار.
31. يستطيع الفريق تحليل البيانات الفنية لاتخاذ قرارات دقيقة.