الخصائص التنظيمية والعوامل المؤثرة على جاهزية المنظمات لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 بالقطاع الصناعي المصري

أيمن محمد أمين محسب*

المستخلص

هدف البحث إلى استكشاف الوضع الحالي لمدى جاهزية المنظمات الصناعية المصرية لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0، وكذلك تحديد الخصائص التنظيمية والعوامل الاجتماعية والتقنية المؤثرة على جاهزية هذه المنظمات لتطبيق تلك التقنيات الصناعية المتقدمة، بالإضافة إلى تحديد الفوائد المتوقع الحصول عليها حال تبني هذه التقنيات، وتقديم مجموعة من الإرشادات لتعزيز جاهزية تلك المنظمات بالقطاع الصناعي المصري. تم إجراء البحث على عدد 162 مصنع من المصانع العاملة بمختلف القطاعات الصناعية المصرية، 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. أشارت نتائج البحث إلى أن المنظمات الصناعية المصرية – على عكس المتوقع– لديها "مستوى جاهزية متوسط"، بمعنى أنها مستعدة جزئياً لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0، كما أشارت النتائج إلى أن تحسين الجوانب الاجتماعية والتقنية بنظام التصنيع يؤثر تأثيرًا إيجابياً على جاهزية المنظمة لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية والذي بدورة يؤثر على قدرة هذه المنظمات على تطبيق تلك التقنيات الصناعية المتقدمة، على الرغم من أنها لا تزال تخضع لسيطرة التقنيات القديمة ولم تتأثر بعد بتقنيات التصنيع العالمية الحديثة والمتمثلة في "تقنية

* مدرس إدارة الأعمال – كلية تكنولوجيا الإدارة ونظم المعلومات جامعة بورسعيد

التصنيع الإضافي (مثل الطباعة ثلاثية الأبعاد، تقنية الواقع المعزز، الروبوتات ذاتية التحكم، إنترنت الأشياء (IoT)).

الكلمات المفتاحية: الصناعة 4.0 ، المنظمات الصناعية المصرية ، الجاهزية للصناعة 4.0 ، النظرية الاجتماعية التقنية.

Organizational Characteristics and Factors Affecting Readiness of Organizations to Apply Industry 4.0 Technologies in the Egyptian Industrial Sector

Abstract

The aim of the research is to explore the current status of the readiness of Egyptian industrial organizations to apply Industry 4.0 technologies, as well as to identify organizational characteristics and social and technical factors affecting the readiness of these organizations to apply those advanced industrial technologies, in addition to determining the expected benefits to be obtained if these technologies are adopted, and to provide a set of guidelines To enhance the readiness of these organizations in the Egyptian industrial sector. The research was applied on 162 factories in various Egyptian industrial sectors, 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. The results of the research indicated that the Egyptian industrial organizations - contrary to what is expected - have a "medium level of readiness", meaning that they are partially ready to apply Industry 4.0 technologies, the results also indicated that improving the social and technical aspects of the manufacturing system positively affects the organization’s readiness to implement Industry 4.0 technologies in the Egyptian environment, which in turn affects the ability of

these organizations to apply those advanced industrial technologies, although they are still under the control of old technologies and have not yet affected by modern global manufacturing technologies represented in "additive manufacturing technology such as (3D printing, augmented reality technology, autonomous robots, Internet of Things (IoT)).

Key words: Industry 4.0, Egyptian industrial organizations, Industry 4.0 Readiness, Sociotechnical Theory

أولاً: مقدمة

أدى استخدام التقنيات الرقمية المتقدمة، خلال العقدين الماضيين، إلى تغير كبير في الطريقة التي تنفذ بها منظمات الأعمال الصناعية عملياتها، نظراً للأهمية الاستراتيجية الكبيرة لهذه التقنيات وقدرتها على أحداث الفارق في ظل سوق عالمية شديدة التنافسية.

في ظل هذه السوق التنافسية، ومن أجل معالجة التعقيد المتزايد للمنتجات، لا يمكن إنكار الحاجة الملحة لأنظمة وعمليات إنتاج أكثر جاهزية، نتيجةً للتطورات التكنولوجية الحديثة وبسبب زيادة طلبات العملاء على المنتجات المخصصة ذات الجودة العالية والتكاليف المنخفضة (Hermann *et al.*, 2016).

تمثل 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).

بالرغم من أن التصنيع هو المسار الرئيسي لتحقيق التنمية الناجحة ولا غنى عنه لبناء القدرات اللازمة للنجاح في الثورة الصناعية الرابعة (تقرير التنمية الصناعية، منظمة الأمم المتحدة للتنمية الصناعية، 2020)، إلا أن الاقتصادات النامية تواجه تحديات مختلفة عند الاستثمار في الصناعة 4.0 (Tortorella *et al.*, 2019).

بالتالي سعت مصر مثل معظم البلدان النامية جاهدةً لتشخيص وإيجاد حلول للمشاكل التي تعيق نمو وتطور قطاعها الصناعي (Salaheldein, 2007)، حيث حددت قطاع التصنيع باعتباره مجالًا وثيق الصلة بتنميتها الاقتصادية (Salaheldin & Eid, 2007).

إذ اتجهت مصر إلى تطوير القاعدة التكنولوجية والصناعية لنشاط التصنيع بها، من خلال تحديد هدف معلن وهو تحقيق تحول تدريجي في الهيكل الصناعي من الأنشطة القائمة على الموارد وأنشطة التكنولوجيا المنخفضة إلى الصناعات

المتوسطة والعالية تكنولوجياً (استراتيجية تنمية الصناعة والتجارة، وزارة التجارة والصناعة، 2020).

كذلك قامت بصياغة الاستراتيجية الوطنية للذكاء الاصطناعي في محاولة لتكثيف الجهود نحو تمكين التكنولوجيات التي أفرزتها الثورة الصناعية الرابعة (الاستراتيجية الوطنية للذكاء الاصطناعي، المجلس الوطني للذكاء الاصطناعي،2021).

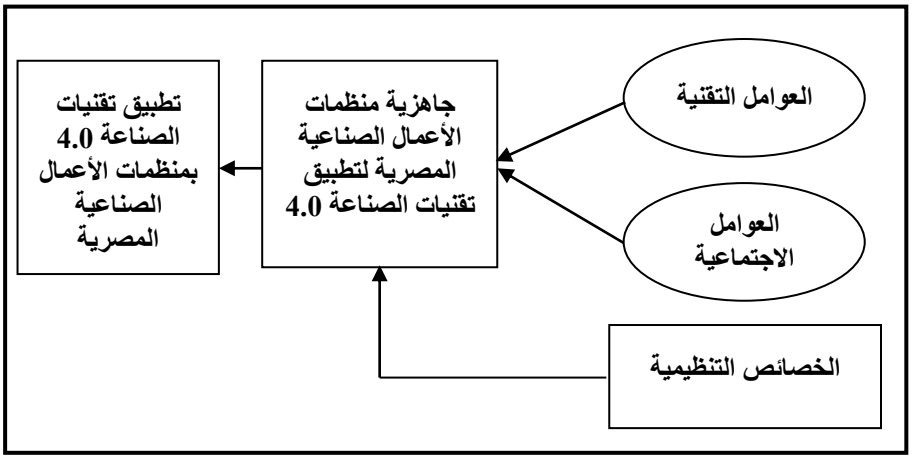
بالإضافة إلى أنها سعت إلى تنفيذ برنامج للشراكات القُطرية مع منظمة الأمم المتحدة للتنمية الصناعية والذي سيعزز تعميم الصناعة 4.0 وزيادة تكامل تقنياتها في القطاعات الصناعية الرئيسية وكذلك تعزيز جاهزية القطاع الصناعي المصري لتبني تقنيات الصناعة 4.0 (Elkhatib, 2021).

على جانب آخر، تم إجراء العديد من البحوث حول تأثير العوامل الاجتماعية والتقنية على تطبيق تقنيات الصناعة 4.0، حيث أن اعتماد تقنيات الصناعة 4.0 من منظور النظرية الاجتماعية التقنية "Sociotechnical Theory"، أصبح أمرًا شائعًا بشكلٍ متزايد في أبحاث الصناعة 4.0 الحديثة (Nosalska *et al.*, 2019).

وبالرغم من ضرورة أن يكون لدى المنظمة بنية تكنولوجية محددة جيدًا لدعم الصناعة 4.0، إلا أن نشر هذه المبادرة سيعتمد أيضًا على تقدير الميزات الاجتماعية والتقنية التي تمتلكها المنظمات، بالتالي أصبح من الضروري إجراء مزيد من البحث لفهم التأثير الاجتماعي والتقني الكامل لمحاولة تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 حول كيفية عمل الأشخاص بفعالية في تلك البيئات الرقمية (Davies *et al.*, 2017).

إذ تواجه المنظمات الصناعية المصرية العديد من العوائق في تطبيق التقنيات الرقمية الصناعية المتقدمة (تقنيات الصناعة 4.0)، وبالتالي فإنه من الضرروي أن تكون الخطوة الأولى هنا هي تقييم ما إذا كانت هذه المنظمات مستعدة لتطبيق تلك التقنيات قبل البدء الفعلي للتطبيق أم لا، بمعنى آخر، ضرورة فهم درجة استعداد أو

جاهزية تلك المنظمات لتطبيق مثل هذه التقنيات الصناعية المتقدمة والتعرف على ما هي الخصائص التنظيمية والعوامل الاجتماعية والتقنية التي من شأنها التأثير على درجة استعداد أو جاهزية تلك المنظمات لتطبيق هذه 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)

جاءت الثورة الصناعية الرابعة كامتداد للثورة الصناعية الأولى التي بدأت في نهاية القرن الثامن عشر، عندما تم استخدام وسائل الإنتاج الميكانيكية التي تعمل البخار، ثم بدأت الثورة الصناعية الثانية في الظهور في بداية القرن العشرين، عندما أصبح الإنتاج الضخم ممكنًا باستخدام الكهرباء وتقسيم العمل، ثم جاءت الثورة الصناعية الثالثة والتي لا تزال مستمرة منذ السبعينيات والتي تتميز بأعلى مستوى من ميكنة الإنتاج وعمليات العمل المختلفة بالاعتماد على التطبيق الصناعي للإلكترونيات وتكنولوجيا المعلومات (Horváth and Szabó, 2019)، وقد 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).

أوضحت "اللجنة التوجيهية لمنصة الصناعة 4.0" "The Industry 4.0 Platform Steering Committee"[1] أن مصطلح "الصناعة 4.0" يشير إلى الثورة الصناعية الرابعة، وهو مستوى جديد من التنظيم والتحكم في سلسلة القيمة بأكملها عبر دورة حياة المنتج، بدايةً من تلبية رغبات العملاء الشخصية بشكل متزايد وامتدادًا إلى طلب المنتج وتطويره وإنتاجه وشحنه إلى العميل النهائي وفي النهاية إعادة تدويره، بما في ذلك جميع الخدمات المرتبطة بذلك Industry 4.0 Platform Steering Committee, Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action, 2022)

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: 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: 14).

وقد تم مناقشة الصناعة 4.0 بالمنتدى الاقتصادي العالمي عام 2016 في إطار الثورة الصناعية لرابعة 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

[1] اللجنة التوجيهية لمنصة الصناعة 4.0 هي تجمع يضم جميع جهود الشركات والقوى العاملة والنقابات والجمعيات والعلوم والسياسات لتعزيز التحول الرقمي للتصنيع في دولة ألمانيا.

الرئيسية في التكنولوجيا الرقمية، مثل الروبوتات المتقدمة، الذكاءالاصطناعي، أجهزة الاستشعار المتطورة، التكنولوجيا البيولوجية، إنترنت الأشياء، الحصول على البيانات والتحليلات، الطباعة ثلاثية الأبعاد، البرمجيات كخدمة وغيرها من نماذج الأعمال الجديدة، ودمج كل هذه العناصر في سلسلة قيمة عالمية قابلة للتشغيل المتبادل، تتقاسمها العديد من الشركات في العديد من البلدان (Schwab, 2017).

