

أثر تطبيقات الجودة 4.0 في تحسين سلسلة القيمة في عصر الثورة الصناعية الرابعة

The impact of Quality 4.0 Applications on enhancing the Value Chain in the Era of the Fourth Industrial Revolution

حسين نزيهة¹، برامقي رضية²

Bramgui Radhia Hocine naziha

¹المركز الجامعي تيبازة، الجزائر، hocine.naziha@cu-tipaza.dz

²المركز الجامعي تيبازة، الجزائر، bramguiradhia@yahoo.fr

تاريخ النشر: 2024-04-01

تاريخ القبول: 2024-04-01

تاريخ الاستلام: 2024-01-15

ملخص:

تهدف هذه الدراسة إلى استكشاف دور تطبيقات الجودة 4.0 في تحسين سلسلة القيمة في عصر الثورة الصناعية الرابعة، وقد تم استخدام المنهج الوصفي التحليلي من خلال التطرق لتجليات الثورة لصناعية الرابعة على إدارة الجودة والوقوف على ميزات الجودة 4.0 وصولاً إلى تأثير تطبيقات الجودة 4.0 على سلسلة القيمة، وانتهت الدراسة بتقديم مجموعة من النتائج أبرزها أن ممارسات إدارة الجودة لتقنيات الثورة الصناعية الرابعة تشمل البيانات الضخمة والذكاء الاصطناعي وتؤثر بشكل بارز على سلسلة القيمة من خلال تحسين عمليات التصنيع وتقليل التكلفة، وأوصت الدراسة بضرورة تكامل تكنولوجيا الجودة في استراتيجيات سلسلة القيمة، التدريب وتأهيل العاملين، تعزيز أمن البيانات، اعتماد استراتيجيات التحليل التنبؤي، وتعزيز التفاعل مع العملاء.

الكلمات المفتاحية: الجودة 4.0؛ سلسلة القيمة؛ الثورة الصناعية الرابعة؛

تصنيف JEL: L11؛ L15

Abstract:

This study aims to explore the role of Quality 4.0 applications in enhancing the value chain in the era of the Fourth Industrial Revolution. The analytical descriptive method was employed to investigate the implications of the Fourth Industrial Revolution on quality management, identify the features of Quality 4.0, and assess the impact of Quality 4.0 applications on the value chain. The study concludes by presenting a set of results, highlighting that quality management practices for Fourth Industrial Revolution technologies encompass big data and artificial intelligence, significantly influencing the value chain by improving manufacturing processes and reducing costs. The study recommends integrating quality technology into value chain strategies, training and qualifying workers, enhancing data security, adopting predictive analysis strategies, and improving interaction with customers.

Keywords: Quality 4.0, value chain, Fourth Industrial Revolution.

1. مقدمة :

يعيش العالم اليوم عصر الثورة الصناعية الرابعة المعروفة باسم الصناعة 4.0، حيث تتسارع التقنيات المتقدمة في مجال تحليل البيانات وانترنت الأشياء (IoT) والبيانات الضخمة، وحوسبة السحابية، والفحص البصري، على تحسين رقمنة المصنع مع العديد من المزايا من حيث كفاءة الإنتاج وجودة المنتج وتخفيض التكلفة. وتلعب إدارة الجودة (QM) دورًا أساسيا في عمليات الإنتاج، حيث تضمن الموثوقية والتسليم المتسق للمنتجات والخدمات وفقا لمتطلبات العملاء، وقد تم تناول هذا الموضوع على نطاق واسع في الأدبيات بدءا من الثمانينيات والتسعينيات، مع التركيز بشكل أساسي على تحليل حالات عدم المطابقة والفلسفات مثل إدارة الجودة الشاملة (TQM) و Sigma Six Lean، وأدوات ومنهجيات مراقبة الجودة والتفتيش، وتأثير الأساليب التقليدية لإدارة الجودة على أداء الشركة من اكتشاف الأخطاء وتحسين عملية اتخاذ القرار، ولكن مع التأخير في تنفيذ الإجراءات التصحيحية بما يوازي التقدم المتنامي للإنتاج الضخم يفرض تحديات جديدة في عمليات الإنتاج، مما يتطلب أساليب جديدة في إدارة الجودة لاسيما تكنولوجيات المعلومات والاتصالات بدمج إدارة الجودة في العمليات التكنولوجية وفي الوقت الحقيقي، وهذا يتيح لنا فهم كيفية إدارة وتحسين عمليات الجودة في عصر الثورة الصناعية الرابعة والحفاظ على الاستجابة الفعالة للتحديات المتزايدة لتحقيق جودة عالية في المنتجات والخدمات، ولهذا السبب يعد تقدم تكنولوجيا الجودة 4.0 حلا لتحديات كبيرة تتعلق بالجودة في كيفية إدارة العمليات التجارية وتحسين جودة المنتجات والخدمات، كما تعد سلسلة القيمة مركبا متكاملًا من الأنشطة التي تحول الموارد إلى منتجات جاهزة للسوق، وتشمل جميع المراحل من اكتساب الموارد وحتى تسليم المنتج للعملاء، ومع تقدم تكنولوجيا الجودة 4.0 يتم تعزيز هذه العمليات بشكل فاعل لتعزيز كفاءتها وتحقيق أقصى قيمة مرجوة منها.

إشكالية الدراسة: بناء على ما سبق نتبلور معالم إشكالية الدراسة على النحو التالي:

ما هي أهم تطبيقات الجودة 4.0 التي تؤثر في سلسلة القيمة في ظل الثورة الصناعية الرابعة؟

وللإجابة على الإشكالية المطروحة قمنا بطرح الاسئلة الفرعية التالية:

- ✓ ما مفهوم الثورة الصناعية الرابعة والجودة 4.0؟
- ✓ ما هي أهم ميزات الجودة 4.0؟
- ✓ ما تأثير تطبيقات الجودة 4.0 على سلسلة القيمة؟

وبغرض الإجابة عن الأسئلة السابقة، تم صياغة الفرضيات الآتية:

✓ تتحصر الثورة الصناعية الرابعة في الذكاء الاصطناعي وتتعلق الجودة 4.0 بربط إدارة الجودة بالتقنيات الحديثة.

✓ من ميزات الجودة 4.0 رقمنة إدارة الجودة.

✓ تبرز تطبيقات الجودة 4.0 على سلسلة القيمة في البحث والتطوير وخدمات ما بعد البيع.

أهداف الدراسة: تسعى هذه الدراسة إلى تحقيق ما يلي:

✓ تحديد التقنيات الجديدة في الثورة الصناعية الرابعة التي ترتبط بشكل مباشر بتحسينات إدارة الجودة.

