مجلة البحوث المالية والتجارية
المجلد (23) – العدد الثاني – إبريل 2022

الصناعة 4.0

العوامل المحفزة وعوائق التطبيق

بمنظمات الأعمال الصناعية المصرية

Industry 4.0
Drivers and Barriers of Implementation
in Egyptian Industrial Business Organizations

د.أيمن محمد أمين محسب
مدرس إدارة الأعمال
كلية تكنولوجيا الإدارة ونظم المعلومات
جامعة بورسعيد

رابط المجلة: https://jsst.journals.ekb.eg/

المستخلص

هدف البحث إلى استكشاف الوضع الحالي لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 في المنظمات الصناعية المصرية، وذلك عن طريق تحديد العوامل المحفزة وعوائق تطبيق هذه التقنيات الصناعية المتقدمة، بالإضافة لتقديم مجموعة من الإرشادات لتعزيز تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 من قِبل المنظمات الصناعية المصرية.تم إجراء البحث على عدد 162 مصنع من المصانع العاملة بمختلف القطاعات الصناعية المصرية، بالاعتماد على قائمة الاستبيان كأداة لجمع البيانات، حيث اعتمد اختبار فروض البحث على أسلوب نمذجة المعادلة الهيكلية المعتمدة على طريقة المربعات الصغرى الجزئية القائمة على التباين لتحليل البيانات من خلال التطبيق عبر برنامج Smart-PLS، إذ أن هذا الأسلوب هو الأكثر ملائمة لخصائص هذا البحث لاعتبارات حجم العينة وطبيعة البيانات.أشارت نتائج البحث إلى أن المصنعين المصريين ما زالوا يستخدمون تقنيات إنتاج قديمة، حيث كانت "تقنية المحمول (أجهزة لوحية، هواتف محمولة، أجهزة GPS، أجهزة حاسبات محمولة)" هي التقنية الأكثر تطبيقًا من قبل الشركات المصرية، تلاها "تحليلات الأعمال" ثم "الحوسبة السحابية"، علاوةً على ذلك، فإن أحدث التقنيات التي ظهرت في السنوات القليلة السابقة (بداية من العقد الثاني من الألفية الجديدة) كانت تعتبر الأقل تطبيقاً من قِبل منظمات الأعمال الصناعية المصرية. أظهرت النتائج أيضاً أن تطبيق تلك التقنيات، مدفوع بمتطلبات العميل، وتحسين وقت الوصول للأسواق لخدمة العميل، كما أظهر البحث أيضاً أن تبني استرتيجيات واعية لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 له تأثير قوي على اعتماد تقنيات الصناعة 4.0 الأكثر تقدمًا لأغراض الإنتاج ، كما أشارت نتائج البحث إلى أن المنظمات الصناعية المصرية تواجه نقص في الموارد المالية ونقص المعرفة حول تلك التقنيات، والحاجة إلى مزيد من التعلم المستمر.

الكلمات المفتاحية: الصناعة 4.0 ، المنظمات الصناعية المصرية ، محفزات وعوائق الصناعة 4.0

Abstract

This research aimed to explore the current status of the implementation of Industry 4.0 technologies in the Egyptian industrial organizations, by identifying the drivers and barriers to the implementation of these advanced industrial technologies, in addition to providing a set of guidelines to enhance the implementation of Industry 4.0 technologies by the Egyptian industrial organizations. The research was applied on 162 factories in various Egyptian industrial sectors, relying on the questionnaire as a tool for data collection, where the research hypothesis test was based on the method of structural equation modeling based on the partial least squares method based on variance to analyze data through "Smart-PLS" program, as this method is the most suitable for the characteristics of this research due to considerations of sample size and nature of data. The results of the research indicated that Egyptian manufacturers are still using old production technologies, as "mobile technology (tablets, mobile phones, GPS devices, laptops)" was the most applied technology by Egyptian companies, followed by "business analytics" and then " Cloud computing", moreover, the latest technologies that appeared in the previous few years (beginning with the second decade of the new millennium) were considered the least applied by the Egyptian industrial business organizations. The results also indicate that the implementation of these technologies, driven by customer requirements, and improving the time to reach the markets to serve the customer. The results of the research also indicated that Egyptian industrial organizations face a lack of financial resources, a lack of knowledge about these technologies, and need for more continuous learning.

Key words: Industry 4.0, Egyptian industrial organizations, Drivers and barriers of industry 4.0

أولاً: مقدمة

أدت التغيرات السريعة في بيئة الأعمال بسبب خصائصها الفريدة، وزيادة المنافسة الدولية بين الشركات، وتقلص الأسواق، وانتشار تكنولوجيا المعلومات من خلال المنظمات إلى الضغط على الشركات لمراجعة وتقويم استراتيجية التصنيع التقليدية الخاصة بها باستمرار.

في الواقع، هناك بحث مستمر عن طرق جديدة لتحقيق ميزة تنافسية من خلال تقنيات التصنيع الجديدة، لذلك، فإن زيادة المعرفة والتنسيق لعمليات الشركة التي تتخطى وظائف التصنيع الخاصة بها أصبح مطلبًا رئيسيًا للعديد من الشركات التي تسعى إلى الحصول على ميزة تنافسية (Salaheldin & Eid, 2007).

يوجد أيضاً مجموعة من العوامل الخارجية والداخلية بما في ذلك النمو السكاني وضعف البنية التحتية والديون الخارجية وزيادة التفاوتات بين الأفراد والجماعات والمناطق قد حالت دون تحقيق العديد من البلدان النامية تحسينات اجتماعية واقتصادية كبيرة، لذلك حددت مصر قطاع التصنيع باعتباره مجالًا وثيق الصلة بتنميتها الاقتصادية (Salaheldin & Eid, 2007).

حيث تهدف "استراتيجية التنمية الصناعية" إلى تطوير القاعدة التكنولوجية والصناعية لنشاط التصنيع في مصر، إذ أن الهدف المعلن هو تحقيق تحول تدريجي في الهيكل الصناعي من الأنشطة القائمة على الموارد وأنشطة التكنولوجيا المنخفضة إلى الصناعات المتوسطة والعالية تكنولوجياً (استرتيجية تنمية الصناعة والتجارة، وزارة التجارة والصناعة، 2016 – 2020).

يعتبر التغير التكنولوجي أحد المحركات الرئيسية للنمو طويل الأجل. ومن المرجح، على مدى العقود المقبلة، أن تؤدي الابتكارات الجذرية مثل شبكة الإنترنت التي تعمل عبر الأجهزة المحمولة Mobile Internet، إنترنت الأشياء Internet of Things القائم على ترابط الأجهزة، والحوسبة السحابية Cloud Computing إلى ثورة في عمليات الإنتاج وتحسين مستويات المعيشة، لا سيما في البلدان النامية. وإن الهدف التاسع للتنمية المستدامة، الذي تم اعتماده في 26 سبتمبر 2015، والذي ينص على "إقامة بنية تحتية قادرة على الصمود، وتحفيز التصنيع الشامل والمستدام، وتشجيع الابتكار"، يعني أن التصنيع لن يحدث دون التكنولوجيا والابتكار وأن التنمية لن تحدث دون التصنيع (تقرير التنمية الصناعية، منظمة الأمم المتحدة للتنمية الصناعية، 2016).

يؤكد الواقع العملي أن التكنولوجيا تزيد كفاءة العمليات الإنتاجية وبالتالي ترفع من القدرات التنافسية للبلدان وتؤدي إلى الحد من أوجه الضعف التي تجعلها عرضة لتقلبات السوق (تقرير التنمية الصناعية، منظمة الأمم المتحدة للتنمية الصناعية، 2016).

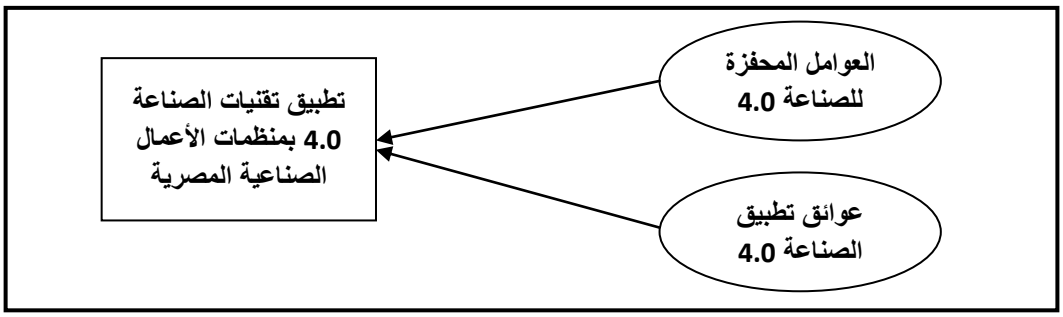
وتمثل الثورة الصناعية الرابعة، المعروفة باسم الصناعة 4.0 "Industry 4.0" رؤية لمستقبل الإنتاج، حيث أن المجالين المادي والافتراضي مترابطان بعمق ويتم استخدام التطورات التكنولوجية الحديثة (مثل الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء) بالكامل لتحسين خلق القيمة الاقتصادية (Utikal *et al.*, 2019)، وبالتالي أصبح من الضرورة فهم مفهوم الصناعة 4.0 وآليات تطبيق تقنياتها.

بالإضافة إلى فهم مفهوم الصناعة 4.0، من المهم مناقشة العوامل التي قد تشجع أو تحفز المنظمات على التحرك نحو تطبيق هذه التقنيات، حيث أدت التغييرات المستمرة على المستوى العالمي إلى مجتمع متشابك، مما كان له أثر على الأعمال التجارية، والذي أدى بدوره أيضًا إلى إحداث عدد من التغييرات للمنظمات الصناعية (Bauer *et al.*, 2015).

علاوة على مناقشة العوامل المحفزة لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0، فإنه من الضروري أيضاً مناقشة عوائق تطبيقها إذ لا يزال أمام المنظمات طريق طويل يجب عبوره من أجل التنفيذ الناجح وفي الوقت المناسب للمفاهيم الرقمية، حيث سيحتاج هذا التغيير الرقمي إلى تجاوز العديد من العقبات قبل أن تتبناه جميع المنظمات بنجاح (kamble *et al.*, 2018).

من هنا نجد أن التصنيع المصري يحتاج بالضرورة إلى الحصول على تقنيات عالية المستوى ليواكب المستوى العالمي من أجل المنافسة في الأسواق العالمية.

