# جامعة ستاردوم

## مجلة ستاردوم العلمية للدراسات الاقتصادية والإدارية


مجلة ستاردوم العلمية المحكمة للدراسات الاقتصادية والإدارية

تصدر بشكل ربع سنوي عن جامعة ستاردوم

العدد الثالث - المجلد الأول 2025م

رقم الإيداع الدولي: ISSN 2980-3799

بسم الله الرحمن الرحيم

## هئية تحرير مجلة ستاردوم العلمية للدراسات"الاقتصادية والإدارية"


**رئيس هيئة التحرير**

**د. محمد عيسى**

**مدير هيئة التحرير**

د. مناف نعمة - العراق

**التدقيق اللغوي**

د. باسم الفقير - الأردن

**أعضاء هيئة التحرير**

د. ربا ابوشهاب - الأردن

د. ذكريات صوفانر - أمريكا

د. عبد الناصر الصغير - ليبيا

د. محمد أحمد عثمان - السعودية

د. لبنى المسيبلي - اليمن



**جميع حقوق الملكية الأدبية و الفنية محفوظة**

**لمجلة ستاردوم العلمية للدراسات الاقتصادية والإدارية**

# أثر الذكاء الاصطناعي على الجودة الشاملة والتحسين المستمر في المنشآت الصناعية العربية

# The Impact of Artificial Intelligence on Total Quality and Continuous Improvement in Arab Industrial Enterprises

إعداد: محمد الحسن التيجاني يوسف

Mohamed Elhassan Eltigani Yousef

دكتوراة إدارة أعمال – جامعة ستاردوم

PHD -BA: Stardom University

IDO 0009-0007- 2345-6288

E- mail: tigani2@hotmail.com

**الملخص**

تسعى هذه الدراسة إلى تقديم معالجة علمية معمقة لأثر تطبيقات الذكاء الاصطناعي في تطوير إدارة الجودة الشاملة وتعزيز ثقافة التحسين المستمر في المنشآت الصناعية، في ظل التحولات الرقمية المتسارعة المرتبطة بالثورة الصناعية الرابعة (Industry 4.0) ومفهوم Quality4.0. اعتمدت الورقة على منهج وصفي تحليلي ضمن إطار مراجعة تحليلية منهجية للأدبيات الحديثة (2015–2025)، شملت دراسات دولية وعربية تناولت العلاقة بين تقنيات الذكاء الاصطناعي بما في ذلك التعلم الآلي، التحليلات التنبؤية، الأنظمة الخبيرة، والرؤية الحاسوبية ومكونات إدارة الجودة الشاملة مثل القيادة، والتركيز على العميل، والتحسين المستمر، والابتكار التشغيلي.

أظهرت النتائج أن الذكاء الاصطناعي يضطلع بدور محوري في تعزيز دقة الرقابة، واستباق التحديات التشغيلية، ورفع جودة اتخاذ القرار، وتحسين كفاءة العمليات الإنتاجية. كما برهنت الدراسة على قدرة الأنظمة الذكية ذاتية التعلم على ابتكار حلول نوعية بالاستناد إلى البيانات التاريخية، الأمر الذي يدعم منظومة التحسين المستمر ويكسب المنشآت مرونة وتنافسية أعلى ضمن بيئات ديناميكية متغيرة.

خلصت الدراسة إلى بناء إطار مفاهيمي متكامل يوضح الترابط بين أبعاد الذكاء الاصطناعي ومكونات إدارة الجودة الشاملة ومؤشرات الأداء الرئيسية، مع اقتراح برامج بحثية مستقبلية تتيح اختبار فرضيات جديدة. وتكمن القيمة التطبيقية في تقديم خريطة طريق تنفيذية لتوظيف الذكاء الاصطناعي ضمن أنظمة الجودة الصناعية، بما يدعم تحقيق التميز التشغيلي وتعزيز الاستدامة المؤسسية.

**الكلمات المفتاحية:** الذكاء الاصطناعي، إدارة الجودة الشاملة، التحسين المستمر، الصناعة 4.0، الجودة 4.0. المنشآت الصناعية.

**Abstract**

This study delivers a rigorous scientific analysis of the influence of Artificial Intelligence **(AI)** applications on Total Quality Management **(TQM)** and the advancement of a continuous improvement culture in industrial organizations, set against the backdrop of the accelerating transformation toward the Fourth Industrial Revolution **(Industry 4.0)** and the paradigm of **Quality 4.0**.

The research adopts a descriptive-analytical methodology, employing a systematic and critical review of contemporary literature (2015–2025), including both international and Arab studies. It examines the interplay between AI technologies—such as machine learning, predictive analytics, expert systems, and computer vision—and the core pillars of TQM, which encompass leadership, customer orientation, continuous improvement, and operational innovation.

The findings demonstrate that AI enhances the precision of quality control processes, the anticipation of operational challenges, the quality of decision-making, and the efficiency of industrial operations. Additionally, the study shows that intelligent, self-learning systems can generate innovative solutions derived from historical data, thereby strengthening continuous improvement mechanisms and bolstering organizational agility and competitiveness in dynamic environments.

The paper culminates in the development of an integrated conceptual framework that elucidates the relationships among AI dimensions, TQM components, and key performance indicators, while also proposing a forward-looking research agenda for empirical validation. The practical contribution lies in presenting a detailed implementation roadmap for the adoption of AI within industrial quality systems, aimed at achieving operational excellence and institutional sustainability.

**Keywords:** Artificial Intelligence, Total Quality Management, Continuous Improvement, Industry 4.0, Quality 4.0. Industrial Enterprises.

## 1.المقدمة(Introduction)

تواجه المنشآت الصناعية والخدمية في العصر الرقمي تحديات متنامية في بيئة تتسم بالديناميكية والتعقيد، حيث تتزايد حدة المنافسة العالمية وتتنامى تطلعات العملاء وتتسارع وتيرة الابتكار التقني. في ظل هذه التحولات، أصبحت القدرة على التكيّف مع التطورات التقنية، خصوصًا في مجال الذكاء الاصطناعي، عاملًا حاسمًا في ضمان استمرارية الأعمال وتحقيق الريادة الصناعية. وقد أفرزت الثورة الصناعية الرابعة (**Industry 4.0**) تحولًا جذريًا في أنماط الإنتاج وأساليب الإدارة، من خلال الدمج الذكي بين التقنيات الرقمية والمادية، مثل الذكاء الاصطناعي، وإنترنت الأشياء، وتحليلات البيانات الضخمة، والتوأمة الرقمية، لتعيد صياغة المفاهيم التقليدية للجودة والتميز التشغيلي.

يمثل الذكاء الاصطناعي (**AI**) حجر الزاوية في منظومة الصناعة الحديثة، إذ يمكّن المؤسسات من تحليل كم هائل من البيانات التشغيلية بشكل لحظي، والتنبؤ بالمخاطر والفرص، ودعم اتخاذ القرار بناءً على نماذج تنبؤية متقدمة، ما يسهم في رفع كفاءة العمليات وتقليل الهدر وتحسين جودة المنتجات والخدمات. وقد أصبح الذكاء الاصطناعي أداة استراتيجية في صلب عمليات التحول المؤسسي، بما يوفره من حلول مبتكرة تعزز القدرة التنافسية وتدعم استدامة الأداء في الأسواق العالمية التي تزداد تطلبًا وتغيرًا.

في المقابل، ظلت إدارة الجودة الشاملة (**TQM**) على مدار العقود الماضية الإطار المرجعي الأكثر فاعلية في تحسين الأداء المؤسسي وتعزيز رضا العملاء وتحقيق التميز التشغيلي. ومع التحول الرقمي المتسارع، بات من الضروري إعادة صياغة أدوات إدارة الجودة لتتلاءم مع متطلبات الصناعة الذكية، ما أدى إلى بروز مفهوم الجودة 4.0 (**Quality 4.0**) الذي يدمج بين فلسفة الجودة الشاملة والتقنيات الذكية والبيانات الضخمة والتحليل التنبؤي، ليقدم نموذجًا متطورًا لإدارة الجودة في بيئة رقمية ديناميكية.

تكمن أهمية الذكاء الاصطناعي في قدرته على إحداث نقلة نوعية في منظومات إدارة الجودة، بدءًا من أتمتة جمع البيانات وتحليلها، ورصد الانحرافات في الأداء، والتنبؤ بالمشكلات التشغيلية قبل وقوعها، وصولًا إلى اقتراح وتنفيذ الإجراءات التصحيحية والوقائية بشكل ذاتي. كما تتيح الأنظمة الذكية تحسين دقة القياس والتقويم، وتسريع عمليات اتخاذ القرار، وتعزيز موثوقية الأداء التشغيلي، مما يدعم بناء ثقافة التحسين المستمر (Continuous Improvement) القائمة على المعرفة المؤسسية والاستفادة القصوى من البيانات.

وفي ظل هذا التحول، برزت الحاجة إلى دراسة العلاقة التكاملية بين الذكاء الاصطناعي وإدارة الجودة الشاملة من منظور علمي يجمع بين التحليل النظري والتطبيق العملي. إذ تركز البحوث التقنية غالبًا على تحسين الأداء التشغيلي، بينما تهتم الدراسات الإدارية بتأثير التقنيات الحديثة على ثقافة الجودة والقيادة المؤسسية. وتكمن أهمية هذه الدراسة في سعيها لسد الفجوة المعرفية بين هذين المنظورين من خلال مراجعة

نقدية وتحليلية للأدبيات الحديثة التي تناولت دور الذكاء الاصطناعي في تطوير أنظمة الجودة وتعزيز الأداء الصناعي.

تستند هذه الورقة إلى منهجية وصفية تحليلية، حيث تستعرض بشكل منهجي الأدبيات والدراسات الحديثة (2015–2025) على المستويين الدولي والعربي، لتحليل أثر تطبيقات الذكاء الاصطناعي – كالتعلم الآلي، والتحليل التنبؤي، والأنظمة الخبيرة، والرؤية الحاسوبية – في تطوير ركائز إدارة الجودة الشاملة وممارسات التحسين المستمر في البيئات الصناعية. كما تبرز الدراسة أهمية الذكاء الاصطناعي في تمكين المؤسسات من تبنّي استراتيجيات متقدمة للجودة تدعم استدامة التميز التشغيلي وتعزز القدرة التنافسية في ظل التغيرات المتسارعة.

