

دور التحول الرقمي في تحسين كفاءة العمليات الصناعية في قطاع التعدين بالمملكة العربية السعودية

إعداد الطالب

عبدالعزیز بن محمد الشهري

٢٤١٠٠٢٣٤٠

إشراف

د. الفیصل عبدالحمید

د. فايز جراد

العام الدراسي

1445 - 2024

فهرس المحتويات

أ	فهرس المحتويات
د	قائمة الجداول
هـ	قائمة الأشكال
و	Abstract
٢	الفصل الأول: مقدمة الدراسة
٢	مقدمة
٤	مشكلة وفكرة الدراسة
٦	التعريفات الإجرائية
٦	أهمية الدراسة
٧	أهداف الدراسة
١١	الفصل الثاني: الإطار النظري والدراسات السابقة
١١	مقدمة:
١١	أولاً: الإطار النظري
١١	1. التحول الرقمي
١١	١/١ مفهوم التحول الرقمي وأهميته
١٢	١/٢ أهداف وأهمية التحول الرقمي:
١٣	١/٣ تأثير التحول الرقمي على القطاعات الاقتصادية المختلفة
١٥	١/٤ ركائز التحول الرقمي (التقنيات الرقمية) في ظل الثورة الصناعية الرابعة
١٨	2. كفاءة العمليات الصناعية بقطاع التعدين
١٨	٢/١ مفهوم العمليات الصناعية في قطاع التعدين
١٩	٢/٢ مفهوم الكفاءة في العمليات الصناعية
٢٠	٢/٣ العوامل المؤثرة في كفاءة العمليات الصناعية
٢١	٢/٤ مقاييس تقييم كفاءة العمليات الصناعية في التعدين
٢٤	3. دور تطبيق التكنولوجيا الرقمية في تحسين كفاءة العمليات الصناعية بقطاع التعدين

٣/١	التكنولوجيا الرقمية في التعدين: الأدوات والتطبيقات	٢٤
٣/٢	فوائد استخدام التكنولوجيا الرقمية في تحسين كفاءة العمليات الصناعية وتحقيق أهداف الاستدامة بقطاع التعدين	٢٦
٣/٣	التجارب الدولية الرائدة في تطبيق التكنولوجيا الرقمية في قطاع التعدين ومقارنتها بالوضع في السعودية	٣٠
٣٦	ثانيًا: الدراسات المرجعية	
٤٣	ثالثًا: التعقيب على الدراسات السابقة	
٤٤	رابعًا: أوجه الاستفادة من الدراسات السابقة	
٤٥	خامسًا: ما يميز الدراسة الحالية عن الدراسات السابقة	
٤٧	الفصل الثالث: منهجية الدراسة وإجراءاتها	
٤٧	تمهيد:	
٤٧	منهج الدِّراسة:	
٤٧	مجتمع الدراسة:	
٤٧	عينة الدراسة:	
٤٧	أداة الدِّراسة:	
٤٧	بناء أداة الدِّراسة:	
٤٨	صدق أداة الدِّراسة:	
٥١	ثبات أداة الدِّراسة:	
٥٢	أساليب تحليل البيانات:	
٥٥	الفصل الرابع: نتائج الدراسة وتفسيراتها	
٥٥	تمهيد	
٥٥	خصائص عينة الدِّراسة:	
٥٧	الإجابة عن أسئلة الدراسة	
٦٨	الفصل الخامس: ملخص نتائج الدراسة وتوصياتها	
٦٨	ملخّص الدِّراسة:	
٦٨	نتائج الدِّراسة:	
٦٩	توصيات الدِّراسة:	

Error! Bookmark not defined..... المراجع

٧٠..... أولاً: المراجع العربية:

٧٢..... ثانياً: المراجع الأجنبية:

٧٦..... الملاحق

٧٦..... الاستبانة.

قائمة الجداول

- جدول (٣ - ١) صدق الاتساق بين كل فقرة من فقرات المحور الأول والدرجة الكلية للمحور ٤٩
- جدول (٣ - ٢) صدق الاتساق بين كل فقرة من فقرات المحور الثاني والدرجة الكلية للمحور ٥٠
- جدول (٣ - ٣) صدق الاتساق بين كل فقرة من فقرات المحور الثالث والدرجة الكلية للمحور ٥١
- جدول (٣ - ٤) معامل ثبات ألفا كرونباخ لمحاور الاستبانة ٥٢
- جدول (٣ - ٥) درجة الموافقة ومدى الموافقة على مقياس ليكرت الخماسي ٥٣
- جدول (٤ - ١) توزيع أفراد الدِّراسة وفق متغير الجنس ٥٥
- جدول (٤ - ٢) توزيع أفراد الدِّراسة وفق متغير السن ٥٦
- جدول (٤ - ٣) توزيع أفراد الدِّراسة وفق متغير سنوات الخدمة ٥٦
- جدول (٤ - ٤) المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات المحور الأول ٥٨
- جدول (٤ - ٥) المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات المحور الثاني ٦١
- جدول (٤ - ٦) المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات المحور الثالث ٦٤

قائمة الأشكال

- شكل (١-١) وصف توضيحي لهيكلية الدراسة..... ٨
- شكل (٤-١) توزيع أفراد الدِّراسة وفق متغير الجنس..... ٥٥
- شكل (٤-٢) توزيع أفراد الدِّراسة وفق متغير السن ٥٦
- شكل (٤-3) توزيع أفراد الدِّراسة وفق متغير سنوات الخدمة..... ٥٧

Abstract

The study aimed to uncover the reality of implementing digital transformation in industrial operations within the mining sector, explore the main challenges of implementing these operations, and reveal the role of applying digital technology in improving the efficiency of these operations in the Kingdom of Saudi Arabia from the perspective of employees in mining companies. To achieve these objectives, the study used the descriptive analytical approach. The study population consists of mining companies in the Kingdom of Saudi Arabia that have implemented or are in the process of implementing digital technology and adopting digital solutions in industrial operations. The study sample (n=370) represents the senior, middle and small management levels related to industrial operations within mining companies in the Kingdom of Saudi Arabia. The questionnaire was used as a tool for data collection. The study found that the reality of implementing digital transformation in industrial operations within the mining sector in the Kingdom of Saudi Arabia was high, and the main challenges of implementing these operations were at (agree) level. It became clear that the impact of applying digital technology in improving the efficiency of industrial operations within the mining sector in the Kingdom of Saudi Arabia from the perspective of employees in mining companies is high. In light of the findings, the study recommends that the mining sector should take advantage of digital technologies that are appropriate for this sector, as there are many opportunities that can be seized to attain many benefits and advantages for this sector. Another recommendation is the need to study the challenges facing digital transformation in the mining sector and work to address and eliminate them.

Keywords: digital transformation - industrial operations - mining sector - Kingdom of Saudi Arabia

الفصل الأول

مقدمة الدراسة

- مقدمة
- مشكلة وفكرة الدراسة
- التعريفات الإجرائية
- أهمية الدراسة
- أهداف الدراسة

الفصل الأول: مقدمة الدراسة

مقدمة

منذ اندلاع الثورة الصناعية الأولى بعد اختراع المحرك البخاري، ظهرت التغييرات الجذرية التالية مثل الآلات الرقمية وبيئة التصنيع الآلية، وتسببت في تأثيرات كبيرة على الإنتاجية، وظهرت تطورات هائلة مثل الويب ٢.٠ والتطبيقات والهواتف الذكية وأجهزة الكمبيوتر المحمولة والطابعات ثلاثية الأبعاد، مما خلق إمكانات كبيرة في تطوير الاقتصادات (Ustundag & Cevikcan, 2017). حيث تعمل التقنيات الرقمية، مثل الهاتف المحمول، والسحابة، والبيانات الضخمة، والتحليلات، وأجهزة الاستشعار، وإنترنت الأشياء (IoT)، والذكاء الاصطناعي (AI)، مع إمكانية الجمع بينها بطرق مبتكرة، على تسريع التقدم بشكل كبير من خلال ما يسمى عملية التحول الرقمي مع تأثير كبير على الأعمال والمجتمع، وبالتالي يصف التحول الرقمي عملية التغيير الشاملة التي تمر بها الشركة أو نموذج الأعمال نتيجة لتطبيق التقنيات الرقمية (البلوشية 2020 et al.)، و يعد التحول الرقمي أحد ركائز الثورة الصناعية الرابعة "الصناعة ٤.٠" (السمري & المحيمد، ٢٠٢٤).

بفضل إمكاناته الواسعة في تحسين العمليات وتحفيز النمو، أثار التحول الرقمي اهتماماً كبيراً من جانب الشركات في جميع أنحاء العالم بما فيها الدول العربية. حيث تطبق الشركات مبادرة التحول الرقمي من خلال تغيير طريقة عملها وتعلمها وتواصلها وتعاونها، وذلك بهدف تحديد القيم ذات الصلة بالعملاء بشكل أسهل وإعادة تصميم نماذج الأعمال والتشغيل على أساس الاحتمالات الجديدة، مما يؤدي إلى زيادة القدرة التنافسية (Dragičević & Bošnjak, 2019)، مثل تطوير القطاع المصرفي لتحقيق التنمية المستدامة (السمري & المحيمد، ٢٠٢٤)، وتطبيق التحول الرقمي في المدن الذكية (مجر & غنيم، ٢٠٢٢). وقد وُجد أن التحول الرقمي له تأثير أكثر استدامة على الأداء التشغيلي مقارنة بالأداء المالي، كما أصبحت الشروط المطلوبة (أي بيئة السياسات والابتكار) لتحسين الأداء التشغيلي من خلال التحول الرقمي أكثر سهولة (Guo & Xu, 2021). وتم تقديم التحول الرقمي باعتباره فرصة استراتيجية تتيح خدمات جديدة وفرصاً لخلق القيمة للشركات (Gao et al., 2019).

ومن بين القطاعات المهمة للشركات التي تسعى إلى تبني التحول الرقمي، يبرز المجال الصناعي. ففي العديد من الصناعات، أصبح التحول الرقمي عاملاً حاسماً، حيث يغير نماذج الأعمال التقليدية ويفتح آفاق تطوير لم يسمع بها من قبل، مثل قطاع صناعة الطاقة (الياسري وآخرون، 2024) والصناعات الغذائية (صالح، ٢٠٢٤) وصناعة السيارات (Llopis-Albert et al., 2021) والصناعة الزراعية (Shamin et

2019). حيث تشمل المكونات الرئيسية للتحويل الرقمي للإنتاج الصناعي في سياق "الصناعة ٤.٠": إدخال تقنيات تكنولوجيا المعلومات، والتي تنطوي على استخدام البيانات الضخمة (Big Data)، وتقنيات سلسلة الكتل (Blockchain) في الإنتاج، والروبوتات، وأنظمة التصميم بمساعدة الكمبيوتر، وتخطيط الموارد لمؤسسات التجمعات الصناعية، وإدارة دورة حياة المنتج، وكذلك عملية أنظمة التحكم في عمليات الإنتاج (Dalenogare et al., 2018; Tashenova et al., 2019)، وفي هذا السياق، تعتبر "الصناعة ٤.٠" مرحلة صناعية جديدة يمكن من خلالها لتكامل عمليات التصنيع الرأسية والأفقية وربط المنتجات أن يساعد الشركات على تحقيق أداء صناعي أعلى. وفي السنوات الأخيرة، أصبحت الشركات تدرك بشكل متزايد إمكانات "الصناعة ٤.٠"، وترى الشركات أن التحويل الرقمي فرصة لاكتساب ميزة تنافسية حتى تتمكن من أن تصبح رائدة في السوق أو تعزيز ريادتها السوقية الحالية (Schuh et al., 2020).

لقد تطورت تقنيات وتكنولوجيات التعدين وتحسنت بمرور الوقت (على سبيل المثال، إدخال المتفجرات واستخدام معدات التعدين الآلية والآلية خلال الثورة الصناعية وقد أدى كل إنجاز تقني وتنفيذه في مواقع المناجم، في الماضي، إلى ممارسات أفضل ونمو صناعي قوي، ويواجه قطاع التعدين اليوم تنفيذ الابتكارات الرقمية (Barnewold & Lottermoser, 2020). حيث يهدف تطبيق التحويل الرقمي في هذا القطاع إلى تحسين العلاقة بين جوانب مختلفة تماماً من العمل تعمل على تغيير طبيعة الشركات وتفاعلاتها مع العمال والمجتمعات والحكومات والبيئة في كل مرحلة من مراحل سلسلة القيمة، بدءاً من استكشاف المعادن وتقييمها إلى التعدين والاستفادة منها وإنتاج المعادن، فضلاً عن المبيعات والتوزيع النهائي (Abdellah et al., 2022). وخضعت صناعة التعدين في السنوات الأخيرة لتحويل رقمي يعيد تشكيل عملياتها وكفاءتها، حيث فتح دمج التقنيات المتقدمة إمكانيات جديدة لتحسين العمليات وتحسين السلامة وزيادة الاستدامة وتقليل التكاليف والمراقبة في الوقت الفعلي والصيانة التنبؤية (Kalenov & Kukushkin, 2021; Kunkel & Matthess, 2020).

وعلى مستوى المملكة العربية السعودية تشير رؤيتها الطموحة ٢٠٣٠ إلى تطوير البنية التحتية الخاصة بالاتصالات وتقنية المعلومات، وتعزيز الاستثمارات في الاقتصاد الرقمي، وكذلك تعزيز حوكمة التحويل الرقمي. وفي قطاع التعدين، تشير رؤية المملكة إلى تنميته للمساهمة في الاقتصاد الوطني من خلال تشجيع التنقيب عن الثروات المعدنية والاستفادة منها (KSA, 2016). ومع هذا التوجه بتطوير التحويل الرقمي للقطاع الصناعي وتطبيق تقنيات وممارسات التصنيع الحديث، لتحقيق المستهدفات الاستثمارية، فقد أطلقت وزارة الصناعة والثروة المعدنية برنامج "مصانع المستقبل" من خلال تبني التحويل الرقمي (مركز-الاقتصاد-الرقمي، ٢٠٢٤).

وعلى الرغم من الأهمية المتزايدة لتبني التحول الرقمي في مختلف الأنشطة الاقتصادية مواكبة للتحويلات العالمية الرقمية لتحقيق التنافسية و زيادة الإنتاج و تحقيق الاستدامة، وبالرغم من الجهود الحثيثة لحكومة المملكة لمواكبة هذه التغييرات المتسارعة للتكنولوجيا الرقمية المتقدمة في مختلف جوانب الحياة من أجل إنجاز أهداف رؤية ٢٠٣٠، إلا أنه لا توجد دراسات محلية تناولت دور التحول الرقمي في تطوير قطاع التعدين في المملكة، وعليه ستسعى هذه الدراسة إلى استكشاف دور التحول الرقمي في تطوير هذا القطاع الحيوي للمملكة بما يخص مجال تحسين كفاءة العمليات الصناعية.

مشكلة وفكرة الدراسة

في الصناعات الأساسية، التي تقدم منتجات مادية أو منتجات شبه مادية أو مواد خام، مثل التعدين، تبدأ عملية التطوير التكنولوجي عموماً بمبادرات تهدف إلى تحسين كفاءة العمليات، أي العمليات الصناعية الداخلية، بحيث يتماشى نموذج التشغيل مع تفضيلات العملاء ومتطلباتهم بشكل يؤثر على كل نشاط في سلسلة القيمة (Dragičević & Bošnjak, 2019). ولكي تنجح الشركات الحديثة في بيئة شديدة الديناميكية والتعقيد، فمن الضروري لها أن تراقب وتحلل اتجاهات تكنولوجيا الصناعة على أساس مستمر، وأن تُطوّر أنشطة موجهة نحو الابتكار تركز على المستقبل وتسمح للشركة بالتكيف مع التغيير وعدم اليقين. وفي الوقت الحاضر، تُعتبر عملية التحول الرقمي واحدة من أهم العوامل المركزية لتطوير قطاع التعدين، فلقد أصبحت الرقمنة ضرورة تجارية، حيث تستفيد من أحدث التطورات التكنولوجية لتحسين العمليات التشغيلية من أجل ضمان القدرة التنافسية الاستراتيجية، وتقليل المخاطر، وزيادة أداء الأعمال، والمساهمة في حماية البيئة والاستغلال المستدام للموارد المعدنية (Lazarenko et al., 2021).

يشكل التقدم في التغيير التكنولوجي داخل صناعة التعدين جزءاً لا يتجزأ من العصر الصناعي الرابع، مما أدى إلى زيادة أتمتة المهام التشغيلية وعمليات الإنتاج المحددة، وبالتالي تطبيق شبكات الذكاء الجاهزة لربط العديد من مكونات سلسلة القيمة (Abdellah et al., 2022; Kunytska et al., 2024). وتشير الرقمنة في التعدين إلى استخدام الأجهزة أو الأنظمة المحوسبة والبيانات الرقمية التي تهدف إلى تقليل التكاليف وتحسين إنتاجية الأعمال وتحويل ممارسات التعدين (Barnewold & Lottermoser, 2020). وقد أصبحت الرقمنة عاملاً حاسماً يمكن الشركات في قطاع التعدين من البقاء قادرة على المنافسة في المستقبل (Kalenov & Kukushkin, 2021). وفي هذا السياق، يشير (Young and Rogers (2019 إلى أهمية التحول الرقمي في قطاع التعدين متمثلاً بالعملية التي تتكيف بها الشركات مع التكنولوجيا الرقمية (الأتمتة، والكاميرات، وأجهزة الاستشعار، والشاشات التي تعمل باللمس، والذكاء الاصطناعي، وما إلى ذلك)، و في جميع مجالات التعدين (الإدارة والتخطيط والاستكشاف والنقل والمعالجة وتخصيب المعادن والتعاون

والدعوة للاستثمار والمبيعات وخدمة العملاء... الخ). وغالباً ما يُنظر إلى التحول الرقمي، كأحد مكونات الثورة التكنولوجية الرابعة، على أنه عملية التغيير من نموذج الأعمال التقليدي إلى نموذج رقمي من خلال تطبيق تقنيات جديدة مثل البيانات الضخمة وإنترنت الأشياء (IoT) والحوسبة السحابية (Cloud) لتغيير طريقة التشغيل والقيادة وعملية العمل وثقافة الشركة (Van Hau et al., 2022).

وفي المملكة العربية السعودية، يحظى قطاع التعدين بدعم واهتمام الدولة، حيث يشكل الركيزة الثالثة للصناعة السعودية ويعمل على توفير الفرص الوظيفية للشباب السعودي، وتحقيق التنمية المتوازنة بين المناطق، وتشكيل مدن جديدة على طراز حديث يواكب المدن الصناعية العالمية، بما يحقق أهداف رؤية المملكة ٢٠٣٠ في الاستفادة القصوى من الثروات الوطنية (الخريف، ٢٠٢٣). وقد انبثق عن رؤية المملكة الطموحة ٢٠٣٠ "برنامج تطوير الصناعة الوطنية والخدمات اللوجستية" الذي يهدف إلى تحويل المملكة إلى قوة صناعية رائدة ومنصة لوجستية عالمية، وتعظيم القيمة المتحققة من قطاعي التعدين والطاقة، والمحتوى المحلي والثورة الصناعية الرابعة، ليساهم البرنامج بشكل كبير في تعظيم الأثر الاقتصادي وتنويعه للقطاعات المستهدفة، واستدامة نمو تلك القطاعات وتحقيق ريادتها، وخلق بيئة استثمارية جاذبة فيها (رؤية-٢٠٣٠، ٢٠٢١). وفي هذا السياق، أدركت شركة "معادن" أن التحول الرقمي عنصر أساسي في مستقبلها وفي جميع أنشطة الشركة، وأحرزت تقدماً كبيراً في عام ٢٠٢٠ نحو تحقيق هدفها المتمثل في دمج التحول الرقمي كعنصر أساسي في جميع أعمالها (معادن، ٢٠٢٠)، ففي عام ٢٠١٨، وقعت شركة "معادن" مذكرة تفاهم استراتيجية مع "جنرال إلكتريك" تركز على بحث الفرص الممكنة لدعم التحول الرقمي في القطاع الصناعي (معادن، ٢٠١٨).

ومما سبق جاءت فكره هذه الدراسة للكشف عن دور التحول الرقمي في تحسين كفاءة العمليات الصناعية في قطاع التعدين في المملكة العربية السعودية، وذلك في ظل التغيرات التكنولوجية الرقمية المتسارعة حالياً. ويرى الباحث أنه على الرغم من الجهود البحثية المتنوعة التي تناولت موضوع التحول الرقمي في قطاع التعدين عالمياً، إلا أنه لا توجد دراسات عربية سابقة تناولت هذا الموضوع، كما يوجد حاجة ملحة لإثراء هذا الموضوع، وذلك مواكبة للتغيرات التكنولوجية الرقمية المتطورة بشكل كبير في جميع القطاعات الصناعية عموماً وقطاع التعدين خصوصاً.

وعليه جاءت هذه الدراسة لتجيب عن السؤال الرئيسي الآتي: ما دور التحول الرقمي في تحسين كفاءة العمليات الصناعية في قطاع التعدين في المملكة العربية؟ ويتفرع من هذا التساؤل الأسئلة الفرعية الآتية:

- ما هو واقع تنفيذ التحول الرقمي في العمليات الصناعية ضمن قطاع التعدين في المملكة العربية السعودية؟

- ما هي التحديات الرئيسية لتنفيذ التحول الرقمي في العمليات الصناعية ضمن قطاع التعدين في المملكة العربية السعودية؟

- هل يؤثر تطبيق التكنولوجيا الرقمية في تحسين كفاءة العمليات الصناعية ضمن قطاع التعدين في المملكة العربية السعودية، من وجهة نظر الموظفين في شركات التعدين؟

التعريفات الإجرائية

التحول الرقمي: مشروع حكومي يشمل كافة خدمات المؤسسات والقطاعات المختلفة بالدولة، ويتمثل في تحويل الخدمات الحيوية والأساسية المرتبطة بخدمة الأفراد، والمؤسسات، والاستثمارات المختلفة، من شكلها التقليدي إلى الشكل الإلكتروني الذكي، بالاعتماد على التقنيات الحديثة والمتطورة (البلوشية و آخرون , 2020).

ويُعرف **التحول الرقمي** إجرائياً وفق هذه الدراسة بأنه: طريقة لتحسين صناعة التعدين وإحداث تغييرات كبيرة في خصائصها من خلال دمج تقنيات الاتصالات والحوسبة مثل: البيانات الضخمة والجوال والذكاء الاصطناعي والروبوتات وأجهزة الاستشعار في العمليات الصناعية ضمن هذه الصناعة في المملكة العربية السعودية.

العمليات الصناعية في التعدين: استخراج المعادن من على سطح الأرض أو باطنها أو من البحر، وذلك بهدف تسويقها أو تكريرها أو تحويلها (Maheswari et al., 2020).

وتعرّف **العمليات الصناعية في التعدين** إجرائياً وفق هذه الدراسة بأنها: جميع مراحل سلسلة القيمة (عمليات المسح والاستكشاف، وعمليات التكرير والصهر، وتصنيع المنتجات المعدنية).

أهمية الدراسة

- ستسعى هذه الدراسة بالاعتماد على الأسس النظرية لكل من التحول الرقمي والعمليات الصناعية في التعدين في إغناء المكتبة البحثية بتأطير تطبيق التحول الرقمي في قطاع التعدين من خلال دراسة واقع تنفيذه في شركات التعدين السعودية بما يضمن تحسين كفاءة العمليات الصناعية لقطاع التعدين.

- تنبثق الأهمية العملية لهذه الدراسة من خلال الدراسة الميدانية في شركات التعدين السعودية وتقضي واقع تنفيذ التحول الرقمي بهدف تحسين كفاءة العمليات الصناعية، وذلك بما يتناسب ويلائم التكنولوجيا الرقمية المعاصرة والتي تنمو وتتطور بسرعة تلبي حاجة بيئة الأعمال في تحسين كفاءتها

من كل الجوانب الاقتصادية والفنية والبشرية والتسويقية والإعلامية وغيرها. كما ستسعى هذه الدراسة لتقديم مساهمة عملية في إطار تحقيق أهداف رؤية المملكة ٢٠٣٠ بما يخص تطوير قطاع التعدين وتنفيذ التحول الرقمي في هذا القطاع.

- قد تساعد الدراسة في تقديم فهم واضح للتحديات والآثار المرتبطة بتطبيق تقنيات التحول الرقمي في قطاع التعدين، وبشكل خاص في المملكة العربية السعودية، مما يؤدي في النهاية إلى تحسين كفاءة العمليات الصناعية ضمن هذا المجال.
- قد تساعد نتائج وتوصيات الدراسة حول أهمية التحول الرقمي والتحديات التي تعوق استخدام تقنياته في المجال الصناعي عموماً وفي قطاع التعدين خصوصاً، في توجيه أنظار صناع القرار لاتخاذ التدابير اللازمة على المستويين الحكومي والمؤسسي ووضع سياسات فاعلة لضمان تطبيق التحول الرقمي في مجال قطاع التعدين، وبالتالي التخفيف من التحديات المحتملة التي قد تعيق عملية التطبيق في المستقبل.

أهداف الدراسة

تسعى الدراسة إلى تحقيق الأهداف التالية:

١. الكشف عن واقع تنفيذ التحول الرقمي في العمليات الصناعية ضمن قطاع التعدين في المملكة العربية السعودية.
٢. الكشف عن التحديات الرئيسية لتنفيذ التحول الرقمي في العمليات الصناعية ضمن قطاع التعدين في المملكة العربية السعودية.
٣. الكشف عن دور تطبيق التكنولوجيا الرقمية في تحسين كفاءة العمليات الصناعية ضمن قطاع التعدين في المملكة العربية السعودية، من وجهة نظر الموظفين في شركات التعدين.

