أثر تطبيق الصناعة الذكية في تحقيق الاستدامة الاقتصادية على قطاع الصناعة في مصر

The Impact of Smart Industry on Achieving Economic Sustainability on the Industrial Sector in Egypt

صباح صلاح أحمد

مدرس الاقتصاد – أكاديمية أخبار اليوم

المستخلص:

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم أثر تطبيق تقنيات الصناعة الذكية على تحقيق الاستدامة الاقتصادية في القطاع الصناعي المصري، من خلال تحليل مدى مساهمة هذه التقنيات في تحسين الإنتاجية وتقليل التكاليف التشغيلية. اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي ومنهج تحليل التكلفة والعائد (CBA) لتقديم تقييم دقيق للجدوى الاقتصادية من تبني تقنيات مثل الذكاء الاصطناعي، إنترنت الأشياء، والروبوتات. شملت العينة 7 شركات صناعية من قطاعات متنوعة، مع التركيز على الفارق في النتائج بين الشركات. أظهرت النتائج أن بعض الشركات، مثل "جهينة للصناعات الغذائية" و"النصر للبترول"، حققت نتائج إيجابية واضحة، حيث أسهم تطبيق تقنيات الصناعة الذكية في تعزيز الكفاءة التشغيلية، تحسين جودة الإنتاج، وخفض التكاليف، مما انعكس في صافي قيمة حالية (NPV) إيجابية، وهو ما يؤكد صحة فرضيات الدراسة الرئيسية والفرعية. في المقابل، واجهت شركات مثل "السويدي للكابلات" و"مصر للألومنيوم" صعوبات في تحقيق عوائد مجزية من الاستثمار في هذه التقنيات، بسبب تحديات تتعلق بضعف الجاهزية التقنية أو ضعف العائد الاقتصادي. توصلت الدراسة إلى أن التحول نحو الصناعة الذكية يمثل فرصة حقيقية لتعزيز القدرة التنافسية للاقتصاد المصري، وتحقيق استدامة طويلة الأجل في القطاع الصناعي، لكنها أكدت أن النجاح في ذلك يتطلب استثمارات مستهدفة، تطوير البنية التحتية الرقمية، وبناء كوادر بشرية مؤهلة. كما أوصت الدراسة بضرورة تفعيل السياسات الحكومية الداعمة لتسريع وتيرة التحول الرقمي الصناعي.

كلمات مفتاحية: الصناعة الذكية، الاستدامة الاقتصادية، قطاع الصناعة في مصر.

Abstract

This study aims to assess the impact of implementing smart industry technologies on achieving economic sustainability in Egypt's industrial sector by analyzing the extent to which these technologies contribute to improving productivity and reducing operational costs. The study employed a descriptive analytical approach, alongside a Cost-Benefit Analysis (CBA) methodology, to provide an accurate evaluation of the economic feasibility of adopting technologies such as Artificial Intelligence (AI), the Internet of Things (IoT), and robotics. The sample included seven industrial companies from various sectors, with a focus on comparing outcomes among them.

The results showed that some companies, such as Juhayna Food Industries and Nasr Petroleum, achieved clearly positive outcomes. The application of smart industry technologies helped enhance operational efficiency, improve product quality, and reduce costs, resulting in a positive Net Present Value (NPV), which supports the study's main and sub-hypotheses. Conversely, companies like El Sewedy Cables and Egyptalum faced challenges in generating significant returns from their investments in these technologies, due to limited technical readiness or insufficient economic returns.

The study concluded that transitioning to smart industry represents a real opportunity to boost Egypt's industrial competitiveness and achieve long-term sustainability. However, success requires targeted investments, the development of digital infrastructure, and the creation of qualified human capital. The study also recommended activating supportive government policies to accelerate the pace of digital transformation in the industrial sector.

Keywords: Smart Industry, Economic Sustainability, Industrial Sector in Egypt.

١. مقدمة:

يشهد العالم اليوم تحولًا غير مسبوق في القطاع الصناعي بفضل الثورة الصناعية الرابعة، التي تعتمد بشكل أساسي على التكنولوجيا الذكية لتطوير العمليات الإنتاجية وتحقيق كفاءة أعلى في استهلاك الموارد. ويعد مفهوم الصناعة الذكية من أبرز مظاهر هذا التحول، حيث يعتمد على التكامل الرقمي والأنظمة الذكية في عمليات الإنتاج، مما يتيح تحسين الكفاءة التشغيلية، تقليل التكاليف، تحقيق استدامة اقتصادية، وتعزيز القدرة التنافسية على المستويين المحلي والدولي. ومن خلال تبني تقنيات مثل الذكاء الاصطناعي (AI)، إنترنت الأشياء الصناعي (IoT)، تحليل البيانات الضخمة (Big Data)، الطباعة ثلاثية الأبعاد، والروبوتات، أصبحت المصانع أكثر قدرة على التكيف مع المتغيرات الاقتصادية، وتقليل الاعتماد على الموارد التقليدية، مما يعزز من قدرتها على مواجهة التحديات العالمية مثل ندرة الموارد، ارتفاع تكاليف الطاقة، وضغوط المنافسة الدولية.

يعد قطاع الصناعة في مصر أحد أهم القطاعات الاقتصادية، حيث يسهم بشكل كبير في الناتج المحلي الإجمالي، ويوفر فرص عمل لملايين الأفراد. ومع ذلك، يواجه هذا القطاع تحديات جوهرية تعيق قدرته على تحقيق النمو المستدام، ومن أبرز هذه التحديات: انخفاض معدلات الإنتاجية، ارتفاع التكاليف التشغيلية، عدم كفاية الاستثمارات في التكنولوجيا الحديثة، نقص المهارات البشرية المؤهلة، وضعف البنية التحتية الرقمية. لذلك، أصبح التحول نحو الصناعة الذكية ضرورة ملحة لمصر، ليس فقط لتحسين أداء القطاع الصناعي، ولكن أيضًا لتحقيق التنمية المستدامة وتعزيز مكانتها في الأسواق الإقليمية والعالمية.

إن الاستدامة الاقتصادية هي أحد الأهداف الرئيسية التي تسعى الحكومات لتحقيقها في ظل التحديات البيئية والاقتصادية المتزايدة. ومن هذا المنطلق، توفر الصناعة الذكية حلولًا مبتكرة لتحسين كفاءة استخدام الموارد، تقليل الفاقد الصناعي، تحسين جودة المنتجات، وتخفيض استهلاك الطاقة، مما ينعكس إيجابًا على الاقتصاد الكلي. إلا أن تحقيق هذا التحول يتطلب استراتيجيات واضحة، استثمارات في التكنولوجيا، وبناء قدرات بشرية قادرة على التعامل مع النظم الذكية. وفي هذا الإطار، تلعب السياسات الحكومية، التشريعات، وبرامج التحفيز دورًا رئيسيًا في تسريع تبني الصناعة الذكية في مصر، حيث يمكن من خلال دعم البحوث والتطوير، تقديم حوافز ضريبية، وتطوير البنية التحتية الرقمية، تمكين المصانع المصرية من الاستفادة القصوى من هذه التقنيات.

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل أثر تطبيق الصناعة الذكية على تحقيق الاستدامة الاقتصادية في قطاع الصناعة المصري، من خلال استكشاف الفرص المتاحة، التحديات التي تواجه التحول الرقمي، والاستراتيجيات اللازمة لتطبيق هذه التقنيات بفعالية. كما تسعى إلى تقييم مدى جاهزية القطاع الصناعي المصري لتبني التكنولوجيا الذكية، وأثر ذلك على تحسين الإنتاجية، تخفيض التكاليف، وتعزيز التنافسية. علاوة على ذلك، ستتناول الدراسة دور الحكومة والقطاع الخاص في دعم هذا التحول، والاستراتيجيات التي يمكن تبنيها لتسريع عملية التحول الرقمي في المصانع المصرية.

٢. مشكلة الدراسة:

– تتمثل مشكلة الدراسة في التحديات التي تواجه القطاع الصناعي المصري في تبني تقنيات الصناعة الذكية، مثل الذكاء الاصطناعي، الإنترنت الصناعي للأشياء، وتحليل البيانات الضخمة، في ظل الصعوبات الاقتصادية والتقنية. يتعين فحص تأثير هذه التقنيات على تحسين الكفاءة والإنتاجية وتقليل التكاليف في المصانع المصرية، مع تقييم تأثيرها على قدرة القطاع على التكيف مع التحولات التكنولوجية العالمية وتحقيق الاستدامة الاقتصادية في ظل الوضع الراهن.

الأسئلة الرئيسية للدراسة:

١. ما هي التحديات الرئيسية التي يواجهها القطاع الصناعي المصري في تبني تقنيات الصناعة الذكية؟

٢. كيف تؤثر تقنيات الصناعة الذكية في تحسين الإنتاجية وتقليل التكاليف في قطاع الصناعة في مصر؟

٣. كيف تسهم الصناعة الذكية في دعم الاستدامة الاقتصادية للقطاع الصناعي في مصر؟

٣. أهداف الدراسة:

تهدف هذه الدراسة إلى تحقيق عدة أهداف رئيسية تتعلق بتقييم أثر تطبيق تقنيات الصناعة الذكية في تحقيق الاستدامة الاقتصادية لقطاع الصناعة في مصر، ومن أبرز هذه الأهداف:

– دراسة كيفية تأثير التقنيات الحديثة مثل الذكاء الاصطناعي، الإنترنت الصناعي للأشياء (IoT)، والروبوتات على تحسين العمليات الإنتاجية، وتقليل الفاقد، وتحسين الجودة، وزيادة الإنتاجية في المصانع المصرية.

– تحليل الفوائد الاقتصادية المرتبطة بتحسين الكفاءة الإنتاجية نتيجة لتطبيق هذه التقنيات.

– تقديم توصيات عملية لصانعي القرار في الحكومة والقطاع الخاص لدعم التحول الرقمي في الصناعة المصرية.

٤. أهمية الدراسة:

تتسم هذه الدراسة بأهمية كبيرة نظرًا لحاجة قطاع الصناعة في مصر إلى التحول الرقمي وتبني التقنيات الحديثة لتعزيز كفاءته الإنتاجية وتحقيق الاستدامة الاقتصادية في ظل التحديات الاقتصادية والبيئية الحالية. فيما يلي أبرز جوانب

أهمية هذه الدراسة:

١. تحقيق الاستدامة الاقتصادية، حيث تسعى هذه الدراسة إلى تسليط الضوء على كيفية استفادة مصر من هذه التقنيات لتحقيق استدامة اقتصادية تحسن من الدخل القومي، والقدرة التنافسية.

٢. تعزيز قدرة القطاع الصناعي المصري على المنافسة عالميًا، حيث تسهم هذه الدراسة في تحديد كيف يمكن للصناعة الذكية تحسين إنتاجية المصانع المصرية، وزيادة قدرتها التصديرية، مما يساعد مصر على استعادة دورها في سلاسل الإمداد العالمية.

٣. تحفيز الابتكار والتطوير الصناعي، حيث ستساعد الدراسة في تحديد كيفية استفادة الشركات المصرية من هذه التقنيات لتطوير منتجات جديدة وتحسين الأنظمة الإنتاجية.

٥. فرضية الدراسة:

تستند فرضية هذه الدراسة إلى فكرة أن تطبيق تقنيات الصناعة الذكية في القطاع الصناعي المصري له تأثير إيجابي على تحقيق الاستدامة الاقتصادية في هذا القطاع. وبناءً على ذلك، يمكن صياغة فرضية الدراسة الرئيسية والفرعية على النحو التالي:

– **الفرضية الرئيسية:**

"يسهم تطبيق تقنيات الصناعة الذكية في القطاع الصناعي المصري في تعزيز الاستدامة الاقتصادية من خلال زيادة الإنتاجية وتقليل التكاليف".

ولتحقيق أهداف الدراسة، تم صياغة مجموعة من الفرضيات الفرعية على النحو التالي:

– الفرضية الأولى: تطبيق تقنيات الصناعة الذكية يعزز من كفاءة الإنتاج في المصانع المصرية من خلال تحسين العمليات الإنتاجية وتقليل الفاقد.

الفرضية الثانية: استخدام تقنيات الصناعة الذكية يسهم في خفض التكاليف التشغيلية في القطاع الصناعي المصري عبر تحسين إدارة الموارد ورفع كفاءة التشغيل.

٦. منهجية الدراسة:

تم الاعتماد على المنهج الاستنباطي والاستقرائي كأساس للدراسة، بما يسمح بالتحقيق في العلاقة بين الصناعة الذكية والاستدامة الاقتصادية بشكل شامل ودقيق.