وتهدف هذه الورقة إلى بناء إطار مفاهيمي متكامل يوضح الروابط بين أبعاد الذكاء الاصطناعي ومكونات إدارة الجودة الشاملة ومؤشرات الأداء الصناعي، مع اقتراح جدول بحثي مستقبلي للتحقق التجريبي من هذه العلاقات. كما تقدم الدراسة خارطة طريق تطبيقية لتبني الذكاء الاصطناعي في أنظمة الجودة الصناعية، بما يسهم في تحقيق التميز التشغيلي واستدامة المؤسسات.

إن الجمع بين الابتكار التقني والتطوير الإداري أصبح ضرورة لا غنى عنها في عصر التحولات الرقمية، حيث يشكل الذكاء الاصطناعي رافعة أساسية لتعزيز التحسين المستمر وتحقيق الاستدامة الصناعية. ومن هنا، تسعى هذه الورقة إلى تقديم إضافة علمية نوعية تثري الأدبيات المتخصصة، وتربط بين التوجهات النظرية والتطبيقات العملية، بما يدعم المؤسسات الصناعية في رحلتها نحو التميز والتنافسية المستدامة ضمن بيئة الأعمال الحديثة.

## 2.مشكلة الدراسة والفجوة البحثية (Research Problem and Gap)

بالرغم من التوسع الملحوظ في توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي على المستوى العالمي، إلا أن تطبيقها المنهجي في مجال إدارة الجودة الشاملة داخل المنشآت الصناعية العربية لا يزال متواضعًا، ويعاني من محدودية واضحة في الانتشار والتأثير. تعود هذه المحدودية إلى جملة من العوامل الهيكلية، أبرزها ضعف البنية التحتية الرقمية، وقلة الكوادر المؤهلة، وصعوبة مواءمة الأنظمة الذكية مع النماذج الإدارية التقليدية السائدة. وقد أفضى ذلك إلى نشوء فجوة معرفية وعملية بين الإمكانات النظرية لتقنيات الذكاء الاصطناعي وبين توظيفها الفعلي في دعم نظم الجودة وتحقيق التحسين المستمر.

تتجسد المشكلة البحثية الرئيسة في غياب إطار علمي منهجي ومتكامل يفسّر بشكل دقيق التفاعل بين تقنيات الذكاء الاصطناعي وأبعاد إدارة الجودة الشاملة، ويرصد أثر هذا التفاعل في رفع كفاءة العمليات الصناعية، وتعزيز التحسين المستمر، ودعم الريادة المؤسسية. كما كشفت مراجعة الأدبيات الحديثة عن

تباين ملحوظ في النتائج البحثية؛ فبينما تؤكد بعض الدراسات الأثر الإيجابي الملموس للذكاء الاصطناعي في تطوير نظم الجودة، تشير أخرى إلى محدودية هذا الأثر نتيجة تحديات ثقافية وتنظيمية وتقنية. هذا التناقض يستدعي تبني منهجية بحثية أكثر شمولية وعمقًا لفهم العلاقة التبادلية بين الذكاء الاصطناعي وإدارة الجودة الشاملة.

بناءً على ما سبق، تطرح هذه الدراسة السؤال البحثي الجوهري التالي:

ما مدى تأثير الذكاء الاصطناعي في تعزيز إدارة الجودة الشاملة ودعم التحسين المستمر في المنشآت الصناعية؟

ويتفرع عن هذا السؤال المركزي مجموعة من التساؤلات الفرعية التي توجه المسار التحليلي للدراسة:

1. ما أبرز تطبيقات الذكاء الاصطناعي المساهمة في تطوير إدارة الجودة الشاملة داخل المؤسسات الصناعية؟
2. إلى أي مدى يسهم الذكاء الاصطناعي في ترسيخ ثقافة التحسين المستمر ضمن بيئات العمل الصناعية؟
3. ما هي التحديات والمعوقات الأساسية التي تواجه المنشآت الصناعية عند دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي في أنظمة الجودة؟

ومن خلال استقراء الأدبيات المتخصصة، تتبدى الفجوة البحثية في ندرة الدراسات العربية التي تناولت العلاقة بين الذكاء الاصطناعي وإدارة الجودة الشاملة من منظور تكاملي يجمع بين الجوانب التقنية والإدارية، على الرغم من وفرة البحوث الأجنبية في سياقات صناعية متقدمة. ومن هنا، تهدف هذه الورقة إلى ردم هذه الفجوة عبر بناء تصور علمي حديث يبرز الدور التحويلي للذكاء الاصطناعي في دعم نظم الجودة والتحسين المستمر في المنشآت الصناعية العربية، مع توفير قاعدة معرفية رصينة تدعم صُنّاع القرار في هذا المجال الحيوي.

### 3. أهمية الدراسة (Significance of the Study)

تتجلى أهمية هذه الدراسة في مساهمتها النوعية في تعميق الفهم العلمي والتطبيقي للعلاقة بين تقنيات الذكاء الاصطناعي وأبعاد إدارة الجودة الشاملة ضمن القطاع الصناعي العربي. إذ تقدم الدراسة إطارًا تحليليًا متكاملًا يبرز الكيفية التي يمكن من خلالها توظيف الذكاء الاصطناعي في تعزيز الكفاءة التشغيلية، ودعم دقة اتخاذ القرار، وترشيد التكاليف، والارتقاء بمستوى جودة المنتجات والخدمات، بما ينعكس إيجابًا على تنافسية المنشآت الصناعية واستدامتها.

وتكمن الأهمية التطبيقية للدراسة فيما تطرحه من توصيات وإرشادات عملية لصنّاع القرار والمديرين التنفيذيين حول أفضل السبل لتبني تقنيات الذكاء الاصطناعي وتفعيلها بفعالية ضمن أنظمة الجودة. كما ترفد هذه الدراسة الأدبيات العربية المتخصصة بإضافة علمية رصينة من خلال تناولها المتكامل لموضوع التكامل بين الذكاء الاصطناعي وثقافة التحسين المستمر، ومواءمته مع متطلبات التحول الرقمي والتطوير الصناعي المعاصر، خصوصًا في ظل رؤية السعودية 2030 التي تستهدف تعزيز الريادة الصناعية والابتكار كمحرك أساسي للنمو المستدام.

### 4.أهداف الدراسة (Research Objectives)

تسعى هذه الورقة البحثية إلى تقديم معالجة علمية معمقة لدور **الذكاء الاصطناعي في تطوير منظومات إدارة الجودة الشاملة وتعزيز ثقافة التحسين المستمر** في المؤسسات الصناعية، وذلك عبر تحقيق الأهداف التالية:

- **تأصيل المفاهيم الرئيسة** للذكاء الاصطناعي وإدارة الجودة الشاملة، مع تحليل تطورهما النظري والتطبيقي في القطاع الصناعي الحديث، في سياق التحول الرقمي نحو *Industry* 4.0, & *Quality 4.0*
- **تحليل الأدبيات العلمية الحديثة** (2015–2025) ذات الصلة بدمج تقنيات الذكاء الاصطناعي في إدارة الجودة الشاملة، مع إبراز الاتجاهات البحثية السائدة وأوجه التشابه والاختلاف بين التجارب العربية والعالمية.
- **تقييم الأثر الفعلي لتطبيقات الذكاء الاصطناعي** على تحسين كفاءة العمليات الصناعية، وتقليل معدلات الأخطاء، ورفع مستوى الأداء، بما يسهم في تعزيز جودة المنتجات واستدامة التحسين المستمر.
- **بناء إطار مفاهيمي متكامل** يوضح ديناميات التفاعل بين مكونات الذكاء الاصطناعي (مثل التحليل التنبؤي، التعلم الآلي، الأنظمة الخبيرة، والرؤية الحاسوبية) وأبعاد الجودة الشاملة (القيادة، التركيز على العميل، إدارة العمليات، التحسين المستمر)، وصولًا إلى تطوير نموذج علمي لإدارة الجودة الذكية.
- **صياغة توصيات استراتيجية وتطبيقية** موجهة لصنّاع القرار في القطاع الصناعي العربي، بهدف تيسير تبني تقنيات الذكاء الاصطناعي ضمن أنظمة الجودة والتحسين المستمر، وتعزيز مسارات التميز التشغيلي والاستدامة الصناعية.

### 5.حدود الدراسة (Study limitations)

تقتصر هذه الدراسة على تحليل واقع المنشآت الصناعية العربية التي اعتمدت تطبيقات الذكاء الاصطناعي في تطوير عملياتها الإنتاجية وأنظمة إدارة الجودة الشاملة، وذلك ضمن الفترة الزمنية الممتدة من عام 2020 وحتى 2025م. استندت الدراسة في منهجيتها إلى مراجعة الأدبيات العلمية والدراسات الحديثة والتقارير التطبيقية المنشورة، دون إجراء بحوث ميدانية مباشرة. كما يتركز النطاق الجغرافي للدراسة ضمن إطار القطاع الصناعي العربي، الأمر الذي قد يؤثر على إمكانية تعميم النتائج على قطاعات صناعية أو بيئات ثقافية خارج السياق العربي. ومع ذلك، فإن نتائج البحث تمثل مرجعًا علميًا يعكس ملامح توظيف الذكاء الاصطناعي في تعزيز الجودة والتحسين المستمر داخل الصناعات العربية، وتوفر أساسًا لفهم تطورات هذا المجال محليًا.

### 6.مصادر الدراسة (Study sources)

استندت هذه الدراسة إلى تحليل منهجي لمراجع علمية محكمة وتقارير صناعية حديثة ومصادر أكاديمية موثوقة صادرة بين عامي 2020 و2025، مع الاعتماد على قواعد بيانات دولية متخصصة في تطبيقات الذكاء الاصطناعي في الجودة والتحسين المستمر بالقطاع الصناعي.

### 7.منهجية الدراسة (Research Methodology)

ترتكز هذه الدراسة على **المنهج الوصفي التحليلي** (Descriptive–Analytical Method) بوصفه الإطار الأكثر ملاءمة لطبيعة البحث الرامي إلى استكشاف وتحليل الأدبيات العلمية والنماذج التطبيقية ذات الصلة، بعيدًا عن الاعتماد على جمع البيانات الميدانية التقليدية. ويستند هذا المنهج إلى الدمج المنهجي بين **العرض المنظم للمفاهيم والنظريات الأساسية** في مجالي الذكاء الاصطناعي وإدارة الجودة الشاملة، والتحليل **النقدي المقارن** للدراسات السابقة والتجارب الصناعية الرائدة، بهدف بلورة تصور علمي متكامل يربط بين التقنيات الحديثة وأبعاد الإدارة الصناعية المعاصرة.