تدعم تقنيات الصناعة 4.0 بشكلٍ عام عملية اتخاذ القرار وبالتالي تساهم بشكل كبير في زيادة الإنتاجية (Zhong *et al.*, 2017)، حيث 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، والذي بدوره سيؤدي فيما بعد إلى زيادة الاستجابة لطلبات العملاء المخصصة والسماح للشركات بالبقاء والقدرة على المنافسة.

كما أوضح Lichtblau *et al*. (2015) أنه تم تصميم تقنيات الصناعة 4.0 لجعل أحجام الدُفعات الصغيرة الخاصة بالعميل ممكنة مع الاستخدام الأمثل للقدرات، وأن السمة المميزة لهذه الرؤية هي إمكانية الإنتاج المربح بحجم دفعة واحد وتكاليف صغيرة جدًا تكاد تقترب من الصفر، بالتالي فإن هذه الرؤية تعني تحقيق أربعة أهداف وهي: (1) التكامل الأفقي، بمعنى أن يتكيف المصنع الذكي باستمرار مع الظروف الجديدة (مثل حجم الطلب أو توافر المواد) ويقوم تلقائيًا بتحسين عمليات الإنتاج الخاصة به، من خلال التكامل مع الموردين والعملاء في سلسلة القيمة. (2) التكامل الرأسي، بحيث يتم تصميم عمل الأفراد، والآلات، والموارد رقميًا في المصنع الذكي، والتواصل مع بعضهم البعض من خلال الأنظمة الفيزيائية الإلكترونية Cyber–Physical Systems.(3) المنتجات الذكية، والتي تحتوي على معلومات حول عملية الإنتاج الخاصة بها ويمكنها جمع البيانات ونقلها أثناء مرحلة التصنيع والاستخدام.(4) البشر كقوة دافعة للقيمة المضافة، حيث أن بناء

مثل هذه الأنظمة ليس غاية في حد ذاته، ولن يحدث إلا إذا أسفر عن نماذج أعمال واعدة.

كذلك 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.

كما 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.* (2016) أربعة عناصر رئيسية في الصناعة 4.0: الأنظمة الفيزيائية السيبرانية، وإنترنت الأشياء، وإنترنت الخدمات، والمصانع الذكية.

2- جاهزية المنظمات لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0

يُستخدم مصطلح 'الجاهزية لتكنولوجيا المعلومات' 'IT Readiness' لوصف درجة قدرة المنظمات على استغلال والاستفادة من تكنولوجيا المعلومات (Stentoft *et al.*, 2019).

بينما تُوصَفْ 'جاهزية الصناعة 4.0' 'Industry 4.0 Readiness' بأنها "الدرجة التي يمكن للمنظمات أن تستفيد بها من تقنيات الصناعة 4.0" (Hizam-Hanafiah *et al.*, 2020: 1).

وقد تم تناول العديد من نماذج الجاهزية للصناعة 4.0 والتي تم طرحها وتطويرها في كل من البحوث الأكاديمية والمهنية بهدف تحديد المكونات أو العناصر الرئيسية لتقييم استعداد المنظمات لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 (Sony & Naik, 2019).

بدايةً اقترح Schumacher *et al.*, (2016) نموذجاً جديداً قائماً على أسس تجريبية لتقييم جاهزية المنظمات الصناعية نحو تطبيق تقنيات الصناعة 4.0، وقد حدد من خلاله 9 أبعاد وخصص لها 62 عنصراً يمكن من خلالهم تقييم مدى إدراك المنظمة للصناعة 4.0، حيث تضمنت هذه الأبعاد: "المنتجات" ؛ "العملاء" ؛ "العمليات" ؛ "التكنولوجيا"، لتقييم عناصر التمكين الأساسية، بالإضافة إلى أبعاد "الإستراتيجية" ؛ "القيادة" ؛ "الحوكمة" ؛ "الثقافة" ؛ "الأفراد" والتي تسمح بإدراج الجوانب التنظيمية في التقييم.

كما اقترح Sony and Naik (2019) نموذجاً يضم 6 أبعاد لتقييم مدى استعداد المنظمات لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 ، حيث تضمنت هذه الأبعاد: استراتيجية المنظمة ؛ مستوى رقمنة المنظمة ؛ مدى رقمنة سلسلة التوريد ؛ المنتجات والخدمات الذكية ؛ قدرة الموظف على التكيف مع الصناعة 4.0 ؛ مشاركة والتزام الإدارة العليا.

قدم أيضاً Antony *et al.* (2021) نموذج لقياس جاهزية المنظمات – بمختلف أحجامها صغيرة، متوسطة، كبيرة – لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0، حيث حدد عشرة أبعاد رئيسية لجاهزية المنظمة لتبني تطبيق تقنيات الصناعة 4.0، إذ تضمنت هذه الأبعاد: الجاهزية التكنولوجية ؛ جاهزية إستراتيجية المنظمة للصناعة 4.0 ؛ الثقافة التنظيمية ؛ دعم القيادة والإدارة العليا للصناعة 4.0 ؛ رقمنة سلاسل التوريد ؛ نموذج أعمال ابداعي للصناعة 4.0 ؛ قدرة الموظف على التكيف مع الصناعة 4.0 ؛ مدى التحول الرقمي للمنظمة ؛ الاهتمام بالموظف ومكافأته ؛ المنتجات والخدمات الذكية.

بينما قدم (Stentoft *et al*., 2021) سبعة أبعاد أخرى تعبر أيضاً عن جاهزية المنظمة نحو تطبيق الصناعة 4.0، وذلك في إطار استكمال جهود (Haug *et al*., 2011) لتقديم نموذج لقياس جاهزية المنظمة نحو تكنولوجيا المعلومات والذي اقترحة وفق ثلاث خصائص أساسية (خصائص المنظمة، خصائص الإدارة، خصائص الموظف)، حيث تضمنت هذه الأبعاد: مواجهة الضغوط لتغيير العمليات الحالية ؛ الاستعداد لتحمل المخاطر لتجربة هذه التقنيات ؛ امتلاك المعرفة الكافية الخاصة بهذه التقنيات ؛ وجود موظفين لديهم الكفاءات المناسبة ؛ وجود الدافع المناسب للعمل بهذه التقنيات ؛ كذلك الحصول على المقدار المناسب من دعم الإدارة العليا من حيث الدعم المالي والإداري.

ويمكن مُلاحظة تشارك مجموعة من الأبعاد ضمن المقاييس المختلفة الخاصة بتقييم مدى جاهزية المنظمة لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 والتي يمكن للباحث دمجها في شكل أبعاد مُجَمَّعْة وفق تناولها بالبحوث السابقة، كما هو مُبَيَّنْ بالجدول التالي:

جدول (1)

الأبعاد المشتركة ضمن مقاييس الجاهزية المختلفة

البعد المُجَمَّعْ	الأبعاد وفق المقاييس المختلفة	البحوث السابقة التي تناولتها
التكنولوجيا	التكنولوجيا ؛ الجاهزية التكنولوجية ؛ مستوى رقمنة المنظمة	Schumacher *et al*., (2016) Antony *et al*. (2021) Sony and Naik (2019)
العنصر البشري	الأفراد ؛ قدرة الموظف على التكيف مع الصناعة 4.0 ؛ وجود موظفين لديهم الكفاءات المناسبة ؛ الاهتمام بالموظف ومكافأته	Schumacher *et al*., (2016) Sony and Naik (2019) Stentoft *et al*. (2021) Haug *et al*. (2011) Antony *et al*. (2021)

الاستراتيجية	استراتيجية المنظمة ؛ جاهزية إستراتيجية المنظمة للصناعة 4.0	Sony and Naik (2019) Antony *et al.* (2021)
الإدارة العليا	القيادة ؛ دعم الإدارة العليا ؛ الدعم المالي والإداري ؛ مشاركة والتزام الإدارة العليا	Stentoft *et al*. (2021) Haug *et al.* (2011) Antony *et al.* (2021) Sony and Naik (2019) Schumacher *et al.*, (2016)
الابداع	نموذج أعمال ابداعي للصناعة 4.0	Antony *et al.* (2021)
العمليات	العمليات ؛ مدى رقمنة سلسلة التوريد ؛ رقمنة سلاسل التوريد	Schumacher *et al.*, (2016) Sony and Naik (2019) Antony *et al.* (2021)

المصدر : الجدول من إعداد الباحث في ضوء البحوث السابقة

يشير الجدول السابق إلى أن (التكنولوجيا، العنصر البشري، الاستراتيجية، الإدارة العليا، الإبداع، العمليات)، يعدوا أهم العناصر التي يمكن أن يندرج تحتها عناصر تقييم جاهزية المنظمة لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0، كما يُلاحظ أن الاستعداد التكنولوجي، ودعم الإدارة العليا، ودرجة تكيف الفرد مع تقنيات الصناعة 4.0، هم الأبعاد الأكثر تناولاً عبر جميع نماذج القياس.

بالنسبة للاستعداد التكنولوجي فقد أشار Basl and Doucek (2019) إلى أن "التكنولوجيا" يمكن اعتبارها البعد الأكثر أهمية ضمن نماذج جاهزية الصناعة 4.0 الأكثر شيوعًا، وقد دعم ذلك لاحقاً نتائج Hizam-Hanafiah *et al.* (2020) ،حيث أكدت النتائج أن أكبر عدد من الأبعاد في نماذج جاهزية الصناعة 4.0 مرتبط بالتكنولوجيا.

أما بالنسبة لدعم الإدارة العليا فقد أوضح Shamim *et al.*, (2019) أن الدعم المستمر للإدارة العليا أحد أهم مكونات جاهزية المنظمة للصناعة 4.0 وذلك عبر التعلم والإبداع، وفي نفس السياق أشار Palazzeschi *et al.*, (2018) إلى ضرورة بناء وتسهيل مناخ تنظيمي يدعم عملية التغيير (التحول نحو الصناعة 4.0) وتطوير قادة مجهزين بمهارات محددة لتفضيل هذا التغيير وقبوله بشكل تكيفي، وهو ما أكده Sony and Atihal (2020) حيث أوضحا أن القيادة ستكون أهم جانب في توجيه المنظمة أولاً في عملية التحول الرقمي ثم في قيادة المنظمة في البيئة الرقمية لاحقًا.

أوضح Lichtblau *et al.*, (2015) أن العنصر البشري أحد أهم أبعاد الجاهزية للصناعة 4.0، إذ يعد الموظفون الأكثر تأثرًا بالتغييرات في بيئة العمل الرقمية، بسبب تغيير بيئة عملهم المباشرة، مما يتطلب منهم اكتساب مهارات ومؤهلات جديدة، وقد اتفق معه Lee *et al.*, (2015) في أنه ستكون هناك تغييرات في الطبيعة التقليدية للعمالة وهيكل العمل بسبب تطبيق الصناعة 4.0، حيث تشمل هذه التغييرات المسؤوليات الفردية والتخصيصات والعلاقات بين العمال، كما تناول Wolf *et al.*, (2018) قدرة الفرد على التكيف مع تقنيات الصناعة 4.0، حيث أوضح أن الموظف الذي سيتكيف مع متطلبات الوظيفة الجديدة سيكون لديه القدرة على الاستمرار في العمل.

بمراجعة نماذج القياس المختلفة، وُجِدَ أن جميع نماذج القياس السابق تناولها تعالج مسألة الجاهزية من منطلق "النضج" "Maturity"، بمعنى تقييم عملية التطبيق لهذه التقنيات بدءاً من التنفيذ الفعلي لها فصاعداً، بينما يتناول البحث الحالي تقييم الجاهزية قبل الانخراط في عمليات التنفيذ (أي قبل النضج)، وهو ما اتاحه نموذج Stentoft *et al.* (2021)، بالتالي يتفق هذا النموذج مع أغراض هذا البحث، إضافةً إلى اهتمام هذا النموذج ببُعد العنصر البشري إلا أنه لم يهمل أيضًا بُعدي التكنولوجيا ودعم الإدارة العليا، علاوةً على اعتماد هذا المقياس في عدد من البحوث التي تم إجراؤها في مجموعة من الدول النامية، وبالتالي يمكننا مستقبلاً إجراء

مقارنات عادلة بين المنظمات الصناعية المصرية وغيرها من المنظمات في بيئة عمل مناظرة أو مشابهة.