وبالتالي فإنه من المهم بمكان، دراسة العوامل المحفزة التي من شأنها توجيه المنظمات الصناعية بمصر إلى تطبيق تقنيات الصناعة 4.0، وكذلك العوائق التي تواجه تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 في منظمات الأعمال الصناعية بالإضافة إلى معرفة تأثير هذه العوامل على مدى تطبيق المنظمات الصناعية المصرية لتلك التقنيات، ويوضح شكل (1) الإطار الفكري للبحث.



شكل (1)

الإطار الفكري للبحث (متغيرات البحث)

ثانياً: البحوث السابقة :

1 الصناعة 4.0 (المفهوم، الأهمية، الأهداف، والعناصر الرئيسية)

ظهر تعبير الصناعة 4.0 لأول مرة فى ألمانيا عام 2011، عندما إستخدمه Kagermann Henning رئيس الأكاديمية الألمانية القومية للعلوم والهندسة "The German National Academy of Science and Engineering (Acatech)" وذلك لوصف مبادرة صناعية للحكومة الألمانية فى ذلك الوقت (Geissbauer *et al.*, 2016).

ومنذ ذلك الحين تناول العديد من الباحثين بمزيد من الاهتمام مفهوم وتقنيات الصناعة 4.0، نظرًا لانتشار الاعتماد على تقنيات المعلومات والاتصالات على نطاق أوسع بكثير من ذي قبل في جميع المجالات وخاصةً مجال التصنيع.

فقد عُرّفت الصناعة 4.0 بأنها "المعالجة الذكية، في الوقت الحقيقي والربط الأفقي والرأسي بين الأشخاص والآلات والأشياء وتقنيات المعلومات والاتصالات بغرض الإدارة الديناميكية للأنظمة المعقدة" (Bauer *et al.*, 2014, p.18).

بينماعرّفها آخرون بأنها "التكامل التقني للأنظمة السيبرانية الفيزيائية في التصنيع واللوجستيات واستخدام إنترنت الأشياء والخدمات في العمليات الصناعية، بما له من آثار على خلق القيمة ونماذج الأعمال والخدمات النهائية وتنظيم العمل" (Kagermann *et al.*, 2013, p.14).

وقد تم مناقشة الصناعة 4.0 بالمنتدى الاقتصادي العالمي عام 2016 في إطار الثورة الصناعية الرابعة إذ تم توضيح أن الصناعة 4.0 هي (تطبيق تقنيات التشغيل الآلي في الصناعة) والتقليل من عدد الأيدي العاملة فيها، بحيث ينحصر دور الانسان على الاشراف، ويعتمد ذلك على الجمع بين العديد من الابتكارات الرئيسية في التكنولوجيا الرقمية، مثل الروبوتات المتقدمة، الذكاء الاصطناعي، أجهزة الاستشعار المتطورة، التكنولوجيا البيولوجية، إنترنت الأشياء، الحصول على البيانات والتحليلات، الطباعة ثلاثية الأبعاد، البرمجيات كخدمة وغير ها من نماذج الأعمال الجديدة، كالمنصات التي تستخدم الخوارزميات لتوجيه السيارات (بما في ذلك أدوات الملاحة، والمركبات ذاتية القيادة) ودمج كل هذه العناصر في سلسلة قيمة عالمية قابلة للتشغيل المتبادل، تتقاسمها العديد من الشركات في العديد من البلدان (Schwab, 2017).

وقد بيّن Zezulka *et al.* (2016)، أن مصطلح الصناعة 4.0 يستخدم لثلاثة عوامل أساسية: (1) رقمنة الشبكات وتكاملها، (2) رقمنة المنتجات والخدمات، (3) تقديم نماذج سوق جديدة، إذ أن هذه العناصر مترابطة بشكلٍ متبادل.

وفقًا لكل من Thramboulidis (2015)، Lee *et al.* (2015)، يتيح تطبيق الأنظمة المتصلة والمدمجة مع الحلول البرمجية إمكانية التحكم في الإنتاج ومراقبته من خلال معالجة وتحليل المعلومات المستخرجة من عملية الإنتاج، وهو ما يشير إلى أهمية العائد من تطبيق تقنيات الصناعة 4.0.

كما أكد Ghobakhloo and Azar (2018) على دور اللامركزية وتخصيص المنتج في الصناعة 4.0. تدعم تقنيات الصناعة 4.0 بشكلٍ عام عملية اتخاذ القرار وبالتالي تساهم بشكل كبير في زيادة الإنتاجية (Zhong *et al.*, 2017).

قد أوضح Masood and Sonntag (2020) أن أهداف الصناعة 4.0 تتمثل في توفير التخصيص الشامل Mass Customization للمنتجات المصنعة باستخدام تكنولوجيا المعلومات؛ إجراء تكيف آلي ومرن لسلسلة الإنتاج ؛ تتبع الأجزاء والمنتجات ؛ تسهيل الاتصال بين الأجزاء والمنتجات والآلات ؛ تطبيق نماذج التفاعل بين الإنسان والآلة ؛ تحقيق تحسين الإنتاج المدعوم بإنترنت الأشياء في المصانع الذكية ؛ وتقديم أنواع جديدة من الخدمات ونماذج الأعمال للتفاعل في سلسلة القيمة.

قاما كل من Posada *et al.* (2015)، Roblek *et al.* (2016) بتحديد العناصر الخمسة الرئيسية للصناعة 4.0 على النحو التالي: (1) رقمنة الإنتاج وتحسينه وتخصيصه ؛ (2) الأتمتة والتكيف؛ (3) التفاعل بين الإنسان والآلة ؛ (4) خدمات ومخازن ذات قيمة مضافة ؛ (5) تبادل أوتوماتيكي للبيانات والاتصال.

بينما حدد Hermann *et al.* (2015) أربعة عناصر رئيسية في الصناعة 4.0: الأنظمة الفيزيائية السيبرانية، وإنترنت الأشياء، وإنترنت الخدمات، والمصانع الذكية.

كما حدد Perales *et al.* (2018) السمات الرئيسية للصناعة 4.0 على أنها المحاكاة الافتراضية وقابلية التشغيل البيني والأتمتة والمرونة والتوافر في الوقت الفعلي وتوجيه الخدمة وكفاءة الطاقة.

كما أوضح Genest and Gamache (2021) أن الهدف المستقبلي للصناعة 4.0 هو الحصول على نتائج موثوقة لتزويد الشركات الصناعية بدليل تفصيلي لتحسين استعدادها الرقمي وبالتالي البدء في التحول نحو الصناعة 4.0، إذ سيسمح هذا الدليل للشركات الصناعية بتطبيق تقنيات جديدة وتمكينها من زيادة إنتاجيتها، وبالتالي سيؤدي ذلك فيما بعد إلى زيادة الاستجابة لطلبات تخصيص العملاء والسماح للشركات بالبقاء والقدرة على المنافسة في الأسواق.

2 عوائق تطبيق تقنيات الصناعة 4.0

أوضح كل من Geissbauer *et al.* (2016)، Kagermann *et al.* (2013)، Walendowski *et al.* (2016)، أن عدم وجود قوى عاملة مؤهلة تمثل أهم معوقات تطبيق تقنيات الصناعة 4.0.

وقد اتفق كل من Adolph *et al.* (2014)، Erol *et al.* (2016)، Shamim *et al.*, (2016)، Karre *et al.* (2017)، Müller and Voigt (2017)، Kiel et al. (2017) على أن أحد التحديات الرئيسية التي تواجه تنفيذ الصناعة 4.0 هو الافتقار إلى القوى العاملة الماهرة، ومتطلبات إعادة تدريب الموظفين لملاءمة الظروف المتغيرة. كما أن هناك حاجة في المستقبل، إلى طرق عمل جديدة، والتي قد يكون لها آثار إيجابية أو سلبية على الموظفين (Smit *et al.*, 2016)، حيث يرى Bauer *et al.* (2015) أن ظروف العمل المتغيرة قد تؤدي إلى صراعات في منظمات الأعمال (Horváth & Szabó, 2019).

أشار كل من Erol *et al.* (2016)، Kiel *et al.* (2017)، Müller and Voigt (2016) إلى أن نقص الموارد المالية يمثل أيضًا عقبة كبيرة أمام التطبيق (Horváth & Szabó, 2019). حيث يرى Walendowski *et al.* (2016) أن عدم وجود ربحية قصيرة الأجل للاستثمار تمثل عائقاً أمام تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 (Stentoft *et al.*, 2019).

وجد Voigt and Müller (2016) أن الدرجات المنخفضة من التوحيد القياسي، وضعف فهم التكامل والمخاوف بشأن أمن البيانات يمكن أن يعيق أيضًا تبني تطبيق تقنيات الصناعة 4.0. وقد ناقش Jiang *et al.* (2020) قدرة الشركات على اكتساب المعرفة وقدرتها على التوحيد القياسي للتكنولوجيا في إطار الصناعة 4.0.

وقد تم تناول قضية أمن البيانات من خلال مجموعة من الدراسات McKinsey (2016) Cimini *et al.* (2017)، Kiel *et al.* (2017)، حيث أكدت هذه الدراسات على المخاوف بشأن الأمن السيبراني وملكية البيانات، وقد ناقش Weber and Studer (2016) أيضًا القضايا القانونية التي تؤثر على الأمن السيبراني، إذ أشار Kovács (2017) إلى أن انتشار التقنيات الجديدة يعني أن المخاوف بشأن المعالجة الآمنة للمعلومات والبيانات الخاصة من المتوقع أن تتفاقم في المستقبل.

كما تشير دراسة أجرتها مؤسسة McKinsey & Company (2016) إلى أن الاتصالات المكثفة التي تتطلبها مشاريع الصناعة 4.0، وبالتالي إدخال تقنيات جديدة، قد تتأثر بشكل كبير

بصعوبة التنسيق عبر الوحدات التنظيمية. وقد وجدت دراسة koch *et al.* (2014) أن العديد من الشركات لم تقم بعد بتطوير دراسات الجدوى التجارية التي تدعم بوضوح الحاجة إلى الاستثمار في هندسة البيانات والأنظمة المطلوبة لإدخال تطبيقات الصناعة 4.0. هذا يخلق حاجزًا إضافيًا أمام اعتماد الصناعة 4.0. تم استخلاص استنتاجات مماثلة من قِبل Basl (2017)، الذي أشار إلى أن العديد من الشركات ليست لديها رؤية واضحة بشأن فوائد استخدام تقنيات الصناعة 4.0.