وتم تنفيذ **مراجعة تحليلية منهجية** (Structured Analytical Review) لأكثر من أربعين دراسة علمية محكمة عربية ودولية منشورة خلال الفترة (2015–2025)، اختيرت وفق معايير دقيقة تتضمن حداثة النشر، والارتباط الوثيق بموضوع الدراسة، والنشر في منصات علمية مرموقة. كما شملت المراجعة تقارير تطبيقية من شركات صناعية عالمية بارزة مثل **Siemens**، **BMW**، و**Procter & Gamble**، والتي تعد نماذج متقدمة في توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي ضمن منظومات إدارة الجودة والتحسين المستمر.

وقد اعتمد الباحث نهجًا تحليليًا متعدد المراحل في دراسة الأدبيات، تمثل في:

- **تحديد المفاهيم الرئيسة** للذكاء الاصطناعي وإدارة الجودة الشاملة، بما يرسخ أرضية معرفية دقيقة للبحث.
- **استخلاص محاور وأبعاد العلاقة** بين الذكاء الاصطناعي والجودة كما وردت في الأدبيات الحديثة، مع إبراز نقاط الالتقاء والتكامل.
- **تصنيف الدراسات** وفق مناهجها (تطبيقية، نظرية، مراجعات منهجية، ودراسات حالة) وقطاعاتها الصناعية، لضمان شمولية التغطية وتحليل التوجهات البحثية.
- **تحليل النتائج واستخلاص الأنماط والفجوات البحثية** بين التجارب العربية والعالمية، مع دراسة أوجه التشابه والاختلاف وأسبابها.
- **بناء إطار مفاهيمي متكامل** يوضح ديناميات التفاعل بين مكونات الذكاء الاصطناعي وأبعاد الجودة الشاملة ومؤشرات الأداء الصناعي، بما يمهد لتطوير نموذج جودة ذكي متكامل.

أفضت هذه المنهجية إلى تحقيق تحليل علمي معمق وشامل للعلاقة بين الذكاء الاصطناعي وثقافة التحسين المستمر في القطاع الصناعي، وأسهمت في **تطوير إطار نظري وتطبيقي رصين** يمكن الاستناد إليه في تصميم نموذج متكامل لإدارة الجودة الذكية، يجمع بين الكفاءة التقنية والرؤية الاستراتيجية للإدارة الصناعية الحديثة.

## 8. الإطار النظري والمفاهيمي (Theoretical and Conceptual Framework)

### 8.1.: الذكاء الاصطناعي وتطبيقاته في القطاع الصناعي

يُعد الذكاء الاصطناعي (AI) من أبرز المنجزات التقنية التي أحدثت تحولًا نوعيًا في بيئات الأعمال والصناعة على حد سواء. ويُعرَّف **الذكاء الاصطناعي** بأنه قدرة الأنظمة الرقمية على إنجاز مهام تتطلب مستويات عالية من الذكاء البشري، كالتعلم، والتحليل، والاستنتاج، واتخاذ القرار، وذلك وفق توظيف خوارزميات متقدمة وتحليل كميات ضخمة من البيانات (Russell & Norvig, 2021). تتفرع عن الذكاء الاصطناعي عدة مجالات رئيسة، من أبرزها: **التعلم الآلي** (Machine Learning)، الذي يتيح للأنظمة اكتساب المعرفة ذاتيًا وتحسين أدائها باستمرار، و**التعلم العميق** (Deep Learning) المعتمد على الشبكات العصبية الاصطناعية لاستخلاص الأنماط المعقدة، و**معالجة اللغة الطبيعية** (NLP) التي تمكّن من التفاعل البشري مع الأنظمة الرقمية باستخدام اللغة الطبيعية. كما تشمل تطبيقاته الأنظمة الخبيرة وتحليل البيانات الضخمة، والتي تمثل ركائز أساسية في اتخاذ القرار القائم على الأدلة. وأظهرت الأدبيات التطبيقية أن دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي في العمليات الصناعية يؤدي إلى تقليص معدلات الأخطاء التشغيلية،

ورفع كفاءة الإنتاجية، وتعزيز جودة المنتجات بنسب تصل إلى 20–30% (McKinsey & Company, 2023). كما أضحى الذكاء الاصطناعي عنصرًا جوهريًا في الثورة الصناعية الرابعة، إذ تُوظَّف تطبيقاته في مجالات مثل **الصيانة التنبؤية، مراقبة الجودة الذكية، وإدارة سلاسل الإمداد**، مما يمكّن المؤسسات من اتخاذ قرارات استراتيجية دقيقة وفعّالة (Ben Qirat, 2021).

### 8.2.: إدارة الجودة الشاملة وثقافة التحسين المستمر

تُعَد إدارة الجودة الشاملة (TQM) فلسفة إدارية متكاملة ترمي إلى تحقيق التميز المؤسسي عبر تحفيز جميع العاملين على المشاركة في التحسين المستمر لجودة العمليات والمخرجات، استنادًا إلى منهجية علمية راسخة. ويعرّف Montgomery (2020) إدارة الجودة الشاملة بأنها منظومة إدارية تسعى إلى تحقيق رضا العملاء من خلال التحسين المستمر في الأداء وجودة المنتجات والخدمات. وترتكز إدارة الجودة الشاملة على مبادئ أساسية تشمل: **القيادة الفاعلة** الداعمة لثقافة الجودة، **التركيز على العميل** بوصفه محور العمليات، **المشاركة الجماعية** للعاملين، **اتخاذ القرارات على أساس البيانات**، و**التحسين المستمر** كجوهر فلسفة الجودة. ويعد مفهوم التحسين المستمر (Kaizen) الذي طرحه Imai (1986) حجر الزاوية في نظم الجودة الحديثة، إذ يرتكز على تطوير تدريجي ومستدام يهدف إلى تقليل الهدر، وزيادة الإنتاجية، وتحفيز الابتكار في جميع مستويات المنظمة. وتؤكد الأدبيات الحديثة أن تطبيق مبادئ الجودة الشاملة يسهم في خفض التكاليف وتعزيز القدرة التنافسية من خلال تحويل ثقافة المنظمة نحو الوقاية الاستباقية عوضاً من الإجراءات التصحيحية (Montgomery, 2020).

### 8.3.: العلاقة بين الذكاء الاصطناعي ومفاهيم الجودة (الجودة 4.0) (Quality 4.0)

يُجسد دمج الذكاء الاصطناعي في أنظمة إدارة الجودة الشاملة أساس مفهوم "الجودة 4.0" (Quality 4.0)، الذي يجمع بين المبادئ التقليدية للجودة والتقنيات الرقمية الحديثة. وترتكز الجودة 4.0 على توظيف الذكاء الاصطناعي، والتحليلات التنبؤية، والبيانات الضخمة لتعزيز جودة العمليات واتخاذ قرارات أكثر ذكاءً ودقة (MDPI, 2022). ومن أبرز تطبيقات هذا الدمج: استخدام تقنيات **التعلم الآلي** لرصد واكتشاف العيوب مبكرًا، و**أنظمة الرؤية الحاسوبية** لمراقبة خطوط الإنتاج، و**التحليل الفوري للبيانات** لتقويم الأداء وتحسينه بشكل لحظي. ويتيح هذا التكامل التحول من الجودة التفاعلية (Reactive Quality) إلى الجودة الاستباقية (Proactive Quality)، حيث يصبح بمقدور النظام التنبؤ بالمشكلات ومعالجتها آليًا بدون تدخل بشري (Procter & Gamble, 2021). وبهذا يغدو الذكاء الاصطناعي أداة تمكينية لإدارة الجودة، إذ يرفع من سرعة الاستجابة ودقة اتخاذ القرار، ويعزز رضا العملاء، ويسهم في استدامة الأداء الصناعي.

### 8.4.: الأسس النظرية المفسّرة للعلاقة بين الذكاء الاصطناعي والجودة

يمكن تأطير العلاقة بين الذكاء الاصطناعي وإدارة الجودة الشاملة من خلال مجموعة من النظريات الإدارية والتقنية التي تشكل الأساس التفسيري للدراسة، وتشمل:

أولاً: **نظرية القدرات الديناميكية** (Dynamic Capabilities Theory): ترى هذه النظرية أن التميز التنافسي للمنظمة ينبع من قدرتها على استشعار التغيرات في البيئة المحيطة وإعادة تشكيل مواردها وعملياتها بسرعة (Teece et al., 1997). ويُعد الذكاء الاصطناعي تجسيدًا عمليًا لهذه القدرات من خلال تمكين المؤسسات من التحليل الفوري والتكيف الذكي مع متغيرات البيئة التشغيلية ومتطلبات الجودة المستمرة.

ثانياً: **النظرية السوسيوتقنية** (Socio-Technical Theory): تؤكد هذه النظرية أن تحقيق الأداء الفعّال يستلزم التكامل بين النظامين التقني والاجتماعي داخل المنظمة. ومن هذا المنطلق، فإن تطبيق الذكاء الاصطناعي في إدارة الجودة يتطلب مواءمة فاعلة بين العنصر البشري والأنظمة الرقمية، بما يحقق بيئة عمل مرنة تدعم الابتكار والجودة في آنٍ واحد.

ثالثاً: **نظرية النظم** (Systems Theory): تنظر هذه النظرية إلى المنظمة بوصفها نظامًا مترابطًا من المدخلات والعمليات والمخرجات، يتفاعل مع بيئته الداخلية والخارجية. ويُسهم الذكاء الاصطناعي في دعم هذا النظام من خلال تعزيز ضبط التفاعلات الداخلية وتحسين الترابط بين وحدات الإنتاج والجودة.

**الخلاصة المفاهيمية**

يتبين من خلال هذا الإطار النظري المتكامل أن الذكاء الاصطناعي لم يعد مجرد أداة تقنية، بل هو موردًا استراتيجيًا يعزز ديناميكية المنظمة، ويدعم التحسين المستمر وفق فلسفة الجودة الشاملة، ويحقق التكامل بين البعدين التقني والبشري. ومن ثم، يمثل الذكاء الاصطناعي محور التحول من نظم الجودة التقليدية إلى أنظمة جودة ذكية (Smart Quality Systems)، مما يعزز تنافسية واستدامة القطاع الصناعي في ظل التحولات الرقمية العالمية.