3- نظرية النظم الاجتماعية التقنية

أوضح Marcon *et al.* (2021) أن النظرية الاجتماعية التقنية Sociotechnical Theory تستند على فرضية أنه لتحقيق أهداف المنظمة، يجب تحسين الأنظمة الاجتماعية والفنية للمنظمة معاً بشكل مشترك، مع الأخذ في الاعتبار نظام وبيئة تنظيم العمل.

تمت صياغة مصطلح "النظم الاجتماعية التقنية" "Sociotechnical Systems" في العمل بشكلٍ أساسي من خلال كل من Trist and Bamforth بدايةً من عام 1951، وذلك بعد دراسة العمل في مناجم الفحم في إنجلترا، حيث أوضحا Trist and Bamforth (1951) أن نتائج بحثهم تقع ضمن مشروع أكبر يهتم بدراسة زيادة فعالية نشر المعلومات عبر التطوير الاجتماعي التقني في الصناعة وذلك تحت مظلة معهد Tavistock للعلاقات الإنسانية، وقد استمر المفهوم الاجتماعي التقني في النمو منذ أن أكد Cherns عام 1976على أن تحول المنظمة يحتاج إلى النظر في العوامل التكنولوجية والاجتماعية، إذ يعد Cherns (1976) أول من وضع مبادئ التصميم الاجتماعي التقني ضمن إطار التصميم والتطوير التنظيمي.

واستكمالاً للجهود السابقة قام Appelbaum (1997) بمناقشة نظرية النظم الاجتماعية التقنية كاستراتيجية تَدَخُّلْ Intervention Strategy للتطوير التنظيمي وأوضح أن هذه الاستراتيجية تتضمن العديد من النقاط القوية ، ولكن يجب استخدامها ضمن خطة تغيير استراتيجي للتطوير التنظيمي بدلاً من استخدامها كاستراتيجية منفصلة.

وقد ناقش أيضاً Walker *et al.* (2008) المفهوم الاجتماعي التقني حيث أشار إلى الترابط بين النظم الاجتماعية والتقنية، وأوضح أن النظرية الاجتماعية

التقنية تأسست على مبدأين رئيسيين، الأول هو أن تفاعل العوامل الاجتماعية والتقنية يخلق الظروف لأداء نظام ناجح، والثاني هو أن التحسين الاجتماعي والتقني (الأكثر شيوعاً) يعمل على زيادة كمية العلاقات غير الخطية (غير المتوقعة) وبالتالي فإن النظرية الاجتماعية التقنية تدور حول "التحسين المشترك".

منذ ذلك الحين، تم اعتماد نظرية النظم الاجتماعية التقنية كإطار يمكن من خلاله دراسة العديد من المجالات الصناعية، وخاصة التصنيع، حيث تناول كل من Sauren *et al.* ، Righi and Sauren (2015) ، Soliman *et al.* (2018) (2013) أساليب التصنيع المرن في إطار تعقيدات النظرية الاجتماعية التقنية، كما اعتمد كل من Sovacool *et al.* (2021) ، Del Rio *et al.* (2022) ، Rezaey *et al.* (2020) ، Murphy *et al.* (2018)، على النظم الاجتماعية التقنية كمدخل لدراسة وتحسين عمليات التصنيع المختلفة.

4- مناقشة الصناعة 4.0/الجاهزية للصناعة 4.0 من خلال النظرية الاجتماعية التقنية

أوضح Nosalska *et al.* (2019) أن تناول تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 من منظور النظرية الاجتماعية التقنية، أصبح أمرًا شائعاً ومنتشر بشكل متزايد في أبحاث الصناعة 4.0 الحديثة، حيث بيّن Davies *et al.* (2017) أنه لنشر تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 فإنه من الضروري وجود بنية تحتية قوية من ناحية، وكذلك الاعتماد على تقدير الميزات الاجتماعية التقنية من ناحية أخرى، كذلك أوضح Goswami and Daultani (2021) أنه يمكن الاعتماد على المدخل الاجتماعي التقني بهدف الإسراع من تبني تطبيق تقنيات الصناعة 4.0.

تستفيد الصناعة 4.0 من المدخل الاجتماعي التقني، إذ يتم الأخذ في الاعتبار الآثار البشرية والتكنولوجية وعلاقاتهما المتبادلة، على سبيل المثال، يمكن تقليل العوائق التي تحول دون تبني الصناعة 4.0 بسبب مقاومة العمال من خلال

إشراكهم في تنفيذ التكنولوجيا ، في حين أنه يمكن زيادة مساهمتهم في التغييرات الحادثة والمستمرة (Vereycken *et al*., 2021).

وقد أوضح Bednar and Welch (2019) أنه يمكن أن يساعد المدخل الاجتماعي التقني في التغلب على هذه العوائق لأنه يوفر منظورًا شاملاً ومعاصرًا في تحليل المتطلبات والتغييرات التي ستحدثها أدوات وتقنيات الصناعة 4.0 على المنظمة.

كذلك بيّن Sitepu *et al.* (2020) أن اعتماد تطبيق الصناعة 4.0 يتطلب تعديلات في جميع جوانب عمل المنظمات بما في ذلك الرؤية والثقافة والأفراد (الجوانب الاجتماعية) وكذلك التكنولوجيا والعمليات والبنية التحتية (الجوانب التقنية)، حيث أن التعديلات في جوانب مختارة فقط، على سبيل المثال، التعديل في التكنولوجيا والبنية التحتية فقط دون تعديل في العنصر البشري، قد يؤدي إلى الفشل في تبني الصناعة 4.0، ومن ثم، يجب أن يشمل تقييم جاهزية المنظمات لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 الجوانب الاجتماعية والتقنية لتلك المنظمات.

وقد قام أيضاً Li *et al*., (2020) باستكشاف التحديات، ومدى جاهزية النظم الانتاجية والخدمية للمنظمات الصغيرة والمتوسطة من منظور النظم الاجتماعية التقنية في إطار تطبيق تقنيات الصناعة 4.0، حيث أشار إلى أن المستوى المرتفع من الجاهزية التقنية بالمنظمات قوبل بانخفاض مستوى الاستثمارات الاجتماعية والتنمية الاستراتيجية للموارد البشرية.

وهو ما يدعم ما اقترحه Sitepu *et al.* (2020) في ما يخص التكامل ببين الجانبين الاجتماعي والتقني والذي أوضح أن بحوث الصناعة 4.0 تحتاج إلى مزيد من الأدوات لتقييم جاهزية المنظمات نحو تطبيق هذه التقنيات الرقمية المتقدمة والتي تتضمن الجوانب التقنية والاجتماعية الكاملة للمنظمات، وهو ما يحاول هذا البحث تغطيته بالفحص والتحليل.

ثالثاً: مساهمات البحث

1- تتمثل المساهمة الرئيسية لهذا البحث في أنه يعد **المحاولة الأولى** لتحليل مدى **جاهزية** المنظمات الصناعية المصرية لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0، ومعرفة إلى أي مدى تُطبق مثل هذه التقنيات الصناعية المتقدمة **في القطاع الصناعي المصري.**

2- يساهم هذا البحث على المستوى التطبيقي في بحوث إدارة العمليات بشكلٍ عام وفي البحوث المهتمة بالصناعة 4.0 بشكلٍ خاص، خاصةً التي تتناول تطبيق هذه التقنيات في الدول النامية.

3- تتمثل أهم مساهمات هذا البحث في التعرف على تأثير الخصائص التنظيمية على جاهزية منظمات الأعمال الصناعية المصرية لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 وتحليل كيف يمكن للعوامل الاجتماعية والتقنية أن تؤثر على درجة جاهزية أو استعداد المنظمات لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0، إذ لم يتم مسبقاً تناول أي من هذه العوامل.

4- يساهم هذا البحث في تحديد الفوائد المتوقع الحصول عليها حال تبني تلك التقنيات من قِبل المصنعين المصريين، وبالتالي تعم الاستفادة على كل من صانعي القرار والمصنعين المهتمين بهذا الشأن.

رابعاً: مشكلة البحث

يمكن صياغة مشكلة البحث من خلال مجموعة الأسئلة التالية :

(1) ما هي درجة استعداد أو جاهزية المصنعون المصريون تجاه تطبيق الصناعة 4.0 وما هو موقفهم حاليًا تجاه تطبيق تلك التقنيات؟

(2) كيف تؤثر العوامل الاجتماعية على جاهزية المنظمات الصناعية المصرية لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0؟

(3) كيف تؤثر العوامل التقنية على جاهزية المنظمات الصناعية المصرية لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 ؟

(4) ما هي الاختلافات بين جاهزية المنظمات الصناعة المصرية عند تبني تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 وفقاً لنوع وحجم ونظام الإنتاج المتبع ؟

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

1- استكشاف مدى جاهزية المنظمات الصناعية المصرية لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0.

2- تحديد أثر كل من العوامل الاجتماعية والفنية على جاهزية المنظمات الصناعية المصرية لتبني تطبيق تقنيات الصناعة 4.0.

3- تقييم الفروق بين جاهزية منظمات الأعمال الصناعية المصرية من حيث تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 بناءً على حجم ونوع المنظمة ونظامها الإنتاجي.

4- تحديد الفوائد المتوقع الحصول عليها من قِبل منظمات الأعمال الصناعية المصرية حال تطبيقها لتقنيات الصناعة 4.0.

من أجل التعرف على مدى جاهزية المنظمات الصناعية المصرية لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 وتقييم الفروق فيما بينها من حيث درجة استعدادها وفقاً لخصائصها التنظيمية، وكذلك للتعرف على العوامل (الاجتماعية والتقنية) التي قد تؤثر على درجة استعداد تبني تقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية، فإنه من الضروري اختبار الفروض التالية:

الفرض الأول (H1) :

أ- تحقق المنظمات الصناعية المصرية درجة جاهزية منخفضة تجاه تطبيق تقنيات الصناعة 4.0.

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

الفرض الثاني (H2) :

أ- يؤثر تحسين الجوانب الاجتماعية بنظام التصنيع تأثيرًا إيجابياً على جاهزية المنظمة لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية.

ب- يؤثر تحسين الجوانب التقنية بعمليات التصنيع تأثيرًا إيجابياً على جاهزية المنظمة لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية.

الفرض الثالث (H3) :

ارتفاع جاهزية المنظمات الصناعية المصرية يؤدي إلى زيادة تبني تلك المنظمات لتقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية.

الفرض الرابع (H4) :

يوجد فروق معنوية بين جاهزية منظمات الأعمال الصناعية المصرية فيما يتعلق بتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 وفقاً لخصائصها التنظيمية.

أ- يوجد فروق معنوية بين جاهزية منظمات الأعمال الصناعية المصرية فيما يتعلق بتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 على أساس حجم المنظمة.

ب- يوجد فروق معنوية بين جاهزية منظمات الأعمال الصناعية المصرية فيما يتعلق بتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 على أساس نوع المنظمة.

ج- يوجد فروق معنوية بين جاهزية منظمات الأعمال الصناعية المصرية فيما يتعلق بتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 على أساس نظام الإنتاج المتبع بالمنظمة.

خامساً: منهجية البحث

1- منهج البحث

يعتمد البحث علي المنهج الوصفي التحليلي للتحقق من صحة الفروض، إذ تتضمن متغيرات البحث (العوامل الاجتماعية ؛ العوامل التقنية ؛ جاهزية المنظمة لتطبيق تقنيات 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 (PLS-SEM)

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

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

أ- عدد المسارات الهيكلية بالنموذج المقترح بالبحث = ثلاثة مسارات.