وقد أوضح تقرير Automation Alley (2017) أنه من الضروري أيضًا التأكيد على دور الثقافة التنظيمية في التحول نحو تطبيق تقنيات الصناعة 4.0، واتفق كل من Vey *et al.* (2017) و von Leipzig *et al.* (2017)على أن دور الثقافة التنظيمية لا يتم تحديده بوضوح عادةً، على الرغم من أن إدارة المقاومة التنظيمية وتحقيق القبول الثقافي للابتكارات يعد بشكلٍ عام مهمة ذات أولوية خلال مشاريع الصناعة 4.0.

ويمكن للباحث تقسيم مجموعة العوائق التي تحول دون تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 وفقاً لتناولها بالبحوث السابق عرضها كما هو مُبيَن بجدول (1).

جدول (1)

عوائق تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 وفقاً لتناولها بالبحوث السابقة

عوائق التطبيق	البحوث السابقة التي تناولتها
القوى العاملة الماهرة والمدربة	Walendowski *et al.* ; Kagermann *et al.* (2013) (2016)**;** Geissbauer *et al.*, (2016)**;** Adolph *et al.* Erol *et al.* (2016)**;** Shamim *et al.* (2016); ،(2014) Kiel *et al.* (2017)**;** Karre *et al.* (2017); Müller and Voigt (2017)
الموارد المالية	Stentoft, *et al.* (2019); Walendowski *et al.* (2016); Müller Horváth and Szabó (2019); PwC (2014); and Voigt (2016); Kiel *et al.* (2017)
مشاكل التوحيد القياسي	Müller and Voigt (2016)
قضايا أمن البيانات	Kovács (2017)**;** Weber and Studer (2016); Kiel *et al.* (2017); Cimini *et al.*, (2017); McKinsey (2016)
نقص المعرفة حول الصناعة 4.0	McKinsey & Company (2016)**;** PwC (2014); Basl (2017)
ثقافة المنظمة (مقاومة المنظمة)	Automation Alley (2017)**;** Vey *et al.* (2017); von Leipzig *et al.* (2017)

المصدر : الجدول من إعداد الباحث في ضوء البحوث السابقة

3 العوامل المحفزة لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0

أصبح من الضروري للشركات زيادة قدرتها على الابتكار والإنتاجية وتقليل الوقت الذي تستغرقه في السوق نتيجة لمستويات المنافسة المتزايدة (Bauer *et al.*, 2014) ، وقد أوضح (Hortoványi 2016) أن الاستثمارات في التقنيات الرقمية الجديدة للشركات تسمح بتحسين ميزتها النسبية وخلق ميزة حاسمة على منافسيها. حيث يتم فرض التغيير أيضًا من خلال تقليل دورات حياة المنتج، وتغيير توقعات المستهلكين واحتياجاتهم، وتصبح الأسواق أكثر تنوعًا بمرور الوقت ; Karre *et al.*, 2017) .Spath *et al.*, 2013)

اقترح Prem (2015) أنه كلما أصبحت المنتجات والخدمات رقمية أكثر فأكثر، ستصبح القنوات رقمية بشكل متزايد، وقد يؤدي ذلك إلى تغييرات في العلاقات مع العملاء وزيادة الابتكار في تصميم المنتجات والخدمات، وبالتالي يمكن تعريف الصناعة 4.0 بأنها ركيزة أساسية في القدرة التنافسية المستقبلية لشركات التصنيع، ومع ذلك، ستواجه الشركات تحديات في تنفيذ تقنياتها.

أشار Nagy (2019) إلى أن أنظمة الإنتاج السابقة، ذات الطرازات القديمة، لم تعد تلبي توقعات اليوم، وغالبًا ما تسبب أضرارًا بيئية، بالتالي يمكن من خلال تحسين الإنتاجية، زيادة جودة التصنيع بشكل كبير وتقليل النفايات (Paritala *et al.*, 2016)، كما يمكن أيضًا تحقيق تحسينات كبيرة في كفاءة الطاقة (Kovács, 2017). أيضاً لاحظ de Sousa *et al.* (2018) أن الصناعة 4.0 يمكن أن تؤثر بشكل إيجابي على التصنيع المستدام بيئيًا، من خلال تطوير المنتجات الخضراء، عمليات التصنيع، وإدارة سلسلة التوريد.

أوضح kiel *et al.* (2017) أنه يمكن للشركات الاعتماد على الصناعة 4.0 لزيادة حجم المبيعات وتحقيق وفورات كبيرة في التكاليف، كما بين Losonci *et al.* (2019) أن الصناعة 4.0 يمكنها تقديم تحسينات جذرية في الأداء على المستوى الجزئي، كما أكد Cimini *et al.* (2017)، Inezari and Gressel (2017) على أنه يمكن تحقيق فوائد أخرى من خلال الاعتماد على الصناعة 4.0، وذلك عبر جمع ومعالجة بيانات الإنتاج وتتمثل هذه الفوائد في اتخاذ القرار بشكل أسرع ودعم إدارة المعرفة، إذ تساعد تقنيات الصناعة 4.0 في إدارة تخطيط الإنتاج والجدولة، والصيانة وإدارة الطاقة (Szalavetz, 2018).

لا تعني الصناعة 4.0 فقط التحول في التكنولوجيا، ولكنها توفر أيضًا فرصة للتفكير في نماذج أعمال جديدة وتصميمها (Nayyar & Kumar, 2020). فقد ناقش Franks *et al.* (2019) أنه يمكن لشركات التصنيع أن تستفيد من الصناعة 4.0 وخدمة المنتجات "Servitization" في محاولة لابتكار نماذج أعمالها من خلال رحلة التحول الرقمي، حيث أوضح أن هذا المستوى من التكامل بين

هذين الشكلين من ابتكار نموذج الأعمال يتميز بميزة توفير القيمة لكل من العميل الخارجي وعمليات الشركة الداخلية (على سبيل المثال، تقليل الوقت اللازم للتسويق والإنتاج والتخطيط).

قد تؤدي الصناعة 4.0 أيضًا إلى تغييرات كبيرة في نماذج الأعمال الحالية، مما يسمح بطرق جديدة لخلق القيمة، من المتوقع أن تؤدي هذه التغييرات إلى تحول سلاسل القيمة التقليدية وإنشاء نماذج أعمال جديدة تمامًا تتيح مستويات أعلى من مشاركة المستهلك (Ustundag & Cevikcan, 2017)

وقد تناول Zainol *et al.* (2019) بعض القضايا القانونية التي أثارتها الصناعة 4.0 والانتقال من الآلية القانونية والتشريعية التقليدية إلى نهج أكثر تقدمًا للقوانين والنظم التكيفية، حيث أكد على أنه يجب أن تكون اللوائح التنظيمية والتشريعات مرنة بقدر معقول عند تطبيق التقنيات الناشئة.

كما أوضح كل من Oesterreich and Teuteberg (2016) و Raj *et al.* (2020) أن التشريعات والرقابة غير الكافية على الشركات الصغيرة والمتوسطة وكذلك الشركات التابعة لها ساعدت في ضمان عدم رغبة الإدارة في استخدام التقنيات الجديدة للعمليات المستدامة.

ويمكن للباحث تقسيم مجموعة العوامل المحفزة لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 وفقاً لتناولها بالبحوث السابق عرضها كما هو مُبيَن بجدول (2).

جدول (2)

العوامل المحفزة لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 وفقاً لتناولها بالبحوث السابقة

محفزات التطبيق	البحوث السابقة التي تناولتها
حدة المنافسة	Bauer *et al.* (2014); Hortoványi (2016); Karre *et al.* (2017) ; Spath *et al.* (2013)
تلبية متطلبات العملاء	Prem (2015)**;** Franks *et al.* (2019)
الاستدامة	Nagy (2019); Paritala *et al.* (2016); Kovács (2017); de Sousa *et al.* (2018)
زيادة حجم المبيعات وخفض التكلفة	kiel *et al.* (2017); Losonci *et al.* (2019); Cimini *et al.* (2017); Inezari and Gressel (2017); Szalavetz (2018)
الاستراتيجية ونماذج أعمال جديدة	Ustundag & Cevikcan (2017)**;** Nayyar and Kumar (2020)**;** Franks *et al.* (2019)
المتطلبات القانونية / التشريعات	Zainol et al. (2019); Oesterreich and Teuteberg (2016); Raj *et al.* (2020)

المصدر : الجدول من إعداد الباحث في ضوء البحوث السابقة

ثالثاً: مساهمات البحث

يساهم هذا البحث على ثلاثة مستويات:

1 - تساهم نتائج هذا البحث في بحوث إدارة العمليات بشكلٍ عام وفي البحوث المهتمة بالصناعة 4.0 بشكلٍ خاص، والذي بدوره قد يوفر بعض الأفكار للباحثين الآخرين لإجراء المزيد من الأبحاث في مجال تطبيق تقنيات الصناعة 4.0.

2 - جهود بحثية محدودة للغاية تناولت تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 في الدول النامية بشكلٍ عام، وفي مصر على وجه الخصوص، إذ لم يتم نشر أي بحث يتناول هذه التقنيات الصناعية المتقدمة، وبالتالي، فإن هذا البحث يمثل **المحاولة الأولى** لتناول موضوع العوائق والمحفزات لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0، ومعرفة إلى أي مدى تُطبق مثل هذه التقنيات الصناعية المتقدمة **في القطاع الصناعي المصري.**

3 - تتمثل أهم مساهمات هذا البحث في تقديم إرشادات للتطبيق الناجح للصناعة 4.0 من قِبل المصنعين المصريين، والتي يمكن استخدامها كنموذج للشركات الصناعية الأخرى.

رابعاً: مشكلة البحث

يمكن صياغة مشكلة البحث من خلال مجموعة الأسئلة التالية :

(1) ما هو التقدم الذي أحرزه المصنعون المصريون تجاه تطبيق الصناعة 4.0 وما هو موقفهم من التطبيق حاليًا؟

(2) ما هي المحفزات التي تشجع المنظمات الصناعة المصرية على تبني تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 ؟

(3) ما هي العوائق التي قد تمنعهم من تطبيق مثل هذه التقنيات ؟

يجب أن يجيب البحث الحالي على مجموعة الأسئلة السابقة، والتي تم صياغتها وفقاً **لأهداف البحث التالية:**

1 -استكشاف الوضع الحالي لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 في المنظمات الصناعية المصرية.

2 -تحديد المحفزات والعوائق الأساسية لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0.

3 -تقديم إرشادات لتعزيز تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 من قِبل المنظمات الصناعية المصرية.