– المنهج الاستنباطي: تم الاعتماد على منهج الاستنباط، وذلك من خلال تناول الإطار الفكري للدراسة، حيث استند إلى المفاهيم والنظريات وتحليل نتائج الدراسات السابقة، ثم تطبيقها على واقع قطاع الصناعة في مصر، بما يساعد في تفسير الظاهرة واستخلاص نتائج علمية مرتبطة بالواقع المحلي.

– المنهج الاستقرائي: كما تم اتباع منهج الاستقراء عند تعميم نتائج العينة، حيث استُمدت النتائج من بيانات العينة محل الدراسة، وتم تحليلها للوصول إلى استنتاجات تنطبق على مجتمع الدراسة ككل، بما يعزز من دقة النتائج.

– المنهج القياسي: سيتم الاعتماد على تحليل نموذج التكلفة والعائد (CBA – Cost–Benefit Analysis) لقياس أثر تطبيق تقنيات الصناعة الذكية على الاستدامة الاقتصادية في قطاع الصناعة في مصر. سيتم تطبيق هذا النموذج على مدار خمس سنوات، مع مراعاة التغيرات الزمنية والتطورات الاقتصادية المحتملة خلال هذه الفترة. ويسمح هذا

المنهج بتقييم دقيق وموضوعي للتكاليف والعوائد المرتبطة بتطبيق الصناعة الذكية، مما يساعد على اتخاذ قرارات مستندة إلى البيانات بشأن جدوى الاستثمار في هذه التقنيات.

٧. نطاق الدراسة:

– النطاق المكاني: تشمل الدراسة قطاع الصناعة في مصر، مع التركيز على الشركات الصناعية الكبرى والمتوسطة في قطاعات مثل الصناعة الثقيلة، والبتروكيماويات، والصناعات الغذائية.

– النطاق الزمني: تشمل الدراسة السنوات من عام ٢٠١٩ إلى عام ٢٠٢٣، حيث كانت هذه الفترة تشهد تحولًا تدريجيًا نحو التكنولوجيا الرقمية والصناعة الذكية في مصر.

٨. مجتمع الدراسة وعينته:

مجتمع الدراسة: يمثل مجتمع البحث الشركات الصناعية في مصر التي قامت بتبني وتطبيق تقنيات الصناعة الذكية (الأتمتة، والذكاء الاصطناعي، وإنترنت الأشياء) في عملياتها الإنتاجية والتشغيلية. يشمل مجتمع البحث جميع القطاعات الصناعية مثل: قطاع البترول والغاز، وقطاع الصناعات التحويلية، وقطاع الصناعات المعدنية، وقطاع الصناعات الكهربائية، وقطاع الصناعات الصغيرة والمتوسطة.

عينة الدراسة: تمثل العينة مجموعة مختارة من ٧ شركات تمثل قطاعات صناعية مختلفة، وقد تم اختيارها بناءً على معايير واضحة، مثل مدى استخدام هذه الشركات لتقنيات الصناعة الذكية، ومدى التزامها بمعايير الاستدامة مع توافر البيانات والافصاح المالي والتشغيلي، وذلك لضمان تمثيل متوازن للصناعات المختلفة، مما يعزز دقة النتائج ويساهم في تحليل واقعي لتأثير الصناعة الذكية على الاستدامة الاقتصادية في مصر.

٩. خطة الدراسة:

لكي يمكن تحقيق هدف الدراسة فقد نتطرق إلى ثلاث نقاط رئيسية تتمثل في:

١. العلاقة بين الصناعة الذكية والاستدامة الاقتصادية في الفكر الاقتصادي.

٢. دور تطبيق الصناعة الذكية في دعم الاستدامة الاقتصادية في مصر.

٣. تقدير أثر تطبيق الصناعة الذكية في تحقيق الاستدامة الاقتصادية على قطاع الصناعة في مصر

١. العلاقة بين الصناعة الذكية والاستدامة الاقتصادية في الفكر الاقتصادي.

١.١ مفهوم الصناعة الذكية ومكوناتها:

– الصناعة الذكية (أو الصناعة 4.0) هي مفهوم يشير إلى استخدام التكنولوجيا المتقدمة مثل الذكاء الاصطناعي، والإنترنت للأشياء (IoT)، والروبوتات الذكية، وتحليل البيانات الكبيرة (Big Data)، والأنظمة المدمجة في تحسين عمليات الإنتاج الصناعية. تهدف الصناعة الذكية إلى زيادة كفاءة العمليات وتقليل التكاليف وتحقيق تحسينات في الجودة والمرونة من خلال دمج الأنظمة الرقمية مع العمليات الصناعية التقليدية[١]. وفيما يلي نستعرض أبرز مكونات الصناعة الذكية[٢]:

١. **الإنترنت للأشياء (IoT):** الأجهزة والمعدات المتصلة بالشبكات، مما يتيح تبادل البيانات والتحكم عن بُعد.

٢. **الذكاء الاصطناعي (AI):** يستخدم لتحليل البيانات واتخاذ قرارات ذكية لتحسين الإنتاجية وتخصيص الموارد.

٣. **الروبوتات الذكية:** تستخدم في الأتمتة لتحسين السرعة والدقة في خطوط الإنتاج.

٤. **تحليل البيانات الكبيرة (Big Data):** تحليل كميات ضخمة من البيانات لتحسين التنبؤات واتخاذ القرارات الاستراتيجية.

٥. **الأنظمة المدمجة (Cyber-Physical Systems):** هي أنظمة تدمج الأجهزة الميكانيكية مع البرمجيات لتكون قادرة على التفاعل في بيئة صناعية ذكية.

٦. **الطباعة ثلاثية الأبعاد:** تتيح تصنيع الأجزاء أو المنتجات بشكل أسرع وأكثر تخصيصًا.

١.٢ نشأة وتطور الصناعة الذكية:

– بدأ التطور التاريخي للصناعة الذكية أو الصناعة 4.0 مع الثورة الصناعية الأولى وتطور عبر عدة مراحل حتى وصل إلى التكامل التكنولوجي الحالي. ويمكن تقسيم هذا التطور إلى عدة مراحل رئيسية[٣]:

١– الثورة الصناعية الأولى (القرن الـ ١٨– بداية القرن الـ ١٩):

– شهدت الثورة الصناعية الأولى، التي امتدت من القرن الثامن عشر إلى بداية القرن التاسع عشر، تحولًا جذريًا في طرق الإنتاج بفضل اكتشاف المحرك البخاري واستخدامه في تشغيل الآلات الثقيلة، مثل تلك المستخدمة في مصانع الغزل والنسيج. كانت التكنولوجيا الرئيسية في هذه الحقبة تعتمد على الطاقة البخارية، مما أدى إلى انتقال الصناعات من الورش الصغيرة إلى المصانع الكبرى. هذا التحول ساهم في زيادة الإنتاجية بشكل هائل، حيث بدأ العالم يشهد الانتقال من الإنتاج اليدوي إلى الإنتاج الآلي، مما مهد الطريق لنشوء الاقتصاد الصناعي الحديث.

٢- الثورة الصناعية الثانية (منتصف القرن الـ ١٩ – أوائل القرن الـ ٢٠):

– امتدت الثورة الصناعية الثانية من منتصف القرن التاسع عشر حتى أوائل القرن العشرين، وتميزت باستخدام الكهرباء وخطوط الإنتاج كعوامل رئيسية في تطوير الصناعة. أدى اختراع الكهرباء إلى تشغيل الآلات بكفاءة أعلى، مما ساهم في تحسين الأداء الصناعي بشكل كبير، بينما أحدثت خطوط الإنتاج المتواصلة، مثل تلك التي طورها هنري فورد في صناعة السيارات، ثورة في عمليات التصنيع. كان لهذا التحول تأثير عميق على زيادة الإنتاجية، تقليل التكاليف، وتسريع عملية الإنتاج، مما عزز قدرة الصناعات على تلبية الطلب المتزايد وساهم في نمو الاقتصاد العالمي.

٣- الثورة الصناعية الثالثة (السبعينيات – التسعينيات من القرن الـ ٢٠):

– شهدت الثورة الصناعية الثالثة، التي امتدت من السبعينيات إلى التسعينيات من القرن العشرين، تطورًا كبيرًا في مجال الإلكترونيات، أجهزة الحاسوب، والأتمتة، مما أدى إلى تغيير جذري في أساليب الإنتاج الصناعي. تميزت هذه الفترة بظهور أنظمة التحكم المنطقي المبرمج (PLC)، والتي سمحت بأتمتة العمليات الصناعية وزيادة الدقة والكفاءة في الإنتاج. كما بدأت الشركات في استخدام الروبوتات لتنفيذ المهام الخطرة والدقيقة، مما ساهم في تقليل الأخطاء البشرية وتحسين مستوى السلامة. كان الهدف الرئيسي لهذه الثورة هو زيادة الأتمتة وتحسين الإنتاجية من خلال تقنيات مثل التحكم الرقمي في الآلات وتطبيقات البرمجيات في إدارة العمليات، مما شكل الأساس للتحول المستقبلي نحو الصناعة الذكية.

٤- الثورة الصناعية الرابعة (الصناعة 4.0) (منذ بداية القرن الـ ٢١ حتى الآن):

– تمثل الثورة الصناعية الرابعة، أو ما يُعرف بـ الصناعة 4.0، تحولًا جذريًا في عالم التصنيع منذ بداية القرن الحادي والعشرين وحتى الآن، حيث تعتمد على الذكاء الاصطناعي (AI)، إنترنت الأشياء (IoT)، البيانات الضخمة (Big Data)، الروبوتات الذكية، الأنظمة المدمجة، الطباعة ثلاثية الأبعاد، والحوسبة السحابية. تتميز هذه الثورة بدمج التكنولوجيا الرقمية في العمليات الصناعية، مما يؤدي إلى إنشاء مصانع ذكية قادرة على التكيف مع التغيرات في بيئة الإنتاج. تلعب تقنيات مثل إنترنت الأشياء دورًا رئيسيًا في ربط الأجهزة والمعدات، مما يسمح بجمع البيانات وتحليلها بشكل فوري، بينما يُستخدم الذكاء الاصطناعي لاتخاذ قرارات ذكية تعزز الكفاءة. كما تساهم الروبوتات الذكية في تحسين جودة المنتجات وأتمتة المهام المعقدة، في حين تمكن الأنظمة المدمجة من تحقيق تكامل ذكي بين الأجهزة والبرمجيات. كذلك، أحدثت الطباعة ثلاثية الأبعاد ثورة في إنتاج الأجزاء والمنتجات بتكلفة منخفضة وتخصيص عالٍ. كان لهذه الثورة تأثير عميق على زيادة مرونة الإنتاج، تحسين الكفاءة، خفض التكاليف، وتعزيز الاستدامة، مما يعيد تشكيل المشهد الصناعي العالمي ويضع أسسًا جديدة للتنافسية في العصر الرقمي.

وقد تطورت الصناعة الذكية تدريجيًا من الأتمتة البسيطة إلى التكامل الذكي الشامل، وذلك على النحو التالي:

المرحلة الأولى (قبل ٢٠١٠): كان التركيز في هذه المرحلة على أتمتة التصنيع باستخدام الأنظمة الميكانيكية والكهربائية. بدأت بعض الصناعات الكبرى في تطبيق تقنيات مثل الروبوتات الصناعية وأنظمة التحكم الرقمية، مما شكل البنية الأساسية للتحول نحو الصناعة الذكية.

المرحلة الثانية (من ٢٠١٠ حتى ٢٠١٥): ظهر الإنترنت للأشياء (IoT) والبيانات الكبيرة بشكل أكبر في المصانع. أصبحت الأجهزة والمعدات قادرة على الاتصال ببعضها البعض، مما سمح بتحقيق مستويات أعلى من الأتمتة والتكامل في أنظمة الإنتاج.

المرحلة الثالثة (من ٢٠١٥ حتى الوقت الحالي): توسع استخدام الذكاء الاصطناعي والأنظمة المدمجة والروبوتات الذكية. وأصبحت المصانع "ذكية"، حيث تعتمد على التحليل الفوري للبيانات لتحسين الإنتاج واتخاذ قرارات استراتيجية. أُدخلت التقنيات المتقدمة مثل الطباعة ثلاثية الأبعاد بشكل أوسع في التصنيع، مما سمح بتخصيص المنتجات وتطوير نماذج أولية بسرعة أكبر.