✓ إظهار ميزات الجودة 4.0.

✓ تبيان تجلي أثر تطبيقات الجودة 4.0 على سلسلة القيمة.

أهمية الدراسة: أصبحت المواضيع المتعلقة بتكنولوجيا الجودة 4.0 من بين أهم المواضيع التي لفتت انتباه

العديد من الأكاديميين والممارسين في سلسلة القيمة خاصة وأنها لا تزال في إطار التطوير، لما لها من مزايا وأهمية في عالم الثورة الصناعية الرابعة، وتبرز أهمية هذه الدراسة في أنها من أوائل الدراسات العربية التي تسلط الضوء على تأثير تكنولوجيا الجودة 4.0 على سلسلة القيمة، وتعزيز الفهم لكيفية استفادة سلسلة القيمة من تلك التكنولوجيا المتطورة لتحسين فعاليتها، مما يعزز التحسين المستدام لأدائها وقدرتها على التكيف في عالم متغير بسرعة، عبر التكامل بين تطبيقات الجودة 4.0 وأساليب سلسلة القيمة.

منهج الدراسة: اعتمدنا على المنهج الوصفي التحليلي للوقوف على مفهوم كل من الثورة الصناعية الرابعة

والجودة 4.0، ميزات وإبراز تأثير تطبيقاتها في سلسلة القيمة، بالإضافة لاستخدام المنهج التاريخي لسرد تطور وظهور الثورة الصناعية الرابعة.

2. التأسيس النظري للثورة الصناعية الرابعة والجودة 4.0

مع التقدم التكنولوجي وظهور الثورة الصناعية الرابعة، تحول التركيز على الجودة نحو الجودة 4.0، رغم

أنها لا تزال في مراحلها الأولى، فقد تناول بعض الباحثين آثارها في الصناعة والشركات التجارية وربطتها العديد من الدراسات بتأثير التكنولوجيا على إدارة الجودة الشاملة، فهي تقوم على التعلم التجريبي واكتشاف المعرفة التجريبية بالإضافة إلى إنتاج البيانات وجمعها وتحليلها في الوقت الفعلي لاتخاذ قرارات تشغيل ذكية تضمن توجيه المعلومات المتعلقة بها باستمرار عبر النظام.

1.2. الثورة الصناعية الرابعة:

تم اقتراح مصطلح الثورة الصناعية الرابعة (Industry 4.0) من قبل الحكومة الألمانية لزيادة القدرة التنافسية

للصناعة التحويلية في ألمانيا (Chiarini & Kumar, 2022, p. 1)، بهدف تحويل الصناعة إلى نظام تصنيع ذكي باستخدام تقنيات جديدة، تكون جميع مرافق الإنتاج متصلة ببعضها البعض من خلال إنترنت الأشياء في بيئة فيزيائية سيبرانية يمكن للآلات والمركبات اللوجستية والمستودعات وسلسلة القيمة بأكملها تبادل المعلومات

والتحكم في تدفق الإنتاج، وتعتمد الثورة الصناعية الرابعة على العمليات والمنتجات الفكرية مدعومة بجمع البيانات والتحليل التلقائي لتحقيق عمليات ذكية وفعالة من خلال تكامل عمليات الإنتاج وربط المنتجات، ومنه الحصول على أعلى أداء صناعي للشركات من خلال تحسين جودة المنتج وتسهيل عمليات وكفاءة الإنتاج (Liu, Liu, & Gu, & Yang, 2023, p. 2).

ظهرت الثورة الصناعية الأولى عام 1760، وتقوم على الطاقة البخارية والإنتاج الميكانيكي، لذلك تسمى بالمكننة، أما الثورة الثانية التي بدأت في عام 1870 فقد أسهمت في تطوير الصناعة نحو الإنتاج الضخم وخطوط التجميع التي تعمل بالكهرباء، لذلك تسمى "الكهربة"، أما الثورة الثالثة التي بدأت عام 1970 فقد سهلت أتمتة الإنتاج الصناعي المعتمد على الإلكترونيات والاتصالات وأجهزة الكمبيوتر، بذلك تسمى "الأتمتة"، في الآونة الأخيرة انطلقت الثورة الصناعية الرابعة الجديدة من خلال الاستفادة من الأجهزة الذكية، وتقنيات تحديد الهوية، وآلات تحديد المواقع والتصفح، وتقنيات الروبوتات (Glogovac, Ruso, & Maricic, 2022, p. 3).

وتوفر الثورة الصناعية الرابعة القدرة على تحليل البيانات الضخمة التي تم جمعها في سلسلة القيمة بأكملها، وترجمتها إلى معلومات مفيدة، واستبدال استراتيجيات المراقبة وصنع القرار التقليدية، وتوفير عامل تمكين رئيسي للفعالية والكفاءة الصناعية (Sader, Husti, & Daróczy, 2019, p. 132) وهي مبنية على شبكات من الموارد الصناعية ذاتية التكوين، وقائمة على المعرفة، ومجهزة بأجهزة استشعار، وموزعة مكانياً (آلات التصنيع، والروبوتات، وأنظمة النقل والتخزين، ومرافق الإنتاج)، وتهدف إلى تطوير إنتاج مستقل وديناميكي يستخدم تكنولوجيا المعلومات والاتصالات لتسهيل إنتاج كميات كبيرة من المنتجات المخصصة ونتيجة لذلك أصبحت المصانع أكثر ذكاءً ويمكنها التخطيط والتكيف الذاتي لتوفير المزيد من المنتجات المخصصة وتلبية توقعات العملاء بشكل مستقل (Fonseca, Amaral, & Oliveira, 2021, p. 9) من خلال عدة ركائز رئيسية:

- ✓ **إنترنت الأشياء الصناعية:** تتيح الاتصال الدائم بين الأفراد والأجهزة، مما يؤدي إلى رقمنة جميع الأنظمة المادية من أجل ضمان الحلول التحويلية التي ستكون أساساً للأنظمة البيئية التجارية المعقدة في المستقبل.
- ✓ **الحوسبة السحابية:** باستخدام التطبيقات والخدمات السحابية بشكل ملائم لتعزيز قابلية التشغيل البيئي للأنظمة، ومشاركة البيانات، وتحسين أداء الأنظمة بمرور الوقت.
- ✓ **البيانات الضخمة:** هي كميات كبيرة من البيانات عالية السرعة والمعقدة والمتغيرة التي تتطلب تقنيات متقدمة لتمكين التقاط المعلومات وتخزينها وتوزيعها وإدارتها وتحليلها.
- ✓ **المحاكاة:** تطوير نماذج رقمية مزدوجة لفهم ديناميكيات المحاكاة في أنظمة الأعمال بشكل أفضل وتطبيقها على جميع مراحل دورة حياة المنتج، ويؤدي الجمع بين البيانات الواقعية ونماذج المحاكاة إلى تحسين الإنتاجية وأداء الصيانة بناءً على بيانات واقعية.
- ✓ **الواقع المعزز:** يعمل على تحسين أداء الأفراد من خلال توفير المعلومات المطلوبة لمهمة معينة، على سبيل المثال يعمل الواقع المعزز على تحسين أداء الأفراد في تنفيذ مهام الصيانة الفنية حيث يدعم تحسين اتخاذ قرارات الصيانة المحسنة.