من أجل تسليط الضوء على وضع المنظمات الصناعية المصرية، فيما يخص مدى تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 وكذلك العوامل (المحفزات والعوائق) التي قد تؤثر على تبني تقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية ؛ فإنه من الضروري اختبار الفروض التالية:

الفرض الأول (H1) :

يتم تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 الأكثر تقدماً بدرجة منخفضة من قِبل المنظمات الصناعية المصرية.

الفرض الثاني (H2) :

تؤثر العوامل المحفزة للصناعة 4.0 تأثيرًا إيجابيًا على تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية.

الفرض الثالث (H3) :

تؤثر عوائق الصناعة 4.0 تأثيرًا سلبيًا على تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية.

خامساً: منهجية البحث

1 -منهج البحث

يعتمد البحث علي المنهج الوصفي التحليلي للتحقق من صحة الفروض، إذ تتضمن متغيرات البحث (العوامل المحفزة للصناعة 4.0 ؛ عوائق تطبيق الصناعة 4.0 ؛ تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 بالمنظمات الصناعية المصرية).

2 -مجتمع البحث

يشمل مجتمع البحث مديري الإنتاج بمنظمات الأعمال الصناعية بجمهورية مصر العربية، وقد تم تحديد مجتمع البحث بالاعتماد على قاعدة بيانات اتحاد الصناعات المصرية والهيئة العامة للتنمية الصناعية، بالإضافة لدليل الصناعات المصرية.

3 -عينة البحث

أ - حجم العينة

تم إجراء البحث على عدد 162 مصنع من المصانع العاملة بمختلف القطاعات الصناعية المصرية.

ب - الحد الأدنى لحجم العينة المناسب لمنهجية (PL-SEM)

1 -يعتمد البحث على تكوين نموذج بنائي متضمناً ثلاثة متغيرات كامنة تحتوي جميعها على مؤشرات عاكسة Reflective Indicators، تشمل فيما بينها مسارين هيكليين.

2 -يمكن حساب حجم مدى ملائمة العينة للنموذج المقترح وفقاً لقاعدة العشر مرات من خلال الخطوات التالية:

أ - عدد المسارات الهيكلية بالنموذج المقترح بالبحث = مسارين.

ب - 2 مسار × 10 = 20 مفردة.

ج - إذاً الحجم المتوقع لحجم العينة هو 20 مفردة على الأقل.

د - بالتالي فإن عدد مفردات البحث مناسب لبناء النموذج المقترح، حيث أن عدد المفردات 39 مفردة ، وهي أكبرمن 20 مفردة (الحجم المتوقع).

4 -أسلوب تحليل البيانات

أ - أداة جمع البيانات

تم جمع البيانات عن طريق قائمة استبيان تم توزيعها بشكل شخصى وعن طريق البريد الإلكتروني على مديري الإنتاج بالشركات والمصانع محل البحث، وقد تضمنت قائمة الاستبيان عدد 33 عبارة بواقع عشرة عبارات لقياس متغير "العوامل المحفزة للصناعة 4.0"، واحدى عشر عبارة لقياس متغير "عوائق تطبيق الصناعة 4.0"، واثنى عشر عبارة لقياس متغير " تطبيق تقنيات الصناعة 4.0"، إضافةً إلى أربعة بنود لتحديد نوع وحجم ونظام الانتاج المتبع وكذلك القطاع الصناعي الذي تنتمي إليه الشركات والمصانع محل البحث.

تم توزيع استمارات الاستبيان في بداية ديسمبر 2021، وقد تم استقبال مجموعة الردود الأولى حتى نهاية يناير 2022، كذلك تم إعادة إرسال الاستبيانات إلكترونياً مرة أخرى، للحصول على أعلى نسبة ردود ممكنة، وقد تم استلام مجموعة ردود أخرى في الفترة من بداية يناير وحتى منتصف فبراير 2022، تم الحصول على 39 استمارة صالحة للتحليل الإحصائي بنسبة ردود حوالي 25%.

ب - المقياس

اعتمد البحث على مقياس Rüßmann (2015) فيما يخص متغير "تطبيق تقنيات الصناعة 4.0"، كما اعتمد البحث على مقياس Kumar *et al.* (2021) فيما يخص متغير "عوائق تطبيق الصناعة 4.0"، أما المتغير الثالث "العوامل المحفزة لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0" فقد اعتمد الباحث على مقياس Yu and Schweisfurth (2020).

ج - منهجية التحليل باستخدام PLS-SEM

يعتمد اختبار فروض البحث على أسلوب نمذجة المعادلة الهيكلية المعتمدة على طريقة المربعات الصغرى الجزئية القائمة على التباين Variance-Based Partial Least Squares SEM (PLS-SEM) لتحليل البيانات من خلال التطبيق عبر برنامج Smart-PLS، حيث أن هذا الأسلوب هو الأكثر ملائمة لخصائص هذا البحث لاعتبارات حجم العينة وطبيعة البيانات.

يوضح Hair, *et al.* (2014) أن الاعتماد على مدخل PLS-SEM في التحليل يحقق عموماً مستويات عالية من القوة الإحصائية مع أحجام العينات الصغيرة، كما يبيّن أيضاً أن هناك مدخلان رئيسيان لتقدير العلاقات في نمذجة المعادلة الهيكلية، المدخل الأول هو نمذجة المعادلة الهيكلية المعتمدة على طريقة التغاير المشترك Covariance-Based SEM (CB-SEM)، والذي يطبق على نطاق واسع، والآخر هو مدخل نمذجة المعادلة البنائية المبنية على طريقة المربعات الصغرى الجزئية القائمة على التباين Variance-Based Partial Least Squares SEM (PLS-SEM)، حيث أن كل مدخل منهم مناسب لسياق بحثي مختلف، ويحتاج الباحثون إلى فهم الاختلافات بينهما من أجل تطبيق الطريقة الأنسب لطبيعة بحوثهم.

سادساً : نتائج البحث (اختبارات الفروض)

الفرض الأول (H1) :

يتم تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 الأكثر تقدماً بدرجة منخفضة من قِبل المنظمات الصناعية المصرية.

جدول (3)

مدى تطبيق تقنيات الصناعة 4.0

عناصر تقنيات الصناعة 4.0[1]	المتوسطات	الانحراف المعياري	الخطأ المعياري
البيانات الضخمة وتحليلات الأعمال.	4.0769	0.92863	0.14870
الروبوتات ذاتية التحكم.	3.1282	1.00471	0.16088
المحاكاة.	3.1282	1.08044	0.17301
تكامل النظام الأفقي والرأسي.	3.5128	0.91398	0.14635
إنترنت الأشياء (IoT) (بما في ذلك أجهزة الاستشعار).	3.3077	1.15060	0.18424
الأمن السيبراني.	3.5385	1.09655	0.17559
التصنيع الإضافي (مثل الطباعة ثلاثية الأبعاد).	3.0513	1.05003	0.16814
الواقع المعزز.	3.0513	1.05003	0.16814
الحوسبة السحابية.	3.6410	1.11183	0.17804
تقنيات المحمول (أجهزة لوحية، هواتف محمولة، أجهزة GPS، أجهزة حاسبات محمولة Laptop).	4.3333	0.62126	0.09948
الذكاء الاصطناعي.	3.4615	1.23216	0.19730
تقنيات تحديد الهوية باستخدام موجات (ترددات) الراديو (RFID) ونظام تحديد المواقع في الوقت الفعلي (RTLS).	3.2051	1.10452	0.17687

المصدر: الجدول من إعداد الباحث في ضوء مخرجات برنامج SPSS

كما هو متضح من جدول (3) فإن تقنيات المحمول (أجهزة لوحية، هواتف محمولة، أجهزة GPS، أجهزة حاسبات محمولة Laptop) كانت الأكثر تطبيقاً (متوسط 4.3333)، وجاءت البيانات الضخمة وتحليلات الأعمال في المرتبة الثانية بمتوسط 4.0769، وجاءت الحوسبة السحابية في المرتبة الثالثة (متوسط 3.6410)، بينما حلت تقنية الأمن السيبراني في المرتبة الرابعة بمتوسط 3.5385.

على الجانب الآخر كانت أقل التقنيات تطبيقاً هي المحاكاة (متوسط 3.1282) تلتها تقنية التصنيع الإضافي (مثل الطباعة ثلاثية الأبعاد) بمتوسط 3.0513، وأخيراً تقنية الواقع المعزز بمتوسط 3.0513.

(1) تمثل هذه العناصر البنود التي أعتمد عليها مقياس Rüßmann (2015) في تطبيق تقنيات الصناعة 4.0.

تدعم هذه النتائج الفرض الأول والذي ينص على "يتم تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 الأكثر تقدماً بدرجة منخفضة من قِبل شركات التصنيع المصرية". حيث يعكس ذلك في الواقع قيام المصنعين المصريين بتطبيق التقنيات الأقل تقدماً مثل تقنيات الهواتف المحمول والتي كانت متاحة منذ نهاية التسعينات).

الفرض الثاني (H2) :

تؤثر العوامل المحفزة للصناعة 4.0 تأثيرًا إيجابيًا على تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية.

الفرض الثالث (H3) :

تؤثر عوائق الصناعة 4.0 تأثيرًا سلبيًا على تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية.

يتم اختبار الفرض الثاني والثالث وفقاً للخطوات التالية:

أ – حساب متوسطات العوامل المحفزة لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0

ب – حساب متوسطات عوائق تطبيق تقنيات الصناعة 4.0

ج – اختبار المتغيرات الظاهرة (المشاهدة) Observed Variables

1 -صدق التقارب Convergent Validity

أ – اختبار ثبات كل عنصر على حدة Individual Item Reliability

ب – الثبات المركب Composite Reliability

ج – متوسط التباين المستخرج Average Variance Extracted

2 -صدق التمايز Discriminant Validity

أ – اختبار Cross Loading

ب – اختبار ارتباط المتغيرات Variable Correlation (Root Square of AVE)

د – اختبار المتغيرات الكامنة Latent Variables

1 -اختبار الفروض (معاملات المسار) Hypotheses Testing (Path Coefficients)

2 -معامل التحديد Coefficient of Determination (R^2)

3 -حجم التأثير لكل متغير Effect Size (F^2)

وتنقسم خطة تحليل ومناقشة النتائج إلى العناصر الرئيسية التالية:

أ – تحليل ومناقشة العلاقة بين العوامل المحفزة للصناعة 4.0 ومدى تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية.

ب – تحليل ومناقشة العلاقة بين عوائق الصناعة 4.0 ومدى تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية.