**الدراسات السابقة:**

**9.الدراسات السابقة:**

## جدول رقم (1) (المصفوفة التلخيصية)

**(Summary of Prior Studies).9.1**

| رقم | المؤلف والسنة – المصدر | المنهج / السياق | النتائج الرئيسة | نقاط القوة | نقاط الضعف | تصنيف الأثر |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Alkhatib et al. (2025) – Scientific Reports (Nature) | تطوير إطار PMQ قائم على التعلم الآلي لمراقبة الجودة آنياً | رفع موثوقية قرارات الجودة وإدارة البيانات الضخمة بدقة عالية | تطبيق صناعي متقدم ومنشور في مجلة Nature | محدودية التعميم وغياب معالجة الحوكمة الأخلاقية | تقليل الأخطاء – رفع الكفاءة |
| 2 | Alhazmi (2025) – MDPI, J. Risk & Financial Management | دراسة تطبيقية على شركات سعودية مدرجة | تبنّي AI حسّن جودة التقارير والشفافية المؤسسية | سياق سعودي مرتبط برؤية 2030 | ركّزت على التقارير دون الجوانب التشغيلية | رفع الكفاءة – حوكمة |
| 3 | AI in Quality Assurance – (2025) مراجعة ببليومترية | تحليل اتجاهات النشر العلمي حول AI وضمان الجودة | نمو الأبحاث في التنبؤ بالعيوب والرؤية الحاسوبية | خريطة علمية شاملة للمجال | محدودية العمق التطبيقي وتعدد المفاهيم | جميع الآثار بشكل عام |
| 4 | Danias & Koukopoulos (2025) – SSRN | دمج معايير EFQM وAI في الخدمات | أهمية أطر الحوكمة عند تبني الذكاء الاصطناعي | ربط تنظيمي واضح بين الإدارة والجودة | تركّز على قطاع الخدمات دون الصناعي | حوكمة – رفع الكفاءة |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | Fadilasari et al. (2024) – The TQM Journal | مراجعة مفاهيمية لدمج AI وML في Quality 4.0 | تعزيز الجودة التنبؤية والصيانة الاستباقية | ارتباط مباشر بالتحول الرقمي | نقص بيانات تجريبية | تقليل الأخطاء – رفع الكفاءة – خفض التكاليف |
| 6 | Mahin et al. (2024) – Quality Technology & Quantitative Management | مراجعة منهجية لاتجاهات Quality 4.0 | عرض التحديات التقنية والبشرية للتكامل الرقمي | تحليل بحثي دقيق وممنهج | قلة الأمثلة التطبيقية | تشخيص التحديات – رفع الكفاءة |
| 7 | Aichouni et al. (2024) – MDPI, Sustainability | مراجعة منهجية لدمج Industry 4.0 وTQM | خفض العيوب وتعزيز التحسين المستمر بالتنبؤ | منهجية صارمة واستشهاد مرتفع | غياب مؤشرات قياس موحدة | تقليل الأخطاء – رفع الكفاءة |
| 8 | Gao et al. (2024) – CIRP Annals | مراجعة حالة الفن لتطبيقات AI في التصنيع | تحسينات في الجودة التنبؤية والقرارات اللحظية | مجلة مرموقة وتغطية شاملة | غياب مؤشرات قياس معيارية موحدة | رفع الكفاءة – تقليل الأخطاء – خفض التكاليف |
| 9 | Mallioris et al. (2024) – Journal of Manufacturing Systems | مراجعة منهجية للصيانة التنبؤية وتأثيرها على الجودة | خفض الأعطال وتحسين المخرجات عبر RUL/PHM | تطبيقات قوية متعددة القطاعات | تباين البيانات وصعوبة التعميم | تقليل الأخطاء – رفع الكفاءة – خفض التكاليف |
| 10 | هالة عودة بتور (2024) – المجلة العربية للجودة والتميز المؤسسي | مراجعة تطبيقية حول دور AI في تطوير الجودة في المؤسسات التعليمية والصناعية | إبراز دور AI في تعزيز الأداء المؤسسي والتحسين المستمر | مرجع عربي حديث يعزز التوطين المعرفي | نقص الأدلة الصناعية الميدانية | توطين المعرفة – التحسين المستمر |
| 11 | Jan et al. (2023) – Expert Systems with Applications | مراجعة منهجية شاملة لتبنّي AI في Industry 4.0 | تحسّن في الاعتمادية والجودة مع تحديات تكامل ومهارات | دورية عالية التأثير وتحليل تصنيفي | تفاوت القياسات الكمية للأثر | رفع الكفاءة – تقليل الأخطاء – خفض التكاليف |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 12 | Alenizi et al. (2023) – Computers & Industrial Engineering | تصنيف شامل لتقنيات AI في Industry 4.0 | خريطة تقنية لوظائف ML/NN لضبط الجودة | مجلة فئة أولى وتصنيف تفصيلي | اعتماد على دراسات حالة متفاوتة | رفع الكفاءة – تقليل الأخطاء |
| 13 | Liu et al. (2023) – Springer | مراجعة منهجية (2017–2022) لـ Quality 4.0 | ثقافة قائمة على البيانات وتحديات مهارية | تأثير استشهادي مرتفع | لم تغطِ التطورات بعد 2022 | رفع الكفاءة – التحول الثقافي |
| 14 | Alkhuraiji et al. (2023) – Saudi Industrial Context | دراسة ميدانية في مصانع سعودية | انخفاض الأخطاء التشغيلية بـ 28% بعد تطبيق AI | بيانات واقعية من بيئة سعودية | محدودية تعميم القطاع | تقليل الأخطاء – رفع الكفاءة |
| 15 | Rai et al. (2021) – Int. J. of Production Research | مراجعة لتطبيق ML في التصنيع وتحسين الجودة | تحسين المراقبة والتحكم والضبط الإحصائي للجودة | مجلة Q1 وتأثير مرتفع | تباين البيانات الصناعية | رفع الكفاءة – تقليل الأخطاء – رضا العملاء |
| 16 | Escobar et al. (2021) – Journal of Intelligent Manufacturing | مراجعة Quality 4.0 وتحديات البيانات الضخمة | فجوات في المعايير، جودة مدفوعة بالبيانات | إطار مفاهيمي واضح | نقص أمثلة كمية | رفع الكفاءة – حوكمة البيانات |
| 17 | Lee & Park (2022) – Korean Management Review | تحليل تنبئي لرضا العملاء بتقنيات AI | زيادة رضا العملاء بـ 15% | ربط النتائج بالأداء الفعلي | قطاعات محدودة | رضا العملاء – رفع الكفاءة |
| 18 | Abdullah & Alharbi (2021) – Arab J. of Management | دراسة تحليلية للأنظمة الخبيرة في قرارات الجودة | تحسين دقة القرارات الإدارية | تركيز على القرار الذكي | ضعف الأدلة الميدانية | رفع الكفاءة |
| 19 | Demir (2020) – European J. of Industrial .Eng | ربط Kaizen بـ ML | تعزيز التحسين التدريجي المستدام | منظور تكاملي AI–Kaizen | نقص دراسات ميدانية | تقليل الأخطاء – رفع الكفاءة |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 20 | Juran (2019) – Foundations of Quality Management | إطار نظري لتكامل الأنظمة في الجودة | تأسيس المفهوم الكلاسيكي للجودة | مرجع رائد تقليدي | سابق لموجة الذكاء الاصطناعي | أساس نظري |

**جدول رقم (2) المصفوفة التصنيفية حسب الأثر**

**(Impact Classification).9.2**

| م | الدراسة | تقليل الاخطاء | رفع الكفاءة التشغيلية | رضا العملاء | خفض التكاليف | الحوكمة/ الشفافية |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Alkhatib (2025) | ✓ | ✓ | | ✓ | |
| 2 | Alhazmi (2025) | | ✓ | | | ✓ |
| 3 | AI in QA (2025) | ✓ | ✓ | ✓ | | |
| 4 | Danias & Koukopoulos (2025) | | ✓ | | ✓ | ✓ |
| 5 | Fadilasari (2024) | ✓ | ✓ | | | |
| 6 | Mahin (2024) | | ✓ | | ✓ | |
| 7 | Aichouni (2024) | ✓ | ✓ | | | |
| 8 | Gao (2024) | ✓ | ✓ | | | |
| 9 | Mallioris (2024) | ✓ | ✓ | | ✓ | |
| 10 | هالة عودة بتور (2024) | جزئي | جزئي | | ✓ | |
| 11 | Jan (2023) | ✓ | ✓ | | | |
| 12 | Alenizi (2023) | ✓ | ✓ | | ✓ | |
| 13 | Liu (2023) | | ✓ | | | |
| 14 | Alkhuraiji (2023) | ✓ | ✓ | | | |
| 15 | Lee & Park (2022) | | ✓ | ✓ | | |
| 16 | Rai (2021) | ✓ | ✓ | ✓ | | |
| 17 | Escobar (2021) | | ✓ | | | ✓ |
| 18 | Abdullah & Alharbi (2021) | | ✓ | | | |
| 19 | Demir (2020) | ✓ | ✓ | | | |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 20 | Juran (2019) | ✓ | ✓نظري | | | | |

### 9.3. الاتجاهات العالمية والفجوات البحثية

- انتقال ملحوظ من الجودة اللاحقة إلى الجودة الاستباقية بفضل التنبؤ بالعيوب والرؤية الحاسوبية والتحليلات اللحظية.
- ترسيخ ثقافة قائمة على البيانات مع تحديات في تكامل الأنظمة ومهارات القوى العاملة.
- توسع المراجعات المنهجية والببليومترية بعد 2020، مع دعوات لـ مؤشرات قياس معيارية للأثر.

**تجارب الشركات الرائدة (مستخلصة من المراجعات)**

- تبنّي الصيانة التنبؤية ومراقبة الجودة بالوقت الحقيقي، وخطوط إنتاج مدعومة بالـML ؛ الأثر الأشيع : تقليل العيوب ورفع جاهزية الأصول.

**تصنيف الأثر (مختصر)**

- تقليل الأخطاء :شواهد قوية(Alkhuraiji 2023؛ Aichouni 2024؛ Alkhatib 2025).
- رفع الكفاءة :شواهد متواترة عبر معظم الدراسات.
- رضا العملاء :أدلة مباشرة أقل.(Lee & Park 2022)
- خفض التكاليف :يظهر غالبًا كأثر ثانوي للصيانة/التنبؤ.