- ✓ **التصنيع الإضافي:** هو تقنية تُعرف أيضاً باسم النمذجة السريعة أو التصنيع الرقمي أو الطباعة ثلاثية الأبعاد، والتي تتيح تطوير منتجات ونماذج أعمال جديدة.
 - ✓ **تكامل النظام الأفقي والرأسي:** مع سيناريوهات تعاونية لتكامل النظام ومشاركة البيانات بشكل فعلي في الوقت الفعلي.
 - ✓ **الروبوتات الذاتية والذكاء الاصطناعي:** يمكن أن تدعم عمليات التصنيع المختلفة وتخفض تكاليف الإنتاج.
 - ✓ **الأمن السيبراني:** يتعلق بمستوى عالٍ من أمن المعلومات ويتضمن تكنولوجيا حماية الهجمات واكتشافها والرد عليها.
 - ✓ **البلوك تشين:** هي عبارة عن قاعدة بيانات تتضمن جميع التبادلات التي تتم بين جميع العملاء منذ تاريخ إنشائها، وجميع الكتل الموجودة فيه مشفرة، إذ من الممكن إضافة أي عملية في الوقت الذي يستحيل فيه حذفها أو تغيير محتوياتها، مما يضفي خاصية الشفافية لهذه التكنولوجيا (طروبيا، 2020، ص 101).
- 2.2. مفهوم الجودة 4.0:**

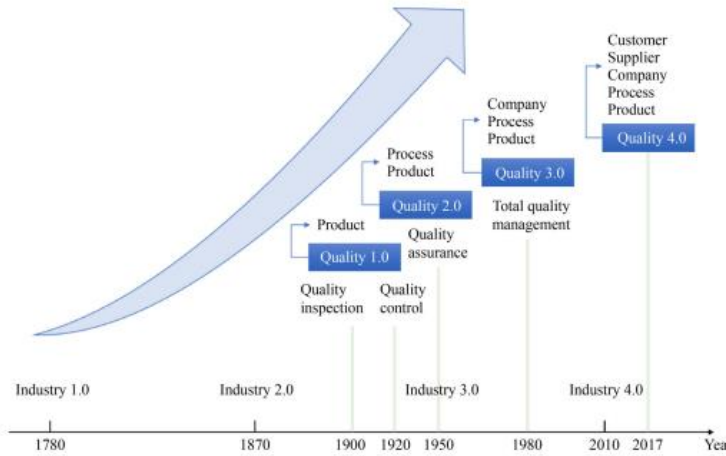
ظهر لمصطلح "الجودة 4.0" كان في عام 2015 في تقرير ASQ Future of Quality (Slavko, 2019, p. 398) ومثل العديد من المجالات الأخرى، تأثرت الجودة بتطور تداعيات الثورة الصناعية الرابعة، حيث تم تطوير إدارة الجودة من خلال دمج واستخدام تطبيقات تكنولوجيا المعلومات الجديدة في ممارسات إدارة الجودة وعززت تقنيات الصناعة 4.0 تحسين جودة المنتجات والخدمات والأداء التنظيمي العام، وقد عرف الباحثان (Mustafa Cem & Bulent, 2018, p. 32) الجودة 4.0 بأنها مزيج من ممارسات وتقنيات إدارة الجودة التقليدية مع التقنيات الجديدة مثل التعلم الآلي، والتقنيات السحابية، والبيانات الضخمة، وأجهزة الاتصال، وإنترنت الأشياء، والذكاء الاصطناعي. ويؤدي هذا التكامل إلى بيئة تعاونية متقدمة حيث تكون الأنشطة الإدارية مدفوعة بقدر أكبر من الاتصال بين سلسلة القيمة من المورد إلى العميل النهائي، وعرفها (Jacob, 2017, p. 8) بأنها الاستفادة من تقنيات إدارة الجودة التقليدية التي اكتسبتها التقنيات الحديثة من أجل الوصول إلى مستوى جديد من التميز على المستويين الوظيفي والتشغيلي، وخلص إلى أن المصنعين الذين طبقوا تقنيات الجودة 4.0 وصلوا إلى إدارة جودة تتسم بالفعالية والكفاءة بشكل رائع، مما أدى بدوره إلى توسيع حصتهم في السوق، وتعزيز الابتكار، وتحسين قدراتهم على التعامل مع تحديات سلسلة القيمة، وتعزيز الاعتراف بالعلامة التجارية.

بالإضافة إلى ذلك، فقد ظهرت خطط إنتاج جديدة تركز على المنتجات المخصصة والمعقدة، التي تنتجها عمليات التصنيع الديناميكية والمعقدة، لذلك ظهر المصطلح الجديد "الجودة 4.0" لإظهار تأثير الثورة الصناعية الرابعة على إدارة الجودة (Ngo & Schmitt, 2016, p. 499)، ومع ذلك جاءت الثورة الصناعية الرابعة نفسها نتيجة لتطور تكنولوجيا المعلومات المدعومة بتقنيات كان لها تأثير مماثل ومتوازي على ممارسات إدارة الجودة مما أدى إلى تغيير أساليب وممارسات إدارة الجودة، فعلى سبيل المثال تمت ممارسة مراقبة الجودة الإحصائية

بشكل تقليدي باستخدام الأساليب الإحصائية، من خلال فحص عينة تمثيلية من مجتمع الإنتاج بأكمله ومن ثم افتراض نتائج التفتيش على مجتمع الإنتاج بأكمله، وفي المقابل فإن تقنيات مراقبة الجودة الحالية مؤتمتة، ويتم استخدام أجهزة الاستشعار لفحص جميع أفراد الإنتاج تلقائياً؛ قبل وأثناء وبعد عملية الإنتاج، والتخلص تلقائياً من المنتجات المعيبة، وأصبحت تقنيات ضمان الجودة تعتمد بشكل أكبر في الوقت الحاضر على مراقبة العمليات باستخدام أنظمة المراقبة والحوسبة المتقدمة مثل أجهزة الاستشعار، والحوسبة السحابية، وتحليل البيانات الضخمة في الوقت الفعلي، والتي توفر معرفة أكثر تطوراً حول عملية الإنتاج وتقتصر تحسينات على جميع المستويات، التشغيلية والإدارية (الآلة والمشغل والمدير).