١.٣ الصناعة الذكية في الفكر الاقتصادي :

يمكن أن تكون الصناعة الذكية محورًا رئيسيًا لفهم تأثيرات التكنولوجيا الحديثة على الاقتصاد. يمكن تحليل تأثيراتها على عدة مستويات، بدءًا من الكفاءة الإنتاجية وصولاً إلى تحقيق الاستدامة الاقتصادية. وفيما يلي بعض الجوانب الرئيسية التي يتم تناولها في النظريات الاقتصادية المتعلقة بالصناعة الذكية:

أ. نظرية الإنتاج والابتكار التكنولوجي (Theory of Production and Technological Innovation):[4]

– تشير نظرية الإنتاج والابتكار التكنولوجي إلى أن الصناعة الذكية تُعد وسيلة فعالة لتحسين العمليات الإنتاجية من خلال استخدام التكنولوجيا المتقدمة. تساهم هذه التقنية في زيادة الإنتاجية عبر تحسين استغلال الموارد والحد من الفاقد، مما يؤدي إلى رفع إنتاجية العمل ورأس المال. كما تساعد الصناعة الذكية على خفض التكاليف من خلال الأتمتة، وتحسين إدارة الطاقة، والرقابة على جودة الإنتاج، ما يسهم في تقليل التكاليف التشغيلية. وبذلك، تُعد الصناعة الذكية أداة للابتكار التكنولوجي، حيث تعزز التكنولوجيا الإنتاجية وتخفض التكاليف، ما يؤدي إلى تعزيز القدرة التنافسية للصناعات.

ب. نظرية كفاءة الأسواق (Market Efficiency Theory):[5]

– تركز نظرية كفاءة الأسواق على أهمية المعلومات في تعزيز كفاءة الأسواق. تتيح الصناعة الذكية توفير بيانات حية ومؤشرات دقيقة حول سير العمليات، ما يمكن الشركات من إجراء تحسينات مستمرة. تساعد هذه المعلومات في

تحسين استراتيجيات التسويق، وتعزيز عملية اتخاذ القرارات على المستوى التنفيذي، إضافة إلى مراقبة سلسلة الإمداد بفعالية أكبر، ما يقلل من المخاطر التجارية. من منظور اقتصادي، تُسهم الصناعة الذكية في تحسين كفاءة الأسواق الصناعية، ما يعزز القدرة التنافسية للمصانع في السوقين المحلي والعالمي.

ج. نموذج الإنتاج والنمو المستدام (Sustainable Growth Models):[6]

– تُعد الصناعة الذكية عنصرًا أساسيًا في نماذج النمو المستدام التي تعتمد على الاستخدام الكفء للموارد، وخفض الانبعاثات، وتحسين الأداء البيئي. تساهم الصناعة الذكية في تقليل الفاقد من الموارد الطبيعية، مثل الطاقة والمياه، من خلال تقنيات مثل إدارة الطاقة الذكية والصيانة التنبؤية، التي تساعد في تقليل الأعطال وتوفير الطاقة. كما يُسهم تحليل البيانات باستخدام الذكاء الاصطناعي في تحسين دورة حياة المنتجات والحد من النفايات الصناعية، ما يعزز الاستدامة البيئية. وبذلك، تُعد الصناعة الذكية أداة رئيسية لدعم النمو المستدام، وتلعب دورًا محوريًا في تحقيق أهداف التنمية المستدامة على مستوى القطاع الصناعي.

د. نظرية الابتكار المفتوح (Open Innovation Theory):[7]

– تشير نظرية الابتكار المفتوح إلى قدرة الشركات على دمج الأفكار الخارجية مع الأنظمة الداخلية لتحقيق الابتكار. تُمكّن الصناعة الذكية من تعزيز التعاون بين الشركات والمؤسسات الأكاديمية ومراكز البحث عبر المنصات الرقمية والتبادل المعلوماتي، ما يسهم في تطوير تقنيات جديدة وتحسين الإنتاج، وبالتالي رفع مستوى الابتكار الصناعي. كما يؤدي تبني تقنيات مثل تحليل البيانات الضخمة والذكاء الاصطناعي إلى تسريع وتوسيع الابتكار في العمليات الإنتاجية، ما يحقق فوائد اقتصادية كبيرة ويعزز من تنافسية الشركات.

هـ. النموذج الإنتاجي المفتوح (Open Production Model):[8]

– يعتمد النموذج الإنتاجي المفتوح على دمج التقنيات الرقمية مع النظم الإنتاجية التقليدية، ما يؤدي إلى إنشاء نظام إنتاجي مرن قادر على التكيف مع احتياجات السوق المتغيرة. يقوم هذا النموذج على التحول الرقمي للعمليات الصناعية وإعادة تصميم سلاسل الإمداد باستخدام التقنيات الذكية لزيادة الكفاءة. ويتماشى هذا النهج مع النمو المستدام في الصناعة، حيث يسهم في تحسين مرونة النظام الإنتاجي وتقليل الآثار البيئية الضارة، مما يعزز من قدرة الصناعات على الاستجابة بفعالية للتغيرات في السوق.

١.٤ مفهوم الاستدامة الاقتصادية ومكوناتها:

– يشير مفهوم الاستدامة الاقتصادية إلى القدرة على تحقيق النمو الاقتصادي بشكل يستمر على المدى الطويل دون التأثير السلبي على الموارد الاقتصادية والاجتماعية والبيئية. يهدف هذا المفهوم إلى تحقيق التوازن بين التقدم

الاقتصادي والاحتياجات البيئية والاجتماعية لضمان رفاهية الأجيال الحالية والمستقبلية[9]. وفيما يلي نستعرض أبرز مكونات الاستدامة الاقتصادية:[10]

تُعد الاستدامة الاقتصادية ركيزة أساسية لتحقيق النمو طويل الأمد دون استنزاف الموارد أو الإضرار بالبيئة. وتتطلب تحقيق توازن بين التنمية الاقتصادية، والعدالة في توزيع الموارد، والاستخدام الرشيد لها، مع الاستثمار في رأس المال البشري وتعزيز مرونة الاقتصاد لمواجهة التحديات المستقبلية. وهو ما سيتم تناوله بالتفصيل في التالي:

١. النمو الاقتصادي المستدام: هو النمو الذي لا يستهلك الموارد الطبيعية بشكل مفرط ولا يضر بالبيئة. يتم التركيز على تحقيق التنمية الاقتصادية بطريقة تحترم الحدود البيئية. بمعنى آخر، لا يكون النمو الاقتصادي مرتبطًا بالاستهلاك المفرط للموارد، بل يعزز الابتكار والتكنولوجيا لتحسين الإنتاجية دون الإضرار بالبيئة.

٢. العدالة الاقتصادية: تعني تحقيق توزيع عادل للموارد والفرص بين مختلف فئات المجتمع، ويهدف هذا المبدأ إلى تقليل الفجوة بين الأغنياء والفقراء وتوفير فرص اقتصادية لجميع الأفراد والمجتمعات.

٣. الاستخدام الرشيد للموارد: الاستدامة الاقتصادية تتطلب الإدارة الفعّالة للموارد الطبيعية مثل المياه والطاقة والمعادن. ويشمل ذلك اعتماد سياسات تحافظ على هذه الموارد وتعيد استخدامها بشكل دوري أو تشجع على الابتكار في تقنيات الإنتاج التي تستهلك موارد أقل.

٤. الاستثمار في رأس المال البشري: تساهم الاستدامة الاقتصادية في تحسين التعليم، التدريب، والصحة، مما يساعد على بناء قوى عاملة أكثر مهارة ومرونة. مع تطور رأس المال البشري، يصبح المجتمع قادرًا على التكيف مع التغيرات الاقتصادية والبيئية.

٥. المرونة الاقتصادية: تعني قدرة الاقتصاد على التكيف مع التغيرات المستقبلية، مثل التقلبات الاقتصادية أو التحديات البيئية. يمكن تحقيق هذه المرونة من خلال الاستثمار في تقنيات جديدة، تطوير قطاعات اقتصادية متنوعة، وتعزيز الابتكار.

١.٥ العلاقة بين الاستدامة الاقتصادية والتطور التكنولوجي في الصناعات:

تُعد العلاقة بين الاستدامة الاقتصادية والتطور التكنولوجي علاقة تكاملية وتفاعلية، حيث يسهم التقدم التكنولوجي في تعزيز مقومات الاستدامة الاقتصادية عبر تحسين الكفاءة الإنتاجية وتقليل الهدر في الموارد، في حين تساهم الاستدامة الاقتصادية في تحفيز الابتكار التكنولوجي من خلال تشجيع البحث والتطوير في القطاعات الصناعية. وفي هذا السياق، يلعب التطور التكنولوجي دورًا محوريًا في تحقيق الأهداف الاقتصادية المستدامة عبر تبني تقنيات أكثر كفاءة

واستدامة، بينما تعمل الاستدامة الاقتصادية على توجيه الجهود التكنولوجية نحو تطوير حلول تلبي المتطلبات البيئية والاجتماعية، مما يعزز التكامل بين الاقتصاد والتكنولوجيا في تحقيق التنمية المستدامة.

أ. التكنولوجيا كعامل لتحقيق الاستدامة الاقتصادية:

– تحسين كفاءة الإنتاج: التطور التكنولوجي يساهم في تحسين الكفاءة الاقتصادية في الصناعات من خلال تقنيات الأتمتة، والروبوتات الذكية، وأنظمة المعلومات المتقدمة مثل الإنترنت للأشياء (IoT). هذه التقنيات تسهم في تقليل الفاقد وتحسين استخدام الموارد، مما يساهم في تحقيق نمو اقتصادي مستدام.

– التقنيات النظيفة: التقدم التكنولوجي في مجال الطاقة المتجددة، مثل الطاقة الشمسية والطاقة الريحية، بالإضافة إلى الابتكارات في تكنولوجيا تخزين الطاقة، يسهم في تقليل الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية الملوثة. يمكن لهذه التقنيات أن تساعد الصناعات على تقليل بصمتها البيئية وتحقيق استدامة اقتصادية عن طريق تقليل التكاليف التشغيلية المرتبطة بالوقود والطاقة.

– تحسين إدارة الموارد: التكنولوجيا الذكية، مثل الذكاء الاصطناعي (AI) وتحليل البيانات الكبيرة، تمكّن الشركات من تحسين إدارة الموارد الطبيعية مثل المياه والطاقة، حيث يمكن استخدام هذه التقنيات لاكتشاف الفاقد وتحسين توزيع الموارد بشكل أكثر كفاءة.

– الابتكار في الإنتاج المستدام: التكنولوجيا الحديثة مثل الطباعة ثلاثية الأبعاد (3D printing) تساعد في إنتاج منتجات حسب الطلب وبأقل قدر من الفاقد، مما يقلل من تأثير الصناعات على البيئة. كما تساهم هذه التكنولوجيا في تقليل تكاليف الإنتاج وتحسين قدرة الصناعات على التكيف مع متطلبات السوق.

ب. الاستدامة الاقتصادية كحافز للتطور التكنولوجي في الصناعات:

– البحث والتطوير في التقنيات المستدامة: تتطلب الأهداف الاقتصادية المستدامة تحقيق نمو اقتصادي طويل الأجل دون إضرار بالبيئة. لذلك، من الضروري أن يتم تخصيص استثمارات كبيرة في البحث والتطوير لتطوير تقنيات جديدة تقلل من التأثير البيئي وتدعم تحقيق أهداف الاستدامة. على سبيل المثال، يمكن أن تحفز السياسات الحكومية التي تشجع على الابتكار التكنولوجي في مجالات مثل الطاقة المتجددة والتصنيع المستدام.

– التشريعات والسياسات الداعمة للتكنولوجيا: تدعم الاستدامة الاقتصادية من خلال وضع قوانين وسياسات تفرض على الشركات استخدام تقنيات صديقة للبيئة أو تحسين استخدام الموارد. يمكن لهذه السياسات أن تسهم في تسريع تطوير تقنيات جديدة تساهم في تقليل التلوث أو تقليل استهلاك الموارد.

– التوجه نحو الاقتصاد الدائري: يشجع الاقتصاد الدائري الصناعات على إعادة تدوير المواد وإعادة استخدامها في الإنتاج، وهو ما يعتمد على التكنولوجيا المتقدمة مثل أنظمة إعادة التدوير الذكية والتقنيات التي تحسن من كفاءة استرجاع المواد. يساهم ذلك في تقليل الفاقد وتحقيق نمو اقتصادي مستدام.

ب. الاستدامة الاقتصادية كحافز للتطور التكنولوجي في الصناعات:

– المصانع الذكية: بفضل الإنترنت للأشياء (IoT) والذكاء الاصطناعي، يمكن للمصانع أن تصبح أكثر ذكاءً من خلال استشعار البيانات وتحليلها بشكل فوري، مما يعزز الإنتاجية ويقلل من الفاقد. كما يتيح تكامل الأنظمة المدمجة (Cyber–Physical Systems) القدرة على التفاعل والتكيف بشكل تلقائي مع التغيرات في البيئة.

– التطور في النقل المستدام: تقنيات النقل الكهربائي والذاتي القيادة تساهم في تقليل الانبعاثات واستهلاك الوقود، مما يدعم الاستدامة الاقتصادية عبر تقليل التكاليف المرتبطة بالنقل اللوجستي.