ويوضح الشكل (١) هيكلية الدراسة.



شكل رقم (١-١) وصف توضيحي لهيكلية الدراسة

دور التحول الرقمي في تحسين كفاءة العمليات الصناعية في قطاع التعدين بالمملكة العربية السعودية

الفصل الثاني

الإطار النظري والدراسات السابقة

- مقدمة:
- أولاً: الإطار النظري
 - التحول الرقمي
 - كفاءة العمليات الصناعية بقطاع التعدين
 - دور تطبيق التكنولوجيا الرقمية في تحسين كفاءة العمليات الصناعية بقطاع التعدين
- ثانياً: الدراسات المرجعية
- ثالثاً: التعقيب على الدراسات السابقة
- رابعاً: أوجه الاستفادة من الدراسات السابقة
- خامساً: ما يميز الدراسة الحالية عن الدراسات السابقة

الفصل الثاني: الإطار النظري والدراسات السابقة

مقدمة:

يشهد العالم اليوم تحولاً جذرياً في الطريقة التي تُدار بها القطاعات الاقتصادية والصناعية، مدفوعاً بالتطورات التكنولوجية المتسارعة التي تميز الثورة الصناعية الرابعة. ويُعد التحول الرقمي من أبرز معالم هذا العصر، حيث يمثل عملية شاملة لإدماج التقنيات الرقمية الحديثة في العمليات الصناعية والإدارية بهدف تحسين الكفاءة، وتعزيز الإنتاجية، وتحقيق التنمية المستدامة. لذلك، هذا الفصل يتناول أهمية التحول الرقمي من خلال تعريفه وأهدافه، مع التركيز على مكوناته الرئيسية التي تشمل البيانات الضخمة، إنترنت الأشياء، والذكاء الاصطناعي، والتي تُعد المحرك الرئيسي لتحسين العمليات الصناعية في مختلف القطاعات، بما في ذلك قطاع التعدين. كما يتناول الفصل مفهوم الكفاءة الصناعية في هذا القطاع، مبرزاً العوامل المؤثرة عليها ومقاييس تقييمها، إلى جانب استعراض دور التكنولوجيا الرقمية في تحسين العمليات من خلال تطبيقات مثل الصيانة التنبؤية والأتمتة. وأخيراً، يناقش الفصل التحديات التي تواجه تنفيذ التحول الرقمي في العمليات الصناعية بقطاع التعدين في المملكة العربية السعودية، مسلطاً الضوء على التحديات التكنولوجية والبشرية والتنظيمية، مع تقديم استراتيجيات لمواجهتها بما يدعم أهداف رؤية المملكة ٢٠٣٠ في تعزيز دور قطاع التعدين في الاقتصاد الوطني.

أولاً: الإطار النظري

١. التحول الرقمي

١/١ مفهوم التحول الرقمي وأهميته

في العصر الحالي، لم يعد التحول الرقمي مجرد خيار يمنح الشركات ميزة تنافسية، بل أصبح ضرورة أساسية للبقاء والتكيف مع السياق الحالي للصناعة. ومن هذا المنطلق، يجب على الشركات والمؤسسات أن تُولي التحول الرقمي أهمية قصوى، والسعي لتطوير خدماتها وتحسينها، وتيسير وصولها إلى العملاء. فاعتماد الرقمنة يسهم في تقديم المنتجات والخدمات للجمهور المستهدف بسرعة وكفاءة، مما يعزز من رضا العملاء ويضمن استمرارية الأعمال في بيئة تنافسية متسارعة التغير (الجمعية العلمية السورية للمعلوماتية، ٢٠٢١).

وقد تناول العديد من الكتاب والباحثين مفهوم التحول الرقمي، ولكن كل منهم يركز على منظور مختلف لهذا المفهوم حسب الزاوية التي ينظر إليه منها، ونطاق ومجال تطبيقه. فمن منظور عام، تم تعريف التحول الرقمي بأنه هو عملية استخدام التقنيات الرقمية (مثل الذكاء الاصطناعي والبيانات الضخمة وإنترنت الأشياء) لتحويل العمليات التقليدية إلى عمليات رقمية أكثر كفاءة وابتكاراً، بهدف

تحسين الأداء وتعزيز القيمة المضافة للعملاء والمجتمع. ويُمكن أن يشمل هذا التحول جميع جوانب العمل، من المنتجات والخدمات إلى نماذج الأعمال وعلاقات العملاء، مع إعادة تصميم جوهر الأعمال (Ustundag & Cevikcan, 2017).

بينما من منظور اقتصادي، قام الياسري وآخرون (٢٠٢٤) بتعريف التحول الرقمي على أنه يُشير إلى التحول الاستراتيجي الذي تمر به المؤسسات والقطاعات الاقتصادية والحكومات عند اعتماد التكنولوجيا الرقمية لتعزيز الإنتاجية والابتكار، حيث يهدف إلى تحقيق التنافسية والاستدامة من خلال تحسين استخدام الموارد البشرية والطبيعية وتقليل التكاليف وزيادة الكفاءة.

من ناحية أخرى، ركز Barnewold & Lottermoser (2020) على تعريف التحول الرقمي ولكن من خلال التركيز على صناعة التعدين في ظل الثورة الصناعية الرابعة، حيث أشار إلى أن التحول الرقمي يُعرف بأنه عملية إعادة تشكيل العمليات التشغيلية والتقنية في صناعة التعدين من خلال تطبيق تقنيات متقدمة، مثل إنترنت الأشياء، والذكاء الاصطناعي، والحوسبة السحابية، لتحقيق تحسينات ملموسة في الإنتاجية، وتقليل المخاطر التشغيلية، وتعزيز استدامة الموارد الطبيعية.

من خلال التعريفات السابقة، يتضح أن كل هذه التعريفات اتفقت على أن التحول الرقمي يتجسد في عملية إيجاد نموذج عمل وقدرات تقنية ورقمية يتم استخدامها بهدف ابتكار منتجات وخدمات إبداعية مقارنة بالطرق التقليدية في إنتاج المنتجات وتقديم الخدمات، وكذلك تحسين الكفاءات التشغيلية وخفض التكلفة والاستحواذ على شريحة أكبر من العملاء من أجل التفوق على المنافسين. وفي ضوء ذلك يمكن للباحث تعريف التحول الرقمي في سياق هذه الدراسة بأنه: "عملية إحداث تغييرات كبيرة في خصائص وطريقة تنفيذ عمليات صناعة التعدين، وذلك من خلال دمج تقنيات الاتصالات والحوسبة، مثل البيانات الضخمة والجوال والذكاء الاصطناعي والروبوتات وأجهزة الاستشعار، في العمليات الصناعية ضمن هذه الصناعة، بما يضمن تحسين كفاءة هذه العمليات".

١/٢ أهداف وأهمية التحول الرقمي:

يُعدُّ التحول الرقمي ضرورة أساسية للشركات والمؤسسات في العصر الحديث، حيث يواجه أصحاب الأعمال تحديات كبيرة تتعلق بالبحث عن نماذج أعمال مبتكرة وفعالة لتحقيق التحول الرقمي بكفاءة. ويتضمن هذا التحول تغييرات جوهرية في طرق العمل والتفاعل مع التقنيات الحديثة، بالإضافة إلى إعادة تشكيل آليات توليد القيمة ضمن هذا النظام. وغالبًا ما يتطلب التحول الرقمي تجاوز الأطر التقليدية للعمل داخل الشركة، مما قد يؤدي في بعض الحالات إلى تآكل أو تقادم نماذج الأعمال الحالية. لذلك تتمثل أهداف وأهمية التحول الرقمي في (قنابر، ٢٠٢٣؛ Maroufkhani et al., 2022):

- **زيادة الكفاءة والإنتاجية:** حيث يهدف التحول الرقمي إلى تحسين وتبسيط العمليات التشغيلية من خلال اعتماد التكنولوجيا الحديثة، مما يُسهم في زيادة الإنتاجية وتحسين جودة المنتجات والخدمات، مع تحقيق استغلال أمثل للموارد المتاحة.
- **تعزيز تجربة العملاء:** حيث يسعى التحول الرقمي إلى تحسين تجربة العملاء بشكل شامل عبر تقديم خدمات رقمية سهلة الاستخدام، متاحة في أي وقت ومن أي مكان، مما يلبي احتياجاتهم بسرعة وكفاءة.
- **تحسين بيئة العمل وتجربة الموظفين:** يدعم التحول الرقمي تحسين تجربة الموظفين من خلال تبسيط العمليات التشغيلية، وتوفير بيئة عمل محفزة ومزودة بالتقنيات الحديثة التي تُعزز من رضاهم وكفاءتهم.
- **زيادة الربحية وخفض التكاليف:** يُسهم التحول الرقمي في زيادة العوائد المالية من خلال تحسين الكفاءة التشغيلية وتقليل الهدر في الموارد، مما يؤدي إلى خفض التكاليف وتعظيم الأرباح.
- **التوسع والنمو:** يُتيح التحول الرقمي فرصًا كبيرة للنمو من خلال توظيف التكنولوجيا الحديثة وتحليل البيانات الضخمة، ما يُمكن المؤسسات من اتخاذ قرارات استراتيجية فاعلة تدعم التوسع في الأسواق والأنشطة الجديدة.
- **تعزيز الابتكار والإبداع:** يُحفز التحول الرقمي الابتكار من خلال توفير الأدوات الرقمية المتقدمة التي تُساعد على التحليل الذكي للبيانات، مما يُسهم في استحداث أفكار ومنتجات وخدمات جديدة تلبي احتياجات السوق المتجددة.
- **تحقيق الاستدامة وتعزيز التنافسية:** يقل الاعتماد على الأوراق في ظل التحول الرقمي مع تقليل الهدر من المواد الخام والطاقة نتيجة الاعتماد على العنصر البشري، وبالتالي يساهم التحول الرقمي في تقليل الأثر البيئي وزيادة استدامة الموارد الطبيعية، فضلاً عن ذلك، التحول الرقمي يُمكن الشركات من الاستجابة بسرعة للتغيرات في السوق، مما يعزز من قدرتها على المنافسة محلياً وعالمياً.

١/٣ تأثير التحول الرقمي على القطاعات الاقتصادية المختلفة

في العديد من الدول، شهدت القطاعات الاقتصادية المختلفة تحولاً جذرياً في طريقة أدائها لأعمالها بعد ظهور التحول الرقمي وتوجه العمل من خلاله بدلاً من الاعتماد على نماذج الأعمال التقليدية، ومن أهم هذه القطاعات المتأثرة (علي، ٢٠٢٤؛ لعلمي ولعلمي، ٢٠٢٢):

١. القطاع المالي:

شهد القطاع المالي - وخاصة قطاع المصارف - تحولاً رقمياً جذرياً بفضل تقنيات مثل البلوك تشين، البيانات الضخمة، والتكنولوجيا المالية (FinTech). حيث تُمكن هذه التقنيات من تحسين الأمان والشفافية في المعاملات المالية، تقليل التكاليف التشغيلية، وتوسيع الوصول إلى الخدمات المالية وتعزيز الشمول المالي. كما يُسهم التحول الرقمي في تيسير المدفوعات الرقمية، وتطوير الخدمات المصرفية عبر الإنترنت، وتوفير منصات تداول ذكية تعتمد على الذكاء الاصطناعي لتحليل الأسواق المالية. يعزز هذا التحول من قدرة المؤسسات المالية على تقديم خدمات مخصصة للعملاء وتحسين اتخاذ القرارات المالية.

٢. القطاع الحكومي:

أدى التحول الرقمي إلى تغييرات كبيرة في كيفية تقديم الحكومات لخدماتها للمواطنين. حيث يُساهم هذا التحول في تسريع العمليات الحكومية، تحسين الشفافية، وتقليل الفساد من خلال استخدام تقنيات مثل الحكومة الإلكترونية والبلوك تشين. كما يُسهم في تحسين تقديم الخدمات العامة، مثل الرعاية الصحية، التعليم، والمرافق العامة، من خلال أتمتة الإجراءات وتسهيل الوصول إليها عبر منصات رقمية. يعزز التحول الرقمي قدرة الحكومات على اتخاذ قرارات أفضل من خلال تحليل البيانات الضخمة وتحقيق تكامل أفضل بين مختلف الإدارات الحكومية.

٣. قطاع الصحة:

في قطاع الصحة، يُساهم التحول الرقمي في تحسين جودة الرعاية الصحية من خلال تطبيقات مثل السجلات الصحية الإلكترونية، الرعاية الصحية عن بُعد، والذكاء الاصطناعي. تُتيح هذه التقنيات تحسين الوصول إلى المعلومات الطبية، تعزيز التواصل بين المرضى والأطباء، وتحسين تشخيص الأمراض وعلاجها. كما يُسهم التحول الرقمي في تحسين الكفاءة التشغيلية للمستشفيات والمراكز الصحية، من خلال أتمتة العمليات وتقليل الأخطاء الطبية. فضلاً عن ذلك، تُمكن هذه التقنيات من تخصيص الرعاية الصحية لتلبية احتياجات الأفراد بشكل أكثر دقة وفعالية.

٤. قطاع التعليم:

شهد قطاع التعليم تحولاً رقمياً مع تزايد الاعتماد على منصات التعلم الإلكتروني، الذكاء الاصطناعي، والبيانات الضخمة. تُتيح هذه التقنيات تخصيص العملية التعليمية بناءً على احتياجات الطلاب، وتحليل أدائهم لتحسين أساليب التدريس. كما يُسهم التحول الرقمي في توسيع الوصول إلى التعليم من خلال المنصات الرقمية، مما يُسهم في توفير فرص تعليمية للمناطق النائية والأفراد الذين يصعب عليهم الوصول إلى التعليم التقليدي. كما يُعزز التحول الرقمي من تفاعل الطلاب مع المحتوى التعليمي ويحفز الابتكار في المناهج التعليمية.

٥. قطاع التجارة والتجزئة:

في قطاع التجارة والتجزئة، يُحدث التحول الرقمي ثورة في كيفية تعامل الشركات مع العملاء، من خلال منصات التجارة الإلكترونية، البيانات الضخمة، والذكاء الاصطناعي. تُتيح هذه التقنيات للشركات تقديم تجارب تسوق مخصصة للعملاء، تحسين إدارة المخزون، وتقليل الفاقد في المنتجات. كما يعزز التحول الرقمي من كفاءة سلاسل الإمداد والتوزيع، ويُسهم في تقليل التكاليف المرتبطة بالإدارة التقليدية للمخزون والتسويق. كما أن التحول الرقمي يُمكن الشركات من استخدام البيانات لتحليل سلوكيات المستهلكين وتوجيه عروضها بشكل أفضل، مما يُزيد من رضا العملاء والمبيعات.

٦. قطاع النقل واللوجستيات:

تُسهم التقنيات الرقمية مثل إنترنت الأشياء (IoT) والذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة النقل واللوجستيات. حيث تُمكن هذه التقنيات من تتبع الشحنات في الوقت الفعلي، تحسين تخصيص الموارد، وتقليل التأخيرات والأخطاء البشرية. كما يُساهم التحول الرقمي في تطوير المركبات الذكية والمستقلة، مما يزيد من كفاءة عمليات النقل ويقلل من التكاليف. إضافة إلى ذلك، يُعزز التحول الرقمي من القدرة على إدارة سلاسل التوريد العالمية بكفاءة أعلى، مما يُسهم في تحسين المرونة والاستجابة للمتغيرات السوقية بشكل أسرع.

٧. القطاع الصناعي:

في القطاع الصناعي، يُسهم التحول الرقمي في تحسين الإنتاجية والكفاءة من خلال تطبيق تقنيات مثل إنترنت الأشياء (IoT)، الطباعة ثلاثية الأبعاد، والذكاء الاصطناعي. تتيح هذه التقنيات للمؤسسات الصناعية مراقبة العمليات في الوقت الفعلي، مما يُمكنها من إجراء صيانة استباقية، تحسين سلاسل الإمداد، وتقليل الهدر. كما يُسهم التحول الرقمي في تعزيز الأتمتة، مما يقلل من الاعتماد على العمل البشري ويزيد من الدقة والكفاءة. بالإضافة إلى ذلك، يُساعد في تعزيز الابتكار من خلال تيسير تصميم وتطوير منتجات جديدة بشكل أسرع وأقل تكلفة (سليمان، ٢٠٢٢).

١/٤ ركائز التحول الرقمي (التقنيات الرقمية) في ظل الثورة الصناعية الرابعة

يُعد التحول الرقمي أحد الأسس المحورية للثورة الصناعية الرابعة، التي تمثل نقلة نوعية في الطريقة التي تُدار بها الصناعات والمؤسسات بفضل استخدام التكنولوجيا المتقدمة (السمري & المحيمد، ٢٠٢٤). وفي هذا السياق، يُعرف التحول الرقمي بأنه عملية تكامل التقنيات الرقمية الحديثة في العمليات الصناعية التقليدية لإعادة هيكلة العمليات التشغيلية وإدارة الأعمال. يهدف هذا التحول إلى تمكين المؤسسات الصناعية من العمل في بيئات ديناميكية متطورة، حيث تصبح التكنولوجيا الذكية جزءاً لا يتجزأ من سلاسل القيمة.

ويرتبط التحول الرقمي ارتباطاً وثيقاً بالثورة الصناعية الرابعة، أو ما يُعرف بـ "الصناعة ٤.٠"، والتي تركز على اعتماد أنظمة مترابطة قادرة على تحليل البيانات واتخاذ القرارات بشكل مستقل، مما يعزز الكفاءة والمرونة في العمليات الصناعية (جموعي، ٢٠٢٣). حيث يُعد التحول الرقمي العمود الفقري لهذه الثورة، حيث يُسهم في تحويل المؤسسات من نماذج تقليدية إلى نماذج تعتمد على الأتمتة، التفاعل اللحظي، والذكاء الاصطناعي.

ومن أجل إنجاح عملية التحول الرقمي، خاصة بالقطاع الصناعي، لابد من الاعتماد على مجموعة من التقنيات الرقمية، من أبرزها ما يلي (الياسري وآخرون، ٢٠٢٤؛ لعلمي ولعلمي، ٢٠٢٢؛ قادة، ٢٠٢٢):

١. البيانات الضخمة (Big Data):

تشير البيانات الضخمة إلى المجموعات الضخمة والمتنوعة من البيانات التي تُنتجها العمليات الصناعية المختلفة، وتمتاز بحجمها الكبير، وسرعتها العالية، وتنوعها الواسع. تُعد البيانات الضخمة أساساً لتحليل الأنماط واتخاذ قرارات مستنيرة تعتمد على رؤية دقيقة وشاملة للأداء التشغيلي. من خلال التحليلات المتقدمة، يمكن للمؤسسات الصناعية تحليل أداء المعدات، مراقبة العمليات الإنتاجية، والتنبؤ بالأعطال قبل وقوعها عبر تطبيق الصيانة الوقائية. هذه التحليلات التنبؤية تسهم في تحسين كفاءة العمليات، تقليل الهدر في الموارد، واكتشاف فرص جديدة لتطوير الأداء وتخطيط العمليات بناءً على توقعات مستقبلية دقيقة.

٢. إنترنت الأشياء الصناعي (Industrial Internet of Things – IIoT):

إنترنت الأشياء الصناعي يُعتبر أحد الركائز الأساسية للتحول الرقمي في الثورة الصناعية الرابعة، حيث يُمثل نظاماً متكاملًا يربط الأجهزة والمعدات الصناعية عبر شبكة الإنترنت، مما يتيح تبادل البيانات والمعلومات في الوقت الفعلي. تُستخدم هذه التقنية بشكل واسع في العمليات التصنيعية من خلال مستشعرات ذكية تُسهم في مراقبة المعدات وظروف التشغيل بشكل مستمر، مما يعزز من الكفاءة التشغيلية ويقلل من وقت التوقف. إضافةً إلى ذلك، يُمكن إنترنت الأشياء من تتبع المعدات وتشخيص الأعطال بشكل لحظي، إدارة الموارد بفعالية، ودعم الأتمتة عبر تحسين الاتصال بين الأنظمة المختلفة. كما يُسهم إنترنت الأشياء في تحسين إدارة سلاسل التوريد وتنسيق حركة المواد الخام والمنتجات بين مراحل التصنيع المختلفة، مما يضمن سلاسة العمليات ودقتها (Aziz et al., 2020).

٣. الذكاء الاصطناعي الصناعي (Industrial Artificial Intelligence – IAI):

يُعد الذكاء الاصطناعي الصناعي من أبرز التقنيات الداعمة للتحول الرقمي، حيث يتميز بقدرته على محاكاة الذكاء البشري لتحليل البيانات واستخلاص أنماط وتوصيات تُسهم في تحسين الإنتاجية واتخاذ قرارات معقدة في بيئة التصنيع. يمكن للذكاء الاصطناعي الصناعي تطبيق أنظمة صناعية ذكية

ومرنة من خلال أربع تقنيات تمكينية، هي: تكنولوجيا البيانات، التكنولوجيا التحليلية، تكنولوجيا المنصات، وتكنولوجيا العمليات. كما يمكن أن تكون التقنيات الداعمة مثل التصنيع الإضافي، والواقع المعزز، والروبوتات المتقدمة حافزا لتسريع الحركة نحو الصناعة (قشي، ٢٠٢٣). في قطاع التصنيع، يُستخدم الذكاء الاصطناعي في الأتمتة الذكية، حيث تقوم الروبوتات بتنفيذ المهام الصناعية المتكررة والمعقدة بدقة وكفاءة. كما يُسهم الذكاء الاصطناعي في تطوير تقنيات الصيانة التنبؤية من خلال تحليل بيانات المعدات للتنبؤ بالأعطال المحتملة واتخاذ التدابير الوقائية. إضافة إلى ذلك، يُمكن الذكاء الاصطناعي من تحسين العمليات الإنتاجية عبر تقديم توصيات لتحسين الكفاءة وتقليل التكاليف، كما يدعم أنظمة تعتمد على التعلم الآلي لتعزيز الأداء.

٤. الروبوتات الصناعية المتقدمة (Advanced Industrial Robotics):

الروبوتات الصناعية المتقدمة تُعتبر أنظمة متقدمة تُستخدم لتنفيذ المهام المتكررة والدقيقة في العمليات التصنيعية، مما يُسهم في تحسين جودة الإنتاج وزيادة سرعته. تُستخدم هذه الروبوتات في مهام متنوعة مثل اللحام، والتجميع، والمعالجة الحرارية، بالإضافة إلى العمل في البيئات الخطرة مثل المناجم، مما يقلل من المخاطر المهنية. تعتمد الروبوتات الحديثة على تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء، مما يُمكنها من التفاعل ديناميكياً مع البيئة المحيطة. وبفضل مرونتها وكفاءتها العالية، تمثل الروبوتات الصناعية أداة أساسية لتحسين الإنتاجية وتعزيز كفاءة العمليات الصناعية.

٥. الحوسبة السحابية (Cloud Computing):

تُعد الحوسبة السحابية أداة محورية للشركات، حيث تُتيح تخزين كميات كبيرة من البيانات الصناعية ومعالجتها عبر منصات مركزية على الإنترنت. توفر هذه التقنية بنية تحتية مرنة تُسهل الوصول إلى البيانات من أي مكان وفي أي وقت، مما يُعزز التعاون بين فرق العمل والأنظمة المختلفة. في العمليات التصنيعية، تُستخدم الحوسبة السحابية لتحليل البيانات التشغيلية بشكل فوري، مما يُحسن عملية اتخاذ القرار ويُسهم في تقليل التكاليف المرتبطة بتخزين البيانات داخلياً والبنية التحتية لتكنولوجيا المعلومات. بالإضافة إلى ذلك، توفر الحوسبة السحابية بيئة آمنة وفعالة تُسهم في تحسين الكفاءة التشغيلية (جموعي، ٢٠٢٣).

٦. الواقع الافتراضي والمعزز (Virtual and Augmented Reality):

تقنيات الواقع الافتراضي والمعزز تُعد أدوات مبتكرة تُدمج العالم الرقمي مع الواقعي لتقديم حلول فعالة في التصنيع والتدريب. يُستخدم الواقع المعزز لتوفير معلومات بصرية مباشرة في الوقت الفعلي، مما يُساعد العمال في تنفيذ عمليات الصيانة بدقة وسرعة من خلال توجيهات مرئية تفصيلية، ما يقلل الأخطاء التشغيلية. كما يُسهم في تدريب الموظفين الجدد عبر محاكاة بيئات عمل افتراضية قريبة من

الواقع، مما يُسرّع من عملية التأهيل. بالإضافة إلى ذلك، تُستخدم هذه التقنيات في التصميم والمحاكاة لتحسين العمليات وتوفير رؤى إضافية تُعزز الإنتاجية والكفاءة التشغيلية.

٧. سلاسل الكتل (Blockchain):

تُعد تقنية سلاسل الكتل (البلوك تشين) واحدة من أبرز التقنيات التي تُسهم في تعزيز الشفافية والأمان في سلسلة التوريد، حيث تُتيح توثيق البيانات والمعاملات بشكل دائم وغير قابل للتغيير، مما يُعزز الثقة بين جميع الأطراف المعنية. تُستخدم هذه التقنية في تتبع مصادر المواد الخام، ضمان الامتثال للمعايير، والتحقق من جودة المنتجات عبر جميع مراحل التصنيع. كما تُسهم في تقليل التكاليف المرتبطة بالتحقق اليدوي وتقلل من مخاطر الاحتيال.