وتمثل الجودة 4.0 مرحلة التطور الرابعة لإدارة الجودة كما هو موضح في الشكل الموالي، تشمل المراحل الثلاث الأولى لإدارة الجودة، الجودة من خلال التفتيش والمراقبة (الجودة 1.0) والجودة من خلال المعايير وضمان الجودة (الجودة 2.0) والجودة من خلال إدارة الجودة الشاملة (الجودة 3.0)، وتوفر الجودة 4.0 نطاقاً موسعاً لإدارة الجودة مع مراقبة مكثفة لجميع الأنشطة التي تساهم في سلسلة قيمة المنتج، فهي تحول أنشطة إدارة الجودة من تفاعلية أو استباقية إلى تنبؤية بمساعدة الفحص الآلي وتحليل البيانات المتقدمة وتكامل نتائج التحليل (Liu et al., 2023, p. 3).

الشكل 1: رسم توضيحي للجودة 4.0



Source: (Liu et al., 2023, p. 3)

- ✓ الجيل الأول للجودة (الجودة 1.0): في هذه المرحلة، تم استخدام أساليب وأدوات مراقبة الجودة ذات الصلة، مثل أساليب شوارت (Shewhart) لمراقبة العمليات الإحصائية، لفحص سوء جودة العناصر المنتجة.
- ✓ الجيل الثاني للجودة (الجودة 2.0): في هذه المرحلة، تم التخلص من الاعتماد على المراقبة وفقاً لتوصية ديمينغ (Deming)، ظهرت أساليب أكثر شمولاً لتصميم الجودة في العملية لمنع مشاكل الجودة قبل حدوثها.
- ✓ الجيل الثالث للجودة (الجودة 3.1): في هذه المرحلة، ظهرت نهج إدارة الجودة الشاملة والتحسين المستمر، مثل إدارة الجودة الشاملة (TQM) والستة سيغما 6σ، لتوفير التمكين للأفراد وجعل التحسين المستمر مسؤولية الجميع.

✓ **الجيل الرابع للجودة (الجودة 4.0):** مع تحول المؤسسات نحو بيئة ذكية قابلة للتكيف، ستكون الأدوات والأساليب المتعلقة بالجودة في اعتماد متزايد على اكتشاف وتجميع سريع لمصادر البيانات الجديدة، واكتشاف الأسباب الجذرية بفعالية، والقدرة على اكتشاف رؤى جديدة حول الأفراد والمنتجات والمؤسسات.

3.2. انعكاسات تقنيات الثورة الصناعية الرابعة على الجودة 4.0:

لخصت دراسة (Gunasekaran, Subramanian, & Ngai, 2019, p. 125) العديد من الدراسات التي تناولت آثار الثورة الصناعية الرابعة على إدارة الجودة من حيث المنظور الاقتصادي والتجاري والبشري والتكنولوجي وصنع القرار، فمن الناحية الاقتصادية خفضت الثورة الصناعية الرابعة تكلفة الجودة بما في ذلك تكاليف أخذ العينات والتفتيش، وتحسين الأداء من خلال مراقبة كل من العملية والمنتجات في وقت واحد، مما مكن من ربط عيوب المنتج بعدم دقة العملية، وبالتالي مواءمة العيوب مع الأسباب الجذرية لكل منها، كما قامت بتحسين أنشطة صنع القرار المتعلقة بالجودة بدعم التدفق الفوري للبيانات والذي بدوره دعم عملية صنع القرار الواقعية، وأثرت على سرعة استجابة وتكامل سلسلة القيمة، مما عزز جودة عمليات سلسلة القيمة بأكملها بدءاً من الموردين وحتى نهاية العملاء.

صمم (Carvalho, Enrique, Chouchene, & Charrua-Santos, 2021, p. 344) جدول لربط العلاقة

بين ممارسات إدارة الجودة ، وسبع أدوات وتقنيات يمكن استخدامها لتحسين الجودة وهي:

- ✓ علم البيانات والإحصاء: جمع البيانات وتصنيفها مما يحفز التفكير النقدي.
- ✓ تمكين التقنيات: التطورات في أجهزة الاستشعار، والأجهزة المحمولة، والشبكات، وإنترنت الأشياء، والأنظمة المتكاملة، والواقع الافتراضي، والواقع المعزز، والحوسبة السحابية. كيفية إدارة الوثائق.
- ✓ البيانات الضخمة: تحليل وإدارة مجموعات ضخمة من البيانات.
- ✓ -تقنية سلاسل الكتل: تتم المعاملات النقدية فقط في حالة تحقيق أهداف الجودة.
- ✓ -الذكاء الاصطناعي: (رؤى الكمبيوتر، روبوتات المحادثة، والروبوتات) لاتخاذ القرارات المعقدة.
- ✓ -التعلم الآلي: عندما يتم استخدام الاستدلال لاتخاذ القرار، والتنبؤ، وتصفية المعلومات.
- ✓ الشبكات العصبية والتعلم العميق: التنبؤ والتعرف على الأنماط المعقدة.

الجدول 1: ممارسات إدارة الجودة لتقنيات الثورة الصناعية الرابعة

ممارسات إدارة الجودة							أدوات وتقنيات الثورة الصناعية الرابعة
التخطيط الاستراتيجي الرسمي	المعلومات والتحليل	إدارة العمليات	تقنيات القياس	مشاركة الموظفين	مشاركة الموردين	مشاركة العملاء	
X	X	X					X علم البيانات والإحصاء
X	X	X	X	X	X	X	X تمكين التقنيات
	X	X			X	X	X البيانات الضخمة

ادخال عنوان المقال

X		X		X		X	سلاسل الكتل
	X			X		X	الذكاء الاصطناعي
X	X					X	التعلم الآلي
	X	X				X	الشبكات العصبية والتعلم العميق

Source:(Carvalho et al., 2021, p. 345)

فالتنتائج التي تم الحصول عليها من الجدول تسمح للمستخدم باتخاذ قرارات مستنيرة بشأن الأدوات والتقنيات التي سيتم تطبيقها عند مواجهة ممارسات إدارة الجودة المختلفة، من أجل استخدام المعلومات من خلال تقنيات الثورة الصناعية الرابعة المتاحة لصالح هذه العملية، مما يقلل من الوقت الضائع في البحث عن أفضل التقنيات و/أو الأدوات المناسبة.