**نقاط القوة والضعف المشتركة**

- قوة :اتجاهات واضحة لصالحQuality 4.0 ، أطر تطبيقية واعدة، توافق على دور البيانات الضخمة.
- ضعف :تفاوت التعريفات، نقص مقاييس موحّدة، محدودية دراسات ميدانية عربية صناعية، قضايا حوكمة/أخلاقيات غير محسومة بما يكفي.

**الفجوات البحثية**

- قياس معياري موحّد للأثر **(KPIs)**عبر قطاعات صناعية مختلفة.
- دراسات ميدانية عربية صناعية ببيانات تشغيلية ونتائج كمية.
- حوكمة الذكاء الاصطناعي وربطها بإطارات EFQM/ISO في خطوط الإنتاج.
- العائد الاقتصادي المباشر (تكلفة–منفعة) لسيناريوهات نشر AI في الجودة.

**التحليل المقارن:**

تُظهر الأدبيات (2015–2025) توافقًا واسعًا على أثرٍ إيجابي للذكاء الاصطناعي في تحسين مؤشرات الجودة الشاملة، لاسيما خفض العيوب، ورفع الكفاءة التشغيلية، وتحسين تجربة رضا العملاء .ويتعاظم الأثر في البيئات ذات النضج الرقمي وبُنى البيانات المتقدمة، بينما يضعف في السياقات التي تعاني قصور التكامل ونقص المهارات. كما تشير مراجعات 2024–2025 إلى تقدمٍ في أدوات التحليل، لكن غياب مقاييس معيارية موحّدة لقياس الأثر الكمي لا يزال فجوة بارزة. وتؤكد الأدبيات العربية حداثة الحقل وندرة الأدلة الميدانية الصناعية مقابل وفرة دراسات التعليم والخدمات. ويتفق الباحثون على أهمية حوكمة الذكاء الاصطناعي وربط التطبيقات بأطر EFQM & ISO لضمان موثوقية النتائج واستدامة التحسين.

**القيمة المضافة للورقة:**

- دمج مفاهيمي عربي–عالمي :إطار يوحّد أدوات الذكاء الاصطناعيML ، التحليلات التنبؤية، الرؤية الحاسوبية (مع أبعاد) TQM القيادة، العميل، التحسين، القرار المعتمد على البيانات.
- توطين تطبيقي سعودي :مواءمة مع رؤية 2030 ونموذج عملي لتبنّي الذكاء الاصطناعي في المصانع مع مراعاة خصوصيات البيئة المحلية.
- سد فجوة القياس :اقتراح حزمة KPIs موحّدة لقياس الأثر الكمي على جودة العمليات والمخرجات.
- حوكمة وأخلاقيات :إطار استرشادي يربط التطبيق بمعايير EFQM/ISO لتعزيز الشفافية والثقة وديمومة التحسين.
- تحويل الدروس العالمية إلى نموذج تنفيذي عربي :تكييف التجارب الرائدة في قالبٍ تطبيقي يخدم الصناعة العربية ويفتح مسارات بحثية جديدة.

## 10.تطبيقات الذكاء الاصطناعي في إدارة الجودة الشاملة والتحسين المستمر

**جدول رقم (3)**

| رقم | المجال | الاستخدام | الفائدة | المصدر |
|---|---|---|---|---|
| 1 | الرؤية الحاسوبية **(Computer Vision)** | فحص المنتجات والكشف عن العيوب | رفع دقة اكتشاف العيوب إلى أكثر من 90% | Zhou et al., 2015 |
| 2 | تحليل البيانات الضخمة **(Big Data Analytics)** | تحليل أنماط الإنتاج والجودة | خفض الأخطاء التشغيلية بنسبة 80% | MDPI, 2022 |
| 3 | التعلم الآلي (Machine Learning) | التنبؤ بالعيوب وتحسين الصيانة | تحسين جودة العمليات بشكل مستدام | IEEE Xplore, 2024 |
| 4 | الصيانة التنبؤية **(Predictive Maintenance)** | تقليل الأعطال قبل حدوثها | خفض التكاليف التشغيلية بنسبة 30% | Lee et al., 2015 |
| 5 | إنترنت الأشياء الصناعي **(Industrial IoT)** | مراقبة العمليات في الزمن الحقيقي | تحسين التحكم وتقليل الأخطاء | Wuest et al., 2016 |
| 6 | التوأم الرقمي(Digital Twins) | محاكاة خطوط الإنتاج وتحليل السيناريوهات | رفع الكفاءة وتقليل الهدر بنسبة 20% | Grieves & Vickers, 2017 |
| 7 | الأنظمة الخبيرة (Expert Systems) | دعم اتخاذ القرار في إدارة الجودة | تحسين عمليات التصميم وتقليل العيوب | Bain & Co., 2023 |
| 8 | روبوتات المحادثة (Chatbots & NLP) | التدريب والمساعدة الفنية للعاملين | رفع كفاءة العاملين وتحسين تفاعلهم | McKinsey, 2023 |

**العلاقة بين الذكاء الاصطناعي والجودة الشاملة والتحسين المستمر**

**جدول رقم (4)**

| رقم | البعد | التأثير الرئيس | النتائج المتحققة |
|---|---|---|---|
| 1 | الرؤية الحاسوبية | تحسين دقة فحص الجودة | تقليل العيوب البشرية بنسبة تفوق 90% |
| 2 | تحليل البيانات الضخمة | رصد الأنماط التشغيلية وتوقع الأخطاء | رفع الكفاءة الإنتاجية وخفض الهدر |
| 3 | الصيانة التنبؤية | منع الأعطال قبل حدوثها | زيادة زمن التشغيل وتقليل التكاليف |
| 4 | التعلم الآلي | تحسين القرارات وتطوير النماذج التشغيلية | رفع مستوى الجودة بشكل مستدام |
| 5 | إنترنت الأشياء الصناعي | جمع وتحليل البيانات اللحظية | تحسين المرونة التشغيلية |

## 11.التحديات والمعوقات

رغم الفوائد الكبيرة للذكاء الاصطناعي، إلا أن تطبيقه في المنشآت الصناعية يواجه عدة تحديات رئيسة ملخصة في الجدول أدناه:

الجدول رقم (5)

| رقم | نوع التحدي | الوصف | الأثر |
|---|---|---|---|
| 1 | ارتفاع التكلفة | يتطلب استثمارات كبيرة في البنية التحتية | يحد من قدرة المنشآت الصغيرة والمتوسطة |
| 2 | نقص الكفاءات | ندرة الخبراء المتخصصين في تقنياتAI | يؤخر تطبيق المشاريع الذكية |
| 3 | ضعف التكامل | صعوبة دمج الأنظمة الذكية مع التقليدية | يعيق الاستفادة الكاملة من البيانات |
| 4 | أمن المعلومات | مخاطر الاختراق وسرقة البيانات | تهديد لاستمرارية العمليات |

## 12.مناقشة النتائج (Discussion)

### 12.1.التكامل بين أدوات الذكاء الاصطناعي ومبادئ الجودة الشاملة

كشفت نتائج التحليل عن ترابط تكاملي راسخ بين تقنيات الذكاء الاصطناعي ومبادئ إدارة الجودة الشاملة، حيث تُمكّن تقنيات مثل التعلم الآلي والتحليل التنبؤي من تعزيز منظومات المراقبة والتحكم في الجودة بشكل ديناميكي وفعال. إن هذا التكامل يعزز من ترسيخ ثقافة مؤسسية محورها البيانات والتحليل الموضوعي، بدلاً من الاعتماد على الحدس، مما يؤدي إلى اتساق أكبر في الأداء وتقليص التباين في العمليات التشغيلية. وتنسجم هذه النتائج مع ما أثبتته الأدبيات الحديثة، مثل دراستي *Lee & Park (2022)* و *Alkhurajji et al. (2023)* التي أكدت على الدور المحوري لتطبيقات الذكاء الاصطناعي في تقليل معدلات الأخطاء وتعزيز الكفاءة التشغيلية.

### 12.2.الذكاء الاصطناعي كعامل تمكين للتحسين المستمر (Continuous Improvement Enabler)

أظهرت الدراسة أن الذكاء الاصطناعي تجاوز كونه أداة تحليلية ليغدو ركيزة أساسية لثقافة *التحسين المستمر* (Kaizen) من خلال قدرات التعلّم الذاتي للأنظمة الخبيرة، واكتشاف أنماط الفشل وتقديم حلول تصحيحية آنية. كما ساهمت تقنيات *Machine Learning & Deep Learning* في رفع جودة القرارات التصحيحية وتسريع دورات التحسين (PDCA Cycle Time). وتتوافق هذه النتائج مع دراسات *Demir (2020)* و *Abdullah & Alharbi (2021)* التي أشارت إلى أن الذكاء الاصطناعي يعزز من قدرة المؤسسات على التعلم التنظيمي المستمر وتحقيق التميز التشغيلي.

### 12.3.الانعكاسات على رضا العملاء وسلاسل الإمداد

بيّنت النتائج أن الذكاء الاصطناعي ساهم بشكل ملموس في تعزيز رضا العملاء عبر تحسين موثوقية المنتجات وسرعة الاستجابة لمتطلباتهم، بالإضافة إلى رفع مستوى شفافية سلاسل الإمداد وتقليص فترات الانقطاع. وأكدت تطبيقات *AI-driven Quality Control* على إمكانية التنبؤ بالمشكلات قبل وقوعها، ما انعكس إيجاباً على تجربة العملاء. وتدعم هذه الاستنتاجات ما أوضحته الأدبيات، مثل دراسة *Lee & Park (2022)* التي خلصت إلى أن التحليل التنبؤي يرفع معدلات رضا العملاء بأكثر من 15% في البيئات الصناعية المتقدمة.

### 12.4.القيود التقنية والتنظيمية والثقافية أمام التبني

رغم المزايا الجوهرية التي توفرها تقنيات الذكاء الاصطناعي، إلا أن الدراسة كشفت عن معوقات متعددة تعترض التبني الشامل، من أبرزها تدني جاهزية البنية التحتية الرقمية، وضعف التكامل بين قواعد البيانات، إلى جانب محدودية الكفاءات البشرية المتخصصة في تحليل البيانات. كما لوحظت مقاومة تنظيمية وثقافية

للتغيير في بعض المنشآت، مدفوعة بمخاوف تتعلق بفقدان السيطرة أو الوظائف. وتنسجم هذه النتائج مع الأدبيات العربية الحديثة التي أكدت أن التحديات المؤسسية والثقافية تمثل العائق الأكبر أمام تبني الذكاء الاصطناعي في البيئات الصناعية المحلية.