٨. الطباعة ثلاثية الأبعاد (3D Printing):

تُعتبر الطباعة ثلاثية الأبعاد ثورة في مجال التصنيع ضمن إطار الصناعة ٤.٠، حيث تُتيح للمؤسسات إنتاج مكونات معقدة بتكلفة أقل وفي وقت قصير، مما يُمكنها من التكيف السريع مع متغيرات السوق. تُسهم هذه التقنية في تمكين الإنتاج حسب الطلب، تقليل المخزون الزائد، وتقليل الهدر في المواد. كما أنها تُستخدم في تطوير النماذج الأولية بسرعة، مما يُسهل عمليات الابتكار وتسريع دورة حياة المنتج.

٩. التوأمة الرقمية (Digital Twin):

التوأمة الرقمية تُعد من أبرز الأدوات التكنولوجية لتحسين العمليات الصناعية، حيث توفر نموذجًا افتراضيًا يُحاكي المعدات والعمليات في العالم الحقيقي للمصانع بدقة. يُتيح هذا النموذج مراقبة الأداء في الوقت الفعلي، وتحليل البيانات لتحديد فرص تحسين الكفاءة. كما تُستخدم التوأمة الرقمية في توقع الأعطال قبل وقوعها، مما يُقلل من وقت التوقف ويُحسن من الجاهزية التشغيلية. بالإضافة إلى ذلك، تُسهم هذه التقنية في تحسين تصميم المنتجات والعمليات من خلال محاكاة سيناريوهات مختلفة واختبارها بشكل آمن ومباشر.

٢. كفاءة العمليات الصناعية بقطاع التعدين

٢/١ مفهوم العمليات الصناعية في قطاع التعدين

تتمثل العمليات الصناعية في قطاع التعدين في مجموعة من الأنشطة المتكاملة التي تهدف إلى استخراج، معالجة، وتصنيع المواد الخام من باطن الأرض لاستخدامها في صناعات أخرى. هذه العمليات تتضمن سلسلة من الخطوات المتتابعة بدءًا من استكشاف الموارد المعدنية، مرورًا بالتحليل الجيولوجي، وصولًا إلى المعالجة واستخراج المعادن وتنقيتها. وتختلف العمليات في القطاع بناءً على نوع المعدن المستخرج وطبيعة العمليات التقنية المطلوبة، ولكن الهدف المشترك هو تحويل المواد الخام إلى منتجات قابلة للاستخدام الصناعي (Litvinenko, 2020).

وقد تعددت وجهات النظر التي تناولت تعريف العمليات الصناعية في قطاع التعدين. فمن وجهة نظر هندسية وتقنية، تم تعريف العمليات الصناعية في التعدين بأنها "سلسلة تكنولوجية متكاملة تبدأ من استكشاف المصادر المعدنية وتنتهي بإنتاج المعادن أو المركبات المعدنية باستخدام تقنيات متقدمة مثل التعدين تحت الأرض، السطح، أو التعدين الهيدروليكي" (Maroufkhani et al., 2022). ويُلاحظ أن هذا التعريف يركز على الجانب التقني البحث ويتناول العمليات من مرحلة البحث عن المعدن حتى تحويله إلى مادة خام قابلة للاستخدام.

بينما من منظور اقتصادي، يمكن تعريف العمليات الصناعية في قطاع التعدين بأنها "الأنشطة الاقتصادية التي تتضمن استخراج المواد الخام من الأرض، مع تحسين العمليات التقنية والإدارية لزيادة الإنتاجية وتقليل التكاليف" (Zhang et al., 2024). وهنا يُلاحظ أن هذا التعريف يركز على الجوانب الاقتصادية للعمليات الصناعية في التعدين، مثل تحسين الجدوى الاقتصادية وتقليل التكاليف التشغيلية المرتبطة بالتعدين والمعالجة.

أما من وجهة نظر إدارة العمليات التعدينية، يمكن تعريف العمليات الصناعية لقطاع التعدين بأنها "مجموعة من الأنشطة التي تشمل التحكم في تدفق المواد الخام من مرحلة الاستخراج إلى مرحلة التصنيع النهائي، حيث تُدير الشركات العمليات بشكل يضمن استخدام الموارد بكفاءة وتحقيق الأهداف الإنتاجية والبيئية" (Litvinenko, 2020). فهذا التعريف يسلط الضوء على أهمية إدارة العمليات من خلال التحكم في تدفق المواد وتنظيم الأنشطة لتلبية أهداف إنتاجية وبيئية في آن واحد.

من التعريفات السابقة، والتي ركّز كل منها على بُعد واحد فقط في تعريف العمليات الصناعية بقطاع التعدين، فإنه من وجهة نظر الباحث، يمكن تعريفها بشكل أشمل بأنها "سلسلة من الأنشطة التي تشمل جميع المراحل المتعلقة باستخراج الموارد المعدنية، معالجتها، وتحويلها إلى منتجات قابلة للاستخدام في صناعات مختلفة، وبالتالي فهي تتضمن جميع مراحل سلسلة القيمة المتمثلة في عمليات المسح والاستكشاف، وعمليات التكسير والصهر، وتصنيع المنتجات المعدنية. هذه العمليات تتطلب استخدام تقنيات متقدمة، إدارة موارد بشرية فعالة، وتحسين استراتيجيات الإنتاج لضمان تحقيق الكفاءة الاقتصادية والبيئية. كما تشمل العمليات جميع جوانب التأثيرات البيئية والتنظيمية المرتبطة باستخراج المعادن". يمكن القول إن هذا التعريف يأخذ في الاعتبار المكونات التقنية، الاقتصادية، والإدارية للعملية الصناعية في التعدين بالإضافة إلى الجوانب البيئية التي أصبحت جزءًا أساسيًا من أي عملية صناعية في الوقت الحاضر.

٢/٢ مفهوم الكفاءة في العمليات الصناعية

تناول العديد من الباحثين والكتاب مفهوم الكفاءة في العمليات الصناعية من زوايا مختلفة. فمن منظور تقني، تم تعريف الكفاءة في العمليات الصناعية بأنها "القدرة على تحقيق أعلى مستوى من

الإنتاجية باستخدام أقل قدر من الموارد والتكاليف". وهنا يُلاحظ أن هذا التعريف يشمل قدرة النظام الصناعي على تقليل الهدر في المواد الخام، الوقت، والطاقة، مما يؤدي إلى زيادة العائد مقارنة بالمدخلات. وبالتالي، يرتبط هذا المفهوم ارتباطًا وثيقًا بتحسين كفاءة الآلات والمعدات وتطوير التقنيات المساعدة (Firoozi et al., 2024).

أما من وجهة نظر اقتصادية، تم تعريف الكفاءة في العمليات الصناعية بأنها "تحقيق أقصى قيمة اقتصادية من العمليات الإنتاجية عبر تقليل التكاليف وزيادة الفعالية" (Zhang et al., 2024). في هذا السياق، يتطلب مفهوم الكفاءة تحسين تدفق العمل والإنتاج، بالإضافة إلى تقليل الفاقد الناتج عن العوامل الاقتصادية مثل التكاليف العالية والإنتاج الزائد. يتعامل هذا التعريف مع الكفاءة بوصفها عملية تهدف إلى تحقيق أفضل استخدام للموارد المالية والبشرية. بينما من زاوية إدارة العمليات نفسها، تُعرف الكفاءة في العمليات الصناعية بأنها "القدرة على تحقيق أهداف الإنتاج ضمن المعايير المحددة مسبقًا، مع التركيز على تحسين العمليات بشكل مستمر" (Zvarivadza et al., 2024).

ويلاحظ الباحث أن هذا التعريف يرتبط بإدارة سير العمليات وتحليل الأداء من خلال استخدام معايير قياس واضحة لتحسين جودة المنتجات، تقليل الأخطاء التشغيلية، وتحقيق التوازن بين الإنتاج والاحتياجات السوقية.

من خلال التعريفات السابقة، يمكن تعريف الكفاءة في العمليات الصناعية من وجهة نظر الباحث بأنها "القدرة على تحقيق أفضل النتائج الإنتاجية بأقل تكاليف ممكنة، من خلال تحسين استهلاك الموارد (مثل الطاقة، المواد، الوقت)، وتعزيز فعالية الآلات والعمال، مع التأكد من الحفاظ على جودة المنتجات ومرونة العمليات في مواجهة التحديات السوقية والتقنية. كما تشمل الكفاءة القدرة على الابتكار التكنولوجي والتحسين المستمر في العمليات لتحقيق استدامة اقتصادية وبيئية". تتضمن شمولية هذا التعريف بدمجه للأبعاد التقنية، الاقتصادية، والإدارية لمفهوم الكفاءة في العمليات الصناعية، ويأخذ في الاعتبار التحديات المعاصرة والابتكار المستمر.

٢/٣ العوامل المؤثرة في كفاءة العمليات الصناعية

هناك العديد من العوامل المؤثرة في كفاءة العمليات الصناعية، ومن أهم هذه العوامل:

• درجة التقنية:

تلعب التقنية دورًا محوريًا في تحسين كفاءة العمليات الصناعية، حيث تساهم الابتكارات التكنولوجية في تحسين الإنتاجية وتقليل التكاليف. ويشمل ذلك استخدام الأنظمة الذكية، مثل إنترنت الأشياء (IoT) والذكاء الاصطناعي، التي تساعد في مراقبة وتحليل العمليات بشكل لحظي. حيث توفر هذه التقنيات القدرة على التحليل التنبؤي، مما يمكن الشركات من تحديد الأعطال قبل حدوثها، وتحسين استهلاك

الطاقة، وتقليل الفاقد. كما أن الروبوتات والأتمتة الصناعية تساهم في تحسين دقة وجودة الإنتاج، مما يساهم في تسريع العمليات وتقليل الأخطاء البشرية (Durrant-Whyte et al., 2015).

• الموارد البشرية:

يعتبر العنصر البشري من العوامل الحيوية التي تؤثر بشكل كبير على كفاءة العمليات الصناعية. فالكفاءة في العمل تتطلب مهارات عالية، وتدريب مستمر، ووجود ثقافة تنظيمية تدعم الابتكار والتحسين المستمر. ويشمل ذلك تدريب الموظفين على استخدام التقنيات الحديثة وتطبيق أفضل ممارسات التشغيل. علاوة على ذلك، فإن التنسيق بين الفرق والتعاون الفعال بين الموظفين يمكن أن يسهم بشكل كبير في تحقيق كفاءة تشغيلية عالية. وهنا يمكن القول إن قدرة القوى العاملة على التكيف مع التغيرات التكنولوجية وتحقيق أقصى استفادة من الموارد المتاحة تعد عاملاً أساسياً في تحسين كفاءة العمليات (Lazarenko et al., 2021).

• إدارة العمليات:

إدارة العمليات تعد من العوامل الأساسية التي تؤثر على كفاءة العمليات الصناعية، حيث يتطلب هذا العنصر تنفيذ استراتيجيات فعالة في تخطيط العمليات، وتحديد أوقات الإنتاج، وتحسين تدفق المواد داخل المنشأة الصناعية. لذا فإن التحسين المستمر للعمليات وإدارة الأداء هي من المهام الرئيسية التي تضمن الكفاءة. ويشمل ذلك مراقبة مؤشرات الأداء الرئيسية (KPIs) واستخدام تقنيات مثل إدارة الجودة الشاملة (TQM) وتحليل القيمة لتقليل الفاقد وتحسين العمليات. كما أن التنسيق بين الإدارات المختلفة، مثل الإنتاج، والصيانة، والإمدادات، يعزز من تحقيق أهداف الكفاءة الإنتاجية (Gackowiec et al., 2020).

ويرى الباحث أنه من خلال التكامل بين هذه العوامل الثلاثة المتمثلة في درجة التقنية، الموارد البشرية، وإدارة العمليات، يمكن تحقيق كفاءة مثلى في العمليات الصناعية. حيث تعتمد الصناعات الحديثة على الابتكار التكنولوجي لتحسين عملياتها، ولكن ذلك لا يمكن أن يتحقق دون وجود قوة عاملة مدربة ومؤهلة بشكل جيد لإدارة واستخدام هذه التقنيات بفعالية. كذلك، فإن الإدارة الرشيدة للعمليات هي التي تربط بين التقنيات والموارد البشرية من خلال استراتيجيات مدروسة، لتحقيق تدفقات إنتاجية مرنة وسلسة. كما أن تفاعل هذه العوامل بشكل منسجم وفعال يساهم في تحقيق الكفاءة المستدامة في العمليات الصناعية، حيث يساهم كل عنصر في دعم الآخر لضمان أن النظام الصناعي يعمل بكامل طاقته مع تقليل التكاليف وتحسين الجودة.

٢/٤ مقاييس تقييم كفاءة العمليات الصناعية في التعدين

تُعد عملية قياس كفاءة العمليات الصناعية أداة أساسية لتقييم أداء العمليات وتحقيق التحسين المستمر في صناعة التعدين. حيث يهدف تقييم هذه الكفاءة إلى تحديد مدى فعالية استخدام الموارد، مثل

الوقت والطاقة والمواد، في تحقيق الأهداف الإنتاجية والتشغيلية. وترى العديد من الدراسات أنه يمكن استخدام مجموعة متنوعة من المقاييس لتحليل الكفاءة في عمليات التعدين، وتعتبر هذه المقاييس من أهم الأدوات التي تساعد في اتخاذ القرارات الاستراتيجية وتحسين الأداء. ويمكن تصنيف هذه المقاييس إلى عدة أنواع رئيسية:

١. مقاييس الإنتاجية

تعتبر مقاييس الإنتاجية من أبرز الطرق لقياس كفاءة العمليات الصناعية في قطاع التعدين. حيث تعكس هذه المقاييس مدى الكفاءة في تحويل المدخلات إلى مخرجات. وتتمثل مقاييس الإنتاجية الأكثر استخدامًا في (Sánchez & Hartlieb, 2020):

- **إنتاجية العمالة:** والتي يتم حسابها بناءً على كمية المواد أو المعادن التي يتم استخراجها أو معالجتها لكل وحدة زمنية لكل عامل.
 - **إنتاجية المعدات:** وهي تهدف إلى قياس مدى فاعلية استخدام المعدات في عملية التعدين، مثل الإنتاج المحقق لكل ساعة عمل للمعدات.
- فهنا تساعد هذه المقاييس في تحديد ما إذا كانت العمالة أو المعدات تُستخدم بشكل أمثل لتحقيق أقصى قدر من الإنتاجية مع الحد الأدنى من التكاليف.

٢. مقاييس الفعالية

تُستخدم هذه المقاييس لقياس قدرة العملية على تحقيق الأهداف الإنتاجية بأعلى مستوى من الجودة والفعالية. بعض أمثلة هذه المقاييس تشمل (Firoozi et al., 2024):

- **كفاءة وقت العمل:** فهذا المقياس يعكس نسبة الوقت الذي يتم فيه استخدام المعدات أو القوى العاملة لإنتاج المنتج بشكل فعال، مقابل الوقت الذي يتم إضاعته بسبب الأعطال أو توقف العمليات.
- **نسبة العوائد إلى المدخلات:** يقيس هذا المؤشر فعالية تحويل الموارد المدخلة (مثل الطاقة، المواد الخام) إلى منتجات نهائية. ويتم حسابه من خلال مقارنة الإنتاج الإجمالي بالموارد المستهلكة.

٣. مقاييس الجودة

إن التركيز على الجودة هو جزء أساسي من قياس كفاءة العمليات الصناعية في التعدين. فجودة المنتج تؤثر بشكل مباشر على الكفاءة التشغيلية من خلال تقليل الفاقد وتحسين قيمة المنتج. وتشمل مقاييس الجودة ما يلي (Gackowiec et al., 2020):

- **معدل العيوب في الإنتاج:** يقيس هذا المقياس عدد المنتجات التي تحتوي على عيوب مقارنة بالمنتجات الإجمالية المنتجة. وبالتالي فإن هذا المقياس يقلل من تكاليف إعادة التشغيل أو الفاقد.

- **معدل النجاح في تحقيق معايير الجودة:** يقيس هذا المقياس مدى التزام العمليات الإنتاجية بمعايير الجودة المحددة مسبقًا، مما يعكس قدرة العمليات على تلبية متطلبات السوق أو المعايير التنظيمية.

٤. مقاييس التكلفة:

من خلال قياس التكاليف، يمكن تقييم مدى قدرة العمليات على إنتاج المعادن أو المواد بتكلفة منخفضة، مما يعزز الكفاءة الاقتصادية. وتشمل هذه المقاييس (Firoozi et al., 2024):

- **تكلفة الوحدة:** ويتم قياسها من خلال حساب تكلفة استخراج أو معالجة المعادن لكل وحدة إنتاج، مما يساعد في تحديد فعالية استخدام الموارد.
- **تكلفة التشغيل:** وتشمل هذه التكاليف جميع النفقات التشغيلية، مثل الوقود، والصيانة، والعمالة، والتي تؤثر على كفاءة العمليات.

٥. مقاييس الاستدامة البيئية:

نظراً للطابع البيئي لصناعة التعدين، تعد مقاييس الاستدامة البيئية جزءاً أساسياً في تقييم الكفاءة. وتشمل هذه المقاييس (Zvarivadza et al., 2024):

- **معدل استهلاك الطاقة والموارد:** ويُستخدم لقياس كمية الطاقة والموارد الطبيعية المستهلكة في العمليات الإنتاجية، ويهدف إلى تقليل الهدر وتحقيق الكفاءة في استخدام الموارد.
- **معدل انبعاثات الكربون:** فهذا المقياس يقيس الأثر البيئي للعمليات، حيث يمكن أن يساعد في تحسين الكفاءة من خلال تبني تقنيات أكثر استدامة.

٦. مقاييس الصيانة:

تُعد الصيانة جزءاً أساسياً من أي عملية صناعية، بما في ذلك التعدين. لذا فإن تحسين الصيانة يعزز الكفاءة التشغيلية ويقلل من التوقفات غير المخطط لها. وتتضمن المقاييس الرئيسية للصيانة (Durrant-Whyte et al., 2015):

- **معدل توقف المعدات:** وهو يقيس الفترة الزمنية التي تكون فيها المعدات متوقفة عن التشغيل بسبب الأعطال أو الصيانة. لذا فإن تقليل هذا المعدل يساعد في تحسين الكفاءة الإجمالية.
- **معدل الأعطال المتوقعة:** يشمل تقييم القدرة على التنبؤ بالأعطال قبل حدوثها باستخدام تحليلات البيانات، مما يساعد في تقليل التوقفات المفاجئة وتحسين استمرارية العمليات.

٧. مقاييس المرونة:

تشمل قدرة النظام على التكيف مع التغيرات في الطلب أو التغيرات غير المخطط لها في العمليات. على سبيل المثال، مدى قدرة المنجم على تغيير حجم الإنتاج بسرعة استجابةً للتغيرات في السوق أو الظروف البيئية.

٨. مقاييس السلامة:

تعتبر السلامة من العوامل الحاسمة في صناعة التعدين، وتشمل مقاييس السلامة التي تؤثر على كفاءة العمليات الصناعية. ويمكن الاستناد في قياس درجة السلامة إلى معدل الحوادث/الإصابات الناتج عن العمل، والذي يشير إلى عدد الحوادث التي تحدث في مكان العمل وبسببه. حيث أن تقليل هذه الحوادث يعني تقليل التأثيرات السلبية على الكفاءة التشغيلية وتحسين استمرارية العمل (Zvarivadza et al., 2024).

وتجدر الإشارة إلى ضرورة التكامل بين هذه المقاييس السابق الإشارة إليها، حيث أن استخدام مجموعة من المقاييس المتنوعة والمعتمدة على مؤشرات الأداء الرئيسية (KPIs) يوفر رؤية شاملة عن كفاءة العمليات الصناعية في التعدين. وهذه المقاييس تساعد في تحديد مناطق التحسين، وضمان استغلال الموارد بكفاءة عالية، وتحقيق أهداف الإنتاج والاستدامة.

٣. دور تطبيق التكنولوجيا الرقمية في تحسين كفاءة العمليات الصناعية بقطاع التعدين

٣/١ التكنولوجيا الرقمية في التعدين: الأدوات والتطبيقات

التكنولوجيا الرقمية تُعد أداة رئيسية في تحسين الكفاءة التشغيلية في قطاع التعدين، حيث تُمكن المؤسسات من تبني أساليب متقدمة في إدارة الموارد وتعزيز الإنتاجية. ومن أبرز الأدوات والتطبيقات الرقمية المستخدمة في قطاع التعدين ما يلي:

١. تقنيات الاستشعار عن بعد والخرائط الرقمية

تُعتبر تقنيات الاستشعار عن بُعد (Remote Sensing) من الأدوات الأساسية في استكشاف المعادن وتحليل التكوينات الجيولوجية. حيث يتم استخدام الأقمار الصناعية والطائرات الموجهة لجمع البيانات عن المناطق الجغرافية التي يصعب الوصول إليها. وتُدمج هذه البيانات مع نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لإنشاء خرائط رقمية دقيقة تُساهم في تحديد مواقع المعادن وتحليل التربة والصخور. وهذا يساهم في تقليل الوقت والتكاليف المرتبطة بالاستكشاف الجيولوجي التقليدي، كما يتيح تحسين دقة الاستكشاف ورفع مستويات الأمان.

٢. إنترنت الأشياء الصناعي:

تُعد شبكات إنترنت الأشياء الصناعية (Industrial Internet of Things – IIoT) من الركائز الأساسية للتحويل الرقمي في التعدين. حيث تُستخدم أجهزة الاستشعار الذكية المتصلة بأنظمة مركزية لمراقبة الأداء اللحظي للمعدات والمركبات داخل المناجم. ويتم جمع البيانات التشغيلية من هذه الأجهزة في الوقت الفعلي ويتم تحليلها لتحسين العمليات وتقليل الأعطال غير المتوقعة (Aziz et al., 2020). وبالتالي، تساعد هذه التقنيات في تحسين كفاءة العمليات من خلال التنبؤ بالمشكلات وتقديم حلول استباقية، مما يعزز استمرارية الإنتاج ويقلل من أوقات التوقف غير المخطط لها.

٣. الأنظمة الروبوتية والأتمتة:

تعتبر الأتمتة أحد التطبيقات الرقمية البارزة في قطاع التعدين، حيث يتم استخدام الروبوتات في عمليات حفر الأرض، التجميع، والنقل داخل المناجم. حيث تعمل هذه الأنظمة على تقليل الاعتماد على القوى البشرية في بيئات العمل الخطرة، كما أنها تساهم في زيادة دقة العمليات وسرعتها. بالإضافة إلى ذلك، يتم استخدام الروبوتات في الأنشطة ذات المخاطر العالية مثل التفجير والتعامل مع المواد السامة، مما يعزز من السلامة ويقلل من الحوادث (Nwaila et al., 2022).

٤. التحليلات التنبؤية وصيانة المعدات

تُستخدم تقنيات التحليلات التنبؤية المدعومة بالذكاء الاصطناعي في تحليل البيانات التشغيلية لمعدات التعدين. حيث تقوم هذه الأنظمة بتحليل البيانات الواردة من الأجهزة الاستشعارية لتوقع الأعطال المستقبلية وتقديم حلول لصيانة المعدات قبل حدوث المشاكل. وبالتالي، هذه التقنية تساهم بشكل كبير في تقليل أوقات التوقف غير المخطط لها، مما يضمن استمرارية الإنتاج ويقلل من التكاليف المرتبطة بالصيانة الطارئة (Brodny, 2018).

٥. الواقع الافتراضي والمعزز (VR/AR) :

تُستخدم تقنيات الواقع الافتراضي والواقع المعزز بشكل متزايد في تدريب العاملين على التعامل مع المعدات والظروف الخطرة في المناجم. حيث يُمكن للمشغلين والعمال التدريب على سيناريوهات مختلفة في بيئات افتراضية، مما يساهم في تعزيز مهاراتهم وزيادة كفاءتهم دون التعرض للمخاطر الفعلية. كما يُمكن استخدام الواقع المعزز لتوفير تعليمات صيانة فورية على شاشات العمال أثناء العمل، مما يحسن من سرعة استجابة الفرق الفنية ويساهم في تقليل الأخطاء البشرية.

٦. أنظمة إدارة الطاقة الذكية

تُساهم أنظمة إدارة الطاقة الذكية في تحسين استهلاك الطاقة داخل عمليات التعدين من خلال مراقبة وتحليل استخدام الموارد بشكل مستمر. حيث تساعد هذه الأنظمة في تقليل الهدر وتحقيق كفاءة

أعلى في استهلاك الطاقة، مما يسهم في تخفيض التكاليف التشغيلية ويساعد في تحقيق أهداف الاستدامة البيئية للمناجم (الياسري وآخرون، 2024).