أ – حساب متوسطات العوامل المحفزة لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0

جدول (4)

العوامل المحفزة لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0

عناصر العوامل المحفزة لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0	المتوسطات	الانحراف المعياري	الخطأ المعياري
متطلبات العميل.	4.0769	1.01007	0.16174
يطبق المنافسون تقنيات الصناعة 4.0.	3.8462	0.93298	0.14940
لخفض التكاليف.	4.1282	0.76707	0.12283
لتحسين وقت الوصول إلى السوق.	4.3077	0.61361	0.09826
بسبب المتطلبات القانونية / التشريعات المتغيرة.	3.7949	0.92280	0.14777
نقص القوى العاملة المؤهلة.	3.9744	0.95936	0.15362
رأيت / قرأت عما فعله الآخرون وكيف فعلوه.	4.0256	0.81069	0.12981
بدء العمل بالاعتماد على نظام الاستشارات من خلال (حاضنات الأعمال، دعم الأعمال التجارية المحلية).	3.3590	0.90284	0.14457
بدء العمل بناءً على طلبات الاستشاريين.	3.4872	1.04810	0.16783
تبني استراتيجية واعية لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0.	4.0256	0.90284	0.14457

المصدر: الجدول من إعداد الباحث في ضوء مخرجات برنامج SPSS

ب – حساب متوسطات عوائق تطبيق تقنيات الصناعة 4.0

جدول (5)

عوائق تطبيق تقنيات الصناعة 4.0

عناصر عوائق تطبيق تقنيات الصناعة 4.0	المتوسطات	الانحراف المعياري	الخطأ المعياري
نقص المعرفة حول تقنيات الصناعة 4.0.	3.6154	1.22722	0.19651
نقص المعايير.	3.2051	1.03057	0.16502
زيادة التركيز على العمليات على حساب تطوير الشركة.	3.1282	1.34124	0.21477
الافتقار إلى حماية البيانات (الأمن السيبراني).	2.9487	1.19095	0.19070
عدم استعداد الموظفين.	2.5385	1.09655	0.17559
يتطلب تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 التعلم المستمر للموظفين.	3.9487	0.85682	0.13720
عدم فهم الأهمية الاستراتيجية لتقنيات الصناعة 4.0.	3.4103	1.11728	0.17891
عدم فهم التفاعل بين التكنولوجيا والإنسان.	2.9487	1.12270	0.17978
قلة الموارد المالية.	3.5128	1.07292	0.17180
قلة الموارد البشرية (القوة البشرية).	2.9744	1.15820	0.18546
عدم التأكد بشأن أمن البيانات.	2.6923	1.00404	0.16078

المصدر: الجدول من إعداد الباحث في ضوء مخرجات برنامج SPSS

ج – اختبار المتغيرات الظاهرة (المشاهدة) Observed Variables

1 تحليل ثبات نموذج البحث (صدق التقارب Convergent Validity)

أ – تحليل العناصر Indicators Loading

جدول (6)

نتائج اختبارات ثبات كل عنصر والثبات المركب ومتوسط التباين المستخرج لكل متغير بعد التعديل

اسم المتغير Variable Name	العناصر Items	ثبات كل عنصر Loading	الثبات المركب Composite Reliability	متوسط التباين المستخرج Average Variance Extracted (AVE)
العوامل المحفزة لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0	D1	0.875	0.933	0.590
	D2	0.805		
	D3	0.768		
	D4	0.873		
	D5	0.841		
	D6	0.822		
	D7	0.566		
	D8	0.466		
	D9	0.720		
	D10	0.832		
عوائق تطبيق تقنيات الصناعة 4.0	B1	0.620	0.930	0.556
	B2	0.833		
	B3	0.810		
	B4	0.898		
	B5	0.885		
	B6	0.423		
	B7	0.627		
	B8	0.562		
	B9	0.866		
	B10	0.775		
	B11	0.745		
تطبيق عناصر تقنيات الصناعة 4.0	A1	0.844	0.940	0.590
	A2	0.743		
	A3	0.689		
	A4	0.852		
	A5	0.703		
	A6	0.876		
	A7	0.550		
	A8	0.664		
	A10	0.754		
	A11	0.862		
	A12	0.839		

المصدر: الجدول من إعداد الباحث في ضوء مخرجات برنامج Smart-PLS

2 -تحليل صدق التمايز Discriminant Validity

أ - اختبار Cross Loadings

جدول (7)

اختبار Cross Loading لتحديد صدق تمايز كل العناصر ضمن متغيرات نموذج البحث

العناصر	العوامل المحفزة	العوائق	التطبيق
D1	0.875	-0.183	0.321
D2	0.805	-0.208	0.294
D3	0.768	-0.220	0.246
D4	0.873	-0.081	0.294
D5	0.841	-0.073	0.232
D6	0.822	-0.013	0.247
D7	0.566	0.105	0.078
D8	0.466	0.179	-0.035
D9	0.720	0.189	0.159
D10	0.832	-0.194	0.653
B1	-0.095	0.620	-0.337
B2	-0.246	0.833	-0.583
B3	-0.239	0.810	-0.399
B4	-0.175	0.898	-0.491
B5	-0.054	0.885	-0.678
B6	0.102	0.423	0.126
B7	0.059	0.627	-0.181
B8	-0.090	0.562	-0.309
B9	-0.230	0.866	-0.306
B10	0.080	0.775	-0.207
B11	0.037	0.745	-0.471
A1	0.383	-0.682	0.844
A2	0.194	-0.318	0.743
A3	0.109	-0.351	0.689
A4	0.436	-0.518	0.852
A5	0.185	-0.312	0.703
A6	0.380	-0.586	0.876
A7	0.153	-0.379	0.550
A8	0.310	-0.251	0.664
A10	0.557	-0.445	0.754
A11	0.340	-0.487	0.862
A12	0.429	-0.415	0.839

المصدر: الجدول من إعداد الباحث في ضوء مخرجات برنامج Smart-PLS

التعليق على الجداول السابقة

1 -بفحص جدول (4) نجد أن "تحسين وقت الوصول إلى السوق" يظهر في أعلى درجات المقياس ويتبعه "خفض التكلفة"، وذلك فيما يخص العوامل المحفزة، أما بالنسبة لعوائق التطبيق يُظهر جدول(5) "التعلم المستمر للموظفين" يليه "نقص المعرفة حول تقنيات الصناعة 4.0" في أعلى درجات المقياس.

2 -بفحص قيم ثبات كل عنصر (جدول 6)، اتضح أن أحد العناصر (العنصر A9 بمتغير "عناصر تطبيق تقنيات الصناعة 4.0") لم يحقق قيمة الثبات المطلوبة بقيمة 0.262، حيث أن المدى المحدد لثبات كل عنصر يجب أن يكون أكبر من أو يساوي 0.70 وأقل من 0.95.

3 -تم استبعاد العنصر الذي لم يحقق قيمة الثبات المطلوبة، مع ملاحظة أن الاستبعاد لم يتعدى الحد المسموح به وهو 20% من إجمالي عدد عناصر نموذج البحث، (1 ÷ 33) * 100= 3.03%.

4 –ويتضح بجدول (6) قيم الثبات بعد إعادة التحليل بعد استبعاد العنصر الذي لم يحقق القيمة المطلوبة.

5 –بفحص قيم ثبات كل عنصر، نجد أن مجموعة العناصر (D8 – D7) (B8 – B7 – B6 – B1) (A3 – A8 – A7) لم تحقق قيم الثبات المطلوبة، وتم الابقاء عليها، لأنها تقع في المدى بين 0.40 إلى 0.70، وعند استبعادها لم تغير من الحد الأدنى لقيم الثبات المركب أو متوسط التباين المستخرج للمتغير.

6 –جميع عناصر الثبات المركب لكل المتغيرات أكبر من 0.70، كذلك جميع عناصر متوسط التباين المستخرج أكبر من 0.50، مما يدل على توافق وتقارب جميع عناصر نموذج البحث، وتهيئتها لتحليل صدق التمايز.

7 –من خلال فحص قيم جدول (7)، نجد أن قيمة كل عنصر لكل متغير من متغيرات النموذج، تسجل أكبر قيمة تقع ضمن نطاق هذا العنصر بالنسبة لكل متغيرات النموذج الأخرى، مما يدل على تمايز وعدم تداخل كل عنصر من عناصر النموذج لكل متغير على حدة.

ب – اختبار ارتباط المتغيرات Variable Correlation (Root Square of AVE)

جدول (8)

نتائج اختبار ارتباط المتغيرات ببعضها البعض

المتغيرات	العوامل المحفزة	العوائق	التطبيق
العوامل المحفزة	**0.768**		
العوائق	−0.150	**0.746**	
التطبيق	0.444	−0.592	**0.768**

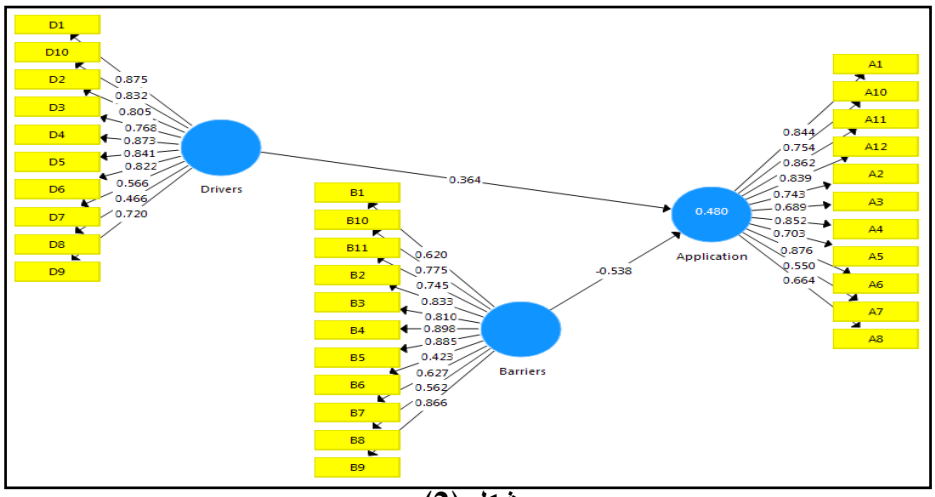
المصدر: الجدول من إعداد الباحث في ضوء مخرجات برنامج Smart–PLS

التعليق على الجدول السابق:

1 –من خلال فحص قيم الجدول السابق، نجد أن القيمة الموجودة عند تقاطع كل متغير مع ذاته تمثل أكبر قيمة بنطاقة الأفقي والرأسي (أي أكبر قيمة بالنسبة للمتغيرات الأخرى).