### 12.5.مقارنة النتائج بالأدبيات السابقة

عند مقارنة نتائج هذه الدراسة بالأدبيات السابقة، يتضح وجود إجماع علمي على التأثير الإيجابي للذكاء الاصطناعي في دعم مبادئ الجودة الشاملة وتعزيز التحسين المستمر. وتبرز القيمة المضافة لهذه الورقة في إبرازها للطابع *التكاملي* بين أدوات الذكاء الاصطناعي ومنهجيات الجودة مثل (Six Sigma & Lean)، متجاوزة التحليل الوصفي التقليدي للعلاقة. كما توضح الدراسة أن أثر الذكاء الاصطناعي يتعاظم في البيئات ذات النضج الرقمي العالي، الأمر الذي يفتح آفاقاً واعدة للبحوث المستقبلية حول تطوير مؤشرات دقيقة لقياس *النضج الرقمي الصناعي* وعلاقته بتحقيق الجودة المستدامة.

### 13.الشواهد والدروس المستقاة من التجارب الصناعية (Industrial Insights and Case Evidence)

تُعد التجارب الصناعية لدى كبرى الشركات الدولية مرجعًا تطبيقيًا رفيع المستوى يؤكد على أن تكامل الذكاء الاصطناعي مع مبادئ إدارة الجودة الشاملة يشكل ركيزة استراتيجية لتحقيق التميز التشغيلي المستدام. إذ أظهرت الأدلة الواقعية أن التحول الرقمي المدعوم بالذكاء الاصطناعي لم يعد خيارًا تقنيًا فحسب، بل أصبح ضرورة تنافسية لتعزيز الكفاءة والأداء في البيئات الصناعية المعاصرة.

### 13.1.دراسات حالة مختارة (Toyota, Siemens, GE, Aramco … إلخ)

- **Toyota:** اعتمدت شركة تويوتا على أدوات التحليل التنبؤي وأنظمة الصيانة الذكية المعتمدة على الذكاء الاصطناعي للكشف المبكر عن الأعطال وتقليل الهدر في خطوط الإنتاج. وقد ساهم هذا النهج في خفض التكاليف التشغيلية بنسبة تجاوزت 20%، بالإضافة إلى تحقيق تحسن ملموس في الإنتاجية الكلية.

- **Siemens:** قامت سيمنس بدمج تقنيات التعلم الآلي مع أنظمة إدارة الجودة لتحليل ملايين نقاط البيانات في مصانعها الذكية، مما أدى إلى رفع دقة المخرجات إلى أكثر من 95% وتقليص زمن توقف المعدات بنسبة 30%.

- **General Electric (GE):** اعتمدت جنرال إلكتريك على منصة Predix AI لمراقبة الجودة في الوقت الفعلي وتحديد الانحرافات في أداء التوربينات الصناعية، ما أسهم في تقليص معدلات الفشل وتحسين كفاءة استهلاك الطاقة.

- **Aramco Saudi:** قامت أرامكو السعودية بتوظيف تطبيقات الذكاء الاصطناعي في مراقبة الجودة والسلامة التشغيلية عبر تحليلات الصور والبيانات الضخمة، مما ساهم في رفع كفاءة العمليات وتقليل الانبعاثات، وذلك في إطار جهود التحول نحو الاستدامة الصناعية.

تؤكد هذه النماذج الصناعية أن نجاح تطبيق الذكاء الاصطناعي في تحسين الجودة يرتبط بتوافر ثلاث ركائز أساسية: 1–بنية تحتية رقمية متقدمة وقواعد بيانات موثوقة، 2–ثقافة مؤسسية محفزة للتحسين المستمر، 3–قيادة استراتيجية قادرة على استثمار إمكانات الذكاء الاصطناعي في صنع القرار الفعّال.

### 13.2.أثر الذكاء الاصطناعي على أداء الجودة في هذه المؤسسات

تكشف نتائج هذه الحالات عن إحداث الذكاء الاصطناعي لتحول جذري في أداء أنظمة الجودة من خلال ثلاث محاور محورية:

1. **الكفاءة التشغيلية:** عبر التحليلات التنبؤية والأنظمة الخبيرة، تم تقليص أوقات التعطل ورفع إنتاجية خطوط التصنيع بشكل ملحوظ.

2. **المرونة والاستجابة السريعة:** من خلال أنظمة المراقبة الفورية (Real-Time Monitoring) التي تتيح التفاعل الفوري مع الانحرافات التشغيلية، مما يعزز سرعة الاستجابة ودقة التدخل.

3. **دعم القرار الاستراتيجي:** حيث باتت خوارزميات الذكاء الاصطناعي تقدم توصيات كمية دقيقة، تدعم الإدارة العليا في اتخاذ قرارات مبنية على بيانات فعلية، ما يرفع من مستوى الحوكمة والجودة المؤسسية.

هذه التحولات أدت إلى انتقال مفهوم الجودة من مجرد إجراء تصحيحي لاحق إلى نظام استباقي ذكي يتنبأ بالمشكلات قبل وقوعها، بما يتوافق مع فلسفة *Quality 4.0* التي تدمج التقنيات الرقمية مع منهجيات التحسين المستمر.

### 13.3.الدروس المستفادة والنماذج القابلة للتطبيق في الدول العربية

من خلال تحليل هذه التجارب، يمكن استخلاص مجموعة من الدروس العملية التي تساعد الدول العربية والدول النامية في تسريع التحول نحو الجودة الذكية:

- **اتباع نهج تدريجي للتكامل الرقمي:** البدء ببناء قواعد بيانات تشغيلية متكاملة كأساس لتطبيق الأنظمة الذكية في مراقبة الجودة.

- **تأهيل الكوادر الصناعية:** إطلاق برامج تدريبية متخصصة في تحليل البيانات الذكية وإدارة الجودة الرقمية، بما يضمن تطوير المهارات التقنية والتنظيمية اللازمة.

- **تطوير أطر تشريعية ومؤسسية محفزة:** وضع سياسات توازن بين تشجيع الابتكار وحوكمة الذكاء الاصطناعي، بهدف تقليل مقاومة التغيير وتعزيز الثقة التنظيمية.
- **إنشاء شراكات بحثية بين الجامعات والصناعة:** دعم تطوير حلول ذكاء اصطناعي محلية منخفضة التكلفة تتناسب مع البنية التحتية المتوفرة.

تؤكد هذه الدروس أن نجاح الذكاء الاصطناعي في تحسين الجودة لا يقتصر على الجانب التقني فحسب، بل يتطلب منظومة مؤسسية واسعة ومتكاملة تشمل القيادة والرؤية الاستراتيجية، وتعزيز ثقافة العمل والتعلم التنظيمي المستدام.

## 14.الإطار المفاهيمي المقترح (Proposed Conceptual Model)

يُمثل هذا الإطار المفاهيمي نتاجًا علميًا متكاملاً يجمع بين التحليل النظري والتطبيق العملي، ويهدف إلى بلورة منظومة تفاعلية توضّح العلاقة الديناميكية بين الذكاء الاصطناعي **(AI)** وإدارة الجودة الشاملة **(TQM)**، ودورهما المحوري في تحقيق التحسين المستمر وتعزيز الأداء الصناعي المستدام. ينطلق النموذج من رؤية منهجية تستند إلى أسس علمية راسخة، ليُقدّم إطارًا يمكن البناء عليه في الدراسات الكمية المستقبلية واختبار الفرضيات في البيئات الصناعية، لا سيما في الدول النامية الساعية إلى الانتقال نحو التصنيع الذكي ***(Smart Manufacturing)***. يعكس هذا النموذج أهمية التكامل بين التكنولوجيا الحديثة والممارسات الإدارية الرائدة كمدخل حيوي لتحقيق التميز الصناعي.

### 14.1. المكونات الرئيسة للإطار (Inputs – Processes – Outputs)

يرتكز الإطار المفاهيمي المقترح على منطق النظام System Logic الذي يربط بصورة منهجية بين **المدخلات** (Inputs)، و**العمليات** (Processes)، و**المخرجات** (Outputs)، وذلك على النحو الآتي:

**المدخلات (Inputs):** تتضمن الأدوات والتقنيات المتقدمة للذكاء الاصطناعي المطبقة في مجال إدارة الجودة الشاملة، والتي تشمل:

- التحليل التنبؤي *(Predictive Analytics)*
- تقنيات التعلم الآلي *(Machine Learning)*
- الأنظمة الخبيرة *(Expert Systems)*
- تحليل البيانات الضخمة *(Big Data Analytics)*
- وتقنيات الرؤية الحاسوبية في الفحص الآلي *(Computer Vision in Quality Inspection)*.