وطبقاً لما سبق، فإنه قد ظهر مصطلح "التعدين ٤.٠" (أو التعدين الذكي)، الذي يشير إلى تطبيق وتكامل التقنيات الرقمية والأتمتة في العمليات التعدينية الصناعية. تم تعريف "التعدين الذكي" طبقاً لمعهد تقنيات التعدين المتقدمة بجامعة RWTH بأنه "الاتصال والتكامل الفعال بين الآلات والعمليات التعدينية والأشياء الفيزيائية الأخرى مع عمليات وتقنيات معالجة المعلومات والتقنيات الاتصالية لتشكيل ما يُسمى الأنظمة السيبرانية الفيزيائية، حيث يتم تبادل البيانات والمعلومات عبر منصة الإنترنت الصناعي للأشياء" (Clausen et al., 2022). وسوف تمثل المناجم الذكية في المستقبل رؤية طويلة الأمد لمنجم رقمي متصل ومستقل، حيث يمكن للأنظمة المتصلة تقليل التعقيد المتزايد إلى الحد الذي يسمح باتخاذ قرارات محسنة في الوقت الفعلي. وستكون المناجم المستقبلية متكاملة رقمياً، مرنة، انتقائية، وقادرة على التكيف الديناميكي، كما تتمتع بالموثوقية والقدرة على التكيف مع التحديات.

٣/٢ فوائد استخدام التكنولوجيا الرقمية في تحسين كفاءة العمليات الصناعية وتحقيق أهداف الاستدامة بقطاع التعدين

إن التحول الرقمي في قطاع التعدين يقدم مجموعة واسعة من الفوائد التي تؤثر بشكل إيجابي على الكفاءة التشغيلية والاستدامة الاقتصادية والبيئية (السمري & المحيمد، ٢٠٢٤). فمن خلال تطبيق الأدوات الرقمية مثل إنترنت الأشياء الصناعية، التحليلات التنبؤية، والأتمتة، يمكن تحقيق تحسن كبير في الأداء في عدة مجالات أهمها خفض التكاليف، زيادة الإنتاجية، وتحسين السلامة. وفيما يلي يمكن تناول هذه الفوائد بشيء من التفصيل (الياسري وآخرون، ٢٠٢٤؛ لعلمي ولعلمي، ٢٠٢٢؛ بوشنقير ودودي، ٢٠١٣):

١. خفض التكاليف وتحقيق الاستدامة الاقتصادية:

من أبرز الفوائد التي تجنيها شركات التعدين من استخدام التكنولوجيا الرقمية هو خفض التكاليف التشغيلية، ويشمل ذلك عدة مجالات، مثل:

- **تقليل تكاليف الصيانة:** باستخدام التحليلات التنبؤية المدعومة بالذكاء الاصطناعي، يمكن للشركات التنبؤ بأعطال المعدات قبل وقوعها، مما يساهم في تقليل الحاجة إلى إصلاحات طارئة باهظة التكلفة. حيث أن هذه الأنظمة قادرة على تحديد المشاكل في مراحل مبكرة، مما يسمح بإجراء صيانة مخطط لها بدلاً من الصيانة غير المخطط لها التي تتسبب في تعطل العمليات وزيادة التكاليف (Dragičević and Bošnjak 2019; Zvarivadza et al., 2024)

- **تحسين استهلاك الطاقة وتخفيض تكاليف التشغيل:** من خلال استخدام أنظمة إدارة الطاقة الذكية، يتمكن قطاع التعدين من مراقبة استهلاك الطاقة وتحسين كفاءته. فهذه الأنظمة تساعد

على تقليل الفاقد وتحقيق استخدام أكثر كفاءة للطاقة، ما يؤدي إلى خفض تكاليف الطاقة، والتي تمثل جزءاً كبيراً من تكاليف التشغيل في المناجم. وحيث يساعد التحول الرقمي في تحسين الكفاءة التشغيلية، فهو بذلك يؤدي إلى تقليل التكاليف التشغيلية (Guo & Xu, 2021; Zvarivadza et al., 2024). فوفقاً لتقرير صادر عن (McKinsey, 2020)، المؤسسات التي تعتمد على الذكاء الاصطناعي في عملياتها، حققت تحسينات ملحوظة في تخفيض التكاليف وزيادة الإيرادات. فقد أشار ١٦% من المشاركين في الاستطلاع إلى انخفاض في التكاليف بنسبة ١٠-١٩%، بينما أفاد ١٨% بتحقيق زيادة في الإيرادات الإجمالية بنسبة ٦-١٠%. علاوة على ذلك، يمكن للذكاء الاصطناعي أن يعزز دقة التنبؤ في عمليات التصنيع بنسبة ١٠-٢٠%، مما يساهم في تقليل التكاليف بنسبة تصل إلى ٥% (Chui et al., 2018).

- **خفض التكاليف البشرية:** إن استخدام الروبوتات والأنظمة الآلية في عمليات مثل الحفر، النقل، والتفجير يقلل من الاعتماد على القوى العاملة في البيئات الخطرة. هذا يقلل من تكاليف التدريب والرواتب، بالإضافة إلى تقليل الحاجة إلى التأمين ضد الحوادث.
- **تحسين العمليات المالية ودعم اتخاذ القرار:** من خلال أنظمة تخطيط موارد المؤسسات (ERP) المدعومة بالذكاء الاصطناعي، يمكن تحسين إدارة التدفقات النقدية والموارد المالية داخل الشركات التعدينية. وهذا يساهم في تعزيز الاستدامة الاقتصادية للمؤسسات التعدينية على المدى الطويل ويضمن استدامة الأعمال في ظل التحديات الاقتصادية الحالية (Tashenova et al., 2019). فضلاً عن ذلك، الذكاء الاصطناعي الصناعي يساعد المؤسسات في دعم عملية اتخاذ القرار من خلال تقييم فعالية السياسات المختلفة في بيئات ديناميكية وغير متوقعة، مما يعزز كفاءة العمليات، يحسن استغلال الموارد، يزيد العائدات، ويساهم في تحسين تصميم وإدارة الأنظمة المعقدة (قشي، ٢٠٢٣).

٢. زيادة الإنتاجية:

إن التكنولوجيا الرقمية تعزز الإنتاجية بشكل كبير في قطاع التعدين من خلال تحسين كفاءة العمليات وزيادة سرعتها. ويمكن أن تشمل الفوائد المتعلقة بزيادة الإنتاجية ما يلي:

- **تحسين دقة العمليات:** يعمل الذكاء الاصطناعي الصناعي على تمكين المؤسسات من تحقيق نتائج أفضل من خلال الأتمتة، مما يؤدي إلى زيادة الإنتاجية، تحسين جودة المنتجات، تقليل تكاليف العمالة، الحد من الأخطاء البشرية وإعادة العمل، بالإضافة إلى تقليل استهلاك المواد والنفايات (قشي، ٢٠٢٣؛ Onifade et al., 2023). وباستخدام تقنيات الاستشعار عن بُعد والواقع المعزز، يمكن تحسين دقة عمليات الاستكشاف والتعدين. حيث تساعد هذه التقنيات في تحديد مواقع المعادن بشكل دقيق، مما يقلل من الفاقد ويزيد من الاستفادة من الموارد المتاحة.

وقد أشارت دراسة (Van Hau et al. (2022 إلى أن التحول إلى نموذج التعدين الذكي في فينتام أدى إلى زيادة كبيرة في الإنتاجية وتحسين كفاءة العمل.

- **الأتمتة والروبوتات:** تعمل أنظمة الأتمتة على تسريع العمليات وتقليل أوقات التوقف. فبإمكان الروبوتات تنفيذ المهام المتكررة بشكل أسرع وأكثر دقة من البشر، مثل الحفر والنقل. هذا يقلل من الوقت اللازم لإتمام العمليات ويساهم في زيادة الإنتاجية.
- **تحسين الجداول الزمنية:** باستخدام انترنت الأشياء الصناعية، يمكن مراقبة حالة المعدات في الوقت الفعلي. وهذا يتيح اتخاذ قرارات سريعة بشأن التحسينات والإصلاحات، مما يقلل من التوقفات المفاجئة ويزيد من قدرة المعدات على العمل بشكل مستمر.
- **زيادة الإنتاجية في البيئات الخطرة:** تساهم الأنظمة الروبوتية في تشغيل المعدات الثقيلة في بيئات غير صالحة للعمل البشري، مثل المناجم العميقة أو الأماكن التي تحتوي على غازات سامة أو ظروف خطرة، مما يؤدي إلى زيادة الإنتاجية دون تعريض العمال للخطر (Bi et al., 2022).

٣. تحسين السلامة

يعتبر تحسين السلامة من الفوائد الأكثر أهمية التي يحققها التحول الرقمي في قطاع التعدين. إذ يعزز التحول الرقمي قدرة الشركات على تقليل المخاطر المرتبطة بالعمل في بيئات التعدين الخطرة، وذلك من خلال استخدام الأدوات والتقنيات التالية:

- **المراقبة المستمرة للمعدات والعاملين:** باستخدام تقنيات مثل انترنت الأشياء الصناعية، يمكن مراقبة حالة المعدات في الوقت الفعلي وتحليل البيانات المرتبطة بها. كما يمكن أيضاً مراقبة حالة العاملين داخل المناجم باستخدام تقنيات مثل أجهزة الاستشعار القابلة للارتداء، مما يساعد في رصد المخاطر الصحية والبيئية، مثل ارتفاع درجات الحرارة أو تسرب الغازات السامة (Aziz et al., 2020).
- **تقليل الحوادث البشرية:** من خلال تطبيقات الروبوتات والأتمتة، يتم تقليل حاجة الإنسان إلى العمل في البيئات عالية المخاطر مثل تلك التي تحتوي على مواد متفجرة أو خطرة. على سبيل المثال، الروبوتات يمكنها التعامل مع التفجيرات أو عمليات الحفر العميق التي عادةً ما تكون محفوفة بالمخاطر. وقد أكدت دراسة (Kunyska et al. (2024 على أن التقنيات الرقمية تساهم بشكل كبير في تحسين السلامة من خلال الكشف المبكر عن المخاطر.
- **التدريب على المحاكاة:** فمن خلال استخدام الواقع الافتراضي والواقع المعزز، يمكن تدريب العمال على التفاعل مع ظروف العمل الحقيقية في بيئات آمنة دون تعرضهم لأي مخاطر فعلية.

كما يمكن استخدام هذه التقنيات لتقديم تعليمات فورية للعاملين أثناء عمليات الصيانة في الوقت الفعلي، مما يقلل من الأخطاء أثناء العمل.

- **تحليل المخاطر في الوقت الفعلي:** يمكن لأدوات التحليل الرقمية أن توفر تقارير دقيقة ومباشرة حول المخاطر المحتملة في بيئة العمل، سواء كانت تتعلق بالتجهيزات أو العوامل البيئية. يمكن أن تتيح هذه الأدوات اتخاذ تدابير وقائية بشكل أسرع مما يقلل من الحوادث والإصابات (Zvarivadza et al., 2024).

٤. تحسين الكفاءة البيئية وإدارة الموارد بشكل مستدام

التحول الرقمي له دور حيوي في تحقيق أهداف الاستدامة في صناعة التعدين، حيث يعمل على تحسين الأداء البيئي في قطاع التعدين، ويظهر ذلك من خلال (قنابر، ٢٠٢٣؛ Kunkel & Matthess, 2020; Zhironkin & Ezdina, 2023):

- **تقليل التأثيرات البيئية السلبية:** يُعد استخدام التكنولوجيا الرقمية من أهم الحلول لتقليل التأثيرات البيئية السلبية الناتجة عن التعدين. حيث تُسهم العديد من التقنيات مثل الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في تحسين مراقبة العمليات وتحليل البيانات البيئية في الوقت الحقيقي. على سبيل المثال، يُمكن استخدام حساسات ذكية لرصد مستويات التلوث في الهواء والمياه، مما يسمح باتخاذ إجراءات سريعة للحد من الانبعاثات الضارة والتلوث البيئي.
- **التعدين الذكي:** يعزز التحول الرقمي من تطوير تقنيات التعدين الذكي، وهو عبارة عن تطبيق تقنيات مثل الذكاء الاصطناعي والروبوتات والطائرات بدون طيار لتحسين استخراج الموارد وتقليل الآثار السلبية على البيئة. فالتعدين الذكي يمكن أن يسهم في تحديد المواقع الأمثل لاستخراج المعادن والموارد، مما يقلل الحاجة لتدمير المزيد من الأراضي، ويحد من الفاقد والهدر الناتج عن عمليات التعدين التقليدية.
- **إدارة الموارد بشكل مستدام:** تُسهم الأنظمة الرقمية في تحسين إدارة الموارد الطبيعية من خلال استخدام النمذجة الرقمية وتحليل البيانات الضخمة لتحديد احتياطات المعادن بدقة أكبر. حيث يساهم ذلك في توجيه الأنشطة التعدينية نحو استغلال أمثل للموارد الطبيعية، مما يقلل من استخدام الأراضي والمياه والموارد الأخرى بشكل غير مستدام.

٥. تعزيز الشفافية والمساءلة: ويظهر ذلك من خلال:

- **مراقبة الانبعاثات والتقارير البيئية:** باستخدام الأنظمة الرقمية المتكاملة، يمكن لمؤسسات التعدين تتبع انبعاثاتها بشكل دقيق في الوقت الفعلي. حيث توفر هذه الأنظمة تقارير شفافة يمكن للهيئات التنظيمية والمجتمعات المحلية الاطلاع عليها، مما يعزز من المساءلة ويحسن من الأداء البيئي

للشركات التعدينية. كما أن هذه الأنظمة الرقمية تساعد الشركات في الامتثال للوائح البيئية والمشاركة في برامج الاستدامة العالمية مثل المبادرات البيئية للمسؤولية الاجتماعية (Xu et al., 2023).

- **تعزيز التعاون بين الشركات والمجتمعات المحلية:** توفر التقنيات الرقمية منصات للتفاعل الفعال بين الشركات التعدينية والمجتمعات المحلية. حيث يُمكن استخدام هذه المنصات لتوثيق تأثير عمليات التعدين على البيئة وعلى السكان المحليين، وتبادل المعلومات حول آليات الحد من التأثيرات السلبية والتعاون في المشاريع الاجتماعية والبيئية (لعلمي ولعلمي، ٢٠٢٢).

٣/٣ التجارب الدولية الرائدة في تطبيق التكنولوجيا الرقمية في قطاع التعدين ومقارنتها بالوضع في المملكة العربية السعودية

منذ تسعينيات القرن العشرين، صاغت فنلندا وكندا والسويد ودول أخرى على التوالي خطط تطوير "المناجم الذكية" و"المناجم غير المأهولة"، من أجل الحصول على ميزة تنافسية في صناعة التعدين (Bi et al., 2022). ولتناول بعض التجارب الدولية الرائدة في تطبيق التكنولوجيا الرقمية في قطاع التعدين ومقارنتها مع وضع المملكة العربية السعودية، سنستعرض تجربتين دوليتين بارزتين في هذا المجال: التجربة الأسترالية والكندية، مع تسليط الضوء على كيفية الاستفادة من تطبيق هذه التجارب في المملكة العربية السعودية استنادًا إلى المعلومات المتاحة عن واقع قطاع التعدين في المملكة.

١. التجربة الأسترالية

أستراليا تعتبر واحدة من الدول الرائدة عالميًا في استخدام التكنولوجيا الرقمية في قطاع التعدين، حيث يُعتبر التعدين الذكي واحدًا من أبرز المبادرات الأسترالية التي تهدف إلى استخدام التكنولوجيا الحديثة لتحسين كفاءة العمليات وحماية البيئة، ويظهر ذلك من خلال (Jang & Topal, 2020):

- **الأتمتة والروبوتات:** استخدمت أستراليا تقنيات الأتمتة على نطاق واسع في مناجم الحديد والنحاس والفحم، مثل الآلات ذاتية القيادة التي تُستخدم في النقل الثقيل داخل المناجم. فهذه الأنظمة تمكن من تقليل التكلفة التشغيلية وزيادة الأمان من خلال تقليل التعرض للمخاطر.
- **إنترنت الأشياء:** تم استخدام إنترنت الأشياء في عدة مواقع تعدين لرصد الأداء البيئي في أستراليا، مثل مراقبة انبعاثات الغازات، درجات الحرارة، ورصد التسريبات أو الحوادث في الوقت الفعلي. كما يتم توظيف التقنيات الرقمية مثل تحليل البيانات الضخمة لتحسين اتخاذ القرارات وتحسين كفاءة العمل.

- **التقنيات الذكية في استخراج المعادن:** تقوم أستراليا باستخدام تقنيات مثل الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي لتحسين استكشاف واستخراج المعادن. حيث يتم استخدام هذه التقنيات لتحليل البيانات الجغرافية والجيولوجية لتحديد المواقع الأنسب لاستخراج المعادن والموارد الطبيعية.

ويمكن إلقاء الضوء على أهم ملامح نجاح هذه التجربة الأسترالية وتحدياتها. فمن ناحية، ساعدت هذه المبادرات في تحسين الإنتاجية وتقليل التكلفة البيئية على المدى الطويل، كما حسنت من سلامة العمال من خلال تقنيات السلامة الذكية. ومع ذلك، كان من أبرز التحديات التي واجهت تطبيق هذه التقنيات هو تكلفة التحديث التكنولوجي، خصوصاً فيما يتعلق بالأتمتة والروبوتات، فهو يتطلب استثمارات ضخمة في بداية تطبيق هذه التقنيات. كما تواجه أستراليا بعض الصعوبات في تدريب القوى العاملة على استخدام التقنيات المتقدمة بشكل فعال.

٢. التجربة الكندية

تُعد كندا واحدة من الدول المتقدمة في تطبيق التكنولوجيا الرقمية في قطاع التعدين، حيث تُعتبر التكنولوجيا المتقدمة في استخراج المعادن جزءاً من استراتيجيتها الوطنية لتحسين استدامة العمليات التعدينية، ويظهر ذلك من خلال (Crabbe, 2023):

- **الاستشعار عن بُعد والتحليل البيئي:** تستخدم كندا تقنيات الاستشعار عن بُعد لتحليل البيانات البيئية المتعلقة بالتعدين، مثل مسح الأراضي، وتحليل الجودة البيئية، وأثر الأنشطة التعدينية على المنظومة البيئية في المنطقة المحيطة.

- **المعدات الذكية:** في العديد من المناجم الكندية، تم تطبيق تقنيات الروبوتات والمعدات ذاتية القيادة لتقليل التكلفة التشغيلية وتحسين الكفاءة. بالإضافة إلى ذلك، يتم تطبيق الأنظمة الذكية لتحسين عمليات الحفر والتفجير وتقليل الأضرار البيئية.

- **تحليل البيانات الضخمة:** تعتمد كندا بشكل كبير على تقنيات تحليل البيانات الضخمة لتحديد الأنماط المثلى لاستخراج المعادن. ويتيح هذا التحليل استخدام موارد التعدين بشكل أكثر استدامة، والحد من الفاقد والهدر في الموارد الطبيعية.

وبإلقاء الضوء على نتائج هذه التجربة الكندية، يتضح أن هذه التقنيات الرقمية مكّنت الشركات الكندية من تقليل التكاليف، وتحقيق معدلات أمان أعلى للعمال، وتحسين إنتاجية المناجم بشكل عام. كما ساهمت في تقليل التأثيرات البيئية للتعدين. ولكن من ناحية أخرى، تكمن التحديات الرئيسية في تكاليف البنية التحتية الرقمية، بالإضافة إلى الحاجة إلى تغيير ثقافة العمل التقليدية في المناجم لتقبل التكنولوجيا الجديدة. كما أن التعامل مع البيانات الجغرافية المعقدة في بعض المناطق في كندا يمكن أن يمثل تحدياً إضافياً.

٣. واقع المملكة العربية السعودية في تطبيق التقنيات الرقمية في صناعة التعدين

تشير الرؤية الطموحة للمملكة ٢٠٣٠ إلى تطوير البنية التحتية الخاصة بالاتصالات وتقنية المعلومات، وتعزيز الاستثمارات في الاقتصاد الرقمي، وكذلك تعزيز حوكمة التحول الرقمي (Buhulaiga, 2021). وفي قطاع التعدين، تشير رؤية المملكة إلى تنميته للمساهمة في الاقتصاد الوطني من خلال تشجيع التنقيب عن الثروات المعدنية والاستفادة منها (KSA, 2016; Hicham & Hamza, 2024). لذا، فالمملكة تسعى بشكل حثيث لتطوير قطاع التعدين في إطار رؤية 2030، التي تهدف إلى زيادة مساهمة التعدين في الناتج المحلي الإجمالي، وتحقيق التنوع الاقتصادي بعيداً عن النفط. وقد عملت المملكة على تطوير البنية التحتية الرقمية في قطاع التعدين وبدأت في تطبيق بعض التقنيات الحديثة، ومن أهم مبادراتها في هذا الشأن ما يلي (الخریف، ٢٠٢٣):

- **مبادرات وزارة الصناعة والثروة المعدنية:** هناك توجه في المملكة بتطوير التحول الرقمي للقطاع الصناعي وتطبيق تقنيات وممارسات التصنيع الحديث، لتحقيق المستهدفات الاستثمارية. لذا تطلق وزارة الصناعة والثروة المعدنية في المملكة العديد من المشاريع التي تستهدف التحول الرقمي في قطاع التعدين. وتشمل هذه المبادرات تحسين استخدام التقنيات الرقمية في استكشاف المعادن واستخدام الذكاء الاصطناعي لتحليل البيانات الجيولوجية، بهدف تحديد الأماكن المثلى لاستخراج المعادن. كما أطلقت الوزارة برنامج "مصانع المستقبل" من خلال تبني التحول الرقمي (مركز الاقتصاد الرقمي، ٢٠٢٤).

- **مشروع التعدين الذكي واللوجستيات الذكية:** ضمن رؤية المملكة ٢٠٣٠، تسعى المملكة إلى تبني التعدين الذكي واللوجستيات الذكية، حيث تعمل بعض الشركات الكبرى في المملكة على استخدام تقنيات مثل المعدات ذاتية القيادة والروبوتات في المناجم. كما أن نشر إنترنت الأشياء في سلسلة التوريد بالمملكة سيؤدي إلى تبادل المعلومات بين مختلف أصحاب المصلحة، وكفاءة العمليات، ورضا العملاء، حيث يتيح ذلك تتبع البيانات في الوقت الفعلي لتجنب التوقف غير المتوقع من خلال توقع العرض والطلب على منتج معين لمساعدة أنظمة الخدمات اللوجستية على أن تكون أكثر مرونة (Melibari et al., 2023).

- **الاستشعار عن بُعد والتحليل البيئي:** بدأت المملكة في استخدام تقنيات الاستشعار عن بُعد للمراقبة البيئية في بعض المناطق التعدينية، بهدف مراقبة آثار التلوث الناتج عن العمليات التعدينية.

وبالنظر لتجربة المملكة، يتضح أنها بدأت في تحقيق بعض النجاحات في تطبيق هذه التقنيات، مثل تحسين كفاءة العمل وتقليل تأثيرات التعدين على البيئة. وقد أسهمت هذه المبادرات في تحسين الشفافية والمساءلة البيئية. ولكن أبرز التحديات التي تواجه المملكة في تطبيق هذه التقنيات هي الاعتماد

على التكنولوجيا الأجنبية في بعض الأحيان، والتحديات في تدريب القوى العاملة المحلية على استخدام هذه التقنيات الحديثة. إضافة إلى ذلك، تعد الاستثمارات الأولية في البنية التحتية الرقمية مرتفعة، وهو ما يشكل تحديًا أمام بعض الشركات الصغيرة والمتوسطة (Hicham & Hamza, 2024).

بمقارنة التجربة الأسترالية والتجربة الكندية بتجربة المملكة العربية السعودية يتضح الآتي:

- **التقدم التكنولوجي:** يمكن ملاحظة أن كلاً من أستراليا وكندا قد قطعتا شوطاً طويلاً في تطبيق التكنولوجيا الرقمية في قطاع التعدين، حيث تُعتبر تلك الدول رائدة في استخدام الروبوتات، الأتمتة، والذكاء الاصطناعي في العمليات التعدينية. أما المملكة العربية السعودية، فمن جانبها، بدأت في تطبيق هذه التقنيات، ولكنها ما زالت في مرحلة مبكرة مقارنة بهذه الدول.
- **الاستدامة البيئية:** تعمل كلاً من أستراليا وكندا على تقليل التأثير البيئي للتعدين من خلال تقنيات مثل الاستشعار عن بُعد ومراقبة البيانات البيئية بشكل مستمر. بينما في المملكة، تُعد هذه المبادرات حديثة العهد، ولكن هناك خطوات جادة في الاتجاه الصحيح.
- **التحديات:** تواجه المملكة تحديات مماثلة لتلك التي تواجهها أستراليا وكندا في تطبيق التحول الرقمي في قطاع التعدين، مثل الاستثمار العالي في التقنيات، وتدريب القوى العاملة المحلية على استخدام هذه التقنيات. ويمكن تناول تلك التحديات في المملكة بشيء من التفصيل في العنصر التالي.

التحديات الرئيسية لتنفيذ التحول الرقمي بقطاع التعدين واستراتيجيات مواجهتها

إن صناعة التعدين في حد ذاتها تشتمل على مجموعة من التعقيدات والتحديات، أهمها عدم التجانس حيث يكون لكل منجم تخطيط مختلف حسب الظروف الطبيعية، والنقل الثقيل مع المساحات الضيقة للغاية، والاتصال اللاسلكي عبر الأعمدة والمحطات غير ممكن، والتعجير المتكرر حيث يتم تدمير الأجهزة ما لم يتم نقلها في كل مرة، والحفر الجوهري الذي يغير التخطيط باستمرار، والحاجة إلى عمليات التعافي من الفشل والعمليات المستقلة لضمان الإنتاج والسلامة من خلال الأعطال الكارثية، وما إلى ذلك. وتتفاقم هذه التحديات بسبب الحاجة إلى الإنتاج المستمر لكميات كبيرة من الخام المستخرج للوصول إلى الأهداف المستهدفة المحددة لضمان الربحية في الإنتاج (Aziz et al., 2020).