٢. دور تطبيق الصناعة الذكية في دعم الاستدامة الاقتصادية في مصر.

١.٢ دور الصناعة الذكية في تحقيق الاستدامة الاقتصادية:

– تعتبر الصناعة الذكية (أو الصناعة 4.0) من الركائز الأساسية في تحقيق الاستدامة الاقتصادية في العديد من الصناعات. من خلال الاستفادة من التقنيات الحديثة مثل الذكاء الاصطناعي (AI)، الإنترنت للأشياء (IoT)، الروبوتات الذكية، وتحليل البيانات الكبيرة، يمكن للصناعات تحقيق زيادة في الكفاءة، وتقليل التأثيرات البيئية، وتحقيق عدالة اقتصادية من خلال تحسين الإنتاجية وتقليل الفاقد في الموارد. ونستعرض فيما يلي دور الصناعة الذكية في تحقيق الاستدامة:

١. الاستدامة الاقتصادية:

– تحسين الكفاءة وتقليل التكاليف: من خلال الأتمتة الذكية والتحكم الفوري في الإنتاج، يمكن للصناعات تحقيق أعلى مستويات الكفاءة في استخدام الموارد. تقنيات مثل الروبوتات الذكية والأنظمة المدمجة (Cyber–Physical Systems) تساهم في تقليل التكاليف التشغيلية عبر تقليل الفاقد وتحسين الإنتاجية.

– الابتكار المستمر: تساعد الصناعة الذكية في تطوير منتجات وخدمات جديدة تعتمد على تقنيات مستدامة، مثل الطباعة ثلاثية الأبعاد التي تتيح إنتاج أجزاء مخصصة وتقليل الهدر في المواد الخام. كما تدعم الصناعة 4.0 الابتكار في العمليات الإنتاجية بما يتوافق مع مبادئ الاقتصاد الدائري.

– تحقيق النمو المستدام: تسهم التقنيات الذكية في تحقيق نمو اقتصادي مستدام من خلال تيسير الموارد والطاقة بطرق أكثر كفاءة، مما يساعد الشركات على تقليل التكاليف وزيادة الإنتاجية دون التأثير سلبًا على البيئة.

٢. تعزيز الاقتصاد الدائري:

– إعادة التدوير الذكي: من خلال التقنيات الذكية مثل الروبوتات المتطورة وأنظمة تحليل البيانات، يمكن للصناعات تحسين عمليات إعادة التدوير وتقليل النفايات بشكل فعال. على سبيل المثال، يمكن استخدام الذكاء الاصطناعي لتحديد المواد القابلة لإعادة التدوير في المخلفات، مما يسهم في تعزيز مفهوم الاقتصاد الدائري.

– إطالة دورة حياة المنتجات: تقنيات مثل الإنترنت للأشياء تساعد في مراقبة حالة المنتجات أثناء فترة استخدامها، مما يسمح بإجراء الصيانة الوقائية وتوسيع عمر المنتج قبل الحاجة إلى استبداله، وبالتالي تقليل الفاقد وتحقيق الاستدامة البيئية.

٣. تحقيق التميز التنافسي عبر الاستدامة:

– التكنولوجيا كمصدر للتميز التنافسي: يمكن للصناعة الذكية أن تساهم في تحقيق تفوق تنافسي من خلال تطوير منتجات صديقة للبيئة وتحسين العمليات لتكون أكثر كفاءة. الشركات التي تعتمد على التكنولوجيا الحديثة قد تصبح أكثر قدرة على الاستجابة للتغيرات في السوق وتلبية الاحتياجات البيئية للمستهلكين.

٤. التوجه نحو "المصانع الذكية":

– المصانع الذكية هي المصانع التي تعتمد على الإنترنت للأشياء (IoT)، الذكاء الاصطناعي، وأنظمة التحليل الفوري للبيانات لتحسين الإنتاج والعمليات. هذه المصانع قادرة على التكيف مع التغيرات البيئية والاقتصادية بشكل مرن، مما يساهم في تعزيز الاستدامة الاقتصادية من خلال تحسين الأداء وتقليل الفاقد وتحقيق كفاءة أكبر في استخدام الموارد.

٢.٢ الدراسات السابقة التي تناولت العلاقة بين تطبيق الصناعة الذكية والاستدامة الاقتصادية في القطاع الصناعي:

وصل العمل التطبيقي إلى نتائج تبين العلاقة بين تطبيق الصناعة الذكية والاستدامة الاقتصادية في القطاع الصناعي. فقد قدم **Zhang & Zhao, (2022)**[11] دراسة عن الصناعة الذكية: تحديات وفرص في الشرق الأوسط، هدفت الدراسة إلى دراسة الفرص والتحديات التي تواجه دول منطقة الشرق الأوسط في تبني تقنيات الصناعة الذكية. يشمل ذلك فحص العوامل التي قد تؤثر على نمو الصناعة الذكية في المنطقة، مع التركيز على التحديات التقنية والمالية، وكذلك الفرص الاقتصادية التي قد تساهم في تحقيق استدامة اقتصادية على المدى الطويل. عينة الدراسة تتكون من

مجموعة من الدول في منطقة الشرق الأوسط التي تشهد بالفعل محاولات لتبني تقنيات الصناعة الذكية، مثل الإمارات العربية المتحدة والسعودية ومصر. كما شملت عينة الدراسة الشركات الصناعية التي تعمل في تلك الدول أو المنظمات الحكومية التي تسعى إلى دعم التحول الرقمي في القطاع الصناعي. اتبعت الدراسة النهج التحليلي لفحص الوضع الحالي لتطبيقات الصناعة الذكية في منطقة الشرق الأوسط، مع التركيز على التحديات والفرص المرتبطة بتكنولوجيا الصناعة الذكية. كما اعتمدت على تحليل البيانات الثانوية والمراجعات الأدبية حول التطورات التكنولوجية في المنطقة، بالإضافة إلى دراسة التقارير الحكومية والتوجهات الصناعية. وأظهرت الدراسة أن دول منطقة الشرق الأوسط تواجه تحديات تقنية ومالية في تبني هذه التقنيات. ومع ذلك، أكدت أن الصناعة الذكية تساهم في تحسين القدرة التنافسية وتقليل التكاليف على المدى الطويل، ما يساهم في تحقيق الاستدامة الاقتصادية. كما أظهرت الدراسة أن دول منطقة الشرق الأوسط تواجه تحديات تقنية تتعلق بالاستعداد التكنولوجي، بما في ذلك نقص البنية التحتية الرقمية المتطورة ووجود فجوات في المهارات التقنية بين القوى العاملة. كما أشارت إلى تحديات مالية، حيث تواجه الشركات تكلفة عالية لتطبيق تقنيات مثل الذكاء الاصطناعي (AI)، الإنترنت الصناعي للأشياء (IoT)، وتحليل البيانات الكبيرة. وتوصلت الدراسة إلى أن التوسع في تطبيق الصناعة الذكية يمكن أن يساهم في تحسين الاستدامة الاقتصادية من خلال تعزيز الابتكار، زيادة الإنتاجية، وخفض التكاليف، مما يمكن أن يساعد في مواجهة التحديات الاقتصادية التي قد تواجهها المنطقة، مثل تقلبات أسعار النفط والاعتماد على الاقتصاد التقليدي.

وفي دراسة قدمها كلاً من **He & Li, (2021)**[12] عن الابتكار الصناعي وتأثيره على الاستدامة الاقتصادية: منظور الصناعة الذكية، حيث هدفت الدراسة إلى تحديد دور الابتكار الصناعي في تحقيق الاستدامة الاقتصادية من خلال تبني التقنيات الذكية (مثل الروبوتات الذكية وتحليل البيانات الكبيرة) في المصانع. واستخدم الباحثان منهجًا وصفيًا تحليليًا لدراسة تأثير تطبيق تقنيات الصناعة الذكية على الاستدامة الاقتصادية. اعتمدا على تحليل البيانات المجمعة من المصانع الذكية وتقييم أداء هذه التقنيات من حيث الكفاءة الاقتصادية والبيئية. وشملت عينة الدراسة مجموعة من المصانع التي تبنت تقنيات الصناعة الذكية، مع التركيز على المصانع التي تستخدم الروبوتات الذكية وتحليل البيانات الكبيرة لتحسين الأداء والإنتاجية. وقد أظهرت نتائج الدراسة أن تطبيق تقنيات الصناعة الذكية (مثل الروبوتات الذكية وتحليل البيانات الكبيرة) يساهم في تحسين استهلاك الموارد الطبيعية، تقليل التأثير البيئي، وزيادة الإنتاجية. كما ساعدت هذه التقنيات في تقليل التكاليف التشغيلية. واوصت الدراسة إلى تشجيع المصانع على تبني تقنيات الصناعة الذكية لتحسين الأداء الاقتصادي والبيئي.

كما قدم كلاً من **Chryssakis & Koutoupis, (2020)**[١٣] دراسة عن الصناعة الذكية في الدول النامية: التحديات والفرص، هدفت الدراسة إلى تحليل التحديات والفرص التي يواجهها القطاع الصناعي في الدول النامية، مثل مصر، في تطبيق التقنيات الذكية. واعتمدت الدراسة على منهج وصفي تحليلي، حيث قام الباحثان بتحليل بيانات

صناعية من عدة دول نامية لتحديد التحديات الرئيسية والفرص المحتملة عند تطبيق التقنيات الذكية. وقد شملت عينة الدراسة شركات صناعية في الدول النامية، مع تركيز خاص على مصر، حيث تمت دراسة تأثير تبني التكنولوجيا الذكية على الأداء الصناعي. وقد توصلت الدراسة إلى أن البلدان النامية، بما فيها مصر، تواجه تحديات كبيرة مثل نقص البنية التحتية الرقمية، محدودية الوصول إلى التمويل، نقص المهارات، بالإضافة إلى الاعتماد على العمالة منخفضة المهارة. مع ذلك، أظهرت الدراسة أن تطبيق التكنولوجيا الذكية يمكن أن يؤدي إلى زيادة الإنتاجية وتقليل التكاليف على المدى الطويل. واوصت الدراسة بتحسين البنية التحتية الرقمية لدعم تبني التكنولوجيا الذكية، وتوفير برامج تدريبية للعمال لتعزيز المهارات التقنية، بالإضافة إلى تشجيع الاستثمار في التقنيات الذكية من خلال تقديم حوافز مالية، وتعزيز التعاون بين القطاعين العام والخاص لدعم الابتكار الصناعي.

وفي دراسة اخرى قدم كلاً من Tay & Tan, (2019)[14] دراسة عن التحول الرقمي وتأثيره على الكفاءة الصناعية: دراسة حالة في الصين. فقد هدفت الدراسة إلى تحليل تأثير الصناعة الذكية على الكفاءة الإنتاجية في قطاع التصنيع في الصين من خلال تطبيق التحول الرقمي. واعتمدت الدراسة على منهج دراسة الحالة، حيث تم تحليل بيانات من مصانع صينية طبقت تقنيات الأتمتة الذكية والذكاء الاصطناعي لقياس تأثيرها على الإنتاجية والكفاءة التشغيلية. وشملت العينة عددًا من المصانع في الصين التي تبنت تقنيات الصناعة الذكية، مثل الأتمتة والذكاء الاصطناعي، في عمليات الإنتاج. وأظهرت نتائج الدراسة أن الصين تمكنت من تحسين كفاءة الإنتاج وتقليل التكاليف بنسبة كبيرة من خلال تطبيق تقنيات الأتمتة الذكية والذكاء الاصطناعي في القطاع الصناعي. كما أكدت الدراسة على دور التدريب والتعليم المستمر للعمال في تعزيز القدرة التنافسية للصناعات. واوصلت الدراسة بضرورة الاستمرار في الاستثمار في تقنيات الأتمتة والذكاء الاصطناعي، وتعزيز برامج التدريب والتعليم لضمان مواكبة العمال للتطورات التقنية، وتحسين البنية التحتية التكنولوجية لدعم التحول الرقمي، بالإضافة إلى تشجيع التعاون بين الحكومة والقطاع الخاص لتعزيز الابتكار الصناعي.

كما قدم Schwab, (2016)[15] دراسة عن التحول الرقمي: الصناعة الرابعة، حيث هدفت الدراسة إلى استكشاف تأثير التكنولوجيا الصناعية الرابعة على الإنتاجية والتنافسية العالمية. واعتمدت الدراسة على منهج تحليلي، حيث قامت الدراسة بتحليل أثر تقنيات الصناعة الرابعة (مثل الذكاء الاصطناعي، إنترنت الأشياء، وتحليل البيانات الكبيرة) على أداء المؤسسات الصناعية عالميًا. وتوصلت الدراسة إلى أن الصناعة الذكية يمكن أن تساهم في زيادة الإنتاجية بشكل كبير عن طريق تطبيق تقنيات مثل الذكاء الاصطناعي، الإنترنت الصناعي للأشياء (IoT)، وتحليل البيانات الكبيرة. كما أن هذه التقنيات تساهم في تحسين الكفاءة التشغيلية وتقليل التكاليف. واوصت الدراسة إلى تعزيز الاستثمار في تقنيات الصناعة الرابعة مثل الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء، وتحفيز الشركات على تبني التحول الرقمي لرفع الإنتاجية، وتحسين البنية التحتية الرقمية لدعم تطبيق التقنيات الحديثة.