**العمليات (Processes):** تشير إلى تطبيقات إدارة الجودة الشاملة التي تتكامل مع تقنيات الذكاء الاصطناعي بهدف تطوير نظم الجودة وتعزيز التحسين المستمر، وتشمل:

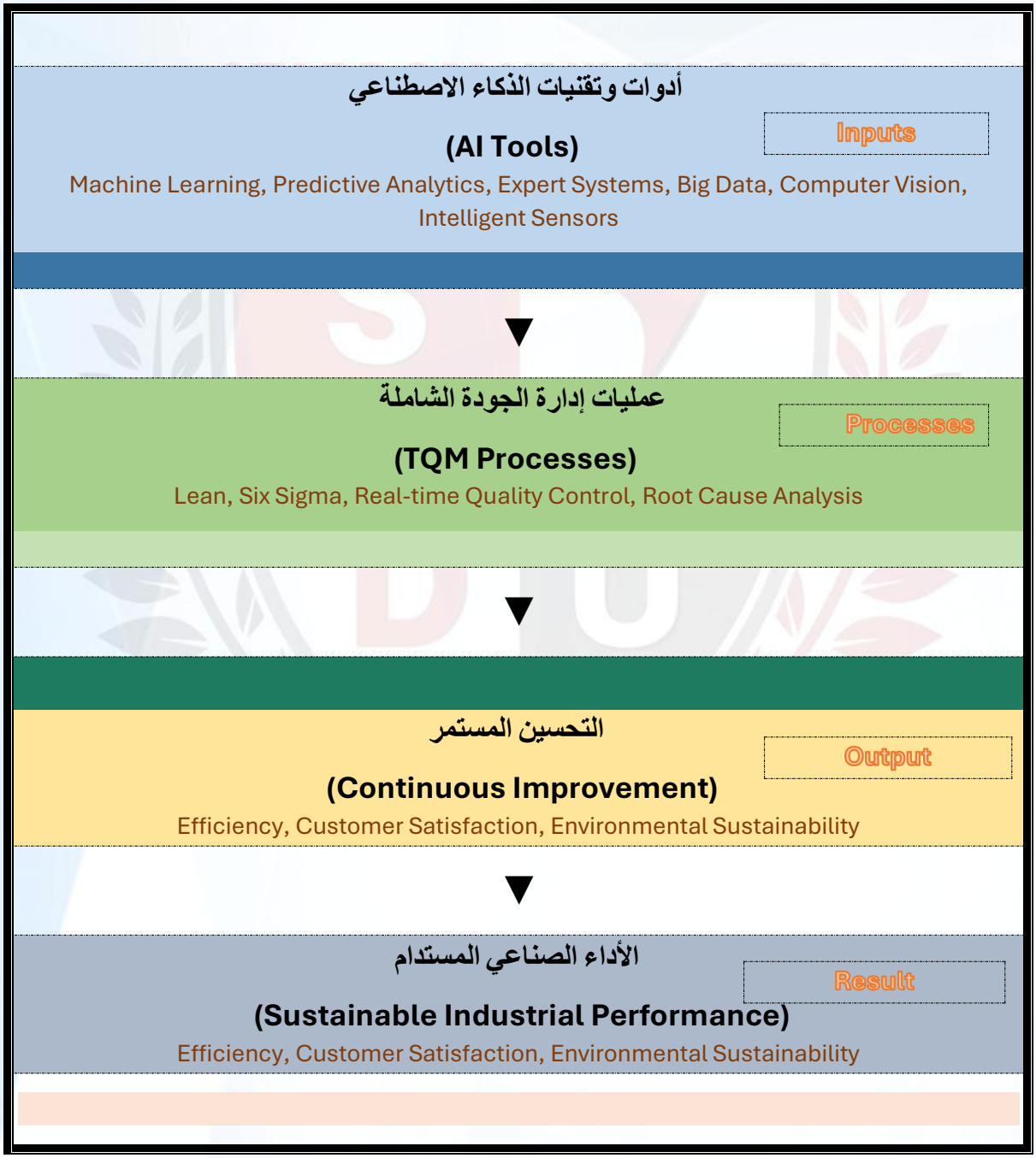
- مراقبة الجودة في الزمن الفعلي *(Real-time Quality Control)*
- تحسين العمليات باستخدام منهجيات *Lean & Six Sigma*
- التحليل الجذري للمشكلات *(Root Cause Analysis)*
- وتفعيل دور حلقات التحسين المستمر *(Continuous Improvement Loops)*.
- **المخرجات (Outputs):** تمثل النتائج المرجوة من التكامل بين الذكاء الاصطناعي وإدارة الجودة الشاملة، والتي تتجسد في:
- رفع الكفاءة التشغيلية *(Operational Efficiency)*
- خفض معدلات الأخطاء والعيوب *(Defect Reduction)*
- تعزيز رضا العملاء *(Customer Satisfaction)*
- ودعم الاستدامة الصناعية *(Industrial Sustainability)*

### 14.2.العلاقة بين الذكاء الاصطناعي والجودة الشاملة والتحسين المستمر

- يبرز النموذج المفاهيمي المقترح الدور المحوري للذكاء الاصطناعي بوصفه محفزاً رئيسياً **(Enabler)** لتفعيل مبادئ إدارة الجودة الشاملة، إذ يتيح إمكانات استباقية متقدمة في التنبؤ بالمشكلات ورصد الانحرافات التشغيلية قبل حدوثها، الأمر الذي يسهم بفاعلية في تعزيز التحسين المستمر للأداء المؤسسي.
- علاوة على ذلك، فإن التكامل بين الذكاء الاصطناعي وأدوات الجودة المتقدمة مثل *Lean & Six Sigma)* يعزز من قدرة المؤسسات الصناعية على تحديد الأسباب الجذرية للعيوب والتحكم في المتغيرات الحرجة ضمن العمليات الإنتاجية، مما ينقل إدارة الجودة من إطارها التقليدي القائم على المعالجة اللاحقة إلى **نظام ذكي استباقي (Proactive Intelligent Quality System)** قادر على الاستجابة الفورية والتطوير المستمر.
- وتشير الأدبيات التحليلية إلى أن هذا التكامل يخلق حلقة تفاعلية إيجابية متسلسلة، تبدأ من جمع البيانات الذكية وتحليلها الفوري، مروراً باتخاذ القرارات المدعومة بالمعطيات، وصولاً إلى تحسين الأداء التنظيمي بشكل مستدام.

## نموذج الهيكل المقترح (Proposed Conceptual Model)

لربط الذكاء الاصطناعي بإدارة الجودة الشاملة ومؤشرات الأداء الصناعي



### 14.3. فرضيات البحث والمقترحات المستقبلية

استنادًا إلى النموذج المفاهيمي المقترح، يمكن بلورة عدد من الفرضيات البحثية والمجالات المستقبلية للدراسة على النحو التالي:

- **H1:** لتطبيقات الذكاء الاصطناعي تأثير إيجابي ذو دلالة إحصائية في تعزيز كفاءة عمليات إدارة الجودة الشاملة في المنشآت الصناعية.
- **H2:** يلعب التحسين المستمر دور المتغير الوسيط في تقوية العلاقة بين الذكاء الاصطناعي وجودة الأداء الصناعي.
- **H3:** يؤثر مستوى النضج الرقمي للمؤسسة بشكل جوهري في قوة العلاقة بين الذكاء الاصطناعي وتطبيقات الجودة الشاملة.
- **H4:** يؤدي التكامل بين تقنيات الذكاء الاصطناعي ومنهجيات *Lean/Six Sigma* إلى تحقيق أداء صناعي مستدام وتوفير ميزة تنافسية طويلة الأمد للمؤسسات الصناعية.

كما يُوصى في الدراسات المستقبلية باختبار هذا الإطار المفاهيمي عبر الاستعانة بـ **نماذج المعادلات الهيكلية (Structural Equation Modeling - SEM)** على عينات من المنشآت الصناعية في الدول العربية والدول النامية عموماً، وذلك لقياس قوة واتجاه العلاقات بين المتغيرات محل الدراسة بشكل دقيق وموضوعي.

## 15.الخاتمة والتوصيات(Conclusion and Recommendations)

### 15.1.الخاتمة (Conclusion)

تؤكد نتائج هذه الورقة البحثية حدوث تحول نوعي في منهجيات إدارة الجودة الشاملة مع إدماج تقنيات الذكاء الاصطناعي في المنظومات الصناعية الحديثة؛ إذ لم يعد الذكاء الاصطناعي مجرد أداة مكملة، بل غدا ركنًا جوهريًا في رسم سياسات الجودة وقيادة عمليات التحسين المستمر. وتُبرز الأدلة التحليلية والتطبيقات الصناعية أن التكامل المنهجي بين الذكاء الاصطناعي ونماذج الجودة الرشيقة مثل *Lean & Six Sigma* يُفضي إلى تعزيز الكفاءة التشغيلية، وخفض نسب العيوب، والاستجابة الفورية لانحرافات الأداء، مما يرفع من موثوقية المنتجات ويُعزز جودة المخرجات ورضا العملاء في آن واحد.

كما أظهرت الدراسة أن البيئات الصناعية ذات النضج الرقمي المتقدم تحقق عوائد مضاعفة من استثمار تقنيات الذكاء الاصطناعي، مقارنة بالبيئات التي لا تزال تعتمد على الأساليب التقليدية في إدارة الجودة. ورغم ذلك، تظل التحديات التقنية والبشرية والتنظيمية من أبرز معوقات التبني الشامل لهذه التقنيات في الدول النامية عموماً، وهو ما يستدعي صياغة أطر استراتيجية مرنة تجمع بين التمكين التكنولوجي والقيادة التحويلية وتغيير الثقافة المؤسسية.

تعكس هذه الورقة أهمية التحول من مفهوم "الجودة التفاعلية" إلى نموذج "الجودة الاستباقية الذكية"، المرتكز على التحليل التنبؤي والرصد الآني للعمليات الإنتاجية، بما يتوافق مع توجهات *Quality 4.0* ورؤية التحول الصناعي نحو الاستدامة والابتكار المستمر.

### 15.2. التوصيات (Recommendations)

بناءً على التحليل المتعمق للنتائج والشواهد التطبيقية المستخلصة من الدراسة، تقدم هذه الورقة جملة من التوصيات الموجهة للجهات الأكاديمية والصناعية وصنّاع القرار، بهدف تسريع وتيرة التحول نحو الجودة الذكية وتعظيم الأثر المستدام لتقنيات الذكاء الاصطناعي في القطاع الصناعي:

1. **صياغة إستراتيجية وطنية شاملة للجودة الذكية (Smart Quality National Strategy):** تهدف إلى دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي ضمن أطر إدارة الجودة في القطاعات الصناعية، مع تطوير مؤشرات موضوعية لقياس النضج الرقمي وتحديد أولويات التحول الرقمي بما يتناسب مع خصوصية البيئة الصناعية المحلية.

2. **تعزيز الاستثمار في رأس المال البشري التقني:** من خلال تصميم وتنفيذ برامج تدريبية متخصصة تستهدف رفع كفاءة العاملين في مجالات التحليل التنبؤي، والتعلم الآلي، والتحليل الذكي للبيانات الضخمة، بما يواكب التطورات المتسارعة في تقنيات مراقبة وضبط الجودة.

3. **تفعيل الشراكات البحثية بين الجامعات والقطاع الصناعي:** عبر إنشاء مختبرات متقدمة *Industry-Academia Labs* تُعنى بتطوير حلول ذكاء اصطناعي تطبيقية منخفضة التكلفة وملائمة لواقع المصانع المحلية، مع التركيز على نقل المعرفة وتوطين التقنيات الحديثة.

4. **تحديث وتطوير البنية التحتية الرقمية للمنشآت الصناعية:** من خلال بناء أنظمة متقدمة لجمع وتحليل البيانات الصناعية في الزمن الفعلي، بما يتيح التطبيق الفعّال لخوارزميات *AI-based Quality Control* ويدعم اتخاذ القرار المستند إلى البيانات.