كما أن التحول الرقمي في قطاع التعدين يتطلب تغييرات واسعة في الأنظمة التقنية، استراتيجيات العمل، وثقافة المؤسسات. ورغم الفوائد العديدة التي يمكن أن يحققها هذا التحول في تحسين الكفاءة، تقليل التكاليف، وتعزيز الاستدامة، فإن هناك العديد من التحديات التي قد تعيق تنفيذ هذا التحول بنجاح. ويمكن تناول أهم هذه التحديات بشيء من التفصيل، مع اقتراح استراتيجيات فعالة لمواجهتها فيما يلي (قناير، ٢٠٢٣؛ لعلمي ولعلمي، ٢٠٢٢؛ Sánchez & Hartlieb, 2020):

١. التحديات التكنولوجية

التحول الرقمي يتطلب استثمارات كبيرة في التكنولوجيا، بما في ذلك شراء المعدات الحديثة، وتركيب أنظمة البرمجيات، وصيانة الأنظمة التقنية. لذا، تعد التكاليف العالية للتكنولوجيا المتقدمة مثل الأنتمتة، الروبوتات، والذكاء الاصطناعي من أبرز العوائق التي تواجه الشركات التعدينية، خصوصًا الشركات الصغيرة والمتوسطة. إضافة إلى ذلك، يمثل تكامل الأنظمة القديمة مع التقنيات الحديثة تحديًا آخر يعوق التحول الرقمي، حيث تعتمد العديد من الشركات على أنظمة تقليدية لا تتناسب مع التكنولوجيا المتطورة.

وتتمثل أهم استراتيجيات مواجهة هذا النوع من التحديات في:

- **تقليل التكاليف** من خلال تبني تقنيات مفتوحة المصدر أو الاستفادة من حلول الحوسبة السحابية التي تقلل الحاجة إلى استثمارات في البنية التحتية المحلية.
- **تطوير خطط تكامل** مرحلية لدمج الأنظمة القديمة تدريجيًا دون التأثير على العمليات اليومية.
- **تعزيز الشراكات** مع الجهات الحكومية وشركات التكنولوجيا لإيجاد حلول مخصصة تتماشى مع طبيعة قطاع التعدين، مما يسمح بتطوير الحلول المبتكرة مع تقليل التكاليف.

٢. التحديات البشرية

تتمثل أبرز التحديات البشرية في مقاومة الموظفين للتغيير بسبب خوفهم من فقدان وظائفهم أو عدم قدرتهم على التكيف مع التكنولوجيا الحديثة المستخدمة في قطاع التعدين. كما أن نقص المهارات والكفاءات اللازمة لاستخدام التقنيات الرقمية المتقدمة يمثل عائقًا إضافيًا. ويمكن التغلب على هذا النوع من التحديات من خلال (Lazarenko et al., 2021) :

- إطلاق برامج تدريبية شاملة تركز على تطوير المهارات التقنية والرقمية لدى الموظفين.
- تعزيز الثقافة المؤسسية الداعمة للابتكار والتغيير من خلال برامج إدارة التغيير التي تشمل جميع المستويات الوظيفية.
- تقديم حوافز تشجيعية للموظفين الذين يتبنون التقنيات الجديدة ويظهرون استعدادًا للتعلم.

٣. التحديات التنظيمية والإدارية

يعاني قطاع التعدين في العديد من الدول، بما في ذلك المملكة العربية السعودية، من نقص في السياسات والقوانين التي تدعم التحول الرقمي. فقد تكون اللوائح والقوانين الخاصة بالتحول الرقمي في قطاع التعدين غير واضحة أو غير محدثة بما يتماشى مع التوجهات العالمية. ويمكن التغلب على هذا النوع من التحديات من خلال (Lazarenko et al., 2021) :

- تحديث السياسات الحكومية، فمن المهم أن تقوم الحكومات بتطوير سياسات واضحة تدعم الابتكار التكنولوجي وتسهّل التطبيق الرقمي في قطاع التعدين، بما في ذلك اللوائح المتعلقة بالخصوصية، الأمن السيبراني، وحماية البيئة.
- تشجيع الاستثمار في الابتكار من خلال تقديم حوافز ضريبية أو دعم مالي للمنشآت التي تطبق تقنيات رقمية متقدمة في قطاع التعدين.
- تعزيز التعاون بين القطاعين العام والخاص لتحديث الأطر القانونية وتنظيم ممارسات التحول الرقمي.

٤. التحديات البيئية

رغم الفوائد التي تقدمها التكنولوجيا الرقمية لتحسين الكفاءة وتقليل التكاليف، إلا أنها قد تسبب آثارًا بيئية سلبية، مثل زيادة استهلاك الطاقة أو الإضرار بالتنوع البيولوجي من جراء الأنظمة المؤتمتة. ويمكن التغلب على هذه التحديات من خلال (Zhironkin & Ezdina, 2023):

- اعتماد التقنيات المستدامة مثل استخدام الطاقة المتجددة في تشغيل المعدات الرقمية لتقليل البصمة الكربونية.
- تطبيق ممارسات الاستدامة البيئية بشكل متكامل، مثل استخدام التكنولوجيا النظيفة لتقليل الأثر البيئي.
- تشجيع الحصول على شهادات بيئية دولية، مثل ISO 14001، لإدارة الأنظمة البيئية.

٥. تحديات الأمن السيبراني:

يعد الأمن السيبراني من أبرز التحديات التي تواجه التحول الرقمي في قطاع التعدين، حيث تتعرض الأنظمة الرقمية في هذا القطاع إلى تهديدات مستمرة من الهجمات الإلكترونية، مثل الاختراقات والتسلل إلى البيانات الحساسة أو تعطيل الأنظمة. ونظرًا لاعتماد قطاع التعدين على التقنيات الرقمية مثل إنترنت الأشياء الصناعي، وتحليل البيانات الضخمة، والأنظمة التشغيلية المتكاملة، تصبح هذه الأنظمة أكثر عرضة للهجمات التي قد تؤثر على العمليات الإنتاجية وسلامة العاملين (Litvinenko, 2020).

وللتغلب على هذه التحديات، يجب على شركات التعدين تبني استراتيجيات أمن سيبراني شاملة تشمل تشفير البيانات، وتطبيق أنظمة مراقبة مستمرة للكشف عن الهجمات، وتدريب العاملين على أفضل ممارسات الأمان. كما يجب تطوير بنية تحتية قوية للأمن السيبراني، بما في ذلك استخدام الجدران النارية المتقدمة، وأدوات الحماية من البرمجيات الخبيثة، بالإضافة إلى إجراء اختبارات أمنية دورية للتأكد من خلو الأنظمة من الثغرات.

ثانياً: الدراسات المرجعية

فيما يلي استعراض للدراسات السابقة العربية والأجنبية المتعلقة بموضوع الدراسة وفق التسلسل الزمني من الأقدم إلى الأحدث كالتالي:

١. دراسة Dragičević and Bošnjak (2019) بعنوان: التحول الرقمي في مؤسسات التعدين: دراسة تجريبية

هدفت هذه الدراسة إلى فهم أفضل للجوانب الرئيسية المتعلقة ببدء وتنفيذ مبادرات التحول الرقمي في صناعة التعدين، بالإضافة إلى تحديد التحديات وعوامل النجاح في هذا السياق. تم إجراء بحث تجريبي في شركة تعدين كبيرة ومتنوعة - شركة بوكسيت (صربيا). ولتلبية احتياجات البحث، تم اختيار حالة تطوير وتنفيذ نظام برمجيات الأعمال التحليلية لوحدة تنظيم المناجم السطحية. من أجل دراسة مشكلة البحث من منظور الأعمال وتكنولوجيا المعلومات، تم إجراء مقابلة شبه منظمة مع الأشخاص الرئيسيين المسؤولين عن تنفيذ مبادرة التحول الرقمي. تشير نتائج الدراسة إلى حتمية التحول الرقمي وأهمية مبادرة التحليل الرقمي في صناعة التعدين، حيث أن التنفيذ الفعال لمبادرة التحليل الرقمي، مثل تطوير وتنفيذ نظام برمجي تحليلي يعتمد على تقنيات السحابة والحوال، يمكن أن يساهم بشكل كبير في تحسين النموذج التشغيلي في مؤسسة التعدين. وتؤكد النتائج أن مشروع التعدين في تنفيذ مبادرة التحول الرقمي يواجه تحديات كبيرة التي لا تتعلق بالتكنولوجيا فقط، نظراً لتعقيد العمليات والأتمتة والأمان، بل تتعلق أيضاً بتشغيل استراتيجية الأعمال، وخاصة في ربط الأهداف بالمعلومات والبيانات المترابطة. بالإضافة إلى ذلك، ترتبط التحديات الكبيرة بإدارة التغيير، وخاصة عندما يتعلق الأمر بالكفاءات وتعاون الموظفين عبر الحدود التنظيمية، والقيود الخارجية المتعلقة بالعلاقات مع شركاء الأعمال، وبيئة العمل القاسية، واللوائح القانونية، وقضايا الاتصال.

٢. دراسة Aziz et al. (2020)، بعنوان: دراسة حول إنترنت الأشياء الصناعي لصناعة التعدين: هندسة مركبة واتجاهات بحثية مفتوحة

هدفت هذه الدراسة إلى تحليل تطبيقات إنترنت الأشياء الصناعي (IIoT) في قطاع التعدين، مع التركيز على التحديات التي تعوق تبني هذه التكنولوجيا بشكل شامل في الصناعة. اعتمدت المنهجية على تحليل الوضع الحالي لتكنولوجيا المعلومات في التعدين، وتحديد التحديات الرئيسية مثل التجزئة الرأسية الناتجة عن تنوع الأنظمة والأجهزة من الموردين المختلفين، مما يعيق التوافق التشغيلي وتبادل البيانات بين الأنظمة المختلفة. تقدم الدراسة بنية عالية المستوى لإنترنت الأشياء الصناعي تتناسب مع ظروف قطاع التعدين، مع التركيز على الأتمتة، والتشغيل البيئي للأنظمة، وتوزيع البيانات، والرؤية اللحظية لحالة التعدين. تغطي هذه البنية جميع مراحل التعدين، بدءاً من الاستكشاف وحتى إعادة التأهيل، وتتميز بالتحكم عن بُعد، ومعالجة البيانات، وتقنيات التوافق التشغيلي، مما يساهم في خلق بيئات أكثر أماناً، وتحقيق عمليات تعدين متوقعة، وتقليل التدخل البشري من خلال الأتمتة. كما تساهم الدراسة في تمكين

المراقبة تحت الأرض عبر دمج تكنولوجيا المعلومات مع التكنولوجيا التشغيلية. ناقشت الدراسة أيضًا التحديات البحثية المستمرة مثل إدارة التنقل، قابلية التوسع، الافتراضية عند حافة إنترنت الأشياء الصناعي، وتطوير التوأم الرقمي، مع تسليط الضوء على الاتجاهات المستقبلية اللازمة لتحقيق تقدم ملموس في هذا المجال.

٣. دراسة (Barnewold & Lottermoser (2020)، بعنوان: تحديد التقنيات الرقمية واتجاهات التحول الرقمي في صناعة التعدين

في ضوء أنه أصبح من الصعب بشكل متزايد على شركات التعدين اتخاذ قرار بشأن التقنيات الرقمية الأكثر ملاءمة لاحتياجاتها ومناجمها الفردية. لذا هدفت هذه الدراسة على تقديم لمحة عامة عن التقنيات الرقمية التي تعد ذات صلة حاليًا بشركات التعدين كما تم تقديمها ومناقشتها في المجالات المتخصصة في التعدين، والإعلام، وتقارير الرؤية من الوكالات الاستشارية الرائدة. وقد تم تحديد التقنيات ذات الصلة بشكل منهجي باستخدام تقنيات استخراج النصوص، وتم إنشاء تحليلات الشبكات لتحديد العلاقات بين التقنيات الرئيسية. أظهرت النتائج أن هناك حاليًا ١٠٧ تقنية رقمية مختلفة يتم تبنيها في قطاع التعدين. كما كشفت عملية تحليل تنفيذ التقنيات الرقمية في ١٥٨ منجمًا نشطًا تحت الأرض وعلى السطح عن استخدام محدود للتقنيات الرقمية بشكل عام، وأن استخدام هذه التقنيات يزداد مع زيادة إنتاج المناجم. كما توصلت الدراسة إلى أن عمليات التعدين الكبرى تختار وتطبق التقنيات الرقمية المناسبة لاحتياجاتها، بينما العمليات التي تتمتع بمعدلات إنتاج أقل لا تقوم بتطبيق التقنيات الرقمية المتاحة حاليًا بنفس القدر، مما يعني أنه قد يحتاج هؤلاء المنتجون الأصغر إلى حلول تحول رقمي أخرى تتناسب مع قدراتهم واحتياجاتهم وتكون قابلة للتطبيق على نطاق عملياتهم.

٤. دراسة (Van Hau et al. (2022 بعنوان: التحول الرقمي في قطاع التعدين في فيتنام

هدفت هذه الدراسة إلى الكشف عن واقع تنفيذ التحول الرقمي في قطاع التعدين في فيتنام. تم استخدام أسلوب التحليل المستند إلى الوثائق (المراجعة المكتبية) لتحليل وتقييم الوضع الحالي للتحول الرقمي لصناعة تعدين الفحم والمعادن وتحديد الإنجازات وكذلك القيود المفروضة على عملية التحول الرقمي في صناعة تعدين الفحم والمعادن في فيتنام. قدمت الدراسة القضايا التالية: (١) بعض القضايا العامة حول التحول الرقمي، والتي تم فيها توضيح مفهوم التحول الرقمي؛ معنى التحول الرقمي في مجال تعدين الفحم والمعادن؛ متطلبات التحول الرقمي في مجال تعدين الفحم والمعادن. (٢) الوضع الحالي للتحول الرقمي في تعدين الفحم والمعادن في فيتنام، بما في ذلك تطبيق التقنيات المتقدمة في الاستكشاف والتعدين، وتطبيق التقنيات المتقدمة في التعدين وحماية البيئة. و بفضل التحول الرقمي، حققت شركات تعدين الفحم الفيتنامية العديد من النجاحات، مثل التحول من التعدين التقليدي إلى نموذج التعدين الذكي الذي يساعد بدوره على تحسين الإنتاجية وكفاءة العمل والسلامة. وفي الوقت نفسه، ساعد التحول الرقمي عملية التعدين على تقليل التأثيرات السلبية على البيئة، وضمان التنمية المستدامة.

٥. دراسة (Maroufkhani et al. (2022)، بعنوان: التحول الرقمي في قطاعي الموارد والطاقة: مراجعة منهجية

هدفت هذه الدراسة إلى استكشاف تطبيقات التكنولوجيا الرقمية في قطاعات الموارد والطاقة، مع التركيز بشكل خاص على صناعات النفط والغاز، والتعدين، والطاقة، بهدف تعزيز فهم الوضع الحالي لهذه الصناعات ومساهمات التحول الرقمي. باستخدام مراجعة أدبية منهجية وتحليل محتوى لـ ١٥١ مقالاً أكاديمياً نُشرت بين عامي ٢٠٠٩ وأبريل ٢٠٢٠، تحدد الدراسة اتجاهين رئيسيين: أولاً، أكثر من ٧٥% من المقالات تركز على قطاع الطاقة (باستثناء النفط والغاز)، وثانياً، الهدف الرئيسي للتحول الرقمي في هذه الصناعات هو تقليص النفقات التشغيلية. كما تبرز النتائج ستة مجالات بحثية يجب أن تحظى باهتمام مستقبلي لتسريع عملية التحول الرقمي وزيادة قدرة هذه القطاعات على تقديم القيمة.

٦. دراسة (Bi et al. (2022 بعنوان: إصلاح جديد لأنماط إنتاج وإدارة التعدين في ظل الصناعة ٤.٠: نمط التعدين السحابي

تناولت هذه الدراسة في سياق الثورة الصناعية الرابعة أهمية استخدام تقنيات المعلومات الحديثة لتحفيز الصناعات التقليدية وتحويلها لتعزيز تنافسيتها طويلة الأجل، مع التركيز على قطاع التعدين الذي يشهد تحولاً رقمياً واسع النطاق. أوضحت الدراسة التحديات التي تواجه إنتاج وإدارة العمليات في المناجم، حيث أن العديد من الشركات توسعت في عملياتها لكنها تعتمد على أساليب تشغيل وإدارة غير فعالة تحتاج إلى إصلاح شامل. ولتصحيح هذا الوضع، اقترحت الدراسة نموذج التعدين السحابي (Cloud Mining Mode)، والذي يقوم على دمج الأعمال الأساسية للمناجم، مثل إدارة الإنتاج والتشغيل والتكنولوجيا والخدمات، في السحابة باستخدام تقنيات الحوسبة السحابية والموارد والخدمات الرقمية. يركز النموذج على نقل الموارد البشرية والفكرية إلى السحابة، مما يُشكّل بيئة عمل تعاونية ومنفتحة ومتكاملة. حددت الدراسة خمسة عناصر رئيسية للنموذج تشمل موارد البيانات، التقنيات الرقمية، المواهب الرقمية، الشكل السحابي للأعمال، ونمط التعاون السحابي، مع تقديم إطار تقني متقدم يُعرف بـ "السحابة-الحافة-النهاية (Cloud-Edge-Terminal)". كما تناولت الدراسة سيناريوهات تطبيق هذا النموذج، مبينة مسارات تطويره وأبرز متطلبات نجاحه، مؤكدة أن نموذج التعدين السحابي يُمثل توجّهاً استراتيجياً جديداً لإدارة المناجم الذكية، ويعزز من قيمة التحول الرقمي في تحسين الكفاءة وتحقيق الاستدامة.

٧. دراسة (Mthimkhulu (2023 بعنوان: فرص وتحديات التحول الرقمي في قطاع التعدين في جنوب أفريقيا

هدفت هذه الدراسة إلى فهم التقنيات والحلول الرقمية المحتملة التي يمكن لقطاع التعدين في جنوب إفريقيا اعتمادها، بالإضافة إلى استكشاف بعض المحركات والحوافز المتصورة لاعتمادها في عمليات التعدين والتشغيل. تم استخدام أسلوب بحثي استكشافي نوعي لإجراء الدراسة، وتم استخدام تحليل النهج الموضوعي لاستكشاف هدف الدراسة. تمت مقابلة تسعة مشاركين من شركات تعدين مختلفة في جنوب

إفريقيا تعمل في سلع مختلفة، وتم اختيار المشاركين فقط في أدوار الإدارة العليا والمتوسطة والصغيرة لهذه الدراسة. تم تسجيل استجابات المشاركين للمقابلة ونسخها، وتم تطبيق تحليل البيانات باستخدام نهج موضوعي. وقد برزت ستة موضوعات من تحليل البيانات؛ وتألفت هذه الموضوعات من خمسة وعشرين فئة. وقد تم تحديد هذه الفئات كمحركات وحواجز لشركات التعدين في جنوب إفريقيا لتبني التكنولوجيا والحلول الرقمية المحتملة في التعدين وعملياتها. وقد تم تحديد الحواجز الناجمة عن البيئة المعقدة لقطاع التعدين في جنوب إفريقيا كأسباب لبطء تبني التكنولوجيا والحلول الرقمية من قبل قطاع التعدين. وقد تبين أنه للتحويل الرقمي دوراً إيجابياً في مجال قطاع التعدين من خلال تحسين الصحة والسلامة، وتحسين عمليات التعدين والإنتاج، واحتواء التكاليف وخفضها، واستدامة التعدين والعمليات، والصيانة الوقائية والتنبؤية، وسلسلة قيمة التعدين والعمليات الذكية.

٨. دراسة (Zhironkin & Ezdina (2023)، بعنوان: مراجعة عملية التحول من تكنولوجيات

التعدين ٤.٠ إلى تكنولوجيات التعدين ٥.٠ المبتكرة

هدفت الدراسة إلى استكشاف الانتقال الجاري من تقنيات التعدين ٤.٠ إلى التعدين ٥.٠، مع التركيز على التطورات التكنولوجية مثل الذكاء الاصطناعي، والروبوتات التعاونية، واستخراج المعادن الحيوي، مع مناقشة التأثيرات على الإنتاجية، وسلامة العمال، والاستدامة البيئية. استندت المنهجية إلى مراجعة شاملة للظروف والعمليات والميزات المتعلقة بهذه التحولات، بالإضافة إلى التحديات التي تعيق تبني تقنيات التعدين ٥.٠. وأظهرت النتائج أن الانتقال إلى التعدين ٤.٠ لا يزال غير مكتمل، لكن يجري وضع الأساس للتوجه نحو التعدين ٥.٠، مدفوعاً بالحاجة إلى ممارسات مستدامة وتحسين الكفاءة. كما أكدت الدراسة أهمية التعدين الأخضر والاستثمارات البيئية والاجتماعية والحوكومية (ESG) في التغلب على التحديات الحالية وضمان نهج يركز على الإنسان في تطوير قطاع التعدين.

٩. دراسة (Storey (2023)، بعنوان: من الانتقال المادي من وإلى الموقع (FIFO) إلى الدخول

والخروج من مراكز العمليات عن بُعد (LIFO): التأثيرات المكانية الناتجة عن الرقمنة في قطاع التعدين

هدفت هذه الدراسة إلى استكشاف تأثير التحول الرقمي في قطاع التعدين، مع التركيز على تأثيراته على القوى العاملة، مواقع العمل، وسلسلة الإمداد. استخدمت الدراسة مراجعة للأدبيات ذات الصلة وإجراء مقابلات مع ممثلي الأطراف المعنية لجمع رؤى متعددة حول التأثيرات المحتملة للتحول الرقمي. أظهرت النتائج أن التحول الرقمي سيؤدي إلى تقليص الوظائف منخفضة المهارات في مواقع التعدين نتيجة لأتمتة العمل، بينما ستنشأ وظائف جديدة عالية المهارات يمكن أدائها عن بُعد. كما سيؤثر التحول الرقمي على قطاع الخدمات والتوريدات من خلال تغيير سلسلة الإمداد. وأوضحت الدراسة أيضاً أن منجم المستقبل سيعتمد على تقليص الطيران إلى المواقع وزيادة العمل من مراكز العمليات عن بُعد، مما يتطلب إعادة النظر في توزيع الفوائد المالية لضمان عدالة الاستفادة من التحسينات في الكفاءة والإنتاجية.

١٠. دراسة (Zhironkina & Zhironkin, 2023)، بعنوان: الانتقال التكنولوجي والفكري إلى

تقنيات التعدين الناجمة عن الثورة الصناعية الرابعة (التعدين ٤.٠): مراجعة.

تهدف هذه الدراسة إلى استعراض تحولات قطاع التعدين نتيجة لتبني تقنيات التعدين الناجمة عن الثورة الصناعية الرابعة (Mining 4.0)، واستكشاف الفرص والتحديات المرتبطة بالتحول إلى التعدين الرقمي لضمان استدامة إمدادات المواد الخام المعدنية وتقليل الأزمات البيئية والصناعية. اعتمدت الدراسة على مراجعة شاملة لتطبيق هذه التقنيات في التعدين، مع التركيز على الجوانب التكنولوجية والاجتماعية والاقتصادية. أظهرت النتائج أن تقنيات Mining 4.0، التي تضم أنظمة رقمية متكاملة وأنظمة سببرانية فيزيائية، قادرة على تعزيز التنمية المستدامة للقطاع في مواجهة تقلبات السوق وتحقيق الربحية. ومع ذلك، تم التأكيد على ضرورة معالجة التحديات المرتبطة بالانتقال الكامل نحو التعدين الرقمي، بما في ذلك التهديدات المحتملة من التحول إلى Mining 5.0.

١١. دراسة الياسري و آخرون (2024) بعنوان: التحول الرقمي ودوره في تنشيط تقنيات صناعة

الطاقة

هدفت هذه الدراسة إلى تسليط الضوء على قدرة التحول الرقمي في تعزيز القدرة التنافسية للشركات من خلال تحسين كفاءة استخدام الموارد الطبيعية، وتعظيم الإنتاجية، وذلك باستخدام التكنولوجيا الرقمية مثل الذكاء الصناعي والفضاء السحابي والحوسبة السحابية، وتحليلات البيانات الضخمة والروبوتات التكيفية، والواقع المعزز، وانترنت الأشياء الصناعي، وتطبيقها على إنتاج وتنشيط الطاقات التقليدية والمتجددة. استخدمت الدراسة الأسلوب الوصفي والتحليلي عن طريق طرح مختلف التطورات في التحول الرقمي في مجال الطاقة بمختلف مصادرها. وتوصلت إلى مجموعة من الاستنتاجات: يشهد العالم حالياً تحول رقمي في جميع نواحي حياتنا بما فيها الحوسبة السحابية والربط بين أجهزة الهاتف الجوال والذكاء الصناعي والبيانات الضخمة، إذ يعيش موجة من التقدم التكنولوجي السريع الذي قلل المسافات بين المجالات الفيزيائية والرقمية والبيولوجية. ويعد ظهور هذا التحول بحد ذاته انجاز، وذلك لأنه يؤدي الى تحسين الأنشطة التشغيلية وتقليل العنصر البشري في الأنشطة عالية الخطورة، وتحسين كفاءة استخدامات الوقود الاحفوري الذي بات يشكل خطراً على البشرية، وعلى الرغم من تحسن كفاءة استخدام الوقود الاحفوري الا ان اغلب المؤسسات لجأت الى استخدام الطاقات المتجددة وذلك لتحقيق التميز في أداءها والعمل على تعزيز قدرتها في مجال تنشيط الطاقة المتجددة باستخدام التحول الرقمي. وبذلك يعد التحول الرقمي نقطة انطلاق لتطوير جميع الاعمال في مجال الطاقة، حيث خلق تحول جذري في كيفية تزويد العالم ليس فقط بطاقة (النفط، والغاز) وإنما في تنشيط الطاقة المتجددة، حيث أثر التحول الرقمي في استراتيجيات الشركات وذلك في خمسة مجالات رئيسة (الزبائن، والمنافسة، والبيانات، والابتكار، والقيمة)، وهذه المجالات يمكن للتقنيات الرقمية من تغيير القواعد التي يجب ان تعمل بها المؤسسات لغرض تحقيق أهدافها المنشودة ومنها قطاع الطاقة. والتي تبدأ من مرحلة الاستكشاف عبر مواقع الحفر والتقيب وصولاً الى الإنتاج عبر مراكز التوزيع ومن ثم الى العملاء، حيث تمكن التحول الرقمي من خدمة هذا القطاع

وذلك عن طريق التشغيل الآلي الكامل لمنصات الإنتاج، والرصد الثابت لتدفق النفط الخام وتكوينه ودراسة وتأكيده العثور على احتياطات جديدة ممكنة. ولذلك قامت العديد من الدول بالعمل على تطوير وتوسيع استخدام الطاقة المتجددة من أجل مواكبة التطور الحاصل في التحول إلى الطاقة النظيفة.