ب- 3 مسارات × 10 = 30 مفردة.

ج- إذاً الحجم المتوقع لحجم العينة هو 30 مفردة على الأقل.

د- بالتالي فإن عدد مفردات البحث مناسب لبناء النموذج المقترح، حيث أن عدد المفردات 32 مفردة, وهي أكبرمن 30 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 58 عبارة بواقع سبع عبارات لقياس متغير "جاهزية المنظمات لتطبيق تقنيات الصناعة4.0"، وست عبارات لقياس متغير

"العوامل الاجتماعية"، وسبع عبارات لقياس متغير "العوامل الاجتماعية"، 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، كما تضمنت قائمة الاستبيان ست وعشرون عبارة لتحديد الفوائد المتوقع الحصول عليها حال تبني تطبيق تقنيات الصناعة 4.0.

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 Marcon *et al.* (2021) في قياس متغيري "العوامل الاجتماعية"، "والعوامل التقنية"، استناداً إلى مسح التصنيع الأوروبي European Manufacturing Survey، وهو أحد أكبر دراسات المسح للتصنيع في قارة أوروبا، كما اعتمد البحث على مقياس Rüßmann (2015) فيما يخص متغير "تطبيق تقنيات الصناعة 4.0"، وأخيرًا اعتمد البحث على مقياس Stentoft *et al.* (2021) لقياس متغير "جاهزية المنظمات لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0".

ج- منهجية التحليل باستخدام SEM-PLS

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):

أ- تحقق المنظمات الصناعية المصرية درجة جاهزية منخفضة تجاه تطبيق تقنيات الصناعة 4.0.

جدول (2)

مدى جاهزية المنظمة لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0

عناصر جاهزية المنظمة لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0[2]	المتوسطات	الانحراف المعياري	الخطأ المعياري
نواجه ضغوطًا للعمل بتقنيات الصناعة 4.0 (على سبيل المثال: ضغوط من العملاء والموردين والسلطات وما إلى ذلك).	3.0000	1.37649	0.22042
تابع جدول (2) ...			
عناصر جاهزية المنظمة لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0[3]	**المتوسطات**	**الانحراف المعياري**	**الخطأ المعياري**
لدينا الاستعداد لتحمل المخاطر لتجربة	3.7692	1.0628	0.1701

(2) تمثل هذه العناصر البنود التي أعتمد عليها مقياس Stentoft *et al*. (2021) في قياس مدى جاهزية المنظمة لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0.

(3) تمثل هذه العناصر البنود التي أعتمد عليها مقياس Stentoft *et al*. (2021) في قياس مدى جاهزية المنظمة لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0.

تقنيات الصناعة 4.0.		1	9
لدينا المعرفة اللازمة حول تقنيات الصناعة 4.0 للحكم على أهميتها بالنسبة لشركتنا.	3.9231	0.83932	0.13440
لدينا الدعم اللازم من الإدارة العليا للحكم على، والعمل بتقنيات الصناعة 4.0.	3.9231	1.15587	0.18509
يتمتع موظفونا بالكفاءات المناسبة للعمل بتقنيات الصناعة 4.0.	3.8462	0.87475	0.14007
يمتلك موظفونا الدافع الحقيقي للحكم على، والعمل بتقنيات الصناعة 4.0.	3.5385	1.02202	0.16365
لدينا الحرية الاقتصادية للعمل بتقنيات الصناعة 4.0.	3.7692	0.80986	0.12968

المصدر: الجدول من إعداد الباحث في ضوء مخرجات برنامج SPSS

كما هو متضح من جدول (2) فإن دعم الإدارة العليا للعمل بتقنيات الصناعة 4.0 وكذلك المعرفة اللازمة حول هذه التقنيات للحكم على اهميتها بالنسبة للمنظمة كانت أكثر العناصر تعبيراً عن مدى جاهزية المنظمة نحو تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 (متوسط 3.9231)، تلاها في المرتبة الثانية تمتع الموظفين بالكفاءات المناسبة للعمل بتقنيات الصناعة 4.0 بمتوسط 3.8462، بينما حل الاستعداد لتحمل المخاطر لتجربة تقنيات الصناعة 4.0 في المرتبة الثالثة بمتوسط 3.7692.

على الجانب الآخر كان أقل العناصر تعبيراً عن الجاهزية هو مواجهة الضغوط للعمل بتقنيات الصناعة 4.0 (متوسط 3.0000) تلاه امتلاك الموظفون الدافع الحقيقي للعمل بهذه التقنيات بمتوسط 3.0513، وأخيراً توافر الحرية الاقتصادية للعمل بهذه التقنيات بمتوسط 3.0513.

تختلف هذه النتائج مع الفرض الأول (أ) جزئياً والذي ينص على "تحقق المنظمات الصناعية المصرية درجة جاهزية منخفضة تجاه تطبيق تقنيات الصناعة 4.0"، إذ أظهرت المنظمات الصناعية المصرية "مستوى جاهزية متوسط"، حيث تؤكد النتائج أن متوسط قيمة متغير جاهزية الصناعة 4.0 أعلى من 3 (جميع العبارات تدور حول متوسط 3 وأقل من4)، مما يعني أن معظم المستجيبين قد أشاروا إلى استجابتهم للاتفاق مع عناصر الأسئلة من 1 إلى 7، نظرًا لأن جميع العبارات

السبع المستخدمة في قياس جاهزية الصناعة 4.0 هي عبارات إيجابية، بالتالي كلما ارتفع المتوسط، كلما زاد الاستعداد نحو الصناعة 4.0.

ب- 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[4]	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

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

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.

تدعم هذه النتائج الفرض الأول (ب) 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) :

أ- يؤثر تحسين الجوانب الاجتماعية بنظام التصنيع تأثيرًا إيجابياً على جاهزية المنظمة لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية.

ب- يؤثر تحسين الجوانب التقنية بعمليات التصنيع تأثيرًا إيجابياً على جاهزية المنظمة لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية.

الفرض الثالث (H3) :

ارتفاع جاهزية المنظمات الصناعية المصرية يؤدي إلى زيادة تبني تطبيق تلك المنظمات لتقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية.

يتم اختبار الفرض الثاني والثالث وفقاً للخطوات التالية:

أ- حساب متوسطات العوامل الاجتماعية المطبقة بنظام التصنيع بالمنظمات الصناعية محل البحث

ب- حساب متوسطات العوامل التقنية المطبقة بعمليات التصنيع بالمنظمات الصناعية محل البحث

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 الاجتماعية ومدى جاهزية المنظمة لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية.

ب- تحليل ومناقشة العلاقة بين العوامل التقنية ومدى جاهزية المنظمة لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية.

ج- تحليل ومناقشة العلاقة بين جاهزية المنظمات الصناعية المصرية ومدى تطبيقها لتقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية.

أ- حساب متوسطات العوامل الاجتماعية المطبقة بنظام التصنيع بالمنظمات الصناعية محل البحث

جدول (4)

العوامل الاجتماعية المطبقة بنظام التصنيع بالمنظمات الصناعية محل البحث

عناصر العوامل الاجتماعية المطبقة بالمنظمات الصناعية[5]	المتوسطات	الانحراف المعياري	الخطأ المعياري
برامج التعلم الذاتي القائمة على تكنولوجيا المعلومات (التعلم الإلكتروني).	3.7692	0.90209	0.14445
الأساليب الموحدة لتصميم الوظائف لتحسين الصحة والسلامة المهنية.	4.0000	0.88852	0.14228
أدوات لتعزيز مشاركة الموظفين (على سبيل المثال: كافيتريا مجانية، رعاية أطفال).	4.0000	0.97333	0.15586
أدوات للاحتفاظ بالموظفين الأكبر سنًا أو معرفتهم في الشركة (على سبيل المثال: تكوين فرق مع التركيز على التنوع العمري).	3.3846	1.01607	0.16270
فرص التدريب مع التركيز على التخصصات المتعددة.	4.3077	0.73104	0.11706
تدريب وتطوير مهارات الموظفين الموجهة نحو الإبداع والابتكار.	4.2308	0.80986	0.12968

المصدر: الجدول من إعداد الباحث في ضوء مخرجات برنامج SPSS

(5) تمثل هذه العناصر البنود التي أعتمد عليها Marcon *et al.* (2021) في قياس العوامل الاجتماعية، استناداً إلى مسح التصنيع الأوروبي European Manufacturing Survey ، وهو أحد أكبر دراسات المسح للتصنيع في قارة أوروبا.

بفحص جدول (4) تتضح أهمية التدريب ضمن العوامل الاجتماعية المطبقة بنظام التصنيع بالمنظمات محل البحث، حيث نجد أن "فرص التدريب مع التركيز على التخصصات المتعددة" تظهر في أعلى درجات المقياس ويتبعها مباشرةً "تدريب وتطوير مهارات الموظفين الموجهة نحو الإبداع والابتكار"، بينما تأتي "أدوات الاحتفاظ بالموظفين الأكبر سنًا في الشركة" في أدنى درجات المقياس.

ب- حساب متوسطات العوامل التقنية المطبقة بعمليات التصنيع بالمنظمات الصناعية محل البحث

جدول (5)

العوامل التقنية المطبقة بعمليات التصنيع بالمنظمات الصناعية محل البحث

عناصر العوامل التقنية المطبقة بالمنظمات الصناعية[6]	المتوسطات	الانحراف المعياري	الخطأ المعياري
لوحات إرشادية في عمليات الإنتاج وعروض لأنشطة العمل.	4.3077	0.92206	0.14765
الأوصاف التفصيلية للإقامة في مكان العمل وتعديل المعدات وتخزين المنتجات شبه النهائية.	4.2308	0.58316	0.09338
الالتزام بالتدفق المستمر للعمليات لتحسين مواجهة تغيرات أو تقلبات الإنتاج.	4.3846	0.63310	0.10138
طرق ضمان جودة الإنتاج (على سبيل المثال: الصيانة الوقائية ، إدارة الجودة الشاملة).	4.5385	0.50504	0.08087
طرق إدارة العمليات باستخدام التحليل الرياضي للإنتاج (على سبيل المثال: 6	3.8462	0.96077	0.15385

(6) تمثل هذه العناصر البنود التي أعتمد عليها Marcon *et al.* (2021) في قياس العوامل التقنية، استناداً إلى مسح التصنيع الأوروبي European Manufacturing Survey ، وهو أحد أكبر دراسات المسح للتصنيع في قارة أوروبا.

سيجما).			
طرق التحسين المستمر لعمليات الإنتاج (على سبيل المثال: كايزن ، دوائر الجودة).	3.8462	1.11304	0.17823
طرق تحسين الخدمات اللوجستية الداخلية.	4.3846	0.49286	0.07892

المصدر: الجدول من إعداد الباحث في ضوء مخرجات برنامج SPSS

يُظهر جدول (5) أهمية "الالتزام بالتدفق المستمر للعمليات بغرض تحسين مواجهة تغيرات أو تقلبات الإنتاج و"طرق تحسين الخدمات اللوجستية الداخلية"، وذلك فيما يخص العوامل التقنية المطبقة بعمليات التصنيع بالمنظمات محل البحث، حيث يظهر كل منهم في أعلى درجات المقياس بينما جاءت "طرق إدارة العمليات باستخدام التحليل الرياضي للإنتاج" و"طرق التحسين المستمر لعمليات الإنتاج" في أدنى درجات المقياس.

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 الاجتماعية	S2	0.838	0.919	0.696
	S3	0.875		

		0.728	S4	
		0.850	S5	
		0.872	S6	
0.575	0.902	0.678	T1	العوامل التقنية
		0.479	T2	
		0.683	T3	
		0.829	T4	
		0.810	T5	
		0.845	T6	
		0.902	T7	
0.727	0.941	0.740	R1	الجاهزية
		0.807	R2	
		0.741	R3	
		0.956	R4	
		0.891	R5	
		0.953	R6	

تابع جدول (6)...