بينما قدم[١٦] **Lasi et al (2014)** دراسة لصناعة 4.0: الاتجاهات المستقبلية، هدفت الدراسة إلى تحليل مفهوم الصناعة 4.0 ودراسة تأثيرها على الاستدامة الاقتصادية في القطاع الصناعي. واعتمدت الدراسة على منهج وصفي تحليلي، حيث قامت الدراسة بتطبيقات الصناعة 4.0 في القطاعات الصناعية المختلفة لتحديد تأثيرها على الاستدامة الاقتصادية. وخلصت الدراسة إلى أن تطبيق الصناعة الذكية يمكن أن يؤدي إلى نمو اقتصادي مستدام من خلال تحسين إدارة الموارد، تقليل الفاقد، وتعزيز التفاعل بين الإنسان والآلة في بيئات العمل. كما اوصت بتشجيع الشركات على الاستثمار في تقنيات الصناعة 4.0، وتحفيز التعاون بين القطاعات الصناعية والحكومية لدعم التحول الرقمي.

وفي دراسة أخرى قدمها[١٧] **Kagermann et al (2013)** عن المستقبل الرقمي للصناعة، حيث هدفت الدراسة إلى استكشاف تأثير الصناعة الذكية على الاستدامة الاقتصادية في الدول المتقدمة، مع التركيز على أوروبا. واستخدمت الدراسة منهجًا تحليليًا لدراسة تطبيق تقنيات الصناعة الذكية في الدول الأوروبية، مع تقييم أثرها على الأداء الصناعي والاستدامة الاقتصادية، وشملت الدراسة عينة شركات صناعية في الدول الأوروبية التي تبنت تقنيات الصناعة الذكية مثل تحسين الأنظمة اللوجستية والأتمتة. وأظهرت الدراسة أن تطبيق هذه التقنيات أسهم بشكل كبير في تحسين الإنتاجية وخفض التكاليف عبر تحسين الأنظمة اللوجستية، مما ساعد الشركات في تعزيز استدامتها الاقتصادية. واوصت بتعزيز الاستثمار في التقنيات الذكية لتحسين الإنتاجية، وتحسين البنية التحتية لدعم تطبيق الصناعة الذكية، بالإضافة إلى تحفيز الابتكار في تطوير حلول لوجستية ذكية.

٣.٢ قطاع الصناعة في مصر وعلاقته بالصناعة الذكية والاستدامة الاقتصادية:

– يُعد القطاع الصناعي من الركائز الأساسية في الاقتصاد المصري، حيث يساهم بنسبة تتراوح بين ١٧٪ و٢٠٪ من الناتج المحلي الإجمالي[١٨]، ما يجعله عنصرًا محوريًا في دعم النمو الاقتصادي. كما يوفر القطاع الصناعي فرص عمل إذ يشمل مجموعة واسعة من الصناعات مثل الصناعات التحويلية، البترول، الطاقة، الكيماويات، الآلات والمعدات، والصناعات الغذائية، ما يجعله مصدرًا رئيسيًا لتوظيف القوى العاملة. إضافة إلى ذلك، يمثل القطاع الصناعي موردًا رئيسيًا للصادرات المصرية، خاصة في المنتجات البترولية، الكيماويات، الأدوية، الملابس الجاهزة، المعادن، والمنتجات الزراعية المصنعة، ما يعزز من مكانة مصر في الأسواق العالمية.

– وتُعد الصناعة الذكية فرصة استراتيجية لتطوير القطاع الصناعي في مصر وتحقيق الاستدامة الاقتصادية. إن تطبيق تقنيات الصناعة 4.0 مثل الذكاء الاصطناعي، الروبوتات الذكية، الإنترنت الصناعي للأشياء (IoT)، وتحليل البيانات الكبيرة يمكن أن يسهم في رفع الكفاءة التشغيلية، تحسين الإنتاجية، خفض التكاليف، وتعزيز القدرة التنافسية للصناعات المصرية في الأسواق العالمية. فيما يلي أبرز فرص النمو في قطاع الصناعة المصري:

١. **التكنولوجيا والابتكار:** يمكن للتكنولوجيا الحديثة أن تساهم في تحسين الكفاءة الصناعية وتقليل التكاليف من خلال الأتمتة الذكية، وتطبيق نظم تحليل البيانات في عمليات الإنتاج، ما يعزز من دقة العمليات ويقلل من الفاقد. كما أن استخدام الذكاء الاصطناعي والروبوتات الذكية يساعد في تسريع الإنتاج وتحسين جودة المنتجات.

٢. **الاستثمار في الصناعات التكنولوجية:** يمثل الاستثمار في الصناعات التكنولوجية مثل الروبوتات الذكية والطباعة ثلاثية الأبعاد فرصة مهمة لتطوير المنتجات المصرية وزيادة جودتها، مما يعزز القدرة على المنافسة في الأسواق العالمية. كما يساهم تطوير المنتجات التكنولوجية في خلق فرص عمل جديدة، ودعم الاقتصاد المصري على المستويين المحلي والدولي.

٣. **الطاقة المتجددة:** التحول إلى مصادر الطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية والطاقة الريحية يساهم في خفض تكاليف الإنتاج، ويقلل من الآثار البيئية السلبية، مما يجعل القطاع الصناعي أكثر استدامة. كما أن استخدام مصادر الطاقة النظيفة يساهم في توفير بيئة إنتاجية أكثر استقرارًا، ويعزز من مكانة المنتجات المصرية في الأسواق العالمية التي تهتم بمعايير الاستدامة.

٤. **الاقتصاد الدائري:** يدعم تطبيق نموذج الاقتصاد الدائري إعادة استخدام الموارد الصناعية، وإعادة تدوير المخلفات، مما يساهم في خفض التكاليف التشغيلية وتقليل الهدر في المواد الخام. كما يؤدي الاقتصاد الدائري إلى تعزيز الاستدامة الصناعية وزيادة الكفاءة في استخدام الموارد، مما ينعكس إيجابيًا على الأداء الاقتصادي.

٥. **تعزيز الصادرات:** تمثل الصادرات الصناعية عنصرًا رئيسيًا في دعم الاقتصاد المصري. تعزيز الصادرات إلى الأسواق الإفريقية وأسواق الشرق الأوسط من خلال الاستفادة من اتفاقيات التجارة الحرة مثل الاتفاقية الإفريقية للتجارة الحرة (AfCFTA) يساعد على زيادة الإنتاج الصناعي وتحسين القدرة التنافسية للمنتجات المصرية عالميًا.

٦. **الاستثمار في التصنيع المحلي:** دعم التصنيع المحلي يساعد في تلبية احتياجات السوق المحلية وتقليل الاعتماد على الاستيراد. الاستثمار في المصانع الذكية وتطوير سلاسل التوريد الداخلية يسهم في تعزيز القدرة الإنتاجية وزيادة الاكتفاء الذاتي. كما أن تطوير البنية التحتية الصناعية يعزز من فرص التوسع في الأسواق الإقليمية والعالمية.

– إن تبني تقنيات الصناعة الذكية في مصر لا يقتصر فقط على تحسين الكفاءة والإنتاجية، بل يمتد أيضًا إلى تعزيز الاستدامة الاقتصادية من خلال خفض التكاليف، تقليل الهدر، وتحسين إدارة الموارد. هذه العوامل تحقق نمو صناعي مستدام وزيادة القدرة التنافسية للمنتجات المصرية في الأسواق العالمية.

٣. تقدير أثر تطبيق الصناعة الذكية في تحقيق الاستدامة الاقتصادية على قطاع الصناعة في مصر

– سوف يتم قياس أثر الصناعة الذكية في تحقيق الاستدامة الاقتصادية على قطاع الصناعة في مصر من خلال نموذج التكلفة والعائد (CBA – Cost–Benefit Analysis)، مع حساب القيمة الحالية الصافية (NVP). سيتم تطبيق هذا النموذج على مدار خمس سنوات، مع مراعاة التغيرات الزمنية والتطورات الاقتصادية المحتملة خلال هذه الفترة، حيث يسمح هذا المنهج بتقييم دقيق وموضوعي للتكاليف والعوائد المرتبطة بتطبيق الصناعة الذكية، مما يساعد على اتخاذ قرارات مستندة إلى البيانات بشأن جدوى الاستثمار في هذه التقنيات[١٩]. وفيما يلي بعض دراسات الحالة التي توضح كيفية تطبيق الصناعة الذكية في القطاع الصناعي المصري:

١.٣ نماذج تطبيق الصناعة الذكية في القطاع الصناعي المصري:

١. شركة السويدي للكابلات

– استثمرت شركة السويدي في تحديث خطوط الإنتاج باستخدام الروبوتات الصناعية وتقنيات الأتمتة لتحسين سرعة الإنتاج وجودته، وذلك خلال الفترة من عام ٢٠١٩ إلى عام ٢٠٢١. وتم تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي لتحسين صيانة المعدات وتحليل الأداء.

– التقنيات المستخدمة: روبوتات صناعية، أتمتة، إنترنت الأشياء، وتحليل البيانات.

– إجمالي التكاليف على مدار ٥ سنوات:

١. التكاليف الأولية (الاستثمار الرأسمالي) في السنة الأولى:

شراء الروبوتات، أنظمة الأتمتة، الذكاء الاصطناعي = ١٢٠ مليون جنيه

٢. التكاليف التشغيلية السنوية:

- ◊ صيانة الأنظمة والمعدات = ٨ مليون جنيه
- ◊ تكاليف تدريب الموظفين = ٢ مليون جنيه
- ◊ تكاليف الطاقة والصيانة = ٦ مليون جنيه
- ◊ إجمالي التكاليف التشغيلية السنوية = ٨ + ٢ + ٦ = ١٦ مليون جنيه

٣. إجمالي التكاليف على مدار ٥ سنوات:

◊ التكاليف الأولية = ١٢٠ مليون جنيه

◊ التكاليف التشغيلية = ١٦ مليون × ٥ = ٨٠ مليون جنيه

◊ إجمالي التكاليف على مدار ٥ سنوات = ١٢٠ مليون + ٨٠ مليون = ٢٠٠ مليون جنيه

– إجمالي العوائد على مدار ٥ سنوات:

١. زيادة الإيرادات:

◊ الزيادة السنوية في الإيرادات نتيجة زيادة الإنتاجية بنسبة ٢٠٪ = ٤٠ مليون جنيه سنويًا

◊ إجمالي زيادة الإيرادات على ٥ سنوات = ٤٠ مليون × ٥ = ٢٠٠ مليون جنيه

٢. تقليل التكاليف التشغيلية:

◊ توفير سنوي بنسبة ١٥٪ = ٢,٤ مليون جنيه

◊ إجمالي التوفير على ٥ سنوات = ٢,٤ مليون × ٥ = ١٢ مليون جنيه

٣. تحسين الجودة:

◊ توفير سنوي من تحسين الجودة وتقليل الفاقد = ٥ مليون جنيه

◊ إجمالي التوفير من تحسين الجودة على ٥ سنوات = ٥ مليون × ٥ = ٢٥ مليون جنيه

– إجمالي العوائد على مدار ٥ سنوات:

◊ زيادة الإيرادات السنوية = ٢٠٠ مليون جنيه

◊ التوفير من التكاليف = ١٢ مليون جنيه

◊ التوفير من تحسين الجودة = ٢٥ مليون جنيه

– إجمالي العوائد = ٢٠٠ مليون + ١٢ مليون + ٢٥ مليون = ٢٣٧ مليون جنيه

أ. **حساب العائد على الاستثمار (ROI) على مدار ٥ سنوات:**

$$ROI = \frac{\text{اجمالي الفوائد - اجمالي التكاليف}}{\text{اجمالي التكاليف}} \times ١٠٠$$

$$100 \times \frac{200 - 237}{200} = ROI$$

$$100 \times \frac{37}{200} = ROI$$

$$ROI = \%18.5$$

الاستنتاج: العائد على الاستثمار (ROI) على مدار ٥ سنوات في شركة السويدي للكابلات هو ١٨,٥٪، وهو عائد جيد يظهر فعالية الاستثمار في تقنيات الصناعة الذكية على المدى الطويل.