3. مميزات الجودة 4.0

يتلخص التطور الرئيسي من إدارة الجودة الشاملة نحو الجودة 4.0 في أربع خصائص: رقمنة إدارة الجودة، إدارة الجودة التنبؤية، التخصيص الشامل، وإدارة الجودة الذكية، اقترح (Liu et al., 2023, p. 10) إطاراً رباعي الأبعاد للجودة 4.0، كما هو موضح في الشكل الموالي:

الشكل 2: إطار الجودة 4.0 الثلاثي الأبعاد



Source:(Liu et al., 2023, p. 10)

ويمكن شرح تفاصيل ميزات الجودة 4.0 في النقاط التالية:

1.1. رقمنة إدارة لجودة:

ظهرت الجودة 4.0 لأول مرة من خلال إدارة جودة الرقمنة، الجودة 4.0 هي رقمنة ممارسات الجودة التقليدية وتؤكد على استخدام الأدوات الرقمية لتعزيز قدرة المؤسسة على تلبية توقعات العملاء بجودة عالية، وتعنى إدارة الجودة 4.0 رقمنة جميع المراحل الثلاث لإدارة الجودة أي جودة التصميم وجودة المطابقة وجودة الأداء وذلك باستخدام تقنيات متقدمة، وتتطلب رقمنة تكنولوجيا الجودة والعمليات والأفراد، من خلال جمع وتحليل بيانات استخدام المنتج تلقائياً في أيدي المستهلكين باستخدام الذكاء الاصطناعي، ويمكن مراقبة جودة الأداء بكفاءة ويتم إبلاغ الموردين على الفور باستهلاك المخزون لتلبية الطلب في الوقت المناسب، كما أن استخدام أجهزة الاستشعار

وتقنيات الفحص في الوقت الحقيقي والاستبعاد الفوري للمنتجات المعيبة، ليس فقط من عينة المنتجات ولكن من عدد إجمالي عناصر الصناعة، بالإضافة إلى ذلك نظراً لأن أنظمة مراقبة الجودة الذكية تعمل طوال عملية الإنتاج بأكملها، يتم تقليل تكلفة الجودة إلى الحد الأدنى حيث يتم اكتشاف عيوب الإنتاج في وقت مبكر ويتم تحليل الأسباب الجذرية وحلها في وقت مبكر.

ومن المتوقع أن تصل آثار الجودة 4.0 إلى مكانة متميزة من التميز في الأعمال والفعالية والكفاءة، وفي نهاية المطاف تحقيق رضا أعلى للعملاء (Liu et al., 2023, p. 11).

1.2. إدارة الجودة التنبؤية:

تعد إدارة الجودة التنبؤية السمة الثانية للجودة 4.0، حيث يتم جمع بيانات الجودة تلقائياً وتحليلها في الوقت المناسب، مما يؤدي إلى إدارة الجودة في الوقت المناسب. ونتيجة للجودة 4.0 فقد حلت مراقبة الجودة في الوقت الفعلي محل مراقبة الجودة التقليدية، وتسمح تقنيات الاستشعار الجديدة إلى جانب القدرات التحليلية القوية بالتنبؤ بأخطاء المنتج والعملية مسبقاً وتغيير دور الجودة من إدارة الجودة الوقائية إلى إدارة الجودة التنبؤية (Chiarini & Kumar, 2022, p. 10)، إذ يمكن مراقبة سلسلة القيمة بأكملها وتحليلها والتحكم فيها للتعرف على الأنماط غير الطبيعية في الوقت الفعلي واتخاذ التدابير المضادة اللازمة لمنع رفض المنتج، فيمكن لتقنيات الصناعة الثورية الصناعية الرابعة التحكم في سلسلة قيمة الإنتاج بناء على مراقبة البيانات وتحليلها بشكل فوري، والقضاء على جميع النفايات وتحقيق جودة عملية خالية من العيوب (Sader, Husti, & Daroczi, 2022, p. 5)، فهي تمكن الشركة من الحصول على رؤية فورية لمؤشرات الجودة، بما في ذلك فعالية الإنتاج وأداء الموردين والتصنيع الهندسي ودعم العملاء، كما يمكن للأجهزة الذكية إرسال بيانات حول استخدام المنتج وأدائه ومشاكله، مما يساهم في تحسين المنتجات المستقبلية ونتيجة لذلك سيتم التنبؤ بمشاكل الجودة في وقت مبكر، وسيتم تغيير دور العميل من كونه متلقياً إلى مساهم في سلسلة القيمة للمنتج.

1.3. التخصيص الشامل:

ميزة أخرى للجودة 4.0 هي التخصيص الشامل، حيث يشارك العملاء بشكل أكبر في التصميم والتنفيذ لإنتاج منتجات فردية لأن في الوقت الحاضر تميل المنتجات إلى أن تكون على دفعات صغيرة ذات حجم منخفض وتنوع واسع، وتدعم الجودة 4.0 نماذج الأعمال الجديدة القائمة على الإنتاج المخصص، وتقدم منتجات مخصصة تتكيف مع تفضيلات العملاء الفردية، وبفضل الثورة الصناعية الرابعة سيشارك العملاء في عملية التصنيع من خلال توفير وسائل الاتصال قبل عملية التصنيع وأثناءها وبعدها، واستناداً إلى تحليل البيانات الضخمة يمكن للشركة فهم متطلبات العملاء بشكل شامل والتنبؤ المبكر بطلب السوق، وبالتالي توفير المنتجات المناسبة في الوقت المناسب، زيادة على ذلك سيتمكن الذكاء الاصطناعي من التنبؤ باحتياجات المستهلكين بدقة وإدارة سلسلة التوريد بأكملها بدءاً من الخدمات اللوجستية الواردة إلى الإنتاج والخدمات اللوجستية الصادرة والتسويق والمبيعات والخدمات، وتتيح الجودة 4.0 تمتع العملاء بالتحكم في ما يشترونه، وعدد المنتجات المشتراة، والقدرة على تغيير

الطلبات في أي وقت أثناء الإنتاج دون تكاليف إضافية، حيث توفر المنتجات الذكية للعملاء معلومات حول المنتج واستخدامه بما يتناسب مع احتياجاتهم (Kannan & Garad, 2020, p. 845) ويتمتع العملاء بوعي أكبر وتوقعات أعلى بشأن جودة وموثوقية المنتجات مع إمكانية الوصول إلى المعلومات والتفاصيل الفنية للمنتجات، فقد تؤدي الاتجاهات في طلبات العملاء الفردية إلى المزيد من المنتجات المصنعة الفردية وزيادة تطلبات السوق بسبب تغير توقعات العملاء واحتياجاتهم.