متوسط التباين المستخرج Average Variance Extracted (AVE)	الثبات المركب Composite Reliability	ثبات كل عنصر Loading	العناصر Items	اسم المتغير Variable Name
0.583	0.923	0.618	A2	تطبيق عناصر تقنيات الصناعة 4.0
		0.944	A3	
		0.891	A4	
		0.790	A5	
		0.500	A6	
		0.476	A9	

		0.792	A10	
		0.792	A11	
		0.908	A12	

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 الاجتماعية	العوامل التقنية	الجاهزية	التطبيق
S2	0.838	0.597	0.767	0.670
S3	0.875	0.444	0.448	0.128
S4	0.728	0.384	0.686	0.432
S5	0.850	0.649	0.493	0.156
S6	0.872	0.660	0.502	0.219
T1	0.599	0.678	0.409	0.073
T2	0.402	0.479	0.231	0.120
T3	0.497	0.683	0.550	0.448

تابع جدول (7)...

العناصر	العوامل الاجتماعية	العوامل التقنية	الجاهزية	التطبيق
T4	0.795	0.829	0.639	0.458
T5	0.480	0.810	0.741	0.701
T6	0.293	0.845	0.581	0.636
T7	0.455	0.902	0.565	0.479
R1	0.508	0.723	0.740	0.465
R2	0.636	0.659	0.807	0.747

0.646	0.741	0.375	0.494	R3
0.781	0.956	0.711	0.771	R4
0.745	0.891	0.608	0.600	R5
0.791	0.953	0.679	0.698	R6
0.618	0.465	0.447	0.156	A2
0.944	0.829	0.689	0.843	A3
0.891	0.783	0.546	0.529	A4
0.790	0.528	0.351	0.239	A5
0.500	0.293	0.412	0.022	A6
0.476	0.335	0.160	0.375	A9
0.792	0.563	0.417	0.235	A10
0.792	0.762	0.481	0.408	A11
0.908	0.788	0.510	0.368	A12

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

التعليق على الجدولين السابقين

1- بفحص قيم ثبات كل عنصر (جدول 6)، اتضح أن أحد العناصر (العنصر S1 بمتغير "العوامل الاجتماعية") لم يحقق قيمة الثبات المطلوبة بقيمة 0.121، كما اتضح أن أحد العناصر (العنصر R7 بمتغير "الجاهزية") لم يحقق قيمة الثبات المطلوبة بقيمة 0.360، كذلك اتضح أن العناصر (A1-A7-A8) بمتغير "عناصر تطبيق تقنيات الصناعة 4.0") لم تحقق قيم الثبات المطلوبة بقيم (0.144 - 0.263 - 0.228) على الترتيب حيث أن المدى المحدد لثبات كل عنصر يجب أن يكون أكبر من أو يساوي 0.70 وأقل من 0.95.

2- 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، (5 ÷ 32) * 100= 15.62%.

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

4- بفحص قيم ثبات كل عنصر، نجد أن مجموعة العناصر (T1 – T2 – T3) (A2 – A6 – A9) 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.

5- 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.

6- 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 وفقاً لمعيار Fornell-larcker

المتغيرات	العوامل الاجتماعية	العوامل التقنية	الجاهزية	التطبيق
العوامل الاجتماعية	**0.834**			
العوامل التقنية	0.657	**0.758**		
الجاهزية	0.734	0.738	**0.853**	
التطبيق	0.441	0.607	**0.825**	**0.764**

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

التعليق على الجدول السابق:

1- من خلال فحص قيم جدول السابق، نجد أن القيمة الموجودة عند تقاطع كل متغير مع ذاته تمثل أكبر قيمة بنطاقة الأفقي والرأسي (أي أكبر قيمة بالنسبة للمتغيرات الأخرى) على سبيل المثال قيمة متغير العوامل التقنية يسجل قيمة مقدارها 0.758 وهي أكبر قيمة بنطاق المتغير أفقياً (0.746 < 0.657)، وأيضاً هي أكبر قيمة بنطاق المتغير رأسياً (0.746 < 0.738)، (0.746 < 0.607)، وهكذا بالنسبة لباقي القيم بالجدول، باستثناء قيمة (الجاهزية مع التطبيق) كما هو مبين بالقيم المظللة بالجدول (8).

2- بناءً على نتائج الخطوة السابقة، أصبح من الضروري القيام بتحليل Heterotrait-Monotrait ratio of correlations أو ما يسمى باختبار نسبة اللاتجانس-الأحادية للارتباطات، المعروف اختصاراً بتحليل (HTMT) كمعيار بديل للتأكد من صدق التمايز لكل متغير من متغيرات النموذج، حيث أوضح Henseler *et al.* (2015) أنه يمكن الاعتماد على هذا المعيار كبديل أو كطريقة أخرى لتقدير صدق التمايز لنموذج البحث، ويمكن عرض قيم هذا التحليل بالجدول التالي.

جدول (9)

نتائج اختبار ارتباط المتغيرات ببعضها البعض وفقاً لمعيار Heterotrait-Monotrait

المتغيرات	العوامل الاجتماعية	العوامل التقنية	الجاهزية	التطبيق
العوامل الاجتماعية				
العوامل التقنية	0.756			
الجاهزية	0.758	0.783		

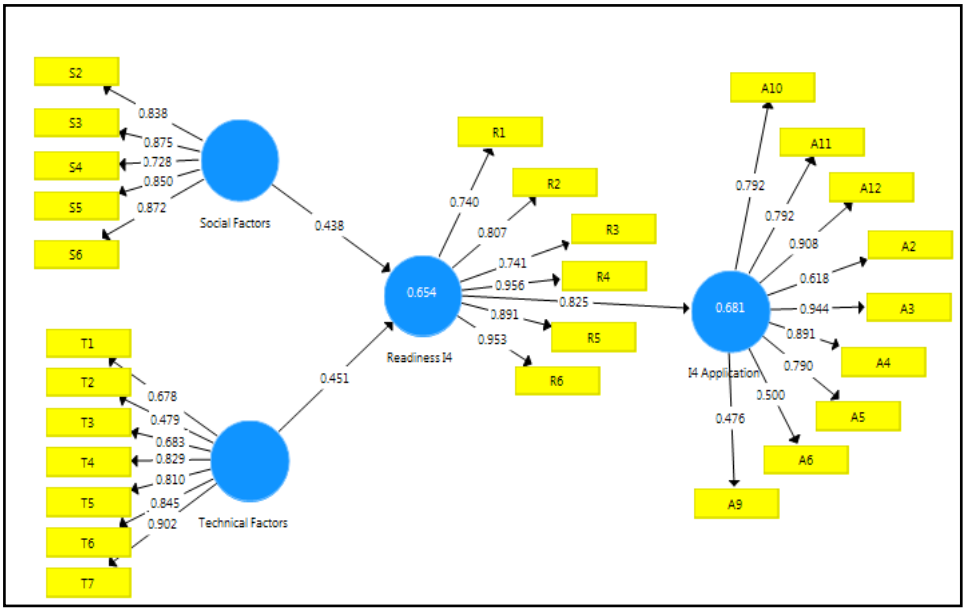
التطبيق	0.425	0.633	0.873	

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

التعليق على الجدول السابق:

1- يتضح من جدول (9) أن جميع العناصر قيمتها أقل من 0.90 مما يدل على تمايز وترابط كل متغير من متغيرات النموذج، إذ أنه وفقاً لهذا المعيار فإن مشكلة التمايز تظهر عندما تكون قيم (HTMT) مرتفعة (أكبر من 0.90)، وذلك وفقاً لنتائج (Henseler *et al.*, 2015).

2- يوضح الشكل رقم (2) ثبات كل مؤشر من مؤشرات نموذج البحث بعد إجراء التحليلات المختلفة والمتعلقة باستيفاء كافة معايير التقييم لصدق التقارب وصدق التمايز الخاصة باختبار المتغيرات الظاهرة (المشاهدة) Observed Variables، تمهيدا لبدء اختبار النموذج البنائي.



شكل (2)

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

المصدر: مخرجات برنامج Smart-PLS

د- اختبارات النموذج البنائي Assessment of Structural Model (اختبار المتغيرات الكامنة)

(أ) تحليل ومناقشة العلاقة بين العوامل الاجتماعية ومدى جاهزية المنظمة لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية.

سيتم في هذا القسم إختبار مدى صحة الفرض الثاني (أ) والذي ينص على:
"يؤثر تحسين الجوانب الاجتماعية بنظام التصنيع تأثيرًا إيجابياً على جاهزية المنظمة لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية".

جدول (10)

نتائج تحليل المسار لدراسة أثر العوامل الاجتماعية على جاهزية المنظمات لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0

العلاقة بين المتغيرات	بيتا β Beta	الخطأ المعياري	قيمة "ت" t	مستوى المعنوية sig.
العوامل الاجتماعية ← جاهزية المنظمات لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية	0.438	0.088	4.693	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- $Beta = 0.438, t = 4.693, sig. = 0.000 < 0.05$

3- مما يدل على **إيجابية العلاقة بين المتغيرين**، و**معنوية** تأثير العوامل الاجتماعية على جاهزية المنظمات لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية.

(ب) تحليل ومناقشة العلاقة بين العوامل التقنية ومدى جاهزية المنظمة لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية.

سيتم في هذا القسم إختبار مدى صحة الفرض الثاني (ب) والذي ينص على:
"يؤثر تحسين الجوانب التقنية بعمليات التصنيع تأثيرًا إيجابياً على جاهزية المنظمة لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية".

جدول (11)

نتائج تحليل المسار لدراسة أثر العوامل التقنية على جاهزية المنظمات لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0

العلاقة بين المتغيرات	بيتا β Beta	الخطأ المعياري	قيمة "ت" t	مستوى المعنوية sig.
العوامل التقنية ← جاهزية المنظمات لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية	**0.451**	**0.103**	**4.377**	**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- $Beta = 0.451, t = 4.377, sig. = 0.000 < 0.05$

3- مما يدل على **إيجابية العلاقة بين المتغيرين، ومعنوية** تأثير العوامل التقنية على جاهزية المنظمات لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية.

(ج)تحليل ومناقشة العلاقة بين جاهزية المنظمات الصناعية المصرية ومدى تطبيقها لتقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية.

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

"ارتفاع جاهزية المنظمات الصناعية المصرية يؤدي إلى زيادة تطبيق تلك المنظمات لتقنيات الصناعة 4.0 **في البيئة المصرية**".

جدول (12)

نتائج تحليل المسار لدراسة

أثر ارتفاع جاهزية المنظمات الصناعية المصرية على زيادة تطبيق تلك المنظمات لتقنيات الصناعة 4.0

العلاقة بين المتغيرات	بيتا β Beta	الخطأ المعياري	قيمة "ت" t	مستوى المعنوية sig.
جاهزية المنظمات لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 ← تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية	**0.825**	**0.088**	**9.419**	**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- $Beta = 0.825, t = 9.419, sig. = 0.000 < 0.05$

3- مما يدل على **إيجابية العلاقة بين المتغيرين، ومعنوية** تأثير جاهزية المنظمات لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 على مدى تطبيقها لتلك التقنيات في البيئة المصرية.

(د) تحليل ومناقشة وصف العلاقة بين المتغيرات السابقة (العوامل الاجتماعية والعوامل التقنية) ومتغير جاهزية المنظمات لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0.

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

جدول (13)

معاملات التحديد لمتغير جاهزية المنظمات لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0

المتغير	معامل التحديد R Square	معامل التحديد المعدل R Square Adjusted
جاهزية المنظمات لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0	0.654	0.635

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

التعليق على الجدول السابق:

1- يتضح من جدول (13) أن قيمة كل من *Adjusted R Square* = 0. 635, R^2 = 0. 654

2- أي أن العوامل الاجتماعية والعوامل التقنية **مجتمعان،** مسئولان عن حوالي **65%** من التغير في جاهزية المنظمات لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية.