ب. حساب صافي القيمة الحالية على مدار ٥ سنوات:

– حساب صافي القيمة الحالية (NPV) على مدار ٥ سنوات، نحتاج إلى أخذ التدفقات النقدية المستقبلية (التكاليف العوائد السنوية) وتخفيضها إلى قيمتها الحالية باستخدام معدل الخصم (Discount Rate).

– نفترض أن معدل الخصم هو ١٠٪ سنويًا[٢٠].

– صيغة صافي القيمة الحالية (NPV) هي كالتالي:

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{C_t}{(1 + r)^t} - Intial\ Investment$$

حيث:

Ct: هو التدفق النقدي في السنة t.

r: هو معدل الخصم.

n: هو عدد السنوات.

المعطيات:

- التكاليف الأولية: ١٢٠ مليون جنيه في السنة الأولى.
- التكاليف التشغيلية السنوية: ١٦ مليون جنيه.
- العوائد السنوية:

◊ زيادة الإيرادات: ٤٠ مليون جنيه.

◊ توفير التكاليف:٢,٤ مليون جنيه.

◊ توفير من تحسين الجودة: ٥ مليون جنيه.

- إجمالي العوائد السنوية = ٤٠ + ٢,٤ + ٥ =٤٧,٤ مليون جنيه.

- التدفقات النقدية السنوية = صافي الفوائد – التكاليف التشغيلية

التدفقات النقدية السنوية = ٤٧,٤ – ١٦ = ٣١,٤ مليون جنيه

حساب التدفقات النقدية المتبقية:

يمكننا حساب صافي القيمة الحالية (NPV) باستخدام المعادلة:

$$\frac{31.4}{t\ (0.01\ +\ 1)}\sum_{t=1}^{5}\ +\ (120\ -)\ =\ NPV$$

- السنة ١: $\frac{31.4}{1\ (1.1)}$ = ٢٨,٥٥ مليون جنيه.
- السنة ٢: $\frac{31.4}{2\ (1.1)}$ = ٢٥,٩٥مليون جنيه.
- السنة ٣: $\frac{31.4}{3\ (1.1)}$ =٢٣,٥٩ مليون جنيه.
- السنة ٤: $\frac{31.4}{4\ (1.1)}$ = ٢١,٤٥ مليون جنيه.
- السنة ٥: $\frac{31.4}{5\ (1.1)}$ = ١٩,٥٠ مليون جنيه.

NPV = – ١٢٠ + ٢٨,٥٥ + ٢٥,٩٥ + ٢٣,٥٩ + ٢١,٤٥ + ١٩,٥٠

NPV = – ١٢٠ + ١١٩,٠٣

NPV = – ٠,٩٧ مليون جنيه.

الاستنتاج: صافي القيمة الحالية (NPV) لشركة السويدي للكابلات على مدار ٥ سنوات هي – ٠,٩٧ مليون جنيه، مما يعني أن المشروع لن يكون مربحًا إذا كانت التكلفة الأولية هي ١٢٠ مليون جنيه بمعدل خصم ١٠٪. قد يكون من الضروري تحسين العوائد أو تقليل التكاليف التشغيلية للحصول على NPV إيجابي.

٢. شركة مصر للألومنيوم

– استثمرت شركة مصر للألومنيوم في تحديث خطوط الإنتاج باستخدام أنظمة الأتمتة، حيث تم إدخال أنظمة روبوتية وبرمجيات تحكم آلي لتحسين سرعة وكفاءة الإنتاج، وذلك خلال الفترة من عام ٢٠١٩ إلى عام ٢٠٢٣. كما تم تطبيق الذكاء الاصطناعي لتحسين أداء المعدات من خلال تحليل البيانات التشغيلية واستخدام الخوارزميات لتوقع الأعطال وتقليل فترات التوقف، مما أدى إلى تحسين استمرارية الإنتاج. بالإضافة إلى ذلك، تم توظيف إنترنت الأشياء (IoT) لربط المعدات ومراقبة أدائها في الوقت الفعلي، مع جمع البيانات من أجهزة الاستشعار لتحليل الأداء وتحسين الكفاءة التشغيلية بشكل مستمر.

– التقنيات المستخدمة: الذكاء الاصطناعي، أتمتة، إنترنت الأشياء.

– إجمالي التكاليف على مدار ٥ سنوات:

١. التكاليف الأولية (الاستثمار الرأسمالي) في السنة الأولى:

شراء أنظمة الأتمتة، الذكاء الاصطناعي = ٨٠ مليون جنيه

٢. التكاليف التشغيلية السنوية:

- ◊ صيانة الأنظمة الذكية = ٦ مليون جنيه سنوياً
- ◊ تكاليف تدريب الموظفين بشكل مستمر = ٣ مليون جنيه سنوياً
- ◊ تكاليف الطاقة والصيانة = ٤ مليون جنيه سنوياً
- ◊ إجمالي التكاليف التشغيلية السنوية = ٦ + ٣ + ٤ = ١٣ مليون جنيه

٣. إجمالي التكاليف على مدار ٥ سنوات:

◊ التكاليف الأولية = ٨٠ مليون جنيه

◊ التكاليف التشغيلية = ١٣ مليون × ٥ = ٦٥ مليون جنيه

◊ إجمالي التكاليف على مدار ٥ سنوات = ٨٠ مليون + ٦٥ مليون = ١٤٥ مليون جنيه

– إجمالي العوائد على مدار ٥ سنوات:

١. زيادة الإيرادات:

◊ الزيادة السنوية في الإيرادات نتيجة زيادة الإنتاجية بنسبة ١٥٪ = ٢٥ مليون جنيه سنويًا

◊ إجمالي زيادة الإيرادات على ٥ سنوات = ٢٥ مليون × ٥ = ١٢٥ مليون جنيه

٢. تقليل التكاليف التشغيلية:

◊ توفير سنوي بنسبة ١٠٪ = ١,٣ مليون جنيه

◊ إجمالي التوفير على ٥ سنوات = ١,٣ مليون × ٥ = ٦,٥ مليون جنيه

٣. تحسين الجودة:

◊ توفير سنوي من تحسين الجودة وتقليل الفاقد = ٣ مليون جنيه

◊ إجمالي التوفير من تحسين الجودة على ٥ سنوات = ٣ مليون × ٥ = ١٥ مليون جنيه

– إجمالي العوائد على مدار ٥ سنوات:

◊ زيادة الإيرادات = ١٢٥ مليون جنيه

◊ التوفير من التكاليف = ٦,٥ مليون جنيه

◊ التوفير من تحسين الجودة = ١٥ مليون جنيه

– إجمالي العوائد = ١٢٥ مليون + ٦,٥ مليون + ١٥ مليون = ١٤٦,٥ مليون جنيه.

أ. **حساب العائد على الاستثمار (ROI) على مدار ٥ سنوات:**

$$100 \times \frac{145 - 146.5}{145} = ROI$$

$$100 \times \frac{1.5}{145} = ROI$$

$$\%1.03 = ROI$$

الاستنتاج: العائد على الاستثمار (ROI) على مدار ٥ سنوات في شركة مصر للألومنيوم هو ١,٠٣٪، وهو عائد ضعيف مقارنةً بالتكاليف.

ب. حساب صافي القيمة الحالية على مدار ٥ سنوات:

– حساب صافي القيمة الحالية (NPV) على مدار ٥ سنوات، نحتاج إلى أخذ التدفقات النقدية المستقبلية (التكاليف والعوائد السنوية) وتخفيضها إلى قيمتها الحالية باستخدام معدل الخصم (Discount Rate).

– نفترض أن معدل الخصم هو ١٠٪ سنويًا.

المعطيات:

– التكاليف الأولية: ٨٠ مليون جنيه في السنة الأولى.

– التكاليف التشغيلية السنوية: ١٣ مليون جنيه.

– العوائد السنوية:

◊ زيادة الإيرادات السنوية: ٢٥ مليون جنيه.

◊ التوفير من التكاليف السنوية:١,٣ مليون جنيه.

◊ التوفير من تحسين الجودة السنوية: ٣ مليون جنيه.

– إجمالي العوائد السنوية = ٢٥ +١,٣ + ٣ =٢٩,٣ مليون جنيه.

التدفقات النقدية السنوية = ٢٩,٣ – ١٣= ١٦,٣ مليون جنيه

حساب التدفقات النقدية المتبقية:

يمكننا حساب صافي القيمة الحالية (NPV) باستخدام المعادلة:

$$\frac{16.3}{t\ (0.10\ +\ 1)}\sum_{t=1}^{5}\ +\ (80\ -)\ =\ NPV$$

- السنة ١: $\frac{16.3}{1\ (1.1)}$ = ١٤,٨٢ مليون جنيه.
- السنة ٢: $\frac{16.3}{2\ (1.1)}$ = ١٣,٤٧ مليون جنيه.
- السنة ٣: $\frac{16.3}{3\ (1.1)}$ = ١٢,٢٥ مليون جنيه.
- السنة ٤: $\frac{16.3}{4\ (1.1)}$ = ١١,١٣ مليون جنيه
- السنة ٥: $\frac{16.3}{5\ (1.1)}$ = ١٠,١٢ مليون جنيه

NPV = – ٨٠ + ١٤,٨٢ + ١٣,٤٧ + ١٢,٢٥ + ١١,١٣ + ١٠,٢٠

NPV = – ٨٠ + ٦١,٧٩

NPV = – ١٨,٢١ مليون جنيه.

الاستنتاج: القيمة الحالية الصافية (NPV) لشركة مصر للألومنيوم على مدار ٥ سنوات هي – ١٨,٢١ مليون جنيه. يشير ذلك إلى أن المشروع قد لا يكون مربحًا في الظروف الحالية، ولكن من الممكن أن يكون العائد على الاستثمار منخفضًا بسبب التكاليف الأولية العالية أو معدل الخصم المرتفع.

٣. شركة النصر للبترول

– قامت شركة النصر للبترول بتطبيق تقنيات حديثة في مجالات الأتمتة، الذكاء الاصطناعي (AI)، وإنترنت الأشياء (IoT) لتحسين الكفاءة التشغيلية وزيادة الإنتاجية، وذلك خلال الفترة من عام ٢٠١٩ إلى عام ٢٠٢١. في مجال الأتمتة، تم تحديث أنظمة التحكم في العمليات الإنتاجية لتحسين سرعة وكفاءة الإنتاج، بالإضافة إلى تنفيذ أنظمة تحكم آلي لمراقبة العمليات بشكل مستمر وتقليل الأخطاء البشرية. في مجال الذكاء الاصطناعي (AI)، تم استخدام الخوارزميات لتحليل البيانات التشغيلية، مما ساهم في توقع الأعطال قبل حدوثها وتحسين عمليات الصيانة من خلال

أنظمة تنبؤية متقدمة. كما تم توظيف تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) عبر تركيب أجهزة استشعار على المعدات لمراقبة الأداء في الوقت الفعلي، مما ساهم في جمع البيانات من خطوط الإنتاج وتحليلها لاكتشاف فرص تحسين الكفاءة التشغيلية.

– التقنيات المستخدمة: الذكاء الاصطناعي، أتمتة، إنترنت الأشياء.

– إجمالي التكاليف على مدار ٥ سنوات:

١. التكاليف الأولية (الاستثمار الرأسمالي) في السنة الأولى:

شراء أنظمة الأتمتة، الذكاء الاصطناعي، انترنت الاشياء = ٨٩ مليون جنيه

٢. التكاليف التشغيلية السنوية:

- ◊ صيانة الأنظمة والمعدات = ٦ مليون جنيه سنوياً
- ◊ تكاليف تدريب الموظفين بشكل مستمر = ٣ مليون جنيه سنوياً
- ◊ تكاليف الطاقة والصيانة = ٥ مليون جنيه سنوياً
- ◊ إجمالي التكاليف التشغيلية السنوية = ٦ + ٣ + ٥ = ١٤ مليون جنيه

٣. إجمالي التكاليف على مدار ٥ سنوات:

- ◊ التكاليف الأولية = ٨٩ مليون جنيه
- ◊ التكاليف التشغيلية = ١٤ مليون × ٥ = ٧٠ مليون جنيه
- ◊ إجمالي التكاليف على مدار ٥ سنوات = ٨٩ مليون + ٧٠ مليون = ١٥٩ مليون جنيه

– إجمالي العوائد على مدار ٥ سنوات:

١. زيادة الإيرادات:

- ◊ الزيادة السنوية في الإيرادات نتيجة زيادة الإنتاجية بنسبة ١٥٪ = ٣٥ مليون جنيه سنويًا
- ◊ إجمالي زيادة الإيرادات على ٥ سنوات = ٣٥ مليون × ٥ = ١٧٥ مليون جنيه

٢. تقليل التكاليف التشغيلية:

- ◊ توفير سنوي بنسبة ١٢٪ = ١,٦٨ مليون جنيه
- ◊ إجمالي التوفير على ٥ سنوات = ١,٦٨ مليون × ٥ = ٨,٤ مليون جنيه

٣. تحسين الجودة:

- ◊ توفير سنوي من تحسين الجودة وتقليل الفاقد = ٣ مليون جنيه
- ◊ إجمالي التوفير من تحسين الجودة على ٥ سنوات = ٣ مليون × ٥ = ١٥ مليون جنيه

– إجمالي العوائد على مدار ٥ سنوات:

- ◊ زيادة الإيرادات = ١٧٥ مليون جنيه
- ◊ التوفير من التكاليف = ٦,٥ مليون جنيه
- ◊ التوفير من تحسين الجودة = ١٥ مليون جنيه

– إجمالي العوائد = ١٧٥مليون + ٨,٤ مليون + ١٥ مليون = ١٩٨,٤ مليون جنيه.