1.4. إدارة الجودة الذكية:

السمة الرئيسية للجودة 4.0 هي إدارة الجودة الذكية المدعومة بأجهزة الاستشعار الذكية والآلات الذكية والمصانع الذكية في نظام إنتاج متكامل، حيث يتم تجهيز التصنيع في المصنع الذكي بالكامل بأجهزة الاستشعار والأنظمة المستقلة، يمكن لأجهزة الاستشعار الذكية تحديد ومراقبة وجمع جميع أنواع البيانات المرتبطة بالمواد الخام والعمل قيد التشغيل والمنتجات النهائية، وبالتالي يمكن للشركات تطبيق التحليلات للتنبؤ بمشاكل الجودة ومتطلبات الصيانة، حيث تكون الآلات الذكية ذاتية التعلم ومتصلة لجمع البيانات وتحليلها، واتخاذ قرارات ذاتية ومستقلة، وإدارة الإنتاجية بطريقة موضوعية وموجهة نحو البيانات، باستخدام المنهجيات الجديدة لئتم إخطار إشارات سلامة الماكينة مسبقاً، مما يقلل وقت التوقف عن العمل ويتيح الإصلاح في الوقت المناسب.

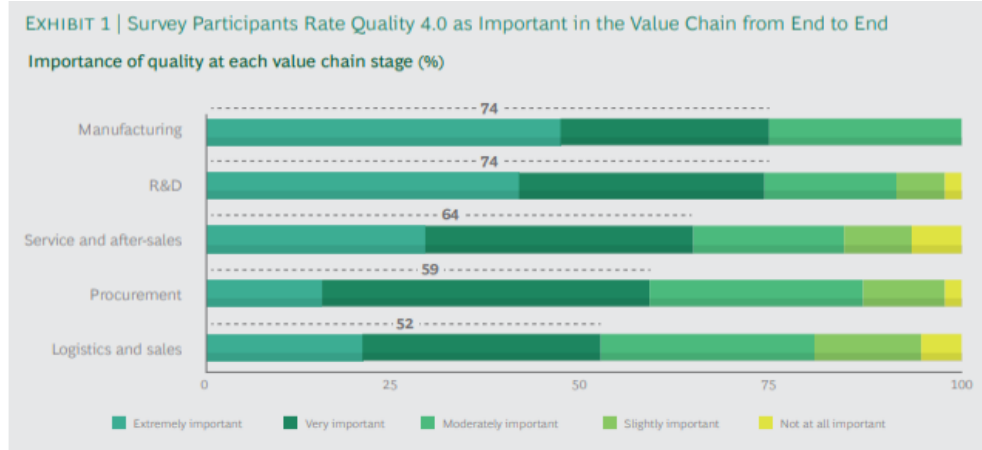
كما يعد جمع ومعالجة البيانات السريعة والفعالة من مصادر متعددة من العناصر الأساسية للجودة 4.0، حيث تتكون المنتجات ذكية من خلال حمل المعلومات والتواصل مع الموظفين ونقل المعلومات مرة أخرى إلى أنظمة التصنيع للتصميم وتحسين العمليات (Kannan & Garad, 2020, p. 845)، كما يمكن للمصممين التنبؤ بمتطلبات العملاء واستخدام الصيانة من خلال تتبع ومراقبة أداء المنتج، حيث يتم تغيير دور العمال في الجودة 4.0 من كونهم "مشغلي الآلات" إلى الإشراف على العمل الذي تقوم به الآلات، يتم أيضاً تغيير محتوى العمل إلى وضع أكثر تنسيقاً، حيث يجب أن يكون العمال ماهرين في اتخاذ القرار وحل المشكلات.

4. تأثير تطبيقات الجودة 4.0 على سلسلة القيمة

في عام 2019، قامت شركة بوسطن للاستشارات الإدارية (BCG)، بالتعاون مع جمعية التحكم في الجودة (ASQ) والجمعية الألمانية للجودة (DGQ)، بإجراء استطلاع عبر الإنترنت لتقييم الوضع الحالي والتأثير المستقبلي لمبادرات الجودة 4.0، شمل المشاركون في الاستطلاع كبار التنفيذيين ومديري الجودة من 221 شركة تمثل 18 صناعة إنتاجية في قطاعات رئيسية: السلع الاستهلاكية، والسلع الصناعية، وتكنولوجيا الطب الحيوي والصيدلة، كان هدف الاستطلاع تقييم آراء المشاركين حول الجودة 4.0 آنذاك وفي عام 2024، بحيث أقر المشاركون في الاستطلاع بأهمية الجودة 4.0 في جميع مراحل سلسلة القيمة (حسب ما هو موضح في الشكل الموالي) ومع ذلك، فإنهم يعتبرون التصنيع والبحث وتطوير المجالات التي ستستفيد أكثر من تحسين الجودة، وفوائد تطبيق الجودة 4.0 في البحث والتطوير لتحسين التصميم وتضمين الجودة في المنتجات الجديدة، ويفهمون الفرصة للحصول على التحسينات المتعلقة بالجودة في خطوات سلسلة القيمة التي يُنظر إليها تقليدياً على أنها

خارج نطاق وظيفة الجودة مثل الخدمات اللوجستية والمبيعات (Küpper, Knizek, Ryeson, & Noecker, 2019, p. 3)

الشكل 3: أهمية الجودة 4.0 في سلسلة القيمة



Source: (BCG, ASQ, & DGQ, 2019, p. 7)

4.1 التصنيع: يمكن للشركات استخدام التقنيات الرقمية بما في ذلك أنواع مختلفة من أجهزة الاستشعار لمراقبة التحليل والكشف والتنبيه بقضايا جودة العملية والمنتج للوصول إلى مستوى أعلى من رؤية التصنيع، ويمكن لمثل هذا التنفيذ أن يقلل من الوقت والجهد وتكلفة التصنيع، ويعزز الدقة، ويساعد العمال على أداء عملهم بشكل أفضل (Küpper et al., 2019, p. 5).