2- معامل التحديد R^2 يصف العلاقة بين العوامل الاجتماعية والعوامل التقنية **إجمالاً، ولوصف العلاقة من خلال كل متغير على حدة، يتم استخدام معامل F^2 لتحديد حجم الأثر لكل متغير على حدة كالتالي:**

جدول (14)

حجم التأثير لكل متغير على جاهزية المنظمات لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0

المتغيرات	قيمة "ف" F Square
العوامل الاجتماعية ← جاهزية المنظمات لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية	0.314
العوامل التقنية ← جاهزية المنظمات لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية	0.333

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

التعليق على الجدول السابق:

1- يتضح من جدول (14) أن **حجم تأثير العوامل الاجتماعية** على **جاهزية المنظمات لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0** يساوي حوالي **31 %** (تأثير متوسط).

2- **حجم تأثير العوامل التقنية** على **جاهزية المنظمات لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0** يساوي حوالي **33 %** (تأثير متوسط).

3- وصف العلاقة بين جاهزية المنظمات لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 من ناحية ومدى تطبيق هذه المنظمات لتلك التقنيات من ناحية أخرى، ويتم ذلك من خلال بيان معامل التحديد R^2 كالتالي:

جدول (15)

معاملات التحديد لمتغير تطبيق تقنيات الصناعة 4.0

المتغير	معامل التحديد R Square	معامل التحديد المعدل R Square Adjusted
تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية	0.681	0.672

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

التعليق على الجدول السابق:

1- يتضح من جدول (15) أن قيمة كل من *Adjusted R Square* = 0. 672, R^2 = 0. 681

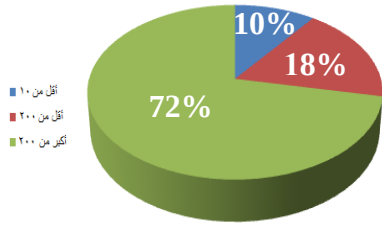
2- أي أن جاهزية المنظمات لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 ، مسئولة عن حوالي **68%** من التغير في تبني تطبيق هذه المنظمات لتلك التقنيات في البيئة المصرية.

اختبارات الفرض الرابع (H4):

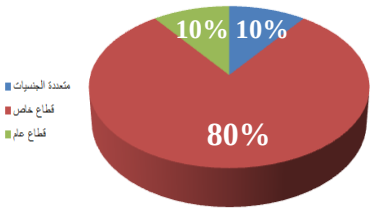
نظراً لطبيعة البيانات وحجم العينة كما سبق الإشارة بقسم منهجية البحث، فقد اعتمد الباحث على اختبار "Kruskal-Wallis H Test" لتحديد الفروق المعنوية بين المجموعات محل البحث، حيث أنه اختبار لا معلمي "لا بارامتري" "Non-Parametric" عوضاً عن استخدام اختبار تحليل التباين الأحادي "ANOVA" في الاحصاء البارامتري Parametric، كما اعتمد الباحث على اختبار "Mann-Whitney Test" كاختبار بعدي لتحديد اتجاه الفروق بين المجموعات محل البحث، ولتيسير القراءة والربط بين الأجزاء المختلفة للبحث، فقد راعى الباحث إدارج قسم الاحصاء الوصفي قبل إجراء اختبار الفرض الرابع مباشرةً، كما هو مبين بالسطور القليلة القادمة.

الإحصاءات الوصفية

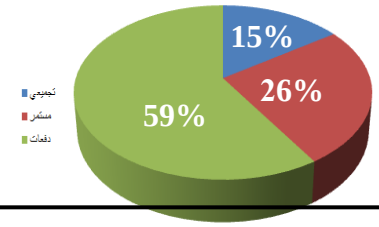
يوضح الشكل (3) المجموع والنسبة المئوية لنوع وحجم ونظام الإنتاج للشركات محل البحث



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)

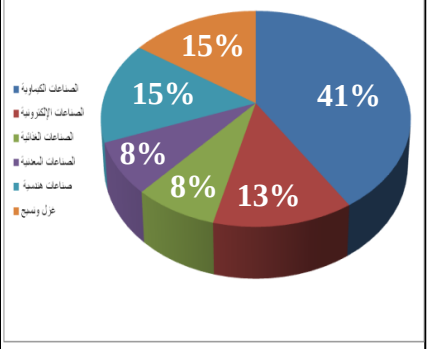
المجموع والنسب المئوية للنوع والحجم والنظام الإنتاجي للشركات محل البحث

المصدر: الشكل من إعداد الباحث في ضوء مخرجات برنامج Excel

يوضح الشكل (4) وصف عينة البحث من حيث المجموع والنسبة المئوية وفقاً لكل قطاع صناعي

البيان	صناعات كيماوية	صناعات إلكترونية	صناعات غذائية
القطاع الصناعي	41%	%13	8%
	16	5	3

البيان	صناعات معدنية	صناعات هندسية	صناعات نسيج
القطاع الصناعي	8%	15%	15%
	3	6	6



شكل (4)
المجموع والنسب المئوية للقطاعات الصناعية التي تنتمي لها الشركات محل البحث

المصدر: الشكل من إعداد الباحث في ضوء مخرجات برنامج Excel

مناقشة العلاقة بين جاهزية منظمات الأعمال الصناعية المصرية لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 وفقاً لخصائصها التنظيمية.

اختبار الفرض الرابع (أ) والذي ينص على "يوجد فروق معنوية بين جاهزية منظمات الأعمال الصناعية المصرية فيما يتعلق بتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 على أساس حجم المنظمة".

جدول (16)

نتائج اختبار Kruskal–Wallis للفروق المعنوية بين مجموعات البحث

المتغير	حجم المنظمة	متوسط الرتب Mean Rank	قيمة chi-square	درجات الحرية df	القيمة الاحتمالية p-value
جاهزية المنظمة لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0	أكبر من 200	22.50	11.509	2	0.003
	أقل من 200	7.00			
	أقل من 10	25.25			

التعليق على الجدول السابق:

من خلال فحص القيم السابقة نجد أن المجموعات الثلاث: *sig.* = 0.003< 0.05 ، مما يدل على **وجود فروق معنوية بين المجموعات الثلاث** فيما يخص جاهزية منظمات الأعمال الصناعية المصرية لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 على أساس حجم المنظمة.

لتحديد اتجاه الفروق المعنوية بين المجموعات، تم إجراء اختبار "Mann–Whitney Test"، والجدول التالي يلخص نتائج هذا الاختبار للمجموعات الثلاث.

جدول (17)

نتائج اختبار Mann–Whitney لتحديد اتجاه الفروق بين مجموعات البحث وفقاً لحجم المنظمة

المتغير	المجموعات	حجم المنظمة	متوسط الرتب Mean Rank	قيمة Mann-Whitney	القيمة الاحتمالية p-value
جاهزية المنظمة	المجموعة الأولى	أكبر من 200	20.86	18.000	0.000

لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0	والثانية	أقل من 200	6.57		
	المجموعة الثانية والثالثة	أقل من 200	4.43	3.000	0.042
		أقل من 10	8.75		
	المجموعة الأولى والثالثة	أكبر من 200	16.14	46.000	0.602
		أقل من 10	19.00		

التعليق على الجدول السابق:

من خلال فحص القيم السابقة نجد أن المجموعة الأولى والثانية: *sig.* = 0.000< 0.05 ومتوسط الرتب للمجموعة الأولى 20.86 أكبر من المجموعة الثانية 6.57، كذلك أن المجموعة الثانية والثالثة: *sig.* = 0.042< 0.05 ومتوسط الرتب للمجموعة الثالثة 8.75 أكبر من المجموعة الثانية 4.43 ، بينما المجموعة الأولى مع الثالثة *sig.* = 0.602> 0.05 ، مما يدل على أن الفروق المعنوية بين المجموعات الثلاث فيما يخص جاهزية منظمات الأعمال الصناعية المصرية لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 على أساس حجم المنظمة **كانت بسبب المجموعة الأولى مع الثانية والمجموعة الثانية مع الثالثة ، كذلك كانت الفروق لصالح المجموعة الأولى والثالثة.**

اختبار الفرض الرابع (ب) والذي ينص على "يوجد فروق معنوية بين جاهزية منظمات الأعمال الصناعية المصرية فيما يتعلق بتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 على أساس نوع المنظمة".

جدول (18)

نتائج اختبار Kruskal-Wallis للفروق المعنوية بين مجموعات البحث

المتغير	نوع المنظمة	متوسط الرتب Mean Rank	قيمة chi-square	درجات الحرية df	القيمة الاحتمالية p-value
جاهزية المنظمة لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0	قطاع خاص	17.58	7.875	2	0.019
	قطاع عام	33.25			
	متعددة الجنسيات	25.50			

التعليق على الجدول السابق:

من خلال فحص القيم السابقة نجد أن المجموعات الثلاث: $sig. = 0.019 < 0.05$ ، مما يدل على **وجود فروق معنوية بين المجموعات الثلاث** فيما يخص جاهزية منظمات الأعمال الصناعية المصرية لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 على أساس نوع المنظمة.

لتحديد اتجاه الفروق المعنوية كانت لصالح مَن مِن المجموعات، تم إجراء اختبار "Mann-Whitney Test"، والجدول التالي يلخص نتائج هذا الاختبار للمجموعات الثلاث.

جدول (19)
نتائج اختبار Mann-Whitney لتحديد اتجاه الفروق بين مجموعات البحث وفقاً لنوع المنظمة

المتغير	المجموعات	نوع المنظمة	متوسط الرتب Mean Rank	قيمة Mann-Whitney	القيمة الاحتمالية p-value
جاهزية المنظمة لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0	المجموعة الأولى والثانية	قطاع خاص	16.45	14.000	0.009
		قطاع عام	30.00		
	المجموعة الثانية والثالثة	قطاع عام	5.75	3.000	0.200
		متعددة الجنسيات	3.25		
	المجموعة الأولى والثالثة	قطاع خاص	17.13	35.000	0.176
		متعددة الجنسيات	24.75		

التعليق على الجدول السابق:

من خلال فحص القيم السابقة نجد أن المجموعة الأولى والثانية: *sig.* = 0.000< 0.05 ومتوسط الرتب للمجموعة الثانية 30.00 أكبر من المجموعة الأولى 16.45، بينما المجموعة الثانية والثالثة: *sig.* = 0.200> 0.05 والمجموعة الأولى مع الثالثة *sig.* = 0.176> 0.05 ، مما يدل على **أن الفروق المعنوية بين المجموعات الثلاث فيما يخص جاهزية منظمات الأعمال الصناعية المصرية لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 على أساس نوع المنظمة كانت بسبب المجموعة الأولى مع الثانية وكانت الفروق لصالح المجموعة الثانية.**

اختبار الفرض الرابع (ج) والذي ينص على "يوجد فروق معنوية بين جاهزية منظمات الأعمال الصناعية المصرية فيما يتعلق بتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 على أساس نظام الإنتاج المتبع بالمنظمة".

جدول (20)

نتائج اختبار Kruskal-Wallis للفروق المعنوية بين مجموعات البحث

المتغير	نظام الإنتاج المتبع	متوسط الرتب Mean Rank	قيمة chi-square	درجات الحرية df	القيمة الاحتمالية p-value
جاهزية المنظمة لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0	مستمر	16.20	1.606	2	0.448
	دفعات	21.00			
	تجميعي	22.50			

التعليق على الجدول السابق:

من خلال فحص القيم السابقة نجد أن المجموعات الثلاث: $sig. = 0.448 > 0.05$، مما يدل على **عدم وجود فروق معنوية بين المجموعات الثلاث** فيما يخص جاهزية منظمات الأعمال الصناعية المصرية لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 على أساس النظام الإنتاجي المتبع.