أ. **حساب العائد على الاستثمار (ROI) على مدار ٥ سنوات:**

$$100 \times \frac{159 - 198.4}{159} = ROI$$

$$100 \times \frac{39.4}{159} = ROI$$

$$\%24.78 = ROI$$

الاستنتاج: العائد على الاستثمار (ROI) على مدار ٥ سنوات في شركة النصر للبترول هو ٢٤,٧٨٪، ويشير ذلك إلى أن المشروع سيحقق عائدًا إيجابيًا جيدًا مقارنة بالتكاليف، مما يجعله استثمارًا مجديًا.

ب. حساب صافي القيمة الحالية على مدار ٥ سنوات:

– حساب صافي القيمة الحالية (NPV) على مدار ٥ سنوات، نحتاج إلى أخذ التدفقات النقدية المستقبلية (التكاليف والفوائد السنوية) وتخفيضها إلى قيمتها الحالية باستخدام معدل الخصم (Discount Rate).

– نفترض أن معدل الخصم هو ١٠٪ سنويًا.

المعطيات:

– التكاليف الأولية: ٨٩ مليون جنيه في السنة الأولى.

– التكاليف التشغيلية السنوية: ١٤ مليون جنيه.

– إجمالي العوائد السنوية = ٣٩,٦٨ مليون جنيه.

التدفقات النقدية السنوية = ٣٩,٦٨ – ١٤ = ٢٥,٦٨ مليون جنيه

حساب التدفقات النقدية المتبقية:

يمكننا حساب صافي القيمة الحالية (NPV) باستخدام المعادلة:

$$\frac{25.68}{t\ (0.10\ +\ 1)}\sum_{t=1}^{5}\ +\ (89\ -)\ =\ NPV$$

– السنة ١: $\frac{25.68}{1\ (1.1)}$ = ٢٣,٣٥ مليون جنيه.

– السنة ٢: $\frac{25.68}{2\ (1.1)}$ = ٢١,٢٢ مليون جنيه.

– السنة ٣: $\frac{25.68}{3\ (1.1)}$ = ١٩,٢٩ مليون جنيه.

– السنة ٤: $\frac{25.68}{4\ (1.1)}$ = ١٧,٥٤ مليون جنيه.

– السنة ٥: $\frac{25.68}{(1.1)^5}$ = ١٥,٩٥ مليون جنيه.

NPV = – ٨٩ + ٢٣,٣٥ + ٢١,٢٢ + ١٩,٢٩ + ١٧,٥٤ + ١٥,٩٥

NPV = – ٨٩ + ٩٧,٣٥

NPV = ٨,٣٥٨ مليون جنيه.

الاستنتاج: صافي القيمة الحالية (NPV) لشركة النصر للبترول على مدار ٥ سنوات هي ٨,٣٥ مليون جنيه. هذا يشير إلى أن الاستثمار في تقنيات الصناعة الذكية سيكون مربحًا ويحقق عوائد جيدة على المدى الطويل.

٤. شركة جهينة للصناعات الغذائية

– قامت شركة جهينة للصناعات الغذائية بتطبيق تقنيات حديثة في مجالات الأتمتة، الذكاء الاصطناعي (AI)، وإنترنت الأشياء (IoT)خلال الفترة من ٢٠١٩ إلى ٢٠٢١ لتحسين الكفاءة التشغيلية وزيادة الإنتاجية. في مجال الأتمتة، تم تحديث أنظمة التحكم في العمليات الإنتاجية لتحسين سرعة وكفاءة الإنتاج، بالإضافة إلى تنفيذ أنظمة تحكم آلي لمراقبة العمليات بشكل مستمر وتقليل الأخطاء البشرية. في مجال الذكاء الاصطناعي، تم استخدام الخوارزميات لتحليل البيانات التشغيلية، مما ساهم في توقع الأعطال قبل حدوثها وتحسين عمليات الصيانة من خلال أنظمة تنبؤية متقدمة. كما تم توظيف تقنيات إنترنت الأشياء عبر تركيب أجهزة استشعار على المعدات لمراقبة الأداء في الوقت الفعلي، مما ساهم في جمع البيانات من خطوط الإنتاج وتحليلها لاكتشاف فرص تحسين الكفاءة التشغيلية.

– التقنيات المستخدمة: الذكاء الاصطناعي، أتمتة، إنترنت الأشياء.

– إجمالي التكاليف على مدار ٥ سنوات:

١. التكاليف الأولية (الاستثمار الرأسمالي) في السنة الأولى:

شراء أنظمة الأتمتة، الذكاء الاصطناعي، انترنت الاشياء = ٧٥ مليون جنيه

٢. التكاليف التشغيلية السنوية:

- ◊ صيانة الأنظمة والمعدات = ٥ مليون جنيه سنوياً
- ◊ تكاليف تدريب الموظفين بشكل مستمر = ٢ مليون جنيه سنوياً
- ◊ تكاليف الطاقة والصيانة = ٤ مليون جنيه سنوياً
- ◊ إجمالي التكاليف التشغيلية السنوية = ٥ + ٢ + ٤ = ١١ مليون جنيه

٣. إجمالي التكاليف على مدار ٥ سنوات:

◊ التكاليف الأولية = ٧٥ مليون جنيه

◊ التكاليف التشغيلية = ١١ مليون × ٥ = ٥٥ مليون جنيه

◊ إجمالي التكاليف على مدار ٥ سنوات = ٧٥ مليون + ٥٥ مليون = ١٣٠ مليون جنيه

– إجمالي العوائد على مدار ٥ سنوات:

١. زيادة الإيرادات:

◊ الزيادة السنوية في الإيرادات نتيجة زيادة الإنتاجية بنسبة ١٢٪ = ٢٨ مليون جنيه سنويًا

◊ إجمالي زيادة الإيرادات على ٥ سنوات = ٢٨ مليون × ٥ = ١٤٠ مليون جنيه

٢. تقليل التكاليف التشغيلية:

◊ توفير سنوي بنسبة ١٠٪ = ١,١ مليون جنيه

◊ إجمالي التوفير على ٥ سنوات = ١,١ مليون × ٥ = ٥,٥ مليون جنيه

٣. تحسين الجودة:

◊ توفير سنوي من تحسين الجودة وتقليل الفاقد = ٢,٥ مليون جنيه

◊ إجمالي التوفير من تحسين الجودة على ٥ سنوات = ٢,٥ مليون × ٥ = ١٢,٥ مليون جنيه

– إجمالي العوائد على مدار ٥ سنوات:

◊ زيادة الإيرادات = ١٤٠ مليون جنيه

◊ التوفير من التكاليف = ٥,٥ مليون جنيه

◊ التوفير من تحسين الجودة = ١٢,٥ مليون جنيه

– إجمالي العوائد = ١٤٠ + ٥,٥ مليون + ١٢,٥ مليون = ١٥٨ مليون جنيه.

أ. **حساب العائد على الاستثمار (ROI) على مدار ٥ سنوات:**

$$100 \times \frac{130 - 158}{130} = ROI$$

$$100 \times \frac{28}{130} = ROI$$

$$\%21.54 = ROI$$

الاستنتاج: العائد على الاستثمار (ROI) على مدار ٥ سنوات في شركة جهينة للصناعات الغذائية هو ٢١,٥٤٪، ويشير ذلك إلى أن المشروع سيحقق عائدًا إيجابيًا جيدًا مقارنة بالتكاليف، مما يجعله استثمارًا مجديًا.

ب. حساب صافي القيمة الحالية على مدار ٥ سنوات:

– حساب صافي القيمة الحالية (NPV) على مدار ٥ سنوات، نحتاج إلى أخذ التدفقات النقدية المستقبلية (التكاليف والعوائد السنوية) وتخفيضها إلى قيمتها الحالية باستخدام معدل الخصم (Discount Rate).

– نفترض أن معدل الخصم هو ١٠٪ سنويًا.

المعطيات:

– التكاليف الأولية: ٦٥ مليون جنيه في السنة الأولى.

– التكاليف التشغيلية السنوية: ١٣ مليون جنيه.

– إجمالي العوائد السنوية = ٣١,٦ مليون جنيه.

التدفقات النقدية السنوية = ٣١,٦ – ١٣ = ١٨,٦ مليون جنيه

حساب التدفقات النقدية المتبقية:

يمكننا حساب صافي القيمة الحالية (NPV) باستخدام المعادلة:

$$\frac{18.6}{^{t}(0.10 + 1)} \sum_{t=1}^{5} + (65 -) = NPV$$

– السنة ١: $\frac{18.6}{^{1}(1.1)}$ = ١٦,٩١ مليون جنيه.

- السنة ٢: $\frac{18.6}{(1.1)^2}$ = ١٥,٣٧ مليون جنيه.

- السنة ٣: $\frac{18.6}{(1.1)^3}$ = ١٣,٩٧ مليون جنيه.

- السنة ٤: $\frac{18.6}{(1.1)^4}$ = ١٢,٧٠ مليون جنيه.

- السنة ٥: $\frac{18.6}{(1.1)^5}$ = ١١,٥٥ مليون جنيه.

NPV = – ٦٥ + ١٦,٩١ + ١٥,٣٧ + ١٣,٩٧ + ١٢,٧٠ + ١١,٥٥

NPV = – ٦٥ + ٧٠,٥٠

NPV = ٥,٥١ مليون جنيه

الاستنتاج: صافي القيمة الحالية (NPV) لشركة جهينة للصناعات الغذائية على مدار ٥ سنوات هي ٥,٥١ مليون جنيه. هذا يشير إلى أن الاستثمار في تقنيات الصناعة الذكية سيكون مربحًا ويحقق عوائد جيدة على المدى الطويل.

والجدول التالي يوضح تحليل العوائد والتكاليف للاستثمار في تقنيات الأتمتة والذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في شركات مختارة.

جدول رقم (١) يوضح مقارنة العوائد والتكاليف لتطبيق تقنيات الصناعة الذكية في شركات مختارة

الشركة	التكاليف الأولية (مليون جنيه)	التكاليف التشغيلية السنوية (مليون جنيه)	إجمالي التكاليف (٥ سنوات)	الإيرادات السنوية (مليون جنيه)	التوفير من التكاليف (مليون جنيه)	التوفير من تحسين الجودة (مليون جنيه)	إجمالي العوائد السنوية	إجمالي العوائد (٥ سنوات)	ROI (%)	NPV (مليون جنيه)
السويدي للكابلات	١٢٠	١٦	٢٠٠	٤٠	٢,٤	٥	٤٧,٧	٢٣٧	٪١٨,٥	٠,٩٧-
مصر للألومنيوم	٨٠	١٣	١٤٥	٢٥	١,٣	٣	٢٩,٣	١٤٦,٥	٪١,٠٣	١٨,٢١-
النصر للبترول	٨٩	١٤	١٥٩	٣٥	١,٦٨	٣	٣٩,٦٨	١٩٨,٤	٪٢٤,٧٨	٨,٣٥٨
جهينة للصناعات الغذائية	٧٥	١١	١٣٠	٢٨	١,١	٢,٥	٣١,٦	١٥٨	٪٢١,٥٤	٥,٥١

المصدر: تم إعداد الجدول بواسطة الباحث.

الاستنتاج العام من الجدول:

١. شركة جهينة للصناعات الغذائية تتفوق بشكل واضح في معظم المقاييس المالية، حيث حققت أعلى العوائد، ROI و NPV، مما يجعلها الخيار الأفضل للاستثمار بين الشركات المدرجة.

٢. شركة السويدي للكابلات تحقق نتائج جيدة، ولكنها أقل في العوائد مقارنة بـ جهينة. مع تحسين بعض الاستراتيجيات يمكن أن تحقق نتائج أفضل.

٣. شركة مصر للألومنيوم والنصر للبترول يواجهان تحديات كبيرة بسبب التكاليف المرتفعة والعوائد الضعيفة. سيتطلب الأمر إعادة تقييم استراتيجيات الاستثمار لتقليل التكاليف وزيادة الإيرادات بشكل ملحوظ.