١٢. دراسة (Kunytka et al. (2024 بعنوان: تقنيات النمذجة الرقمية في صناعة التعدين:

فعالية وآفاق التحول الرقمي لمؤسسات التعدين المفتوح

هدفت هذه الدراسة إلى تحليل النماذج الرقمية المتكاملة لتحسين تشغيل مؤسسات التعدين المفتوحة، بهدف زيادة الإنتاجية وضمان السلامة والحد من التأثير البيئي في أوكرانيا. ومن بين الأساليب المستخدمة، اعتمدت الدراسة طرقاً مختلفة مثل الطريقة التحليلية وطريقة التصنيف والطريقة الوظيفية والطريقة الإحصائية وطريقة التوليف وغيرها. خلال البحث، تم إجراء تحليل للنماذج الرقمية المتكاملة لتحسين تشغيل مؤسسات التعدين المفتوحة. أدى تنفيذ النماذج الرقمية المتكاملة في مؤسسات التعدين إلى زيادة كبيرة في مستوى إنتاجية استخراج الموارد، مما يوفر تنظيمًا أكثر كفاءة لعمليات العمل. كما تم تحديد التحسن في نظام السلامة، حيث سمحت هذه النماذج بالكشف عن المخاطر المحتملة وإدارتها في الوقت المناسب. بالإضافة إلى ذلك، ساهم تطبيق تقنيات النمذجة الرقمية في تقليل التأثير السلبي على البيئة الطبيعية بشكل كبير، وتنفيذ طرق أكثر استدامة بيئيًا لاستخراج الموارد ومعالجتها. سمح دمج التقنيات الرقمية بتحسين عمليات العمل، مما يجعلها أكثر كفاءة ومرونة. كما تؤكد الدراسة على أهمية استخدام النماذج الرقمية في سياق التحليل التنبؤي واتخاذ القرار.

١٣. دراسة (Hicham & Hamza (2024، بعنوان: أبعاد استراتيجيات الذكاء الاصطناعي

والبيانات في المؤسسات الصناعية وتحقيق الريادة المستدامة: قراءة في الاستراتيجية الوطنية

للصناعة السعودية ٢٠١٦-٢٠٣٠.

سعت هذه الدراسة إلى تحقيق عدة أهداف، أولها فهم تطبيقات الذكاء الاصطناعي والبيانات كنهج لتطوير الصناعة في قطاعاتها المختلفة، مع تسليط الضوء على مراحل تطور ظهور وأهمية الذكاء الاصطناعي وتأثيره على الصناعة. كما هدفت الدراسة إلى تشخيص حالة الذكاء الاصطناعي عالميًا وتصنيف الدول في مؤشر الذكاء الاصطناعي العالمي، مع التركيز على تصنيفات الدول العربية والمملكة العربية السعودية، لا سيما على المستوى العالمي. بالإضافة إلى ذلك، سعت الدراسة إلى فهم الاستراتيجية الوطنية للمملكة العربية السعودية للبيانات والذكاء الاصطناعي، بهدف دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي وتحليل البيانات مع جميع الخطط المتعلقة بكل قطاع اقتصادي، وذلك من خلال تحليل الاستراتيجية الوطنية الصناعية السعودية ٢٠١٦-٢٠٣٠.

وقد وجدت الدراسة أنه من الصعب للغاية تخيل صناعة لن تتأثر بشكل كبير بالبيانات والذكاء الاصطناعي، مما يساهم في تعزيز الأداء الاقتصادي، وتقليل التكاليف، وتحسين الكفاءة التشغيلية. من المتوقع أن يرفع الذكاء الاصطناعي الناتج المحلي الإجمالي العالمي بحوالي ١٤%، أي ما يعادل حوالي

٥٨.٩ تريليون ريال سعودي بحلول عام ٢٠٣٠. كما يُتوقع أن تكون المملكة العربية السعودية رائدة في منطقة الشرق الأوسط في سوق الذكاء الاصطناعي والبيانات الكبيرة، حيث يلعب الذكاء الاصطناعي دورًا حيويًا في مستقبل قطاع الأتمتة في المملكة. وفقًا لتقرير "التحول الرقمي ٢٠٢٠" الصادر عن المركز الأوروبي للتنافسية الرقمية، احتلت المملكة المرتبة الأولى بين دول مجموعة العشرين. ويشير هذا الاستثمار الكبير في الذكاء الاصطناعي إلى أن معالم القطاع الصناعي ستتغير بشكل جذري في المستقبل.

١٤. دراسة (Firoozi et al. (2024)، بعنوان: إدارة الأحمال الاستراتيجية: تعزيز الكفاءة البيئية

في عمليات التعدين من خلال التقنيات الآلية

تتناول هذه الدراسة التأثير التحويلي لتقنيات تحليل الأحمال الآلية في قطاعي البناء والتعدين، في مواجهة المطالب العالمية المتزايدة بالممارسات المستدامة. يهدف البحث إلى سد الفجوة بين منهجيات التشغيل التقليدية وأحدث تقنيات الأتمتة، مع التركيز على دمج أنظمة الوزن على متن المركبات، وإنترنت الأشياء، والتعلم الآلي في عمليات التعدين. من خلال دراسات حالة تفصيلية، تبرز الدراسة كيفية مساهمة هذه الابتكارات التكنولوجية في تحسين الكفاءة التشغيلية، لا سيما عبر تحسين إدارة الأحمال، وتقليل استهلاك الوقود، وتخصيص الموارد الأمثل، مما يعزز تقليص البصمة البيئية للأنشطة التعدينية. كما تعالج الدراسة قضايا الاستدامة الحرجة مثل تحول القوى العاملة، وإشراك أصحاب المصلحة، والآثار البيئية الأوسع لتبني التقنيات الآلية في التعدين. وتختتم الدراسة بتوصيات سياسية استراتيجية تدعو إلى التبنى الواسع للأنظمة الآلية في قطاع البناء لتحقيق نتائج بيئية واقتصادية أفضل. يسلط البحث الضوء على دور الابتكار التكنولوجي في مواءمة عمليات التعدين مع أهداف التنمية المستدامة، مما يجعل تحليل الحمل الآلي استراتيجية محورية لتعزيز الكفاءة البيئية في صناعات البناء والتعدين.

١٥. دراسة (Zvarivadza et al. (2024)، بعنوان: حول تأثير إنترنت الأشياء الصناعي

(IIoT) - وجهات نظر قطاع التعدين

هدفت الدراسة إلى تحليل تطبيق تقنيات إنترنت الأشياء الصناعية (IIoT) في صناعة التعدين، بهدف تحسين السلامة، الإنتاجية، والاستدامة البيئية، مع اقتراح بنية شاملة لتكامل هذه التقنيات في العمليات التعدينية. اعتمدت الدراسة على تحليل الوضع الراهن لتقنيات المعلومات في هذا القطاع، مع التركيز على تنوع الأنظمة والأجهزة المستخدمة وتقييم تأثيرها. وتوصلت إلى أن تقنيات إنترنت الأشياء الصناعية تساهم بشكل كبير في أتمتة العمليات، توفير بيئة عمل أكثر أمانًا، تعزيز الامتثال للمعايير، ومعالجة القضايا البيئية بفعالية، مما أدى إلى تحسينات ملحوظة في الكفاءة والاستدامة. كما حددت الدراسة الفجوات والتحديات التي تعيق تبني هذه التقنيات، داعيةً إلى مزيد من البحث والتطوير لتجاوزها ودعم التحول الرقمي في صناعة التعدين.

١٦. دراسة (Zaman et al. (2024)، بعنوان: مراجعة كفاءة الطاقة والوعي البيئي في صناعة

المعادن في ظل التحول الرقمي: مراجعة شاملة

هدفت هذه الدراسة إلى استكشاف التحول الرقمي في صناعة المعادن والصناعات الاستخراجية، مع التركيز على تعزيز كفاءة الطاقة وتحقيق الاستدامة البيئية. تم تحليل العوامل الجيولوجية المؤثرة في انتقائية التعدين والتقنيات المخصصة لتحسين رفض النفايات، مثل استخدام معدات حفر الأنفاق والتقنيات غير المُفجّرة، non-explosive techniques، التي تساهم في تقليل استهلاك الطاقة وتحسين استرداد المعادن. كما تم استكشاف تطبيق أنظمة فرز الخام والنفايات الآلية ذات استهلاك المياه المنخفض، بالإضافة إلى تقنيات الترشيح الانتقائي لمعالجة الخامات منخفضة الدرجة والمعقدة. أظهرت النتائج أن دمج هذه التقنيات يساهم بشكل كبير في تقليل نفقات التعدين وتحسين الكفاءة. كما أكدت الدراسة أن العوامل مثل خصائص جسم الخام، واختيار تقنيات التعدين والمعدات، وحجم التنفيذ، والالتزام بالاستراتيجيات الدائرية، وكفاءة استخراج الخام، بالإضافة إلى الاعتبارات الاجتماعية والاقتصادية، تمثل عوامل حاسمة في تطوير وتطبيق الأساليب المبتكرة في صناعة التعدين.

ثالثاً: التعقيب على الدراسات السابقة

تتفق الدراسات السابقة على الدور المحوري للتحول الرقمي في تحسين كفاءة العمليات الصناعية، خاصة في قطاع التعدين. فمثلاً، أوضحت دراسة (Dragičević and Bošnjak (2019 أن استخدام نظام برمجي يعتمد على الحوسبة السحابية ساهم في تحسين النموذج التشغيلي لشركات التعدين. كما أكدت دراسة (Aziz et al. (2020 على أهمية إنترنت الأشياء الصناعي في تمكين مراقبة المعدات في الوقت الفعلي وتقليل الأعطال غير المتوقعة، مما يعزز الكفاءة التشغيلية. وبالمثل، ركزت دراسة (Barnewold & Lottermoser (2020 على ارتباط تطبيق التقنيات الرقمية بحجم الإنتاج، حيث أظهرت أن المناجم الكبرى تستفيد بشكل أكبر من هذه التقنيات مقارنة بالمناجم الأصغر.

كما أن أحد الموضوعات المشتركة بين تلك الدراسات هو تأثير التحول الرقمي على السلامة التشغيلية. فمثلاً، تناولت دراسة (Bi et al. (2022 استخدام الروبوتات والأتمتة لتقليل تدخل العامل البشري في البيئات الخطرة، مما يقلل الحوادث ويزيد من أمان العمليات. بالإضافة إلى ذلك، ركزت دراسة (Kunytska et al. (2024 على استخدام أنظمة الاستشعار لتحسين السلامة وتقليل المخاطر داخل المناجم.

على الرغم من هذه الاتفاقات، توجد اختلافات واضحة بين الدراسات في نطاق التحليل والأدوات المستخدمة. حيث تناولت دراسة (Van Hau et al. (2022 قطاع التعدين في فيتنام وتطبيق تقنيات التعدين الذكي لتحقيق إنتاجية أفضل وتقليل التأثير البيئي. في المقابل، قدمت دراسة (Barnewold & Lottermoser (2020 تحليلاً عالمياً لأنماط استخدام التكنولوجيا الرقمية في المناجم، مع التركيز على

التحديات التي تواجه الشركات الصغيرة والمتوسطة في تبني هذه التقنيات. كما ركزت دراسة Aziz et al. (2020) على إنترنت الأشياء الصناعي، بينما استعرضت دراسة Bi et al. (2022) لأنظمة الروبوتية وتطبيقات التعدين السحابي.

كما تباينت الدراسات السابقة في منهجيات البحث المستخدمة بناءً على أهدافها ونطاقها، مما أدى إلى تنوع النتائج والرؤى. حيث اعتمدت بعض الدراسات على المنهج التجريبي، مثل دراسة Dragičević and Bošnjak (2019)، التي أجرت مقابلات شبه منظمة مع مسؤولين في شركة تعدين لتحليل تجربة تطوير نظام برمجي لتحليل البيانات. في المقابل، لجأت دراسات أخرى إلى المنهج الوثائقي لتحليل الوضع الحالي للتحويل الرقمي، كما هو الحال في دراسة Van Hau et al. (2022) التي ركزت على تقييم التحويل الرقمي في قطاع تعدين الفحم والمعادن في فيتنام. كما استخدمت دراسة Barnewold & Lottermoser (2020) منهجية قائمة على تحليل البيانات الكمية، حيث تم تحليل بيانات من ١٥٨ منجمًا عالميًا لتوضيح العلاقة بين حجم الإنتاج واعتماد التقنيات الرقمية. من جهة أخرى، ركزت دراسة Aziz et al. (2020) على تطوير نماذج نظرية من خلال تقديم بنية مقترحة لإنترنت الأشياء الصناعي (IIoT) لمعالجة تحديات القطاع. كما اعتمدت دراسة Maroufkhani et al. (2022) على مراجعة أدبية منهجية لتحليل ١٥١ مقالًا أكاديميًا بهدف استعراض الوضع الراهن وتحديد الاتجاهات المستقبلية للتحويل الرقمي في قطاعات التعدين والطاقة.

وبمقارنة الدراسات السابقة بالدراسة الحالية، نجد أن الدراسة الحالية تتفق مع عدة دراسات مثل دراسة Dragičević and Bošnjak (2019) و Mthimkhulu (2023) من حيث الهدف المتمثل بالكشف عن دور التحويل الرقمي في تحسين كفاءة العمليات الصناعية في قطاع التعدين، و تختلف مع معظم الدراسات السابقة من حيث بيئة التطبيق، كما تعمل الدراسة الحالية على ربط أهدافها برؤية المملكة ٢٠٣٠، وهو ما يمنحها سياقًا مميزًا لم يُناقش في الدراسات السابقة.

رابعاً: أوجه الاستفادة من الدراسات السابقة

تتمثل أوجه الاستفادة من الدراسات السابقة في هذه الدراسة الحالية في الآتي:

- **إثراء الإطار النظري للدراسة،** حيث وفرت الدراسات السابقة قاعدة معرفية شاملة حول دور التحويل الرقمي في تحسين كفاءة العمليات الصناعية، مما يعزز الأساس النظري للدراسة الحالية.
- **القدرة على تحديد منهج الدراسة بوضوح،** فضلاً عن تحديد أدوات الدراسة، فقد ساعد التنوع في منهجيات الدراسات السابقة، مثل المنهج التجريبي والتحليل الكمي، والمنهج الوثائقي في توجيه الدراسة الحالية لاختيار منهج مناسب يركز على التحليل والنوعي لتقييم التحويل الرقمي بعمق في قطاع التعدين السعودي.

- الاستفادة من الدراسات السابقة في صياغة مشكلة وتساؤلات الدراسة وتوضيحها بشكل جيد، حيث وفرت الدراسات رؤية واضحة لفهم واقع التحول الرقمي في صناعة التعدين في ظل الثورة الصناعية الرابعة، وفوائد تطبيقه، بالإضافة إلى التحديات الرئيسية التي تعيق التحول الرقمي، مثل ارتفاع التكاليف ونقص المهارات، وضعف البنية التحتية التقنية، مما ساعد في صياغة مشكلة الدراسة الحالية وتساؤلاتها بشكل أكثر تحديداً.
- الاستفادة من الدراسات السابقة في دعم نتائج الدراسة الحالية ووضع التوصيات، حيث أسهمت النتائج المستخلصة من الدراسات السابقة، مثل دور التحول الرقمي في تعزيز الإنتاجية وتقليل التكاليف، وتحقيق الاستدامة البيئية، في توفير مرجعية تدعم نتائج الدراسة الحالية وتساهم في صياغة توصيات عملية موجهة لتطوير قطاع التعدين السعودي.

خامساً: ما يميز الدراسة الحالية عن الدراسات السابقة

تتميز الدراسة الحالية بتركيزها على قطاع التعدين في المملكة العربية السعودية، وهو مجال لم يتم تناوله بشكل محدد في الدراسات السابقة. بالإضافة إلى ذلك، فإنها ترتبط بشكل وثيق بأهداف رؤية المملكة ٢٠٣٠، التي تسعى إلى تطوير قطاع التعدين كمصدر رئيسي للدخل الوطني وتحقيق التنوع الاقتصادي بعيداً عن النفط. يضيف هذا الارتباط بعداً محلياً واستراتيجياً للدراسة.

وعلى مستوى المنهجية، تجمع الدراسة بين التحليل النظري والتطبيقي لاستكشاف فرص وتحديات التحول الرقمي في قطاع التعدين السعودي. كما ستقدم الدراسة توصيات عملية مستوحاة من التجارب الدولية، كما تركز الدراسة على معالجة التحديات المحلية، مثل نقص البنية التحتية الرقمية ونقص الكفاءات المؤهلة، مما يمنحها عمقاً عملياً يتجاوز الدراسات الأخرى. كما أن الدراسة الحالية تهدف إلى تقديم حلول مبتكرة وشاملة لتحفيز التحول الرقمي في قطاع التعدين السعودي، مع ضمان توافقها مع السياق المحلي، مما يجعلها إضافة قيمة للأبحاث في هذا المجال.

الفصل الثالث

منهجية الدراسة وإجراءاتها

- تمهيد
- منهج الدراسة
- مجتمع الدراسة
- عينة الدراسة
- أداة الدراسة
- بناء أداة الدراسة
- صدق أداة الدراسة
- ثبات أداة الدراسة
- أساليب تحليل البيانات

الفصل الثالث: منهجية الدراسة وإجراءاتها

تمهيد:

يتناول هذا الفصل وصف لإجراءات البحث الميدانية التي قام بها الباحث لتحقيق أهداف البحث، وتتضمن تحديد المنهج المتبع في البحث، ومجتمع البحث، وعينة البحث، وأداة البحث والتحقق من صدقها وثباتها، والمعالجة الإحصائية المستخدمة في تحليل النتائج.

منهج الدراسة:

من أجل تحقيق أهداف الدراسة؛ قام الباحث باستخدام المنهج الوصفي التحليلي وهو المنهج الملائم لهذه الدراسة، ويعرف المنهج الوصفي التحليلي بأنه: " ذلك النوع من البحوث الذي يتم بواسطته استجواب جميع أفراد مجتمع البحث، أو عينة كبيرة منهم، وذلك بهدف وصف الظاهرة المدروسة، من حيث طبيعتها، ودرجة وجودها فقط (العساف، ١٤٣٣هـ، ١٧٩) .

مجتمع الدراسة:

يتكون المجتمع الكامل لهذه الدراسة من شركات التعدين في المملكة العربية السعودية التي نفذت أو هي في طور تنفيذ التكنولوجيا الرقمية وتبني الحلول الرقمية في العمليات الصناعية.

عينة الدراسة:

تتمثل عينة الدراسة في مستويات الإدارة العليا والمتوسطة والصغيرة المتعلقة بالعمليات الصناعية داخل شركات التعدين في المملكة العربية السعودية.، وعددهم (٣٧٠) فرد.

أداة الدراسة:

بعد أن تم الاطلاع على الدراسات السابقة المتعلقة بموضوع البحث والاستعانة بالإطار النظري للبحث، قام الباحث بالاستعانة بالاستبيان كأداة الدراسة بهدف التعرف على دور التحول الرقمي في تحسين كفاءة العمليات الصناعية في قطاع التعدين بالمملكة العربية السعودية.

بناء أداة الدراسة:

تم استخدام الاستبيان كأداة للدراسة بهدف التعرف على دور التحول الرقمي في تحسين كفاءة العمليات الصناعية في قطاع التعدين بالمملكة العربية السعودية، وقد قام الباحث بإعداد الاستبيان، من خلال

مراجعة الأدبيات المتعلقة بهدف البحث، وكذلك بعد الاطلاع على الدراسات السابقة ومراجعة أدواتها المتعلقة بموضوع الدراسة الحالية، حيث يتكون الاستبيان من جزأين رئيسيين كما يلي :

• **الجزء الأول:** ويشمل البيانات الأولية لأفراد عينة الدراسة

• **الجزء الثاني:** ويشمل محاور الدراسة ويتكون من ثلاث محاور رئيسية كما يلي:

١. **المحور الأول:** واقع تنفيذ التحول الرقمي في العمليات الصناعية ويتكون من (١٥) فقرة

٢. **المحور الثاني:** تحديات تطبيق التحول الرقمي في العمليات الصناعية ويتكون من (١٤) فقرة

٣. **المحور الثالث:** تأثير تطبيق التحول الرقمي في كفاءة العمليات الصناعية ويتكون من (١١) فقرة

صدق أداة الدراسة:

إن صدق الأداة يعني التأكد من أنها سوف تقيس ما أعدت لقياسه، كما يُقصد بالصدق " شمول الاستبانة لكل العناصر التي يجب أن تدخل في التحليل من ناحية، ووضوح فقراتها ومفرداتها من ناحية أخرى، بحيث تكون مفهومة لكل من يستخدمها (العساف، ١٤٣٣ هـ، ص ٣١٠) وقد قام الباحث بالتأكد من صدق أداة الدراسة من خلال القيام بما يلي:

• **الصدق الظاهري للأداة (التحكيمي):**

بعد الانتهاء من بناء أداة الدراسة، تمَّ عرضها على عدد من أعضاء هيئة التدريس المتخصصين؛ وذلك للاسترشاد بأرائهم، وقد طُلب من المحكَّمين إبداء الرأي حول مدى وضوح العبارات، ومدى ملاءمتها لما وُضعت لأجله، ومدى مناسبة العبارات للمحور الذي تنتمي إليه، مع وضع التعديلات والاقتراحات التي يمكن من خلالها تطوير الاستبيان.

وقد تمَّ الأخذ بملاحظات المحكَّمين، واعتماد العبارة التي اتَّفَق عليها من قبل المحكَّمين بنسبة تزيد عن (85%) فأكثر.

• **صدق البناء لأداة الدراسة:**

بعد التأكد من الصدق الظاهري لأدوات الدراسة قام الباحث بالتأكد من صدق البناء الداخلي وذلك بتطبيق الاستبيان على عينة استطلاعية مكونة من (٣٠) فرد خارج عينة الدراسة ولهم نفس خصائص عينة الدراسة وتم حساب صدق البناء لفقرات محاور الاستبيان، حيث تم حساب معامل الارتباط بين إجابات العينة على كل فقرة من كل محور، وبين إجمالي إجابات العينة عن جميع فقرات المحور التابعة له الفقرة، حيث جاءت النتائج على النحو التالي:

المحور الأول: واقع تنفيذ التحول الرقمي في العمليات الصناعية

جدول (٣ - ١) صدق الاتساق بين كل فقرة من فقرات المحور الأول والدرجة الكلية للمحور

معامل الارتباط	الفقرة
.734**	تعتمد الشركة على أنظمة رقمية لإدارة الإنتاج.
.794**	تستخدم الشركة التكنولوجيا الرقمية لتحسين جودة المنتجات.
.738**	تنفذ الشركة الصيانة الدورية باستخدام أدوات التحليل الرقمي.
.852**	توظف الشركة تقنيات تحليل البيانات الضخمة لتحسين كفاءة الإنتاج.
.836**	تُدعم الشركة الأجهزة الذكية في عمليات التحكم الصناعي.
.818**	تُحلل الشركة البيانات الفورية لاتخاذ قرارات تشغيلية دقيقة.
.827**	تستخدم الشركة أنظمة رقمية لمراقبة الأداء التشغيلي.
.798**	تستخدم الشركة التقنيات الرقمية التي تعزز التكامل بين أقسام الإنتاج المختلفة.
.770**	تستخدم الشركة تكنولوجيا رقمية تحقق مرونة العمليات الصناعية.
.826**	تستخدم الشركة أنظمة تخطيط الموارد الرقمية لتحسين الكفاءة الإنتاجية.
.782**	تُطبق الشركة تقنيات الواقع المعزز في التدريب على العمليات التشغيلية.
.841**	تُسهّم التحليلات الرقمية التي تجريها الشركة في تحسين استدامة العمليات الصناعية.
.849**	تستخدم الشركة أنظمة رقمية لتقليل الأخطاء البشرية في الإنتاج.
.788**	تستخدم الشركة نماذج المحاكاة الرقمية لتخطيط العمليات الإنتاجية.
.842**	تحقق الشركة مستويات عالية من الأمان الصناعي بسبب رقمنة عملياتها.