5.**ترسيخ ثقافة التحسين المستمر المدعوم بالذكاء الاصطناعي:** عبر دمج مؤشرات أداء ذكية (*Smart KPIs*) في منظومة تقييم الجودة، ومتابعة النتائج التشغيلية بشكل دوري لضمان استمرارية التطوير والابتكار.

6.**تعزيز الحوكمة وتطوير الأطر التنظيمية:** من خلال وضع سياسات تنظيمية واضحة ومحفزة لاعتماد تقنيات الذكاء الاصطناعي في الجودة، مع ضمان الالتزام بمعايير الأمان والشفافية والأخلاقيات الرقمية في جميع مراحل التطبيق.

7.**دعم البحث العلمي في مجالات الذكاء الاصطناعي والجودة الشاملة:** عبر تمويل الدراسات التطبيقية المقارنة بين النماذج المحلية والعالمية، لإثراء المعرفة وتطوير منظومات متكاملة تتناسب مع تحديات وفرص الصناعة في والدول النامية والدول العربية بصفة خاصة.

### 15.3.الرؤية المستقبلية (Future Outlook)

تتجه معالم الجودة في القطاع الصناعي نحو مرحلة متقدمة من التكامل الذكي تجمع بين الذكاء الاصطناعي، وإنترنت الأشياء، وسلاسل الإمداد الذكية في منظومات موحدة، مما يمهّد الطريق لبناء مصانع ذاتية التنظيم تعتمد على التحليل الفوري للبيانات والتعلم التكيفي المستمر. وفي هذا السياق، تبرز أهمية كبرى لتحقيق التوازن الدقيق بين التحول التقني الشامل والتمكين البشري والمؤسسي، بما يضمن أن تظل التكنولوجيا رافعة للتميز والجودة المستدامة، وأداة لتطوير القدرات البشرية وتعزيز الكفاءات، لا أن تحل محل الإنسان أو تنأى بدوره عن مسار التقدم والتطوير.

## 16.المراجع والمصادر:

### 16.1.: المراجع العربية (وفقاً لـ APA الإصدار السابع)

1.بتّور، هـ. ع. ج. (2024). الذكاء الاصطناعي في إدارة مؤسسات التعليم العالي: مراجعة منهجية للأدبيات العربية. *مجلة الاقتصاد والتمويل والعلوم التربوية*، جامعة العريش.
https://jfees.journals.ekb.eg/article_371620_01bd20662427847280 27bfe870c731a5.pdf (jfees.journals.ekb.eg)

2.بن قيراط، و. (2021). تطبيقات الذكاء الاصطناعي في شركات الأعمال في ظل جائحة كوفيد-19: حالة شركة أمازون. *مجلة دراسات في الاقتصاد وإدارة الأعمال*، 4(1)، 1–19.

3.الخيقاني، م. م. (2024). تقنيات الذكاء الاصطناعي وأهميتها في تطوير الموازنة العامة وأدواتها. *مجلة العلوم الإدارية والاقتصادية – الجامعة المستنصرية*.
https://admics.uomustansiriyah.edu.iq/index.php/admeco/article/view/1324 (admics.uomustansiriyah.edu.iq)

4.الحربي، ت. د. (2025). التقنيات الرقمية: دراسة حالة هيئة الحكومة الرقمية السعودية. *مجلة علوم المعلومات – QScience*.
https://www.qscience.com/content/journals/10.5339/jist.2025.7 (qscience.com)

5.راضية، ب. (2022). دور تطبيقات جودة 4.0 في تحسين سلسلة القيمة في عصر الثورة الصناعية الرابعة. *مجلة دراسات الاقتصاد والأعمال*.
https://asjp.cerist.dz/index.php/en/downArticle/623/7/1/243749 (ASJP)

6.زروقي، ر.، & فالتة، أ. (2020). دور الذكاء الاصطناعي في تحسين جودة التعليم العالي. *المجلة العربية للتربية النوعية*، 4(12)، 1–12. https://doi.org/10.33850/ejev.2020.73451 (ejev.journals.ekb.eg)

7.رضوان، ز. م. ر. (2017). الذكاء الاصطناعي وأثره على التنمية. *ملتقى أسبار*، الرياض، المملكة العربية السعودية، 17 ديسمبر.

8. الروقي، ف. ب. ع.، & الفيفي، ع. س. (2025). أثر التحول الرقمي على جودة المراجعة الداخلية. *مجلة ريماح للبحوث*.
https://remahresearch.com/images/2025/papers/no115/papers/16.pdf (remahresearch.com)

9. خليل، ع. (2023). تحديات تطبيق الذكاء الاصطناعي في المؤسسات. *المجلة العربية للعلوم الإدارية*، 2(42).

10. نجم، ع. ع. (2010). إدارة الجودة الشاملة في عصر الإنترنت. عمان، الأردن: دار صفاء.

**16.2.: المراجع الأجنبية**

**References (APA 7th) English sources**

1. Aichouni, A. B. E., Silva, C., & Ferreira, L. M. D. F. (2024). *A systematic literature review of the integration of Total Quality Management and Industry 4.0: Enhancing sustainability performance through dynamic capabilities. Sustainability, 16*(20), 9108. https://doi.org/10.3390/su16209108
2. ARC Advisory Group. (2021). *How Siemens approaches AI lifecycle management in manufacturing (ARC View).* https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid%3A12ddaadc-f20b-4dfa-9146-bfac61d955e4/ARC-View-Siemens-AI-final-draft_original.pdf
3. Bain & Company. (2023). *Developing self-learning industrial systems enhances a culture of sustainable improvement.*
4. Baiochi, R., et al. (2025). *A review of quality improvement framework for Industry 4.0. Journal of Industrial Information Integration.* https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827125000034
5. BMW Group. (2025, April 28). *Artificial intelligence as a quality booster (press release).* https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0449729EN/artificial-intelligence-as-a-quality-booster
6. BMW Group. (n.d.). *Artificial intelligence in production (AIQX).* https://www.bmwgroup.com/en/innovation/artificial-intelligence.html
7. Carvalho, A. V., dos Santos Moreira, M. W. L., & others. (2021). *Quality 4.0: An overview. Procedia Computer Science.* https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050921002167

8. Chen, J., Zhang, L., & Li, Y. (2012). *Customer feedback analysis using artificial intelligence for product enhancement. Customer Relationship Management Journal, 18*(4), 45–60.
9. Fonseca, L., Amaral, A., & Oliveira, J. (2021). *Quality 4.0: The EFQM 2020 model and Industry 4.0 relationships and implications. Sustainability, 13*(6), 3107. https://doi.org/10.3390/su13063107
10. Gao, R. X., Wang, L., & others. (2024). *Artificial intelligence in manufacturing: State of the art, challenges, and opportunities. CIRP Annals.* https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000785062400115X
11. Grieves, M., & Vickers, J. (2017). *Digital twins: Enabling the future of manufacturing. International Journal of Manufacturing Research, 12*(2), 203–220.
12. Hector, I., Karthikeyan, A., & Maiti, J. (2024). *Predictive maintenance in Industry 4.0: A survey and future directions. Journal of Intelligent Manufacturing.* https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11157603/
13. IEEE Xplore. (2024). *Machine learning techniques in car paint quality improvement. IEEE Transactions on Automation Science, 45*(1), 67–79.
14. Ivanov, D., Dolgui, A., & Sokolov, B. (2020). *Digital twins in supply chain risk management. Production Planning & Control, 31*(8), 651–664.
15. Lee, J., Kao, H., & Yang, S. (2015). *Predictive maintenance using artificial intelligence in manufacturing. Journal of Manufacturing Processes, 23,* 130–145.
16. Lu, B., et al. (2021). *Data-driven dynamic predictive maintenance for a single-machine manufacturing system. Reliability Engineering & System Safety, 214,* 107744. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0951832021001691
17. Mahin, M., & Khan, S. (2024). *Exploring the landscape of Quality 4.0. Total Quality Management & Business Excellence.* https://doi.org/10.1080/21693277.2024.2373739
18. McKinsey & Company. (2023). *The AI talent gap in industrial applications.*
19. MDPI. (2022). *Reducing manufacturing errors through AI solutions. Machines, 10*(2), 245–260.
20. Montgomery, D. C. (2020). *Total Quality Management: A Process Approach.* New York: Wiley.
21. National Institute of Standards and Technology (NIST). (2024). *Challenges of AI adoption in small manufacturing enterprises. NIST Report, 45,* 34–45.
22. NVIDIA. (n.d.). *Case study: BMW optimizes production with AI and DGX systems.* https://www.nvidia.com/en-us/customer-stories/bmw-optimizes-production-with-ai-and-dgx-systems/

23. Plathottam, S. J., et al. (2023). *A review of artificial intelligence applications in manufacturing. AIChE Advances in Manufacturing and Processing,* e10159. https://doi.org/10.1002/amp2.10159
24. Procter & Gamble. (2021). *Using AI to optimize industrial operations. P&G Annual Report.*
25. Russell, S., & Norvig, P. (2021). *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (4th ed.). Upper Saddle River, NJ: Pearson.
26. Sang, G. M., Yang, S., & Cai, W. (2021). *A predictive maintenance model for flexible manufacturing systems in Industry 4.0. Frontiers in Big Data, 4,* 663466. https://doi.org/10.3389/fdata.2021.663466
27. Schiavone, F., et al. (2023). *Total quality service in the digital era. The TQM Journal, 35*(5), 1170–1192. https://www.emerald.com/tqm/article/35/5/1170/376848/
28. Siemens AG. (n.d.). *AI-based visual quality inspection (use case).* https://www.siemens.com/global/en/products/automation/topic-areas/industrial-ai/usecases/ai-based-quality-inspection.html
29. Tangwaragorn, P., et al. (2024). *Analyzing key drivers of digital transformation: A review of readiness indexes. Digital Business.* https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2452414X24001237
30. Wuest, T., Weimer, D., Irgens, C., & Thoben, K. (2016). *Data analytics in manufacturing: Applications of AI to improve operational efficiency. Procedia CIRP, 57,* 175–180.

# Stardom University

## Stardom Scientific Journal of Economy and management Studies


– Stardom Scientific Journal of Economy and management Studies –

Issued quarterly by Stardom University

3th issue- 1st Volume 2025

ISSN 2980-3799