٢.٣ نتيجة تطبيق نموذج التكلفة والعائد (Cost–Benefit Analysis) مع حساب القيمة الحالية الصافية (NPV) على مدار ٥ سنوات:

١. **شركة السويدي للكابلات:** تظهر نتائج تحليل نموذج التكلفة والعائد (Cost–Benefit Analysis) مع حساب صافي القيمة الحالية (NPV) لشركة السويدي للكابلات انه في حالة تطبيق الصناعة الذكية، قد تواجه شركة السويدي للكابلات تحديات في تحقيق ربحية في الأجل القصير. يجب أن تبحث الشركة عن طرق لتحسين كفاءتها وتقليل التكاليف التشغيلية أو زيادة العوائد لتحقق نتائج إيجابية في المستقبل.

٢. **شركة مصر للألومنيوم:** يبدو أن شركة مصر للألومنيوم لن تحقق ربحًا على المدى القصير إذا استمرت بالاستثمار في الصناعة الذكية بهذا الشكل. يتعين على الشركة تحسين استراتيجيات الاستثمار أو تحديد طرق لتقليل التكاليف أو زيادة الإيرادات.

٣. **شركة النصر للبترول:** تظهر نتائج إيجابية من خلال تطبيق الصناعة الذكية، مما يشير إلى أنها ستحقق ربحًا على المدى الطويل. يعتبر هذا المشروع مربحًا في ظل المعدلات الحالية، ويستحق الاستمرار أو التوسع.

٤. **شركة جهينة للصناعات الغذائية:** تظهر نتائج ايجابية من خلال تطبيق تقنيات الصناعة الذكية، بما في ذلك الأتمتة، الذكاء الاصطناعي (AI)، وإنترنت الأشياء (IoT)، سيحقق نتائج إيجابية على المدى الطويل. على الرغم

من ارتفاع التكاليف الأولية، إلا أن التدفقات النقدية السنوية الناتجة عن زيادة الإيرادات وتحسين الكفاءة التشغيلية ستؤدي إلى تحقيق صافي قيمة حالية (NPV) إيجابية. هذا يشير إلى أن الاستثمار في الصناعة الذكية سيكون مربحًا لشركة جهينة، ويوفر فرصًا للنمو وزيادة العائد على الاستثمار (ROI) على مدار السنوات القادمة.

٣.٣ نتائج الدراسة:

أ. تواجه شركة السويدي للكابلات وشركة مصر للألومنيوم تحديات في تحقيق عوائد إيجابية بناءً على صافي القيم الحالية (NPV) السلبية، مما يشير إلى أن تطبيق تقنيات الصناعة الذكية لم يسهم بعد في تحسين كفاءة الإنتاج أو خفض التكاليف التشغيلية بشكل كافٍ، وفقًا للفرضيتين الأولى والثانية.

ب. تحقق شركة النصر للبترول وشركة جهينة للصناعات الغذائية عوائد إيجابية (NPV إيجابي)، مما يدل على أن الاستثمار في تقنيات الصناعة الذكية ساهم في تعزيز كفاءة الإنتاج وخفض التكاليف التشغيلية، وهو ما يتماشى مع الفرضيتين الأولى والثانية، ما يجعل المشروع مجدٍ اقتصاديًا على المدى الطويل.

ج. يُظهر تطبيق الصناعة الذكية في شركة النصر للبترول وشركة جهينة للصناعات الغذائية أنه مجدٍ اقتصاديًا، حيث تحقق النتائج المتوقعة وفقًا للفرضيتين الأولى والثانية، في حين أن شركة السويدي للكابلات وشركة مصر للألومنيوم بحاجة إلى مراجعة الاستثمارات أو العمليات لضمان تحقيق فوائد ملموسة من تطبيق الصناعة الذكية، بما في ذلك تحسين الكفاءة الإنتاجية وخفض التكاليف التشغيلية.

٤.٣ توصيات الدراسة:

١. شركة السويدي للكابلات تحتاج إلى إعادة النظر في استراتيجياتها وتقليل التكاليف التشغيلية أو زيادة الإيرادات لضمان تحقيق عوائد إيجابية.

٢. شركة مصر للألومنيوم يجب أن تبحث عن حلول لتحسين الكفاءة التشغيلية وتقليل التكاليف الاستثمارية أو تحسين العوائد.

٣. شركة النصر للبترول يمكن توسيع الاستثمار في تقنيات الصناعة الذكية لأنها تحقق عوائد إيجابية، مما يدل على أن المشروع مجدي اقتصاديًا.

٤. شركة جهينة للصناعات الغذائية يُوصى بالاستمرار في توسيع الاستثمار في تقنيات الصناعة الذكية، نظرًا لتحقيق عائد إيجابي على الاستثمار. مع التركيز على تحسين الكفاءة التشغيلية باستخدام الذكاء الاصطناعي (AI) لتحسين الإنتاج وإدارة المخزون، وتعظيم العوائد من خلال تطوير منتجات جديدة وزيادة جودة المنتجات، بالإضافة إلى تقليل

التكاليف التشغيلية عبر استخدام الأتمتة وإنترنت الأشياء (IoT) لتحسين عمليات الصيانة وتقليل الفاقد، وتعزيز القدرة التنافسية من خلال تطبيق حلول ذكية لتحسين سلسلة التوريد وتلبية احتياجات السوق بشكل أكثر كفاءة.

٥.٣ الخطة التنفيذية المقترحة لتطبيق توصيات الدراسة في الشركات الصناعية المصرية:

– لضمان فعالية تطبيق التوصيات الواردة في الدراسة، يمكن وضع خطة تنفيذية لكل شركة على حدة وفقًا لطبيعة نشاطها ونتائج التحليل المالي والفني. فيما يخص **شركة السويدي للكابلات**، يُقترح البدء بمراجعة شاملة لبنود الإنفاق التشغيلي بهدف تحديد مصادر الهدر وتقليلها، إلى جانب دراسة فرص التوسع في الأسواق الخارجية أو تطوير منتجات جديدة بما يسهم في زيادة الإيرادات وتحقيق عوائد إيجابية.

– أما **شركة مصر للألومنيوم**، فتحتاج إلى خطة تحسين تركز على رفع كفاءتها التشغيلية من خلال استخدام تقنيات أكثر فعالية في الإنتاج، مع مراجعة السياسات الاستثمارية الحالية للحد من النفقات الرأسمالية غير الضرورية، إلى جانب تحسين كفاءة الموارد والعمليات بما يعزز قدرتها على تحقيق أرباح مستدامة.

– وبالنسبة **لشركة النصر للبترول**، فإن جدوى الاستثمار في تقنيات الصناعة الذكية تستدعي وضع خطة تدريجية لتوسيع نطاق استخدامها، بدءًا من تنفيذ مشروعات تجريبية لتقنيات مثل الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في مراقبة عمليات التشغيل، ثم تقييم نتائجها والتوسع التدريجي في دمجها ضمن البنية التشغيلية للمصفاة، مع توفير التدريب المناسب للعاملين.

– وفيما يتعلق **بشركة جهينة للصناعات الغذائية**، يُوصى بوضع خطة شاملة لتوسيع استثماراتها في تقنيات الصناعة الذكية، تشمل استخدام الذكاء الاصطناعي في تحسين الإنتاج وإدارة المخزون، وتطبيق تقنيات إنترنت الأشياء في الصيانة التنبؤية وتقليل الفاقد، إلى جانب تطوير خطوط إنتاج جديدة وتحسين جودة المنتجات، بما يعزز قدرتها التنافسية ويزيد من عوائدها. كما يجب أن تتضمن الخطة تطوير أنظمة إدارة سلسلة التوريد من خلال حلول ذكية، تُمكن من تلبية احتياجات السوق بكفاءة أعلى، مع متابعة دورية لقياس الأثر المالي والتشغيلي لتلك التحديثات.

"قائمة المراجع"

1. Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). ***The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies***. W.W. Norton & Company.

2. Chryssakis, C., & Koutoupis, A. (2020). ***Smart Industry in Developing Countries: Challenges and Opportunities***.*Journal of Industrial Engineering and Management, 13(2).*

3. Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). ***The Circular Economy – A New Sustainability Paradigm?*** *Journal of Cleaner Production.*

4. He, Y., & Li, Y. (2021). ***Industrial Innovation and Its Impact on Economic Sustainability: A Smart Manufacturing Perspective.*** *Sustainability, 13(10).*

5. Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). ***Industrie 4.0: The Digital Transformation of Manufacturing.***

6. Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). ***Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0: Final Report of the Industrie 4.0 Working Group***. Plattform Industrie 4.0.

7. Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2016). ***Industrie 4.0: The Digital Transformation of Manufacturing.***

8. Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H.-G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). ***Industry 4.0***. *Business & Information Systems Engineering.*

9. Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H.-G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). ***Industry 4.0: The Next Industrial Revolution.*** *Business & Information Systems Engineering, 6(4).*

10. Piller, F. T., & Walcher, D. (2006). ***Toolkits for Open Innovation: An Exploration of User Innovation and Firm Innovation***. *R&D Management*

11. Schwab, K. (2016). ***The Fourth Industrial Revolution***. Crown Business.

12. Tay, Y., & Tan, A. (2019). ***Digital Transformation and Its Impact on Industrial Efficiency: A Case Study in China.*** *International Journal of Industrial Engineering, 32(5).*

13. United Nations. (2015). ***Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development.***

14. Westerman, G., Bonnet, D., Ferraris, P., & Juvonen, A. (2014). ***Leading Digital: Turning Technology into Business Transformation.*** Harvard Business Review Press.

15. Zhang, Q., & Zhao, L. (2022). ***Smart Industry: Challenges and Opportunities in the Middle East Region.*** *International Journal of Emerging Technologies, 10(3).*

١٦. وزارة التجارة والصناعة. (٢٠٢٣). ***تقرير الأداء الصناعي في مصر.*** تم الاسترداد من: https://www.mti.gov.eg

الهوامش:

---

[1] Henning Kagermann, Wolfgang Wahlster, and Johannes Helbig، (2016), **"Industrie 4.0: The Digital Transformation of Manufacturing".**

[2] Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). **"Industrie 4.0: The Digital Transformation of Manufacturing".**

[33] Schwab, Klaus. (2016). **"The Fourth Industrial Revolution**". Crown Business.

[4] يمكن الرجوع إلى كل من:

- Westerman, G., Bonnet, D., Ferraris, P., & Juvonen, A. (2014). ***Leading Digital: Turning Technology into Business Transformation***. Harvard Business Review Press.

- Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). *The **Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies.*** W.W. Norton & Company.

[5] Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). ***The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies.*** W.W. Norton & Company.

[6] Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). ***The Circular Economy – A New Sustainability Paradigm?*** Journal of Cleaner Production.

[7] Piller, F. T., & Walcher, D. (2006). ***Toolkits for Open Innovation: An Exploration of User Innovation and Firm Innovation***. R&D Management.

[8] Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H.-G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). ***Industry 4.0.*** Business & Information Systems Engineering.

[9] United Nations (2015), **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development.**

[10] United Nations (2015), ibid.

[11] Zhang, Q., & Zhao, L. (2022). ***Smart Industry: Challenges and Opportunities in the Middle East Region*. International** Journal of Emerging Technologies, 10(3), 45-62.

[12] He, Y., & Li, Y. (2021). ***Industrial Innovation and Its Impact on Economic Sustainability: A Smart Manufacturing Perspective***. Sustainability, 13(10), 1856-1875.

[13] Chryssakis, C., & Koutoupis, A. (2020). ***Smart Industry in Developing Countries: Challenges and Opportunities*.** Journal of Industrial Engineering and Management, 13(2), 15-29.

[14] Tay, Y., & Tan, A. (2019). ***Digital Transformation and Its Impact on Industrial Efficiency: A Case Study in China*.** International Journal of Industrial Engineering, 32(5), 320-335.

[15] Schwab, K. (2016). ***The Fourth Industrial Revolution***. Crown Business.

[16] Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). ***Industry 4.0: The Next Industrial Revolution***. Business & Information Systems Engineering, 6(4), 239-242.

[17] Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). ***Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0: Final Report of the Industrie 4.0 Working Group*.** Plattform Industrie 4.0.

[١٨] وزارة التجارة والصناعة. (٢٠٢٣). ***تقرير الأداء الصناعي في مصر***. تم الاسترداد من: https://www.mti.gov.eg

[١٩] سنستخدم بيانات تقديرية لبعض الشركات التي تطبق تقنيات الصناعة الذكية في مصر، وذلك لتحديد الفائدة المحتملة مقابل التكاليف المرتبطة بهذه التقنيات.

[٢٠] تم افتراض معدل الخصم عند ١٠ ٪ بناءً على تكلفة رأس المال، ومخاطر القطاع الصناعي ومقارنته بعوائد الاستثمارات البديلة مثل أذون الخزانة والتضخم المتوقع.