2 –على سبيل المثال قيمة متغير العوائق يسجل قيمة مقدارها 0.746 وهي أكبر قيمة بنطاق المتغير أفقياً (0.746 > −0.150)، وأيضاً هي أكبر قيمة بنطاق المتغير رأسياً (0.746 > −0.592)

3 –يدل ذلك على تمايز وترابط كل متغير من متغيرات النموذج.



شكل (2)

شكل يوضح ثبات كل مؤشر من مؤشرات نموذج البحث من واقع برنامج Smart PLS

المصدر: مخرجات برنامج Smart–PLS

د- اختبارات نموذج القياس Assessment of Structural Model (اختبار المتغيرات الكامنة)

أ - تحليل ومناقشة العلاقة بين العوامل المحفزة للصناعة 4.0 ومدى تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية.

سيتم في هذا القسم إختبار مدى صحة الفرض الثاني والذي ينص على أنه:

"تؤثر العوامل المحفزة للصناعة 4.0 تأثيرًا إيجابيًا على تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية"

جدول (9)

نتائج تحليل المسار لدراسة أثر العوامل المحفزة للصناعة 4.0 على تطبيق تقنيات الصناعة 4.0

العلاقة بين المتغيرات	بيتا β Beta	الخطأ المعياري	قيمة "ت" t	مستوى المعنوية sig.
العوامل المحفزة للصناعة 4.0 ← تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية	40.36	1.076	2.064	0.040

المصدر: الجدول من إعداد الباحث في ضوء مخرجات برنامج Smart-PLS

التعليق على الجدول السابق:

1 -من خلال فحص القيم السابقة نجد أن:

2 - *Beta* = 0.364, *t* = 2.046, *sig.* = 0.040< 0.05

3 -مما يدل على **إيجابية العلاقة بين المتغيرين**، و**معنوية** تأثير العوامل المحفزة للصناعة 4.0 على مدى تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية.

ب - تحليل ومناقشة العلاقة بين عوائق الصناعة 4.0 ومدى تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية.

سيتم في هذا القسم إختبار مدى صحة الفرض الثالث والذي ينص على أنه:

"تؤثر عوائق الصناعة 4.0 تأثيرًا سلبيًا على تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية".

جدول (10)

نتائج تحليل المسار لدراسة أثر عوائق الصناعة 4.0 على تطبيق تقنيات الصناعة 4.0

العلاقة بين المتغيرات	بيتا β Beta	الخطأ المعياري	قيمة "ت" t	مستوى المعنوية sig.
عوائق الصناعة 4.0 ← تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية	-0.538	0.096	5.624	0.000

المصدر: الجدول من إعداد الباحث في ضوء مخرجات برنامج Smart-PLS

التعليق على الجدول السابق:

1 -من خلال فحص القيم السابقة نجد أن:

2 - $Beta = -0.538,\ t = 5.624,\ sig. = 0.000 < 0.05$

3 -مما يدل على **سلبية العلاقة بين المتغيرين**، و**معنوية** تأثير عوائق الصناعة 4.0 على تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية.

ج - تحليل ومناقشة وصف العلاقة بين المتغيرين السابقين (العوامل المحفزة للصناعة 4.0 وعوائق الصناعة 4.0) ومتغير تطبيق تقنيات الصناعة 4.0.

1 -وصف العلاقة بين مجموع المتغيرين من ناحية وتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 من ناحية أخرى، ويتم ذلك من خلال بيان معامل التحديد R^2 كالتالي:

جدول (11)

معاملات التحديد لمتغير مدى تطبيق تقنيات الصناعة 4.0

المتغير	معامل التحديد R Square	معامل التحديد المعدل R Square Adjusted
تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية	0480.	0.451

المصدر: الجدول من إعداد الباحث في ضوء مخرجات برنامج Smart-PLS

التعليق على الجدول السابق:

1 -يتضح من جدول (11) أن قيمة كل من $R^2 = 0.480$, $Adjusted\ R\ Square = 0.451$

2 -أي أن العوامل المحفزة وعوائق الصناعة 4.0 **مجتمعان**، مسئولان عن حوالي **50%** من التغير في تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية.

2 -معامل التحديد R^2 يصف العلاقة بين العوامل المحفزة وعوائق الصناعة 4.0 إجمالاً، ولوصف العلاقة من خلال كل متغير على حدة، يتم استخدام معامل F2 لتحديد حجم الأثر لكل متغير على حدة كالتالي:

جدول (12)

حجم التأثير لكل متغير على مدى تطبيق تقنيات الصناعة 4.0

المتغيرات	قيمة "ف" F Square
العوامل المحفزة للصناعة 4.0 ← تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية	90.24
عوائق الصناعة 4.0 ← تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية	5430.

المصدر: الجدول من إعداد الباحث في ضوء مخرجات برنامج Smart-PLS

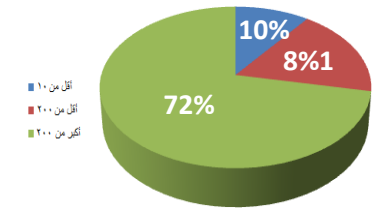
التعليق على الجدول السابق:

1 -يتضح من جدول (12) أن **حجم تأثير العوامل المحفزة للصناعة 4.0** على **مدى تطبيق تقنيات الصناعة 4.0** يساوي حوالي **25 %** (تأثير متوسط).

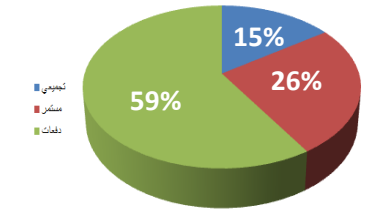
2 -**حجم تأثير عوائق الصناعة 4.0** على **مدى تطبيق تقنيات الصناعة 4.0** يساوي حوالي **55 %** (تأثير كبير).

الإحصاءات الوصفية

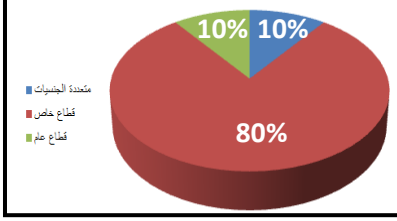
يوضح الشكل (3) المجموع والنسبة المئوية لنوع وحجم ونظام الإنتاج للشركات محل البحث



البيان	أقل من 10	أقل من 200	أكبر من 200
عدد العاملين بالشركة	10.26%	17.95%	71.79%
	4	7	28



البيان	قطاع عام	قطاع خاص	متعددة الجنسيات
نوع الشركة	10.26%	79.49%	10.26%
	4	31	4



البيان	دفعات	مستمر	تجميعي
نوع النظام الانتاجي	58.97%	25.64%	15.38%
	23	10	6

شكل (3)

المجموع والنسب المئوية للنوع والحجم والنظام الإنتاجي للشركات محل البحث

المصدر:الشكل من إعداد الباحث في ضوء مخرجات برنامج Excel

سابعاً: مناقشة النتائج

تشير نتائج البحث إلى أن المصنعين المصريين ما زالوا يستخدمون تقنيات إنتاج قديمة، حيث كانت "تقنيات المحمول (أجهزة لوحية، هواتف محمولة، أجهزة GPS، أجهزة حاسبات محمولة)" هي التقنية الأكثر تطبيقًا من قبل الشركات المصرية، تلاها "تحليلات الأعمال" ثم "الحوسبة السحابية"، علاوةً على ذلك، فإن أحدث التقنيات التي ظهرت في السنوات القليلة السابقة (بداية من العقد الثاني من الألفية الجديدة) كانت تعتبر الأقل تطبيقاً من قِبل منظمات الأعمال الصناعية المصرية، مما يعني أنها لا تزال تخضع لسيطرة التقنيات القديمة ولم تتأثر بعد بتقنيات التصنيع العالمية الحديثة والمتمثلة في "تقنية التصنيع الإضافي (مثل الطباعة ثلاثية الأبعاد، تقنية الواقع المعزز، الروبوتات ذاتية التحكم، إنترنت الأشياء (IoT))، تدعم هذه النتائج بحث (Ghobakhloo & ching, 2019)، خاصةً عنصري "تحليلات الأعمال والحوسبة السحابية" ، كذلك تتفق معه أيضاً في أن تقنيات التصنيع الإضافي تظهر في أسفل المقياس من حيث نسبة التطبيق، مع ملاحظة أنه تم مناقشة مجموعة من تقنيات التصنيع الرقمية خارج نطاق تقنيات الصناعة 4.0، وإجراء مقارنة بين نسبة التطبيق لهذه التقنيات بالقطاع الصناعي الإيراني والماليزي، والتي أظهرت تقارب في نسب التطبيق، وبمقارنة نسب التطبيق ببحث (Dikhanbayeva *et*

(Kumar *et al.*, 2021) ، نجد أنها لم تتفق نوعاً ما بسبب ظهور تقنيات إنترنت الأشياء في أعلى درجات المقياس ، بالرغم من بقاء تقنيات االتصنيع الإضافي (طباعة ثلاثية الأبعاد) وتقنيات الذكاء الاصطناعي في ترتيب متأخر، كما تتسق هذه النتائج مع نتائج بحوث كل من (Majumdar *et al.*, 2021)، (Onu & Mbohwa, 2021) ، (hidayatno *et al.*, 2019)،(kamble *et al.*, 2018) ، *al.*, 2021) (2021 والتي تناولت تطبيق هذه التقنيات أيضاً في بعض الدول النامية (الهند، اندونسيا، جنوب إفريقيا)، إذ تعد نسب تطبيق هذه التقنيات عاملاً مشتركاً بين مجموعة البحوث التي نشرت في هذ الصدد، وربما يرجع ذلك إلى ضعف البنية التحتية التكنولوجية لهذه الدول.