4.2 البحث والتطوير: يمكن للجودة 4.0 أن توسع نطاق أنشطة البحث والتطوير لتشمل وظائف أخرى كانت خارج النطاق من قبل، مثل الخدمات اللوجستية والمبيعات التي تشارك في سلسلة القيمة، علاوة على ذلك أدت تطبيقات المحاكاة الجديدة إلى تحسين اختبارات ما قبل الإنتاج، من خلال محاكاة اختبار المنتجات افتراضياً لضمان أعلى جودة في عملية التصميم والتصنيع قبل التنفيذ (Küpper et al., 2019, p. 5) وسهلت منصات التعاون الجديدة التواصل مع العملاء وجعلت فهم السوق ومواقف العملاء أفضل، وبالتالي تصبح أكثر استجابة لتغيرات السوق واحتياجات العملاء المتغيرة.

4.3 الخدمات ما بعد البيع (قابلية الخدمة): قابلية الخدمة هي جودة الخدمة بعد البيع، بما في ذلك السرعة والمجاملة واللباقة وسهولة التعامل مع الشكاوى (Jang, Seo, Lee, & Kim, 2019, p. 203) بدأت العديد من الشركات المصنعة مؤخراً في إرفاق أجهزة استشعار وأجهزة تقوم بجمع وتوصيل البيانات المتعلقة بأداء منتجاتها في الميدان، يتم جمع هذه البيانات وتحليلها في شركات التصنيع لمعرفة المزيد عن أداء منتجاتها وظروف تعطلها، وبالتالي تعزيز تصميمها أو وظائفها، وفي المقابل يمكن للعملاء أيضاً الحصول على تعليمات تشغيلية لتحسين تجربتهم في تشغيل الماكينة، أو عن طريق إبلاغ الفنيين بالمشكلات والحلول الموصى بها. ستعمل هذه التجربة على تحسين رضا العملاء من ناحية وستعزز جودة المنتجات على المدى الطويل.

4.4 المشتريات: سمحت سلسلة القيمة بأكملها بمستوى أعلى من التعاون والتنسيق بين جميع الأطراف في سلسلة التوريد، يمكن ربط الموردين وإشراكهم في عملية التصنيع، كما يمكن تتبع كميات المواد والعيوب والمشاكل

الناجمة عن مشكلات جودة الموردين والإبلاغ عنها للموردين في الوقت الفعلي، يمكن إدارة مشكلات جودة الموردين من خلال لوحات المعلومات وتحديد مؤشرات أداء الجودة.

4.5. الخدمات اللوجستية والمبيعات (قابلية التوسع): قابلية التوسع ضمن الجودة 4.0 هي القدرة على التنبؤ بتنبؤات دقيقة وسريعة الاستجابة للطلب المستقبلي (Jang et al., 2019, p. 203) يمكن أن توفر تحليلات البيانات الضخمة توقعات دقيقة لسيناريوهات المبيعات والإنتاج كما يمكن أن تكون الشركة أكثر ليونة واستجابة للطلب، وتبلغ الموردين بتقدير الطلب لضمان الإنتاج السلس دون تأخير (Küpper et al., 2019, p. 7)، فلم تعد أدوات التحليل البسيطة التي تستخدم جداول البيانات البسيطة مفيدة في أنظمة الإنتاج المعقدة، حيث تكون المنتجات والعمليات قابلة للتخصيص والتغيير، نظراً لأن الحفاظ على الإنتاج الضخم أمر حيوي للحفاظ على الميزة التنافسية للشركة في الأسواق.

اكتسبت الجودة 4.0 تأثيراً أكبر على سلسلة التوريد، بمجرد إثارة مشكلة الجودة، يتم اتخاذ الإجراءات التصحيحية على المستويين الجزئي والكلي.

4.6. المبيعات: يمكن للمعدات الموجودة في الميدان توصيل البيانات المتعلقة بحالتها إلى الشركة المصنعة لها في الوقت الفعلي عبر إنترنت الأشياء، من خلال تحليل البيانات يمكن للشركة المصنعة إنشاء رؤية تعمل بمثابة تحذير مبكر للأعطال المحتملة المتعلقة بجودة المنتج والتي قد تؤدي إلى تكاليف الضمان، ويمكنها أيضاً تعزيز دعم العملاء من خلال تشخيص مشكلات الجودة عن بعد، فعلى سبيل المثال تقوم الشركة المصنعة للمعدات بتخزين البيانات الميدانية مركزياً وتستخدم نظام الذكاء الاصطناعي لتحديد الأعطال المحتملة قبل حدوثها، مما يمكن للفنيين لديها من إصلاح المشكلات قبل حدوث العطل، وبالمثل يمكن للفنيين الميدانيين استخدام الحلول الرقمية المحمولة مثل برامج الخدمة الميدانية لتعزيز الجودة الوقائية وترقية تجربة العملاء. تساعد مثل هذه الأدوات على تحسين جودة الخدمة من خلال منح الفنيين إمكانية الوصول إلى تواريخ المعدات والمعلومات حول نقاط الفشل الأخيرة وأدلة الخدمة التي تعمل على تبسيط أوقات التشخيص ومعالجة عروض الأسعار.

وأضاف (Sader et al., 2022, p. 12) **عملية اتخاذ القرار** باعتبار أن اتخاذ القرار الواقعي هو من صميم إدارة الجودة، فيتم دعم عملية اتخاذ القرار ضمن نموذج الجودة 4.0 من خلال التدفق الفوري للمعلومات التحليلية، والتنبؤ بالسيناريوهات المختلفة واختيار الأمثل منها، فيتم عرض مؤشرات الجودة على كل مستوى من مستويات الإدارة، وفي كل مرحلة من مراحل الإنتاج، ولكل وظيفة في الشركة، لذلك فإن التنبؤ المبكر بحالات عدم المطابقة يمكن أن يخفف تكلفة الجودة إلى الحد الأدنى.

5. خاتمة:

في ختام هذه الدراسة، يظهر بوضوح أن تكنولوجيا الجودة 4.0 تلعب دوراً حيوياً في تحسين سلسلة القيمة في عصر الثورة الصناعية الرابعة، من خلال استكشاف التأثيرات الإيجابية على كفاءة الإنتاج وجودة المنتجات وتكلفة العمليات، كما أن مواكبة هذه التطورات التكنولوجية وفهم كيفية استخدام تكنولوجيا الجودة في سلسلة القيمة يساهم بشكل فعال في تعزيز التنافسية وتحقيق التكامل الأمثل للعمليات.