**دال عند مستوى دلالة ٠.٠١

يتضح من الجدول السابق أن معاملات الارتباط بين الفقرات بالمحور الأول والدرجة الكلية للمحور الأول " واقع تنفيذ التحول الرقمي في العمليات الصناعية " جاءت جميعها موجبة ودالة إحصائية وذات قيم متوسطة ومرتفعة، فضلاً عن كونها ذات دلالة إحصائية مما يشير إلى تمتع المحور بدرجة صدق مرتفعة جداً وعليه فإن هذه النتيجة توضح صدق فقرات المحور وصلاحيته للتطبيق الميداني.

المحور الثاني: تحديات تطبيق التحول الرقمي في العمليات الصناعية

جدول (٣ - ٢) صدق الاتساق بين كل فقرة من فقرات المحور الثاني والدرجة الكلية للمحور

معامل الارتباط	الفقرة
.753**	يفتقر العاملون إلى المهارات التقنية اللازمة لاستخدام الأنظمة الرقمية الجديدة.
.618**	ترتفع تكاليف تحديث وتطوير الأجهزة والمعدات، مما يؤدي إلى إبطاء التنفيذ.
.719**	تعيق الأنظمة القديمة توافق التقنيات الرقمية الحديثة، مما يحد من فاعلية التحول الرقمي.
.737**	يرفض بعض الموظفين تغيير طرق العمل التقليدية، مما يؤثر على نجاح الرقمنة.
.711**	تغيب الخطط الاستراتيجية الواضحة للتحول الرقمي، مما يعطل التنفيذ الفعال.
.821**	يتخوف المسؤولون من مخاطر التهديدات الإلكترونية، مما يؤثر على ثقتهم في الأنظمة الرقمية.
.866**	يعاني فريق تكنولوجيا المعلومات من ضغط العمل أثناء تنفيذ الرقمنة، مما يحد من كفاءته.
.745**	تتشكل فرق العمل أحياناً في تحقيق التكامل بين العمليات اليدوية والرقمية، مما يعطل تدفق العمل.
.714**	تتأخر عملية اختيار التكنولوجيا المناسبة، مما يؤجل بدء تطبيق التحول الرقمي.
.830**	يضعف نقص الدعم الفني المستمر استقرار الأنظمة الرقمية ويؤثر على أدائها.
.680**	يقلل ضعف الاتصال بشبكات الإنترنت من كفاءة الأنظمة الرقمية ويعطل بعض الوظائف.
.774**	تؤثر قلة التدريب المقدم للموظفين على قدرتهم في استخدام الأنظمة الرقمية بفعالية.
.731**	يحد غياب الوعي بأهمية التحول الرقمي من استثمار الموارد اللازمة لتحقيقه.
.564**	تؤدي متطلبات الامتثال للمعايير الصناعية إلى تأخير تنفيذ الرقمنة وإبطاء تبني التقنيات الجديدة.

**دال عند مستوى دلالة ٠.٠٠١

يتضح من الجدول السابق أن معاملات الارتباط بين الفقرات بالمحور الثاني والدرجة الكلية للمحور الثاني: " تحديات تطبيق التحول الرقمي في العمليات الصناعية " جاءت جميعها موجبة ودالة إحصائياً وذات قيم متوسطة ومرتفعة، فضلاً عن كونها ذات دلالة إحصائية مما يشير إلى تمتع المحور بدرجة صدق مرتفعة جداً وعليه فإن هذه النتيجة توضح صدق فقرات المحور وصلاحيته للتطبيق الميداني.

المحور الثالث: تأثير تطبيق التحول الرقمي في كفاءة العمليات الصناعية

جدول (٣ - ٣) صدق الاتساق بين كل فقرة من فقرات المحور الثالث والدرجة الكلية للمحور

معامل الارتباط	الفقرة
.805**	يعزز التحول الرقمي المرونة التشغيلية للعمليات الإنتاجية.
.840**	يزيد استخدام الأنظمة الرقمية من حسن استخدام الموارد
.846**	يقلل التحول الرقمي من التكاليف التشغيلية على المدى الطويل.
.740**	يحسن التحول الرقمي مرونة العمليات الصناعية واستجابتها للمتغيرات.
.757**	يدعم التحول الرقمي استدامة العمليات وتقليل الهدر.
.759**	يزيد استخدام التحليلات الرقمية من دقة التوقعات الإنتاجية.
.892**	يُحسن تطبيق تقنيات الصيانة التنبؤية استمرارية العمل.
.890**	يقلل التحول الرقمي من الأخطاء البشرية في عمليات الإنتاج.
.608**	يُسرع استخدام الأتمتة الرقمية العمليات التصنيعية.
.557**	يُمكّن التحول الرقمي من مراقبة الأداء في الوقت الحالي.
.613**	يُسهم استخدام الأنظمة الرقمية في تحسين سلامة العمال.

**دال عند مستوى دلالة ٠.٠١

يُتضح من الجدول السابق أن معاملات الارتباط بين الفقرات بالمحور الثالث والدرجة الكلية للمحور الثالث: " تأثير تطبيق التحول الرقمي في كفاءة العمليات الصناعية " جاءت جميعها موجبة ودالة إحصائياً وذات قيم متوسطة ومرتفعة، فضلاً عن كونها ذات دلالة إحصائية مما يشير إلى تمتع المحور بدرجة صدق مرتفعة جداً وعليه فأن هذه النتيجة توضح صدق فقرات المحور وصلاحيته للتطبيق الميداني.

ثبات أداة الدراسة:

ثبات أداة الدراسة يعني أن الأداة ستعطي نفس النتائج تقريباً عند تطبيقها مرات عديدة على العينة نفسها ويقصد به إلى أي درجة تعطي أداة الدراسة قراءات متقاربة عند كل مرة تستخدم فيها، او يعني التأكد من ان الاستجابة ستكون واحدة تقريباً لو تكرر تطبيقها على أشخاص مختلفين في اوقات مختلفة، وقد تم استخدام معامل ألفا كرونباخ (Alpha Chronbach) للتأكد من ثبات أداة الدراسة وذلك بتطبيق الاستبانة على عينة استطلاعية مكونة من (٣٠) فرد لهم نفس خصائص عينة الدراسة باستخدام

معاملات ثبات ألفا كرونباخ، لمحاور الاستبانة، ويوضح الجدول التالي قيم معاملات الثبات ألفا كرونباخ لكل محور من محاور الاستبانة:

جدول (٣ - ٤) معامل ثبات ألفا كرونباخ لمحاور الاستبانة

المحور	عدد الفقرات	معامل ألفا كرونباخ
واقع تنفيذ التحول الرقمي في العمليات الصناعية	15	.837
تحديات تطبيق التحول الرقمي في العمليات الصناعية	14	.824
تأثير تطبيق التحول الرقمي في كفاءة العمليات الصناعية	11	.812
الدرجة الكلية للثبات	40	.855

تشير نتائج الجدول السابق إلى أن معاملات الثبات بطريقة ألفا كرونباخ كانت مناسبة لأغراض البحث العلمي؛ حيث تشير نتائج الجدول السابق إلى ارتفاع معاملات الثبات بطريقة ألفا كرونباخ على كافة محاور الاستبانة وكذلك على الدرجة الكلية، حيث بلغت (٠.٨٥٥) مما يدل على صلاحية الاستبانة لتحقيق أهداف الدراسة والإجابة على تساؤلاتها.

احتساب الدرجات على أداة الدراسة:

بعد أن تم تطبيق أداة الدراسة على عينة الدراسة، قام الباحث برصد الدرجات باستخدام مقياس ليكرت الخماسي، حيث إنه لكل عبارة خمسة مستويات، بحيث تعطى درجة لكل درجة موافقة، كالتالي: الدرجة (١) لدرجة الموافقة (غير موافق تماماً)، والدرجة (٢) لدرجة الموافقة (غير موافق)، والدرجة (٣) لدرجة الموافقة (محايد)، والدرجة (٤) لدرجة الموافقة (موافق)، والدرجة (٥) لدرجة الموافقة (موافق تماماً).

أساليب تحليل البيانات:

لتحقيق أهداف الدراسة وتحليل البيانات التي تم تجميعها، تم استخدام العديد من الأساليب الإحصائية المناسبة باستخدام الحزم الإحصائية للعلوم الاجتماعية، والتي يرمز لها اختصاراً بالرمز (SPSS). وذلك بعد ترميز وإدخال البيانات إلى الحاسب الآلي، حيث أعطيت الإجابة: (موافق تماماً = ٥ درجات)، (موافق = ٤ درجات)، (محايد = ٣ درجات)، (غير موافق = ٢ درجتين)، (غير موافق تماماً = ١ درجة واحدة)، ومن ثم قام الباحث بحساب الوسط الحسابي لإجابات أفراد مجتمع الدراسة.

ولتحديد طول خلايا المقياس الخماسي (الحدود الدنيا والعليا) المستخدم في محاور الدراسة، تم حساب المدى (٥-١=٤)، ثم تقسيمه على عدد خلايا المقياس للحصول على طول الخلية الصحيح أي (٤/٥=٠.٨٠) بعد ذلك تم إضافة هذه القيمة إلى أقل قيمة في المقياس وذلك لتحديد الحد الأعلى لهذه الخلية، وهكذا أصبح طول الخلايا كما يوضحها الجدول الآتي:

جدول (٣ - ٥) درجة الموافقة ومدى الموافقة على مقياس ليكرت الخماسي

درجة الترميز (الوزن النسبي)	فئة المتوسط		مقياس الحكم علي النتائج
	من	إلى	
١	١	١.٨٠	غير موافق تماماً
٢	١.٨١	٢.٦٠	غير موافق
٣	٢.٦١	٣.٤٠	محايد
٤	٣.٤١	٤.٢٠	موافق
٥	٤.٢١	٥.٠٠	موافق تماماً

لخدمة اغراض الدراسة وتحليل البيانات التي تم تجميعها من خلال اداة الدراسة في الجانب الميداني، استخدمت عدد من الأساليب الإحصائية لمعرفة اتجاهات أفراد مجتمع الدراسة حول التساؤلات المطروحة، وذلك باستخدام أساليب المعالجة الإحصائية المناسبة باستخدام برنامج الحزم الإحصائية للعلوم الاجتماعية (SPSS) وذلك بعد أن تم ترميز البيانات وإدخالها إلى الحاسب الآلي، ثم تم استخراج النتائج وفقاً للأساليب الإحصائية الآتية:

١. التكرارات والنسب المئوية (Percentage & Frequencies): للتعرف على الخصائص الشخصية لأفراد عينة الدراسة.
٢. المتوسط الحسابي (Mean): لمعرفة مدى ارتفاع أو انخفاض إجابات أفراد عينة الدراسة عن المحاور الرئيسية (متوسط متوسطات العبارات).
٣. الانحراف المعياري (Standard Deviation): للتعرف على مدى انحراف إجابات أفراد عينة الدراسة لكل عبارة من عبارات متغيرات الدراسة، ولكل محور من المحاور الرئيسية عن متوسطها الحسابي، وقد استخدمت الدراسة هذا الأسلوب نظراً لأن الانحراف المعياري يوضح التشتت في إجابات أفراد عينة الدراسة لكل عبارة من عبارات متغيرات الدراسة، إلى جانب المحاور الرئيسية، فكلما اقتربت قيمته من الصفر تركزت الاجابات وانخفض تشتتها بين المقياس.
٤. معامل ارتباط بيرسون (Pearson): لقياس الاتساق الداخلي بين عبارات الأداة (الاستبانة) وكل محور تنتمي إليه.
٥. معامل الثبات ألفا كرونباخ (cronbach's Alpha- α): لحساب معامل ثبات أداة الدراسة.

الفصل الرابع

نتائج الدراسة وتفسيراتها

- تمهيد
- خصائص عينة الدراسة
- الإجابة عن أسئلة الدراسة

الفصل الرابع: نتائج الدراسة وتفسيراتها

تمهيد

يتناول ذلك عرضًا للنتائج التي توصلت إليها الدراسة الحالية، وذلك من خلال عرض استجابات أفراد عينة الدراسة لعبارات الأداة، ومعالجتها إحصائيًا، وصولًا إلى النتائج وتحليلها وتفسيرها، في ضوء الأطر النظرية، والدراسات السابقة المتعلقة بموضوع الدراسة، ويقوم الباحث بمناقشة النتائج التي توصلت إليها الدراسة وتفسيرها، من خلال الإجابة عن أسئلتها.

خصائص عينة الدراسة:

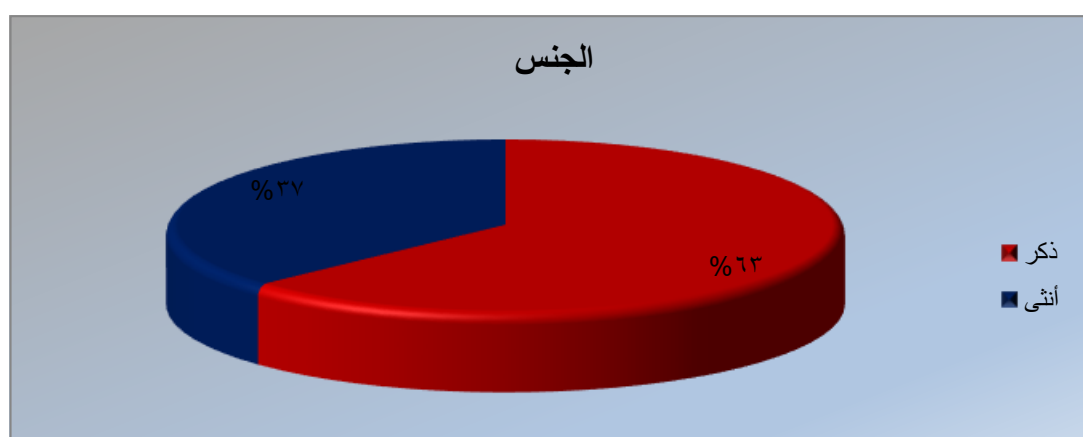
تم حساب التكرارات والنسب المئوية لأفراد عينة البحث وفقاً للمتغيرات:

١. الجنس:

جدول (٤ - ١) توزيع أفراد الدراسة وفق متغير الجنس

الجنس	التكرار	النسبة المئوية
ذكر	233	63.0
أنثى	137	37.0
المجموع	370	100%

يتضح من الجدول أنّ نسبة (٦٣%) من إجمالي أفراد عينة الدراسة من الذكور، ونسبة (٣٧%) من إجمالي أفراد الدراسة من الإناث.



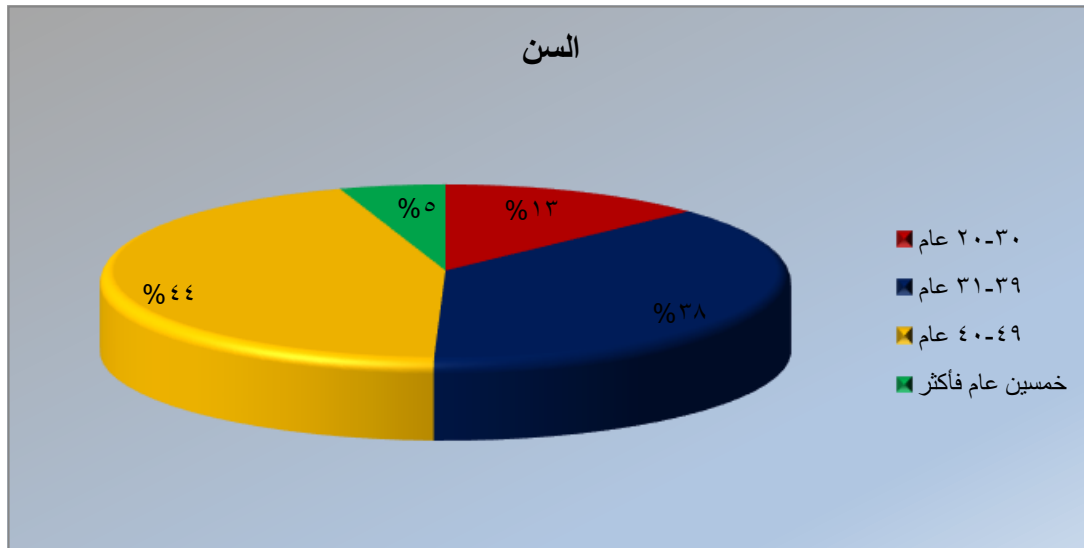
شكل (٤ - ١) توزيع أفراد الدراسة وفق متغير الجنس

٢. السن:

جدول (٤ - ٢) توزيع أفراد الدِّراسة وفق متغير السن

السن	التكرار	النسبة المئوية
20-30 عام	48	13.0
31-39 عام	139	37.6
40-49 عام	164	44.3
خمسین عام فأكثر	19	5.1
المجموع	370	100%

يتَّضح من الجدول أنَّ نسبة (٤٤.٣%) من إجمالي أفراد عينة الدِّراسة أعمارهم من ٤٠ الى ٤٩ سنة، ونسبة (٣٧.٦%) من إجمالي أفراد عينة الدِّراسة أعمارهم من ٣١ الى ٣٩ سنة، ونسبة (١٣%) من إجمالي أفراد عينة الدِّراسة أعمارهم من ٢٠ الى ٣٠ سنة، ونسبة (٥.١%) من إجمالي أفراد عينة الدِّراسة أعمارهم خمسین سنة فأكثر.



شكل (٤ - ٢) توزيع أفراد الدِّراسة وفق متغير السن

٣. سنوات الخدمة:

جدول (٤ - ٣) توزيع أفراد الدِّراسة وفق متغير سنوات الخدمة

سنوات الخدمة	التكرار	النسبة المئوية
من ١-٥ سنوات	67	18.1
من ٦-١٠ سنوات	83	22.4
11-20	168	45.4
أكثر من ٢٠ عام	52	14.1
المجموع	370	100%

يُتَّضح من الجدول أنَّ نسبة (٤٥.٤ %) من إجمالي أفراد عينة الدِّراسة عدد سنوات خبرتهم من ١١ الى ٢٠ سنة، ونسبة (٢٢.٤ %) من إجمالي أفراد عينة الدِّراسة عدد سنوات خبرتهم من ٦ الى ١٠ سنوات، ونسبة (١٨.١ %) من إجمالي أفراد عينة الدِّراسة عدد سنوات خبرتهم من ١ الى ٥ سنوات، ونسبة (١٤.١ %) من إجمالي أفراد عينة الدِّراسة عدد سنوات خبرتهم أكثر من ٢٠ سنة.



شكل (٣٤-) توزيع أفراد الدِّراسة وفق متغير سنوات الخدمة

الإجابة عن أسئلة الدراسة

السؤال الاول: ما هو واقع تنفيذ التحول الرقمي في العمليات الصناعية ضمن قطاع التعدين في المملكة العربية السعودية؟

للتعرف على واقع تنفيذ التحول الرقمي في العمليات الصناعية ضمن قطاع التعدين في المملكة العربية السعودية تم حساب المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والرتبة لفقرات المحور الاول وجاءت النتائج كما يلي:

جدول (٤ - ٤) المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات المحور الأول

رقم الفقرة	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الرتبة	درجة الموافقة
١	تعتمد الشركة على أنظمة رقمية لإدارة الإنتاج.	4.32	.716	١	موافق تماما
٢	تستخدم الشركة التكنولوجيا الرقمية لتحسين جودة المنتجات.	4.19	.737	٥	موافق
٣	تنفذ الشركة الصيانة الدورية باستخدام أدوات التحليل الرقمي.	4.10	.747	١٠	موافق
٤	توظف الشركة تقنيات تحليل البيانات الضخمة لتحسين كفاءة الإنتاج.	4.21	.824	٣	موافق تماما
٥	تُدمج الشركة الأجهزة الذكية في عمليات التحكم الصناعي.	4.02	.796	١١	موافق
٦	تُحلل الشركة البيانات الفورية لاتخاذ قرارات تشغيلية دقيقة.	4.20	.821	٤	موافق
٧	تستخدم الشركة أنظمة رقمية لمراقبة الأداء التشغيلي.	4.17	.835	٧	موافق
٨	تستخدم الشركة التقنيات الرقمية التي تعزز التكامل بين أقسام الإنتاج المختلفة.	3.89	.862	١٣	موافق
٩	تستخدم الشركة تكنولوجيا رقمية تحقق مرونة العمليات الصناعية.	3.92	.855	١٢	موافق
١٠	تستخدم الشركة أنظمة تخطيط الموارد الرقمية لتحسين الكفاءة الإنتاجية.	3.78	.879	١٤	موافق
١١	تُطبق الشركة تقنيات الواقع المعزز في التدريب على العمليات التشغيلية.	4.16	.879	٨	موافق
١٢	تُسهم التحليلات الرقمية التي تجريها الشركة في تحسين استدامة العمليات الصناعية.	4.19	.857	٦	موافق
١٣	تستخدم الشركة أنظمة رقمية لتقليل الأخطاء البشرية في الإنتاج.	3.67	.817	١٥	موافق
١٤	تستخدم الشركة نماذج المحاكاة الرقمية لتخطيط العمليات الإنتاجية.	4.14	.903	٩	موافق
١٥	تحقق الشركة مستويات عالية من الأمان الصناعي بسبب رقمنة عملياتها.	4.24	.763	٢	موافق تماما
المتوسط العام		٤.٠٨	٠.٨٢	موافق	

يتبين من الجدول السابق أن واقع تنفيذ التحول الرقمي في العمليات الصناعية ضمن قطاع التعدين في المملكة العربية السعودية جاء بدرجة مرتفعة، حيث جاء المتوسط العام مساويا (٤.٠٨) ودرجة موافقة

(موافق)، بانحراف معياري بلغ (٠.٨٢)، وهي قيمة منخفضة تدل على تجانس آراء أفراد عينة الدراسة حول واقع تنفيذ التحول الرقمي في العمليات الصناعية ضمن قطاع التعدين في المملكة العربية السعودية وتراوح قيم الانحرافات المعيارية بين (٠.٩٠٣ - ٠.٧١٦)، وجاءت جميع الفقرات ذات قيم منخفضة؛ مما يوضح تجانس آراء أفراد عينة الدراسة حول تلك الفقرات

وجاءت في الترتيب الأول الفقرة رقم (١): (تعتمد الشركة على أنظمة رقمية لإدارة الإنتاج)، بمتوسط حسابي بلغ (٤.٣٢)، وانحراف معياري بلغ (٠.٧١٦)، ودرجة موافقة (موافق)، وفي الترتيب الثاني الفقرة رقم (١٥): (تحقق الشركة مستويات عالية من الأمان الصناعي بسبب رقمنة عملياتها)، بمتوسط حسابي بلغ (٤.٢٤)، وانحراف معياري بلغ (٠.٧٦٣)، ودرجة موافقة (موافق)، وفي الترتيب الثالث الفقرة رقم (٤): (توظف الشركة تقنيات تحليل البيانات الضخمة لتحسين كفاءة الإنتاج)، بمتوسط حسابي بلغ (٤.٢١)، وانحراف معياري بلغ (٠.٨٢٤)، ودرجة موافقة (موافق)، وفي الترتيب الرابع الفقرة رقم (٦): (تُحلل الشركة البيانات الفورية لاتخاذ قرارات تشغيلية دقيقة)، بمتوسط حسابي بلغ (٤.٢)، وانحراف معياري بلغ (٠.٨٢١)، ودرجة موافقة (موافق)، وفي الترتيب الخامس الفقرة رقم (٢): (تستخدم الشركة التكنولوجيا الرقمية لتحسين جودة المنتجات)، بمتوسط حسابي بلغ (٤.١٩)، وانحراف معياري بلغ (٠.٧٣٧)، ودرجة موافقة (موافق)، وفي الترتيب السادس الفقرة رقم (١٢): (تُسهّم التحليلات الرقمية التي تجريها الشركة في تحسين استدامة العمليات الصناعية)، بمتوسط حسابي بلغ (٤.١٩)، وانحراف معياري بلغ (٠.٨٥٧)، ودرجة موافقة (موافق)، وفي الترتيب الأخير الفقرة رقم (١٣): (تستخدم الشركة أنظمة رقمية لتقليل الأخطاء البشرية في الإنتاج)، بمتوسط حسابي بلغ (٣.٦٧)، وانحراف معياري بلغ (٠.٨١٧)، ودرجة موافقة (موافق).