بالنظر إلى العوامل المحفزة والعوائق الخاصة بتطبيق تقنيات الصناعة 4.0، نجد أن تطبيق تلك التقنيات كما أشارت نتائج البحث، مدفوع بمتطلبات العميل، وتحسين وقت الوصول للأسواق لخدمة العميل، كما أظهر البحث أيضاً أن تبني استرتيجيات واعية لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 له تأثير قوي أيضًا على اعتماد تقنيات الصناعة 4.0 الأكثر تقدمًا لأغراض الإنتاج حيث تنظر المنظمات الصناعية بعين الاعتبار إلى ما ينتهجه الآخرون (منظمات صناعية منافسة تعمل في نفس المجال)، هذا بدوره يلقى الضوء على أهم العوائق التي تواجه تطبيق هذه التقنيات الحديثة، إذ تواجه المنظمات الصناعية المصرية كما هو ظاهر بنتائج هذا البحث، نقص المعرفة حول تلك التقنيات، والحاجة إلى مزيد من التعلم المستمر للموظفين، –حيث ظهور هذه العناصر على الترتيب في أعلى درجات المقياس–، كذلك عدم فهم الأهمية الاستراتيجية لتقنيات الصناعة 4.0، بالتالي فإن البرامج التدريبية التي تُزيد من وعي شركات التصنيع وتهيئ الموظفين للتغيير المحتمل الذي تتطلبه هذه التقنيات الحديثة هي مطلب بالغ الأهمية في هذه المرحلة، خاصةً مع حاجة الحكومة المصرية الى تحقيق النجاح في هذه القضية المهمة. كما تواجه المنظمات الصناعية المصرية أيضاً قلة في الموارد المالية، وبالتالي تحتاج هذه المنظمات إلى مزيد من الدعم والمتابعة من قِبل المسئولين عن دعم وتطوير الصناعة المصرية، لا سيما أن التقارير الحكومية تشير إلى إحداث تحول تدريجي في الهيكل الصناعي المصري من الأنشطة القائمة على الموارد وأنشطة التكنولوجيا المنخفضة إلى الصناعات المتوسطة والعالية تكنولوجياً سواء على صعيد خطط وزارة التجارة والصناعة أو على صعيد خطة التنمية المستدامة 2030.

بمراجعة مجموعة العوامل السابقة، نجد أن بحوثاً أخرى تم إجراؤها في بعض الدول النامية مثل (Majumdar *et al.*, 2021)، (Kumar *et al.*, 2021)، (Raj *et al.*, 2020)، حيث تناولت أيضاً العوامل المحفزة وعوائق التطبيق بالإضافة إلى أنها قامت بطرح إطار عمل للتغلب على عوائق التطبيق.

في الوقت نفسه، تظهر نتائج البحث أن القطاع الخاص يستحوذ على أعلى نسبة تمثيل لعينة البحث متفوقة على شركات القطاع العام والشركات متعددة الجنسيات، وربما يرجع ذلك إلى اتباع الدولة لسياسات الخصخصة وانحصار دور القطاع العام في عمليات الإنتاج بشكل كبير، كما كان نظام الإنتاج على دفعات الأعلى نسبةً متخطياً نظامي الإنتاج المستمر والتجميعي، بينما تذيلت الشركات الصغيرة النسبة

المئوية لتمثيل عينة البحث من حيث أعداد العاملين في حين تصدرت الشركات الكبيرة نسبة تمثيل العينة، تلتها الشركات متوسطة الحجم، إذ تتفق هذه النتائج مع كل من (Horváth *et al.*, 2019)، (Onu & Mbohwa, 2021) مع إشارتهم إلى أن المنظمات الصغيرة والمتوسطة لديها فرص جيدة في تطبيق هذه التقنيات، وكذلك من الضروري مستقبلاً أن يتم تطوير تطبيقات جديدة لتمكين هذه المنظمات من تلبية رغبة العملاء.

ويمكن تلخيص ما سبق في أن منظمات الأعمال الصناعية المصرية تُدفع إلى تبني تقنيات الصناعة 4.0 بسبب العوامل المحفزة أو المكاسب التي يمكن تحقيقها من خلال استخدام هذه التقنيات الجديدة حيث تفوق المزايا العيوب، بغض النظر عن العوائق التي قد تقلل من استخدامها.

كما يمكن تقديم مجموعة من الإرشادات للتوجه نحو تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 والتي تعد من أهم مساهمات هذا العمل على المستوى التطبيقي وذلك في ضوء نتائج البحث كما يلي:

1 - ضرورة أن يستثمر المُصَنِّع المصري التوجه الحكومي الحالي نحو التقنيات الرقمية الجديدة، من خلال الالتحاق ببرامج تحديث الصناعة والتكنولوجيا، حيث أطلقت الحكومة المصرية الاستراتيجية الوطنية للذكاء الاصطناعي 2021 في محاولة منها للتفاعل مع معطيات العصر الرقمي.

2 - يجب على المُصَنِّع المصري أن يقر بأن الوصول إلى المنافسة على المستوى العالمي ليس مجرد مسألة خفض التكاليف –وإن كانت أحد أهم محفزات التطبيق–، بل إنها في الواقع القدرة على ربط إمكانيات وقدرات التصنيع الحديث بمتطلبات السوق لتحسين أداء المنظمة من أجل إرضاء عملائها.

3 - أظهرت نتائج البحث أن نقص المعرفة والحاجة لمزيد من تعليم الموظفين وتدريبهم المستمر أهم عائق أمام تطبيق تقنيات الصناعة 4.0، لذلك، يجب تطبيق التقنيات عالية المستوى من خلال عملية التعلم المستمر، وذلك لتحسين أساليب مواجهة التحديات الخاصة بتطبيق هذه التقنيات.

4 - نظرًا لأن تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 يستغرق وقتًا طويلاً، ويحتاج إلى مزيد من الإمكانيات، بالتالي يجب أن تتحلى المنظمات الصناعية التي ترغب في تنفيذها بالصبر والمثابرة حتى يتم الحصول على الفوائد المتوقعة من تطبيق تلك التقنيات.

5 - يجب أن تُعير الحكومة بعضاً من الاهتمام لشركات القطاع العام، إذ أنها لازالت تمثل ما يقرب من 40% من إجمالي منظمات الأعمال الصناعية العاملة بالقطاع الصناعي المصري، إذ أن الاستثمار في مثل هذه التقنيات ممكن أن يمثل طوق النجاة للكثير من هذه الشركات.

6 - ضرورة أن يولي صانع القرار المصري اهتمام أكبر بالمشروعات المتوسطة والصغيرة، الراغبة في تطبيق تقنيات الصناعة 4.0، حيث يحتاج تطبيق هذه التقنيات إلى مزيد من الدعم الفني والمالي، وممكن أن يتم ذلك عبر تفعيل دور حاضنات الأعمال Business Incupators للمشروعات ذات التوجه الرقمي.

7 - ضرورة أن تولي الحكومة المصرية مزيداً من الاهتمام للشركات متعددة الجنسيات نظراً لنمو دورها وحجمها وتأثيرها على مستوى العالم، خاصةً بعد توقيع الحكومة المصرية على اتفاقية الضرائب العالمية تحت مظلة منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية في يوليو من عام 2021.

8 - يجب أن يسعى المصنعون المصريون إلى الاندماج على المستوى العالمي ومواكبة الأفكار والتقنيات الجديدة، وذلك بهدف الحصول على فرص جديدة في الأسواق الخارجية ومواجهة اختراق المنافسين الخارجيين لأسواقهم.

9 - أوضحت نتائج البحث أيضاً أن تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 موجه بمتطلبات العملاء، بالتالي يجب أن يتوقع المُصّنِع المصري مواجهة مزيدًا من التعقيد على مستوى الأعمال بشكلٍ عام والمنتجات والعمليات بشكلٍ خاص.

10 - ضرورة أن تقدم الحكومة المصرية حزمة من المساعدات (تمويل إضافي، منح، برامج تدريبية) بهدف دعم الشركات الصناعية التي ترغب في تطبيق تقنيات الصناعة 4.0.

ثامناً: مقترحات للبحوث المستقبلية

يحتاج هذا المجال الهام إلى مزيد من إجراء البحوث، فالامتداد الطبيعي لهذا البحث هو دراسة كيف أن الأهمية المتصورة لهذه العوامل المحفزة والعوائق قد تختلف من صناعة لأخرى، وبالتالي يمكننا بحث الخصائص التنظيمية، وفقاً للقطاعات الصناعية المختلفة وبالتالي سيكون المديرون قادرين على اتخاذ قرارات سليمة وأكثر دقة وعلى تخصيص الموارد اللازمة لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 على المدى البعيد.

بالرغم من أن البحث تناول العوامل المحفزة وعوائق تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 إلا أنه من الضروري بمكان دراسة الجاهزية أو درجة استعداد المنظمات الصناعية المصرية لتطبيق هذه التقنيات في الوقت الحالي.

كما يمكن تعزيز هذا البحث من خلال زيادة فهم العوامل المحفزة الحالية وكذلك عوائق التطبيق، من خلال دراسة تأثير الثقافة التنظيمية على تطبيق تقنيات الصناعة 4.0، وكذلك العوامل البيئية والتنظيمية والاجتماعية المؤثرة على تطبيق تلك التقنيات.

أخيرًا، يمكن إجراء مزيد من البحوث المماثلة في دول نامية أخرى، مما يمكننا من إجراء دراسات مقارنة مع تلك الدول لمعرفة أوجه التشابه والاختلاف فيما يتعلق بالعوامل المحفزة وعوائق التطبيق ضمن سياقات مختلفة.

المراجع

استراتيجية تنمية الصناعة والتجارة 2016 – 2020 (2017)، وزارة التجارة والصناعة المصرية : 1-83.

تقرير التنمية الصناعية (2016)، منظمة الأمم المتحدة للتنمية الصناعية : 1-49.

Adolph, S., Tisch, M., Metternich, J. (2014). Challenges and Approaches to Competency development for future production. Educ. Altern. 12, 1001–1010.

Automation Alley (2017). Technology Industry Report. Industry 4.0 is Here. Are we Ready?.

Basl, J. (2017). Pilot study of readiness of Czech companies to implement the principles of Industry 4.0. *Management and Production Engineering Review*, *8*.

Bauer, W., Hämmerle, M., Schlund, S., Vocke, C., (2015). Transforming to a hyper-connected society and economy – towards an "Industry 4.0.". Procedia Manuf. 3, 417–424.

Bauer, W., Schlund, S., Marrenbach, D., & Ganschar, O. (2014). Industrie 4.0– Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland. Berlin/Stuttgart.

Cimini C., Pinto R., Pezzotta G., Gaiardelli P. (2017). The Transition Towards Industry 4.0: Business Opportunities and Expected Impacts for Suppliers and Manufacturers. In: Lödding H., Riedel R., Thoben KD., von Cieminski G., Kiritsis D. (eds) Advances in Production Management Systems. The Path to Intelligent, Collaborative and Sustainable Manufacturing. APMS 2017. IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 513. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-66923-6_14.