الفوائد المتوقع الحصول عليها حال تبني تطبيق تقنيات الصناعة 4.0:

يلخص الجدول التالي الفوائد المتوقعة من تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 بالمنظمات الصناعية في القطاع الصناعي المصري وفقاً لعينة البحث مرتبة ترتيباً تصاعدياً، إذ يشير الترتيب الأعلى إلى فائدة عالية متوقعة، ويشير الترتيب الأقل إلى انخفاض الفائدة المتوقعة.

جدول (21)
الفوائد المتوقعة لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0

الفوائد	الترتيب	المتوسط	الانحراف المعياري
تقليل وقت تطوير المنتج.	1	4.3846	0.49286
رقابة إدارية أفضل.	2	4.3846	0.84652
توسيع نطاق المنتجات.	3	4.3846	0.63310
تحسين القدرة على الاستجابة للتغيرات في جودة الموردين.	4	4.3846	0.49286
تحسين الجودة.	5	4.3077	0.92206
زيادة الإنتاجية.	6	4.3077	0.83205
استجابة أفضل تجاه التغير في حجم الانتاج.	7	4.3077	0.83205

تابع جدول (21) ...

الفوائد	الترتيب	المتوسط	الانحراف المعياري
تخفيض وقت إنهاء الأعمال.	8	4.3077	0.83205
زيادة المرونة.	9	4.3077	0.83205
خفض التكاليف.	10	4.3077	0.73104
تقليل عدد مرات تغير وقت الإعداد.	11	4.3077	0.61361
التغلب على أوجه القصور في مهارات إدارة الإنتاج.	12	4.3077	0.73104
تحسين تكامل نظام معلومات التصنيع.	13	4.2308	0.80986
استجابة أفضل تجاه التنوع في مزيج المنتجات.	14	4.2308	0.58316
تحسين القدرة على الاستجابة للتغيرات في مواعيد تسليم الموردين.	15	4.2308	0.80986
تحسين صورة الشركة.	16	4.2308	0.80986
تحسين القدرة على الاستجابة للتغيرات الهندسية.	17	4.2308	0.70567
التغلب على أوجه القصور في المهارات.	18	4.1538	0.67037

تحسين بيئة العمل.	19	4.1538	0.87475
الحصول على ميزة تنافسية.	20	4.1538	1.11304
تحسين تكامل أنظمة المعلومات عبر الأقسام.	21	4.0769	0.73930
تحسين القدرة على تنفيذ التغييرات الهندسية.	22	4.0769	0.73930
تحسين مواقف العاملين تجاه الشركة.	23	4.0000	1.05131
زيادة المبيعات.	24	4.0000	0.97333
علاقات عمل أفضل.	25	3.9231	0.92863
تحسين مواقف الإدارة تجاه العاملين.	26	3.8462	1.30864

المصدر: الجدول من إعداد الباحث في ضوء مخرجات برنامج SPSS

يتضح من الجدول السابق أنه عندما سُئل مديري الانتاج عن الفوائد المتوقعة من تبني تطبيق تقنيات الصناعة 4.0، فقد جاء "تقليل وقت تطوير المنتج"، "رقابة إدارية أفضل"، "توسيع نطاق المنتجات"، "تحسين القدرة على الاستجابة للتغيرات في جودة الموردين"، في المراتب الأولى (في أعلى درجات المقياس)، تبعها "تحسين الجودة"، "زيادة الإنتاجية"، "استجابة أفضل تجاه التغير في حجم الانتاج"، "تخفيض وقت إنهاء الأعمال، زيادة المرونة"، "خفض التكاليف"، "تقليل عدد مرات تغير وقت الإعداد"، "التغلب على أوجه القصور في مهارات إدارة الإنتاج"، بينما جاءت "علاقات عمل أفضل"، "تحسين مواقف الإدارة تجاه العاملين"، في آخر الترتيب (أدنى درجات المقياس).

سابعاً: مناقشة النتائج

تشير نتائج البحث إلى أن المنظمات الصناعية المصرية – على عكس المتوقع– لديها "مستوى جاهزية متوسط"، بمعنى أنها مستعدة جزئياً لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0، وأن هذه الجاهزية المتوسطة أو ما يمكن أن نسميه الاستعداد الجزئي كان مدفوعاً "بدعم الإدارة العليا للعمل بتقنيات الصناعة 4.0، وكذلك "المعرفة اللازمة حول هذه التقنيات للحكم على اهميتها بالنسبة للمنظمة"، إذ تتفق هذه النتيجة مع ما توصل له كل من (Soomro *et al.*, 2021) بالقطاع الصناعي الماليزي، (Sony & Naik, 2018) بالقطاع الصناعي الهندي، وربما يرجع ذلك إلى الواقع الجديد الذي تعيشة معظم المنظمات ليس بمصر فقط ولكن

على المستوى العالمي نتيجة دمج التقنيات الرقمية المتقدمة في كافة مناحي الأعمال ولاسيما في عمليات التصنيع كانعكاس لما فرضته أزمة جائحة فيروس كورونا من واقع جديد من شأنه أن يدفع المجتمع الصناعي إلى العمل وفق معطيات هذه البيئة الرقمية الجديدة، ويدعم ذلك "تمتع العاملين بالكفاءات المناسبة للعمل بتقنيات الصناعة 4.0"، و"الاستعداد لتحمل المخاطر لتجربة تقنيات الصناعة 4.0"، حيث جاءت هذه العناصر –وفقاً لنتائج البحث– لاحقةً لها في الترتيب مباشرةً.

من ناحية أخرى أظهرت النتائج أن "مواجهة الضغوط للعمل بتقنيات الصناعة 4.0"، يليها "امتلاك الموظفون الدافع الحقيقي للعمل بهذه التقنيات"، كانتا أقل العناصر تعبيرًا عن الجاهزية، وربما يعود ذلك إلى عدم ارتباط المصنع المصري بمجموعة من الاجراءات الملزمة سواء من جانب الحكومة أو على مستوى القطاع الصناعي أو ربما لعدم اندماجه بشكلٍ كامل بشبكات سلاسل التوريد العالمية، وربما يمثل ذلك جزء من مقاومة العمال لتطبيق التقنيات الجديدة بسبب تخوفهم من فقدان وظائفهم على المدى البعيد، وهو مايستلزم المزيد من البحث للوقوف على هذه الأسباب ومعالجتها.

وفي نفس السياق ولكن في إطار علاقة جاهزية المنظمات الصناعية المصرية بتطبيق تلك المنظمات لتقنيات الصناعة 4.0، فقد أشارت النتائج إلى إيجابية العلاقة بين جاهزية المنظمات لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 ومدى تطبيقها لتلك التقنيات في البيئة المصرية، وهو ما اتفق مع نتائج بحث (Stentoft *et al.*, 2021) حيث أوضحت النتائج أن ارتفاع جاهزية المنظمات الصناعية أدى إلى زيادة تطبيق تلك المنظمات لتقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية، بمعنى آخر وبشكل أوضح تفسيراً أن جاهزية المنظمات لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0، كانت مسئولة عن حوالي 68% من التغير في تبني تطبيق هذه المنظمات لتلك التقنيات في البيئة المصرية.

اهتم هذا البحث أيضًا بدراسة تأثير العوامل الاجتماعية والتقنية على جاهزية المنظمة من منظور المدخل الاجتماعي التقني Sociotechnical Approach،

لما لهذا المدخل من اهمية في بحوث التصنيع الحديثة وخاصةً البحوث المهتمة بالصناعة 4.0، وبالنظر إلى العوامل الاجتماعية أشارت نتائج البحث إلى أهمية التدريب ضمن العوامل الاجتماعية المطبقة بنظام التصنيع بالمنظمات الصناعية المصرية، حيث أن "فرص التدريب مع التركيز على التخصصات المتعددة" يتبعها مباشرةً "تدريب وتطوير مهارات الموظفين الموجهة نحو الإبداع والابتكار" كانت هي العناصر الأكثر تطبيقًا بين المصنعين المصريين، وبالنظر إلى العوامل التقنية المطبقة بعمليات التصنيع، نجد أن "الالتزام بالتدفق المستمر للعمليات بغرض تحسين مواجهة تغيرات أو تقلبات الإنتاج" و"طرق تحسين الخدمات اللوجستية الداخلية"، كانت أكثر العناصر تطبيقاً بين المصنعين المصريين بينما كانت "طرق إدارة العمليات باستخدام التحليل الرياضي للإنتاج" و"طرق التحسين المستمر لعمليات الإنتاج" الأدنى تطبيقاً من قِبل المصنعين المصريين.

وبدراسة أثر العوامل الاجتماعية والتقنية على جاهزية المنظمات الصناعية المصرية، فقد أشارت النتائج إلى إيجابية العلاقة بين العوامل الاجتماعية والعوامل التقنية وجاهزية المنظمات الصناعية المصرية لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0، وأن تحسين الجوانب الاجتماعية بنظام التصنيع يؤثر تأثيرًا إيجابياً على جاهزية المنظمة لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية، كذلك تحسين الجوانب التقنية بعمليات التصنيع يؤثر تأثيرًا إيجابياً على جاهزية المنظمة لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 في البيئة المصرية، وهو ما اتفق بشكل تام مع نتائج بحث Marcon *et al.* (2021) إلا أن تأثيرهما–وفقاً للنتائج– يعد تأثيراً متوسطاً.

وعلى جانب آخر، وفيما يخص عمليات التطبيق لتقنيات الصناعة 4.0 أشارت 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 ما توصل إليه (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 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 (محسب، 2022)، (Majumdar *et al.*, 2021)، (Kumar *et al.*, 2021)، (kamble *et al.*, 2018)، (hidayatno *et al.*, 2019)، (Onu & Mbohwa, 2021) والتي تناولت تطبيق هذه التقنيات أيضاً في مصر وبعض 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.

من ناحية أخرى، 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، إلا أنه في الوقت نفسه نجد أن شركات القطاع العام والخاص كانتا الأكثر تأثيرًا من ناحية جاهزية المنظمات نحو

تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 مع ميل هذا التأثير تجاه شركات القطاع العام، هذا وإن دل فإنه يدل على أن شركات القطاع العام مازالت تمارس دورها في عمليات الإنتاج مع ضرورة الاهتمام بهذا القطاع لاسيما أنه يمثل حتى الآن حوالي 40% من إجمالي القطاع الصناعي المصري، حيث أنه القطاع الأكثر جاهزية لتطبيق مثل هذه التقنيات الصناعية المتقدمة وفقاً لنتائج عينة البحث. كما كان نظام الإنتاج على دفعات الأعلى نسبةً متخطياً نظامي الإنتاج المستمر والتجميعي، إلا أنه لم يكن لأيٍ من أنظمة الإنتاج الثلاثة أي تأثير معنوي من حيث جاهزية المنظمات لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0، 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. بالرغم من تذيل الشركات الصغير لعينة البحث إلا أنها أشتركت مع الشركات الكبيرة في حجم التأثير، إذ أنهما كانتا أكثر الشركات جاهزيةً للتطبيق هذه التقنيات الصناعية المتقدمة وفقاً لعينة البحث.

بالنظر إلى الفوائد المتوقعة من تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 نجد أن "تقليل وقت تطوير المنتج"، "رقابة إدارية أفضل"، "توسيع نطاق المنتجات"، "تحسين القدرة على الاستجابة للتغيرات في جودة الموردين"، جاءت في بداية الترتيب تلاها "تحسين الجودة"، "زيادة الإنتاجية"، "استجابة أفضل تجاه التغير في حجم الانتاج"،"تخفيض وقت إنهاء الأعمال"، "خفض التكاليف"، حيث تشير هذه النتائج إلى أنه يمكن إثبات العائد من تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 بشكلٍ كمي، وعلى العكس تماماً جاءت الفوائد غير الملموسة مثل"علاقات عمل أفضل"، "تحسين مواقف الإدارة تجاه العاملين"، في آخر الترتيب.