النتائج: توصلنا من خلال هذه الدراسة إلى جملة من النتائج نلخصها فيما يلي:

- ✓ تنوعت ممارسات إدارة الجودة لتقنيات الثورة الصناعية الرابعة وشملت علم البيانات والإحصاء، البيانات الضخمة، سلاسل الكتل، الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي؛
 - ✓ من أبرز ميزات الجودة 4.0: رقمنة إدارة الجودة، إدارة الجودة التنبؤية، التخصيص الشامل، وإدارة الجودة الذكية؛
 - ✓ إن التأثير البارز للجودة 4.0 على سلسلة القيمة يظهر في تحسين عمليات التصنيع وخدمات ما بعد البيع من خلال الاستفادة من التقنيات الرقمية وأجهزة الاستشعار، ويعزز هذا التطور دقة العمليات ويقلل من التكلفة والوقت المستغرق في التصنيع؛
 - ✓ في مجال البحث والتطوير تعزز الجودة 4.0 استخدام تطبيقات المحاكاة لتحسين اختبارات ما قبل الإنتاج وهذا ما يحسن جودة التصميم والتصنيع؛
 - ✓ إن تحليل البيانات الضخمة في الخدمات اللوجستية والمبيعات يساهم في حل مشكلات الجودة في وقت مبكر مما يعزز التفاعل مع العملاء ويحسن تجربتهم.
- التوصيات:** بناءً على نتائج هذه الدراسة نقترح مجموعة من التوصيات لتحسين تأثير الجودة 4.0 على سلسلة القيمة:
- ✓ تكامل تكنولوجيا الجودة في استراتيجيات سلسلة القيمة: ضرورة تكامل تكنولوجيا الجودة 4.0 في إطار استراتيجيات سلسلة القيمة، يتعين على الشركات تحديد النقاط الرئيسية في سلسلتهم القيمة التي يمكن تعزيزها من خلال تكنولوجيا الجودة؛
 - ✓ تعزيز التدريب وتأهيل العاملين: يجب تعزيز برامج التدريب وتأهيل العاملين لفهم واعتماد تكنولوجيا الجودة الجديدة، ذلك يشمل التفاعل مع أنظمة الذكاء الاصطناعي والتحليلات التنبؤية لضمان الفهم الكامل والاستفادة القصوى؛
 - ✓ تعزيز أمن البيانات وحماية المعلومات: ضرورة تعزيز أمن البيانات وحماية المعلومات في ظل استخدام تكنولوجيا الجودة 4.0، يجب وضع سياسات وإجراءات فعالة لمنع التسريبات وحماية سرية البيانات؛
 - ✓ اعتماد استراتيجيات التحليل التنبؤي: اعتماد استراتيجيات تحليل التنبؤ في عمليات إدارة الجودة، إذ يمكن لهذه الاستراتيجيات تحسين توقعات الجودة وتمكين اتخاذ قرارات مستنيرة؛
 - ✓ تعزيز التفاعل مع العملاء: تعزيز التفاعل مع العملاء باستخدام تكنولوجيا الجودة 4.0، سواء عبر تحسين خدمات العملاء أو تكامل ملاحظات العملاء في عمليات التحسين؛
 - ✓ استكشاف فرص الابتكار المستدام: يجب على الشركات استكشاف فرص الابتكار المستدام باستخدام تكنولوجيا الجودة 4.0، والتركيز على تقليل البصمة البيئية وتحسين استدامة العمليات.

6. قائمة المراجع:

1. طروبيا، ن. (2020). تكنولوجيا البلوك تشين وتأثيراتها على المستقبل الرقمي لمعاملات الاقتصادية—الفرص والتحديات-. *مجلة أبحاث اقتصادية معاصرة*, 03(01), 98–109.
2. BCG, ASQ, & DGQ. (2019). *Quality 4.0 Takes More Than Technology*. Boston Consulting Group.
3. Carvalho, A. V., Enrique, D. V., Chouchene, A., & Charrua-Santos, F. (2021). Quality 4.0: An Overview. *Procedia Computer Science*, 181, 341–346. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.176>
4. Chiarini, A., & Kumar, M. (2022). What is Quality 4.0? An exploratory sequential mixed methods study of Italian manufacturing companies. *International Journal of Production Research*, 60(16), 4890–4910. <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1942285>
5. 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>
6. Glogovac, M., Ruso, J., & Maricic, M. (2022). ISO 9004 maturity model for quality in industry 4.0. *Total Quality Management & Business Excellence*, 33(5–6), 529–547. <https://doi.org/10.1080/14783363.2020.1865793>
7. Gunasekaran, A., Subramanian, N., & Ngai, W. T. E. (2019). Quality management in the 21st century enterprises: Research pathway towards Industry 4.0. *International Journal of Production Economics*, 207, 125–129. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.09.005>
8. Jacob, D. (2017). *QUALITY 4.0 IMPACT AND STRATEGY HANDBOOK* (LNS Research).
9. Jang, J. M., Seo, S. J., Lee, Y., & Kim, Y. S. (2019). Study on Improving the Quality of Clothing Companies: Focusing on Kutesmart using Quality 4.0 Matrix. *Journal of Korean Society for Quality Management*, 47(1), 199–211. <https://doi.org/10.7469/JKSQM.2019.47.1.199>
10. Kannan, K. S. P. N., & Garad, A. (2020). Competencies of quality professionals in the era of industry 4.0: A case study of electronics manufacturer from Malaysia. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 38(3), 839–871. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-04-2019-0124>
11. Küpper, D., Knizek, C., Ryeson, D., & Noecker, J. (2019). *Quality 4.0 Takes More Than Technology*.
12. Liu, H.-C., Liu, R., Gu, X., & Yang, M. (2023). From total quality management to Quality 4.0: A systematic literature review and future research agenda. *Frontiers of Engineering Management*, 10(2), 191–205. <https://doi.org/10.1007/s42524-022-0243-z>
13. Mustafa Cem, A., & Bulent, E. (2018, November). *WHAT IS QUALITY 4.0 IN THE ERA OF INDUSTRY 4.0?* 31–34. Center for Quality, Faculty of Engineering, University of Kragujevac.
14. Ngo, Q. H., & Schmitt, R. H. (2016). A Data-based Approach for Quality Regulation. *Procedia CIRP*, 57, 498–503. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.086>
15. Sader, S., Husti, I., & Daróczy, M. (2019). Industry 4.0 as a Key Enabler toward Successful Implementation of Total Quality Management Practices. *Periodica Polytechnica Social and Management Sciences*, 27(2), 131–140. <https://doi.org/10.3311/PPso.12675>
16. Sader, S., Husti, I., & Daróczy, M. (2022). A review of quality 4.0: Definitions, features, technologies, applications, and challenges. *Total Quality Management & Business Excellence*, 33(9–10), 1164–1182. <https://doi.org/10.1080/14783363.2021.1944082>
17. Slavko, A. (2019). *SOCIAL ORIENTED QUALITY: FROM QUALITY 4.0 TOWARDS QUALITY 5.0*. 397–404.