De Sousa Jabbour, A. B. L., Jabbour, C. J. C., Foropon, C., & Godinho Filho, M. (2018). When titans meet–Can industry 4.0 revolutionise the environmentally-sustainable manufacturing wave? The role of critical success factors. *Technological Forecasting and Social Change*, *132*, 18-25.

Dikhanbayeva, D., Tokbergenova, A., Lukhmanov, Y., Shehab, E., Pastuszak, Z., & Turkyilmaz, A. (2021). Critical factors of industry 4.0 implementation in an emerging country: Empirical study. *Future Internet*, *13*(6), 137.

Erol, S., Jäger, A., Hold, P., Ott, K., Sihn, W., (2016). Tangible industry 4.0 : a scenariobased approach to learning for the future of production. Procedia CIRP 54, 13–18.

Frank, A. G., Mendes, G. H., Ayala, N. F., & Ghezzi, A. (2019). Servitization and Industry 4.0 convergence in the digital transformation of product firms: A business model innovation perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, *141*, 341-351.

Geissbauer, R., Vedso, J. and Schrauf, S. (2016). Global Industry 4.0 Survey: Building the digital enterprise,https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digitalenterprise-april-2016.pdf.

Genest, M., Gamache, S., (2021). Prerequisites for the Implementation of Industry 4.0 in Manufacturing SMEs, 30th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM2021) 15-18 June 2021, Athens, Greece.

Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016, January). Design principles for industrie 4.0 scenarios. In *2016 49th Hawaii international conference on system sciences (HICSS)* , 3928-3937, IEEE.

Hidayatno, A., Destyanto, A. R., & Hulu, C. A. (2019). Industry 4.0 technology implementation impact to industrial sustainable energy in Indonesia: A model conceptualization. *Energy Procedia*, *156*, 227-233.

Ghobakhloo, M., & Azar, A. (2018). Business excellence via advanced manufacturing technology and lean-agile manufacturing. *Journal of Manufacturing Technology Management*.

Ghobakhloo, M., & Ching, N. T. (2019). Adoption of digital technologies of smart manufacturing in SMEs. *Journal of Industrial Information Integration*, *16*, 100107.

Hair, J., Hult, T., Ringle,C., Sarstadt, M. (2014). *A PRIMER ON PARTIAL LEAST SQUARES STRUCTURAL EQUATION MODELING (PLS-SEM)*,Sage Publications,Los Angles, 14-16.

Hortoványi, L. (2016). The dynamic nature of competitive advantage of the firm. *Advances in Economics and Business*, *4*(11), 624-629.

Horváth, D. , Szabó, R. (2019). Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities?, Technological Forecasting & Social Change, 146, 119-132.

Intezari, A., & Gressel, S. (2017). Information and reformation in KM systems: big data and strategic decision-making. *Journal of Knowledge Management*.

Jiang, H., Sun, S., Xu, H., Zhao, S., & Chen, Y. (2020). Enterprises' network structure and their technology standardization capability in Industry 4.0. *Systems Research and Behavioral Science*, *37*(4), 749-765.

Kagermann, H., Lukas, W., Wahlster, W., (2011). Industry 4.0: With the Internet of Things on the way to the 4th Industrial Revolution. VDI Nachrichten, Berlin.

Kamble, S., Gunasekaran, A., Sharma, R. (2018). Analysis of the driving and dependence power of barriers to adopt industry 4.0 in Indian manufacturing industry, Computers in Industry, 101, 107-119.

Karre, H., Hammer, M., Kleindienst, M., Ramsauer, C., (2017). Transition towards an industry 4.0 state of the LeanLab at Graz University of Technology. Procedia Manuf., 206–213.

Kiel, D., Arnold, C., Voigt, K.-I., (2017). the influence of the industrial internet of things on business models of established manufacturing companies – a business level perspective. Technovation 68, 4–19.

Koch, V., Kuge, S., Geissbauer, R., & Schrauf, S. (2014). Industry 4.0: Opportunities and challenges of the industrial internet. Strategy & PwC, 5-50.

Kovács, O. (2017). Az ipar 4.0 komplexitása–I. *Közgazdasági szemle*, *64*(7-8), 823-854.

Kumar, P., Bhamu, J., & Sangwan, K. S. (2021). Analysis of barriers to Industry 4.0 adoption in manufacturing organizations: An ISM approach. *Procedia CIRP*, *98*, 85-90.

Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2015). A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing letters*, *3*, 18-23.

Losonci, D., Takács, O., & Városiné Demeter, K. (2019). Az ipar 4.0 hatásainak nyomában–a magyarországi járműipar elemzése. *Közgazdasági Szemle*, *66*(2), 185-218.

Majumdar, A., Garg, H., & Jain, R. (2021). Managing the barriers of Industry 4.0 adoption and implementation in textile and clothing industry: Interpretive structural model and triple helix framework. *Computers in Industry*, *125*, 103372.

Masood, T., & Sonntag, P. (2020). Industry 4.0: Adoption challenges and benefits for SMEs. *Computers in Industry*, *121*, 103261.

McKinsey, D. (2016). Industry 4.0 after the initial hype. Where manufacturers are finding value and how they can best capture it.

Müller, J., Voigt, K.-I., (2017). Industry 4.0- integration strategies for SMEs. In: International Association for Management of Technology, IAMOT 2017 Conference Proceedings, (Vienna).

Nagy, J. (2019). Az Ipar 4.0 fogalma és kritikus kérdései–vállalati interjúk alapján. *Vezetéstudomány-Budapest Management Review*, *50*(1), 14-26.

Nayyar, A., & Kumar, A. (Eds.). (2020). *A roadmap to industry 4.0: Smart production, sharp business and sustainable development*. Springer.

Olivér, K. (2017). Az ipar 4.0 komplexitása-II. Közgazdasági Szemle, 64(9), 970.

Onu, P., & Mbohwa, C. (2021). Industry 4.0 opportunities in manufacturing SMEs: Sustainability outlook. *Materials Today: Proceedings*, *44*, 1925-1930.

Oesterreich, T. D., & Teuteberg, F. (2016). Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. *Computers in industry*, *83*, 121-139.

Paritala, P. K., Manchikatla, S., & Yarlagadda, P. K. (2017). Digital manufacturing-applications past, current, and future trends. *Procedia engineering*, *174*, 982-991.

Perales, D. P., Valero, F. A., & García, A. B. (2018). Industry 4.0: a classification scheme. *Closing the gap between practice and research in industrial engineering*, 343-350.

Posada, J., Toro, C., Barandiaran, I., Oyarzun, D., Stricker, D., De Amicis, R., ... & Vallarino, I. (2015). Visual computing as a key enabling technology for industrie 4.0 and industrial internet. *IEEE computer graphics and applications*, *35*(2), 26-40.

Prem, E. (2015, December). A digital transformation business model for innovation. In *ISPIM Innovation Symposium* (p. 1). The International Society for Professional Innovation Management (ISPIM).

Raj, A., Dwivedi, G., Sharma, A., de Sousa Jabbour, A. B. L., & Rajak, S. (2020). Barriers to the adoption of industry 4.0 technologies in the manufacturing sector: An inter-country comparative perspective. *International Journal of Production Economics*, *224*, 107546.

Roblek, V., Meško, M., & Krapež, A. (2016). A complex view of industry 4.0. *Sage Open*, *6*(2), 2158244016653987.

Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. *Boston consulting group*, *9*(1), 54-89.

Salaheldin I., and Eid,R. (2007), the implementation of world class manufacturing techniques in Egyptian manufacturing firms An empirical study, Industrial Management & Data Systems, 107(4), 551-566.

Schwab, K. (2017). *The fourth industrial revolution*. Currency.

Shamim, S., Cang, S., Yu, H., Li, Y., (2016). Management approaches for industry 4.0: a human resource management perspective, IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), 5309-5316.

Smit, J., Kreutzer, S., Moeller, C., Carlberg, M., (2016). Industry 4.0. Brussels.

Spath, D., Ganschar, O., Gerlach, S., Hämmerle, M., Krause, T., & Schlund, S. (2013). *Produktionsarbeit der Zukunft-Industrie 4.0* Stuttgart: Fraunhofer Verlag.

Stentoft, J., Jensen, W. K., Philipsen,K. Haug,A. (2019). Drivers and Barriers for Industry 4.0 Readiness and Practice: A SME Perspective with Empirical Evidence, 52nd Hawaii International Conference on System Sciences.

Thramboulidis, K. (2015). A cyber–physical system-based approach for industrial automation systems. *Computers in Industry*, *72*, 92-102.

Ustundag, A., & Cevikcan, E. (2017). *Industry 4.0: managing the digital transformation*. Springer.

Utikal h., Ebert, B., Nauruschat, M. (2019). Industry 4.0 in Sustainable Industrial Areas in Emerging and Developing Countries, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

Vey, K., Fandel-Meyer, T., Zipp, J. S., & Schneider, C. (2017). Learning & Development in Times of Digital Transformation: Facilitating a Culture of Change and Innovation. *International Journal of Advanced Corporate Learning*, *10*(1).

von Leipzig, T., Gamp, M., Manz, D., Schöttle, K., Ohlhausen, P., Oosthuizen, G., ... & von Leipzig, K. (2017). Initialising customer-orientated digital transformation in enterprises. *Procedia Manufacturing*, *8*, 517-524.

Walendowski, J., Kroll, H. and Schnabl, E. (2016). Regional Innovation Monitor Plus 2016: Thematic Paper 3 -Industry 4.0, Advanced Materials (Nanotechnology), European Communities.

Weber, R. H., & Studer, E. (2016). Cybersecurity in the Internet of Things: Legal aspects. *Computer Law & Security Review*, *32*(5), 715-728.

Yu, F., & Schweisfurth, T. (2020). Industry 4.0 technology implementation in SMEs–A survey in the Danish-German border region. *International Journal of Innovation Studies*, *4*(3), 76-84.

Zezulka, F., Marcon, P., Vesely, I., & Sajdl, O. (2016). Industry 4.0–An Introduction in the phenomenon. *IFAC-PapersOnLine*, *49*(25), 8-12.

Zainol, Z., Hassan, K., Hussein, W. M. H. W., & Phuoc, J. C. (2019, November). Adaptive Regulation for Industry 4.0. In *International Conference on Social Science 2019 (ICSS 2019)*, 1180-1183, Atlantis Press.

Zhong, R. Y., Xu, X., Klotz, E., & Newman, S. T. (2017). Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: a review. Engineering, 3(5), 616-630.