ويمكن تلخيص ما سبق في أن منظمات الأعمال الصناعية المصرية تحتاج إلى مزيد من الاستعداد أو الجاهزية لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 ، بتحسين العوامل الاجتماعية والتقنية التي من شأنها التأثير على جاهزية تلك المنظمات بهدف الوصول إلى رفع مستوى التطبيق لهذه التقنيات بالقدر الكافي، مدفوعةً بالفوائد التي يمكن تحقيقها من خلال استخدام هذه التقنيات الجديدة.

في ضوء مناقشة النتائج السابقة يمكن للباحث تقديم مجموعة من الارشادات للتوجه نحو تحسين جاهزية المنظمات الصناعية المصرية لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 كما يلي:

1- ضرورة أن يعي المُصَنِّع المصري بأهمية تقنيات التصنيع الرقمية الحديثة ورفع درجة الاستعداد لها، لتأثيرها المستقبلي على الاستجابة لأنماط الاحتياجات المختلفة للعملاء في ظل بيئة تنافسية عالمية يحكمها التوجهات التقنية الرقمية الحديثة، لا سيما وأن نتائج البحث تظهر تمتع المنظمات الصناعية المصر بالكفاءات المناسبة للعمل بتقنيات الصناعة .4.0.

2- يجب أن توفر الشركات الصناعية مزيدًا من الاستثمارات في القطاع التقني من خلال تحسين البيئة الاجتماعية والتقنية لتلك الشركات والتي بدورها تؤثر على تحسين قدرة هذه الشركات على الاستعداد لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0.

3- ضرورة أن توفر الحكومة المصرية المزيد من الدعم للمنظمات الصناعية لتحسين جاهزيتها لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0 في ظل وجود درجة استعداد متوسطة لدى تلك المنظمات وذلك من خلال تقديم حوافز مادية والاهتمام ببرامج التدريب، لا سيما وأن نتائج البحث تظهر أهمية التدريب ضمن العوامل الاجتماعية المطبقة بنظام التصنيع بالمنظمات الصناعية المصرية.

4- ضرورة أن يبحث المُصَنِّع المصري عن شركاء خارجيين جدد والسعي للربط بسلاسل التوريد العالمية للمساعدة في فهم كيفية تبنى هذه الشركات لتقنيات التصنيع الرقمية الحديثة.

ثامناً: مقترحات للبحوث المستقبلية

نظرًا لأن هذا البحث يعد المحاولة الأولى لتحليل مدى جاهزية المنظمات الصناعية المصرية لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0، بالتالي فإننا نحتاج إلى إجراء مزيد من البحوث في هذا المجال الهام، فبالرغم من أن البحث الحالي تناول الخصائص التنظيمية المختلفة (نوع وحجم المنظمة والنظام الإنتاجي المتبع)، إلا أنه مازل هناك حاجة إلى مزيد من البحث حول أيٍ من القطاعات الصناعية أكثر جاهزيةً لتطبيق مثل هذه التقنيات الصناعية المتقدمة في مصر، والذي بدورة يمكننا من تخصيص وتوجيه الموارد بشكل أفضل من خلال دعم القطاعات الصناعية الأقل جاهزية.

كذلك لتعميق فهم العوامل المؤثرة على جاهزية المنظمات الصناعية المصرية لتطبيق تقنيات الصناعة 4.0، يمكن توسيع نطاق دراسة هذه العوامل بشكل أشمل من خلال دراسة العوامل التنظيمية والبيئية، بمعنى آخر يمكن دراسة تأثير هذه العوامل من منظور الاستدامة بإضافة العوامل البيئية إلى العوامل الاجتماعية جنباً إلى جنب مع العوامل التنظيمية ، وعدم الاكتفاء فقط بدراسة هذه العوامل من المنظور الاجتماعي التقني.

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 بجاهزية المنظمات الصناعية لتطبيق هذه التقنيات ضمن سياقات مختلفة.

المراجع

- **استراتيجية تنمية الصناعة والتجارة** (2020)، وزارة التجارة والصناعة المصرية، 1-83.
- **الاستراتيجة الوطنية للذكاء الاصطناعي** (2021)، المجلس الوطني للذكاء الاصطناعي، وزارة التجارة والصناعة المصرية، 1- 39.
- تقرير التنمية الصناعية (2020)، منظمة الأمم المتحدة للتنمية الصناعية، 1-108.
- محسب، أيمن محمد أمين (2022)، الصناعة 4.0 العوامل المحفزة وعوائق التطبيق بمنظمات الأعمال الصناعية المصرية، **مجلة البحوث المالية والتجارية**، (2) 23، 121-150.

Appelbaum, S. H. (1997). Socio-technical systems theory: an intervention strategy for organizational development. *Management decision*.

Basl, J., & Doucek, P. (2019). A metamodel for evaluating enterprise readiness in the context of Industry 4.0. *Information*, *10*(3), 89.

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

Bednar, P. M., & Welch, C. (2020). Socio-technical perspectives on smart working: Creating meaningful and sustainable systems. *Information Systems Frontiers*, *22*(2), 281-298.

Cherns, A. (1976). The principles of sociotechnical design. *Human relations*, *29*(8), 783-792.

Davies, R., Coole, T., & Smith, A. (2017). Review of socio-technical considerations to ensure successful implementation of Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, *11*, 1288-1295.

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.

Del Rio, D. D. F., Sovacool, B. K., Foley, A. M., Griffiths, S., Bazilian, M., Kim, J., & Rooney, D. (2022). Decarbonizing the glass industry: A critical and systematic review of developments, sociotechnical systems and policy options. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *155*, 111885.

Elkhatib, B. (Facilitator). (2021, Jun 8). *Industry 4.0 in Egypt: Enhancing the Readiness for the Adoption of Industry 4.0* [Webinar].The United Nations Industrial Development Organization (UNIDO).https://www.youtube.com/watch?v=MNeJP0pR9PY

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.

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

Goswami, M., & Daultani, Y. (2021). Make-in-India and Industry 4.0: technology readiness of select firms, barriers and socio-technical implications. *The TQM Journal*.

Haug, A., Pedersen, S. G., & Arlbjørn, J. S. (2011). IT readiness in small and medium-sized enterprises. *Industrial Management & Data Systems*.

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.

Henseler, J., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2015). A new criterion for assessing discriminant validity in variance-based structural equation modeling. *Journal of the academy of marketing science*, *43*(1), 115-135.

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.

Industry 4.0 Platform Steering Committee (2022, January 11), *Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action*. Retrieved from https://www.plattform-i40.de/IP/Navigation/EN/Industrie40/WhatIsIndustrie40/what-is-industrie40.html

Hizam-Hanafiah, M., Soomro, M. A., & Abdullah, N. L. (2020). Industry 4.0 readiness models: a systematic literature review of model dimensions. *Information*, *11*(7), 364.

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.

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.

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.

Li, A. Q., Rich, N., Found, P., Kumar, M., & Brown, S. (2020). Exploring product–service systems in the digital era: a socio-technical systems perspective. *The TQM Journal*.

Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., ... & Schröter, M. (2015). Industrie 4.0 Readiness. IMPULS-Stiftung for mechanical engineering, plant engineering, and information technology.

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.

Marcon, É., Soliman, M., Gerstlberger, W., & Frank, A. G. (2021). Sociotechnical factors and Industry 4.0: an integrative perspective for the adoption of smart manufacturing technologies. *Journal of Manufacturing Technology Management*.

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

Murphy, L. A., Huang, Y. H., Robertson, M. M., Jeffries, S., & Dainoff, M. J. (2018). A sociotechnical systems approach to enhance safety climate in the trucking industry: Results of an in-depth investigation. *Applied ergonomics*, *66*, 70-81.

Nosalska, K., Piątek, Z. M., Mazurek, G., & Rządca, R. (2019). Industry 4.0: coherent definition framework with technological and organizational interdependencies. *Journal of Manufacturing Technology Management*.

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

Palazzeschi, L., Bucci, O., & Di Fabio, A. (2018). Re-thinking innovation in organizations in the industry 4.0 scenario: New challenges in a primary prevention perspective. Frontiers in psychology, 9, 30.

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.

Rezaey, A., Fohn, A., Merx, W., Kremiec, D., Altepost, A., & Gries, T. (2020). Self-learning Expert Systems in Textile Technology: Development of a Socio-Technical Approach. *Procedia Manufacturing*, *45*, 429-435.

Righi, A. W., & Saurin, T. A. (2015). Complex socio-technical systems: characterization and management guidelines. *Applied ergonomics*, *50*, 19-30.

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

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.

Salaheldin, S. I. (2007). The impact of organizational characteristics on AMT adoption: a study of Egyptian manufacturers. *Journal of Manufacturing Technology Management*.

Saurin, T. A., Rooke, J., & Koskela, L. (2013). A complex systems theory perspective of lean production. *International Journal of Production Research*, *51*(19), 5824-5838.

Schumacher, A., Erol, S., & Sihn, W. (2016). A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. *Procedia Cirp*, *52*, 161-166.

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.

Sitepu, M. H., Matondang, A. R., & Sembiring, M. T. (2020, May). A Socio-Technical Approach to Assess Readiness of Organizations for Industry 4.0. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1542, No. 1, p. 012031). IOP Publishing.

Soliman, M., Saurin, T. A., & Anzanello, M. J. (2018). The impacts of lean production on the complexity of socio-technical systems. *International Journal of Production Economics*, *197*, 342-357.

Soomro, M. A., Hizam-Hanafiah, M., Abdullah, N. L., Ali, M. H., & Jusoh, M. S. (2021). Industry 4.0 Readiness of Technology Companies: A Pilot Study from Malaysia. *Administrative Sciences*, *11*(2), 56.

Sony, M., & Aithal, P. S. (2020). Practical lessons for engineers to adapt towards industry 4.0 in Indian engineering industries. *International Journal of Case Studies in Business, IT, and Education (IJCSBE)*, *4*(2), 86-97.

Sony, M., & Naik, S. (2019). Key ingredients for evaluating Industry 4.0 readiness for organizations: a literature review. *Benchmarking: An International Journal*.

Sovacool, B. K., Bazilian, M., Griffiths, S., Kim, J., Foley, A., & Rooney, D. (2021). Decarbonizing the food and beverages industry: A critical and systematic review of developments, sociotechnical systems and policy options. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *143*, 110856.

Stentoft, J., Jensen, K. W., Philipsen, K., & Haug, A. (2019, January). Drivers and barriers for Industry 4.0 readiness and practice: a SME perspective with empirical evidence. In *Proceedings of the 52nd Hawaii International Conference on System Sciences*.

Stentoft, J., Adsbøll Wickstrøm, K., Philipsen, K., & Haug, A. (2021). Drivers and barriers for Industry 4.0 readiness and practice: empirical evidence from small and medium-sized manufacturers. *Production Planning & Control*, *32*(10), 811-828.

Tortorella, G. L., Giglio, R., & Van Dun, D. H. (2019). Industry 4.0 adoption as a moderator of the impact of lean production practices on operational performance improvement. *International journal of operations & production management*.

Trist, E. L., & Bamforth, K. W. (1951). Some social and psychological consequences of the longwall method of coal-getting: An examination of the psychological situation and defences of a work group in relation to the social structure and technological content of the work system. *Human relations*, *4*(1), 3-38.

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.

Vereycken, Y., Ramioul, M., Desiere, S., & Bal, M. (2021). Human resource practices accompanying industry 4.0 in European manufacturing industry. *Journal of Manufacturing Technology Management*.

Walker, G. H., Stanton, N. A., Salmon, P. M., & Jenkins, D. P. (2008). A review of sociotechnical systems theory: a classic concept for new command and control paradigms. *Theoretical issues in ergonomics science*, *9*(6), 479-499.

Wolf, M., Kleindienst, M., Ramsauer, C., Zierler, C., & Winter, E. (2018). CURRENT AND FUTURE INDUSTRIAL CHALLENGES: DEMOGRAPHIC CHANGE AND MEASURES FOR ELDERLY WORKERS IN INDUSTRY 4.0. *Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara-international journal of engineering*, *16*(1).

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.