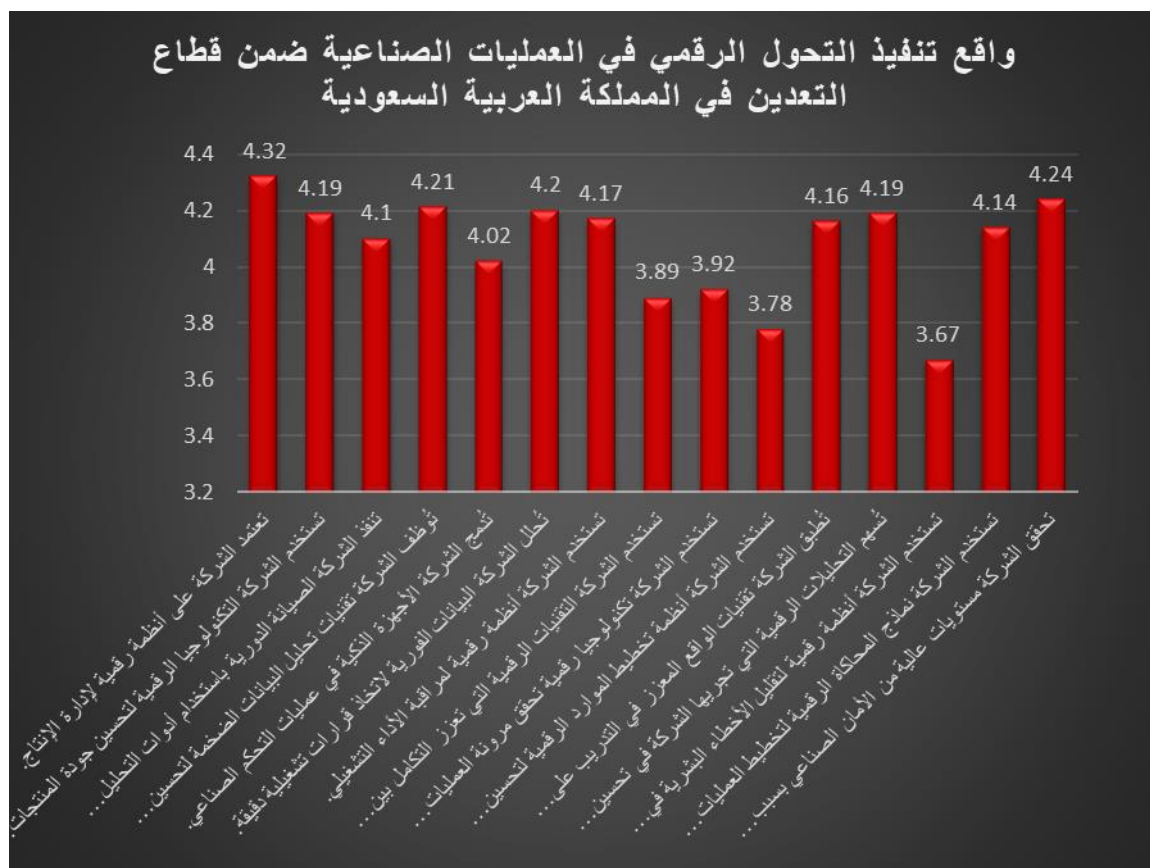
ويرى الباحث أن واقع تنفيذ التحول الرقمي في العمليات الصناعية ضمن قطاع التعدين في المملكة العربية السعودية جاء بدرجة مرتفعة، وهذا يدل على ارتفاع مستوى تنفيذ التحول الرقمي في العمليات الصناعية ضمن قطاع التعدين في المملكة العربية السعودية حيث تعتمد الشركة على أنظمة رقمية لإدارة الإنتاج كما تحقق مستويات عالية من الأمان الصناعي بسبب رقمنة عملياتها وتوظيف تقنيات تحليل البيانات الضخمة لتحسين كفاءة الإنتاج.

وربما ترجع هذه النتائج إلى الاهتمام الكبير من شركات قطاع التعدين بالتوافق مع رؤية المملكة في التحول الرقمي، وتحقيق المستهدفات الوطنية المتعلقة بهذا الجانب. وكذلك قد يرجع ذلك على طبيعة قطاع التعدين وخصوصيته حيث إنه من الضروري أن يستفيد من المكتسبات التقنية المتاحة للتوافق مع متطلبات وتحديات هذا القطاع الذي يتسم بالتطور الكبير والتنافسية الكبيرة.

وربما يرتبط ذلك بالفوائد المرجوة من التحقق الرقمي، حيث تدرك شركات قطاع التعدين هذه الفوائد، كما أشارت بعض الدراسات مثل دراسة (قنابر، ٢٠٢٣؛ Maroufkhani et al., 2022) التي أشارت إلى أن التحول الرقمي يسهم في زيادة الكفاءة والإنتاجية، وتحسين بيئة العمل وتجربة الموظفين، وزيادة

الربحية وخفض التكاليف علاوة على التوسع والنمو و تعزيز الابتكار والإبداع علاوة على تحقيق الاستدامة وتعزيز التنافسية.

كما ان التقنيات الرقمية التي يمكن ان توظف في قطاع التعدين كثرة جدا مما ييسر عملية توظيفها في هذا القطاع حيث تشير دراسة (Barnewold & Lottermoser (2020 إلى أن هناك حالياً ١٠٧ تقنية رقمية مختلفة يتم تبنيها في قطاع التعدين، كما أن عمليات التعدين الكبرى تختار وتطبق التقنيات الرقمية المناسبة لاحتياجاتها. كما تشير دراسة (Zaman et al. (2024 إلى أن التحول الرقمي في صناعة المعادن والصناعات الاستخراجية يساهم في تقليل استهلاك الطاقة وتحسين استرداد المعادن. كما أن دمج التقنيات يسهم بشكل كبير في تقليل نفايات التعدين وتحسين الكفاءة.



السؤال الثاني: ما هي التحديات الرئيسية لتنفيذ التحول الرقمي في العمليات الصناعية ضمن قطاع التعدين في المملكة العربية السعودية؟

للتعرف على التحديات الرئيسية لتنفيذ التحول الرقمي في العمليات الصناعية ضمن قطاع التعدين في المملكة العربية السعودية تم حساب المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والرتبة لفقرات المحور الثاني وجاءت النتائج كما يلي:

جدول (٤ - ٥) المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات المحور الثاني

رقم الفقرة	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الرتبة	درجة الموافقة
١٦	يفتقر العاملون إلى المهارات التقنية اللازمة لاستخدام الأنظمة الرقمية الجديدة.	3.72	.956	١١	موافق
١٧	ترتفع تكاليف تحديث وتطوير الأجهزة والمعدات، مما يؤدي إلى إبطاء التنفيذ.	4.19	.955	٥	موافق
١٨	تعيق الأنظمة القديمة توافق التقنيات الرقمية الحديثة، مما يحد من فاعلية التحول الرقمي.	4.03	.939	٧	موافق
١٩	يرفض بعض الموظفين تغيير طرق العمل التقليدية، مما يؤثر على نجاح الرقمنة.	3.94	1.041	٩	موافق
٢٠	تغيب الخطط الاستراتيجية الواضحة للتحول الرقمي، مما يعطل التنفيذ الفعال.	3.60	1.010	١٣	موافق
٢١	يتخوف المسؤولون من مخاطر التهديدات الإلكترونية، مما يؤثر على ثقتهم في الأنظمة الرقمية.	3.82	.797	١٠	موافق
٢٢	يعاني فريق تكنولوجيا المعلومات من ضغط العمل أثناء تنفيذ الرقمنة، مما يحد من كفاءته.	4.02	.890	٨	موافق
٢٣	تتشكل فرق العمل أحياناً في تحقيق التكامل بين العمليات اليدوية والرقمية، مما يعطل تدفق العمل.	3.70	.960	١٢	موافق
٢٤	تتأخر عملية اختيار التكنولوجيا المناسبة، مما يؤجل بدء تطبيق التحول الرقمي.	4.21	.972	٤	موافق تماماً
٢٥	يضعف نقص الدعم الفني المستمر استقرار الأنظمة الرقمية ويؤثر على أدائها.	3.47	1.068	١٤	موافق
٢٦	يقلل ضعف الاتصال بشبكات الإنترنت من كفاءة الأنظمة الرقمية ويعطل بعض الوظائف.	4.29	.767	٣	موافق تماماً
٢٧	تؤثر قلة التدريب المقدم للموظفين على قدرتهم في استخدام الأنظمة الرقمية بفعالية.	4.36	.795	١	موافق تماماً
٢٨	يحد غياب الوعي بأهمية التحول الرقمي من استثمار الموارد اللازمة لتحقيقه.	4.33	.803	٢	موافق تماماً
٢٩	تؤدي متطلبات الامتثال للمعايير الصناعية إلى تأخير تنفيذ الرقمنة وإبطاء تبني التقنيات الجديدة.	4.13	.861	٦	موافق
المتوسط العام		٣.٩٩	٠.٩٢	موافق	

يتبين من الجدول السابق أن التحديات الرئيسية لتنفيذ التحول الرقمي في العمليات الصناعية ضمن قطاع التعدين في المملكة العربية السعودية جاءت بدرجة مرتفعة، حيث جاء المتوسط العام مساوياً

(٣.٩٩) ودرجة موافقة (موافق)، بانحراف معياري بلغ (٠.٩٢)، وهي قيمة منخفضة تدلّ على تجانس آراء أفراد عينة الدِّراسة حول التحديات الرئيسية لتنفيذ التحول الرقمي في العمليات الصناعية ضمن قطاع التعدين في المملكة العربية السعودية

وتراوحت قيم الانحرافات المعيارية بين (١.٠٦٨ - ٠.٧٦٧)، وجاءت جميع الفقرات ذات قيم منخفضة؛ مما يوضّح تجانس آراء أفراد عينة الدِّراسة حول جميع الفقرات فيما عدا الفقرات رقم (١٩ و ٢٠ و ٢٥) فكانت قيم الانحرافات المعيارية ذات قيم مرتفعة؛ مما يوضّح تباين آراء أفراد عينة الدِّراسة حول تلك الفقرات

وجاءت في الترتيب الأول الفقرة رقم (٢٧): (تؤثر قلة التدريب المقدم للموظفين على قدرتهم في استخدام الأنظمة الرقمية بفعالية)، بمتوسّط حسابي بلغ (٤.٣٦)، وانحراف معياري بلغ (٠.٧٩٥)، ودرجة موافقة (موافق تماما)، وفي الترتيب الثاني الفقرة رقم (٢٨): (يحد غياب الوعي بأهمية التحول الرقمي من استثمار الموارد اللازمة لتحقيقه)، بمتوسّط حسابي بلغ (٤.٣٣)، وانحراف معياري بلغ (٠.٨٠٣)، ودرجة موافقة (موافق تماما)، وفي الترتيب الثالث الفقرة رقم (٢٦): (يقلل ضعف الاتصال بشبكات الإنترنت من كفاءة الأنظمة الرقمية ويعطل بعض الوظائف)، بمتوسّط حسابي بلغ (٤.٢٩)، وانحراف معياري بلغ (٠.٧٦٧)، ودرجة موافقة (موافق تماما)، وفي الترتيب الرابع الفقرة رقم (٢٤): (تتأخر عملية اختيار التكنولوجيا المناسبة، مما يؤجل بدء تطبيق التحول الرقمي)، بمتوسّط حسابي بلغ (٤.٢١)، وانحراف معياري بلغ (٠.٩٧٢)، ودرجة موافقة (موافق تماما)، وفي الترتيب الأخير الفقرة رقم (٢٥): (يضعف نقص الدعم الفني المستمر استقرار الأنظمة الرقمية ويؤثر على أدائها)، بمتوسّط حسابي بلغ (٣.٤٧)، وانحراف معياري بلغ (١.٠٦٨)، ودرجة موافقة (موافق)

ويرى الباحث أن التحديات الرئيسية لتنفيذ التحول الرقمي في العمليات الصناعية ضمن قطاع التعدين في المملكة العربية السعودية جاءت بدرجة مرتفعة، وهذا يدل على وجود العديد من التحديات الرئيسية لتنفيذ التحول الرقمي في العمليات الصناعية ضمن قطاع التعدين في المملكة العربية السعودية حيث تؤثر قلة التدريب المقدم للموظفين على قدرتهم في استخدام الأنظمة الرقمية بفعالية و يحد غياب الوعي بأهمية التحول الرقمي من استثمار الموارد اللازمة لتحقيقه كما يقلل ضعف الاتصال بشبكات الإنترنت من كفاءة الأنظمة الرقمية ويعطل بعض الوظائف كما تتأخر عملية اختيار التكنولوجيا المناسبة، مما يؤجل بدء تطبيق التحول الرقمي.

وهذا يتفق مع العديد من الدراسات حيث تشير دراسة (Dragičević and Bošnjak 2019) إلى أن التحول الرقمي في قطاع التعدين يواجه تحديات كبيرة التي لا تتعلق بالتكنولوجيا فقط، نظراً لتعقيد العمليات والأتمتة والأمان، بل تتعلق أيضاً بتشغيل استراتيجية الأعمال، وخاصة في ربط الأهداف بالمعلومات والبيانات المترابطة. بالإضافة إلى ذلك، ترتبط التحديات الكبيرة بإدارة التغيير، وخاصة عندما يتعلق الأمر بالكفاءات وتعاون الموظفين عبر الحدود التنظيمية. كما تشير دراسة Mthimkhulu

(٢٠٢٣) إلى أن التحديات المتعلقة ببطء توظيف التقنيات في قطاع التعدين تتعلق بالبيئة المعقدة لقطاع التعدين.

ويتضح ان تحديات توظيف التقنيات في قطاع التعدين متعددة الجوانب وترتبط بالقطاع نفسه وكذلك بجوانب خارج قطاع التعدين، حيث تشير دراسة (Aziz et al., 2020). إن صناعة التعدين في حد ذاتها تشتمل على مجموعة من التعقيدات والتحديات، منها عدم التجانس حيث يكون لكل منجم تخطيط مختلف حسب الظروف الطبيعية، والنقل الثقيل مع المساحات الضيقة للغاية، والاتصال اللاسلكي عبر الأعمدة والمحطات غير ممكن، والتفجير المتكرر حيث يتم تدمير الأجهزة ما لم يتم نقلها في كل مرة، وتتفاقم هذه التحديات بسبب الحاجة إلى الإنتاج المستمر لكميات كبيرة من الخام المستخرج للوصول إلى الأهداف المستهدفة المحددة لضمان الربحية في الإنتاج.

كما تشير دراسة (قنابر، ٢٠٢٣؛ لعلمي ولعلمي، ٢٠٢٢؛ Sánchez & Hartlieb, 2020) أن التحول الرقمي في قطاع التعدين يتطلب تغييرات واسعة في الأنظمة التقنية، استراتيجيات العمل، وثقافة المؤسسات وهذا يمثل معوقات واضحة في تحقيق هذا التحول، علاوة على ان التحديات منها تحديات بشرية وتحديات مادية وتحديات تنظيمية وتحديات بيئية.



السؤال الثالث: هل يؤثر تطبيق التكنولوجيا الرقمية في تحسين كفاءة العمليات الصناعية ضمن قطاع التعدين في المملكة العربية السعودية، من وجهة نظر الموظفين في شركات التعدين؟

للتعرف على أثر تطبيق التكنولوجيا الرقمية في تحسين كفاءة العمليات الصناعية ضمن قطاع التعدين في المملكة العربية السعودية، من وجهة نظر الموظفين في شركات التعدين تم حساب المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والرتبة لفقرات المحور الثالث وجاءت النتائج كما يلي:

جدول (٤ - ٦) المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات المحور الثالث

رقم الفقرة	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الرتبة	درجة الموافقة
٣٠	يعزز التحول الرقمي المرونة التشغيلية للعمليات الإنتاجية.	4.22	.855	٣	موافق تماما
٣١	يزيد استخدام الأنظمة الرقمية من حسن استخدام الموارد	4.26	.884	١	موافق تماما
٣٢	يقلل التحول الرقمي من التكاليف التشغيلية على المدى الطويل.	4.24	.952	٢	موافق تماما
٣٣	يحسن التحول الرقمي مرونة العمليات الصناعية واستجابتها للمتغيرات.	3.98	.934	٧	موافق
٣٤	يدعم التحول الرقمي استدامة العمليات وتقليل الهدر.	3.82	.822	١٠	موافق
٣٥	يزيد استخدام التحليلات الرقمية من دقة التوقعات الإنتاجية.	4.05	.936	٦	موافق
٣٦	يُحسن تطبيق تقنيات الصيانة التنبؤية استمرارية العمل.	4.09	.936	٥	موافق
٣٧	يقلل التحول الرقمي من الأخطاء البشرية في عمليات الإنتاج.	3.72	.876	١١	موافق
٣٨	يُسرع استخدام الأتمتة الرقمية العمليات التصنيعية.	3.90	.897	٨	موافق
٣٩	يُمكن التحول الرقمي من مراقبة الأداء في الوقت الحالي.	3.86	.922	٩	موافق
٤٠	يُسهم استخدام الأنظمة الرقمية في تحسين سلامة العمال.	4.14	.776	٤	موافق
المتوسط العام		٤.٠٣	٠.٨٩	موافق	

يتبين من الجدول السابق أن أثر تطبيق التكنولوجيا الرقمية في تحسين كفاءة العمليات الصناعية ضمن قطاع التعدين في المملكة العربية السعودية، من وجهة نظر الموظفين في شركات التعدين جاء بدرجة مرتفعة، حيث جاء المتوسط العام مساويا (٤.٠٣) ودرجة موافقة (موافق)، بانحراف معياري بلغ

(٠٠.٨٩)، وهي قيمة منخفضة تدلُّ على تجانس آراء أفراد عينة الدِّراسة حول أثر تطبيق التكنولوجيا الرقمية في تحسين كفاءة العمليات الصناعية ضمن قطاع التعدين في المملكة العربية السعودية، من وجهة نظر الموظفين في شركات التعدين

وتراوحت قيم الانحرافات المعيارية بين (٠.٩٥٢ - ٠.٧٧٦)، وجاءت جميع الفقرات ذات قيم منخفضة؛ مما يوضِّح تجانس آراء أفراد عينة الدِّراسة حول تلك الفقرات

وجاءت في الترتيب الأول الفقرة رقم (٣١): (يزيد استخدام الأنظمة الرقمية من حسن استخدام الموارد)، بمتوسِّط حسابي بلغ (٤.٢٦)، وانحراف معياري بلغ (٠.٨٨٤)، ودرجة موافقة (موافق تماما)، وفي الترتيب الثاني الفقرة رقم (٣٢): (يقلل التحول الرقمي من التكاليف التشغيلية على المدى الطويل)، بمتوسِّط حسابي بلغ (٤.٢٤)، وانحراف معياري بلغ (٠.٩٥٢)، ودرجة موافقة (موافق تماما)، وفي الترتيب الثالث الفقرة رقم (٣٠): (يعزز التحول الرقمي المرونة التشغيلية للعمليات الإنتاجية)، بمتوسِّط حسابي بلغ (٤.٢٢)، وانحراف معياري بلغ (٠.٨٥٥)، ودرجة موافقة (موافق تماما)، وفي الترتيب الأخير الفقرة رقم (٣٧): (يقلل التحول الرقمي من الأخطاء البشرية في عمليات الإنتاج)، بمتوسِّط حسابي بلغ (٣.٧٢)، وانحراف معياري بلغ (٠.٨٧٦)، ودرجة موافقة (موافق)

ويري الباحث أن أثر تطبيق التكنولوجيا الرقمية في تحسين كفاءة العمليات الصناعية ضمن قطاع التعدين في المملكة العربية السعودية، من وجهة نظر الموظفين في شركات التعدين جاء بدرجة مرتفعة، وهذا يدل على ارتفاع أثر تطبيق التكنولوجيا الرقمية في تحسين كفاءة العمليات الصناعية ضمن قطاع التعدين في المملكة العربية السعودية، من وجهة نظر الموظفين في شركات التعدين حيث يزيد استخدام الأنظمة الرقمية من حسن استخدام الموارد كما يقلل التحول الرقمي من التكاليف التشغيلية على المدى الطويل و يعزز التحول الرقمي المرونة التشغيلية للعمليات الإنتاجية.

ويتفق هذا مع نتائج الدراسات التي أكدت على الفوائد التي يحققها التحول الرقمي في قطاع التعدين حيث تشير دراسة Zvarivadza et al. (2024) إلى ان توظيف إنترنت الأشياء الصناعية (IIoT) في صناعة التعدين، يسهم في تحسين السلامة، الإنتاجية، والاستدامة البيئية، فتنقيات إنترنت الأشياء الصناعية تساهم بشكل كبير في أتمتة العمليات، توفير بيئة عمل أكثر أمانًا، تعزيز الامتثال للمعايير، ومعالجة القضايا البيئية بفعالية، مما يؤدي إلى تحسينات ملحوظة في الكفاءة والاستدامة.

كذلك فان التحول الرقمي يضيف العديد من المزايا لقطاع التعدين تحديدا حيث اشارت دراسة Aziz et al. (2020) إلى أن تطبيقات إنترنت الأشياء الصناعي (IIoT) في قطاع التعدين على سبيل المثال تغطي جميع مراحل التعدين، بدءًا من الاستكشاف وحتى إعادة التأهيل، وتتميز بالتحكم عن بُعد، ومعالجة البيانات، وتقنيات التوافق التشغيلي، مما يسهم في خلق بيئات أكثر أمانًا، وتحقيق عمليات تعدين متوقعة، وتقليل التدخل البشري من خلال الأتمتة.

أثر تطبيق التكنولوجيا الرقمية في تحسين كفاءة العمليات الصناعية
ضمن قطاع التعدين في المملكة العربية السعودية، من وجهة نظر
الموظفين في شركات التعدين



الفصل الخامس

ملخص نتائج الدراسة وتوصياتها

- ملخّص الدِّراسة
- نتائج الدِّراسة
- توصيات الدِّراسة

الفصل الخامس: ملخص نتائج الدراسة وتوصياتها

عرض الباحث فيما سبق نتائج البحث الميدانية، وذلك من خلال عرض استجابات أفراد عينة البحث على تساؤلات البحث ومعالجتها إحصائياً باستخدام مفاهيم الإحصاء الوصفي وأساليبه الإحصائية، وصولاً إلى النتائج وتحليلها وتفسيرها وسيتم فيما يلي تناول ملخص الدراسة، وينتهي بتقديم التوصيات والبحوث المقترحة.

ملخص الدراسة:

هدفت الدراسة إلى التعرف على دور التحول الرقمي في تحسين كفاءة العمليات الصناعية في قطاع التعدين في المملكة العربية، وذلك من خلال الإجابة عن السؤال الرئيسي الآتي: ما دور التحول الرقمي في تحسين كفاءة العمليات الصناعية في قطاع التعدين في المملكة العربية؟ ويتفرع من هذا التساؤل الأسئلة الفرعية الآتية:

- ما هو واقع تنفيذ التحول الرقمي في العمليات الصناعية ضمن قطاع التعدين في المملكة العربية السعودية؟
- ما هي التحديات الرئيسية لتنفيذ التحول الرقمي في العمليات الصناعية ضمن قطاع التعدين في المملكة العربية السعودية؟
- هل يؤثر تطبيق التكنولوجيا الرقمية في تحسين كفاءة العمليات الصناعية ضمن قطاع التعدين في المملكة العربية السعودية، من وجهة نظر الموظفين في شركات التعدين؟

نتائج الدراسة:

ويمثل ذلك في عرض أبرز النتائج التي توصل إليها البحث فيما يتعلق بالإجابة عن أسئلة الدراسة وتحقيق أهدافها، على النحو التالي:

- واقع تنفيذ التحول الرقمي في العمليات الصناعية ضمن قطاع التعدين في المملكة العربية السعودية جاء بدرجة مرتفعة، حيث جاء المتوسط العام مساوياً (٤.٠٨) ودرجة موافقة (موافق)، بانحراف معياري بلغ (٠.٨٢)، وهذا يدل على ارتفاع مستوى تنفيذ التحول الرقمي في العمليات الصناعية ضمن قطاع التعدين في المملكة العربية السعودية حيث تعتمد الشركة على أنظمة رقمية لإدارة الإنتاج كما تحقق مستويات عالية من الأمان الصناعي بسبب رقمته عملياتها وتوظف تقنيات تحليل البيانات الضخمة لتحسين كفاءة الانتاج.

- التحديات الرئيسية لتنفيذ التحول الرقمي في العمليات الصناعية ضمن قطاع التعدين في المملكة العربية السعودية جاءت بدرجة مرتفعة، حيث جاء المتوسط العام مساويا (٣.٩٩) ودرجة موافقة (موافق)، بانحراف معياري بلغ (٠.٩٢)، وهذا يدل على وجود العديد من التحديات الرئيسية لتنفيذ التحول الرقمي في العمليات الصناعية ضمن قطاع التعدين في المملكة العربية السعودية حيث تؤثر قلة التدريب المقدم للموظفين على قدرتهم في استخدام الأنظمة الرقمية بفعالية و يحد غياب الوعي بأهمية التحول الرقمي من استثمار الموارد اللازمة لتحقيقه كما يقلل ضعف الاتصال بشبكات الإنترنت من كفاءة الأنظمة الرقمية ويعطل بعض الوظائف كما تتأخر عملية اختيار التكنولوجيا المناسبة، مما يؤجل بدء تطبيق التحول الرقمي.

- أثر تطبيق التكنولوجيا الرقمية في تحسين كفاءة العمليات الصناعية ضمن قطاع التعدين في المملكة العربية السعودية، من وجهة نظر الموظفين في شركات التعدين جاء بدرجة مرتفعة، حيث جاء المتوسط العام مساويا (٤.٠٣) ودرجة موافقة (موافق)، بانحراف معياري بلغ (٠.٨٩)، وهذا يدل على ارتفاع أثر تطبيق التكنولوجيا الرقمية في تحسين كفاءة العمليات الصناعية ضمن قطاع التعدين في المملكة العربية السعودية، من وجهة نظر الموظفين في شركات التعدين حيث يزيد استخدام الأنظمة الرقمية من حسن استخدام الموارد كما يقلل التحول الرقمي من التكاليف التشغيلية على المدى الطويل و يعزز التحول الرقمي المرونة التشغيلية للعمليات الإنتاجية.

توصيات الدراسة:

- في ضوء ما توصلت إليه الدراسة الحالية من نتائج، يمكن للباحث وضع التوصيات على النحو الآتي:
- ضرورة اهتمام قطاع التعدين بالإفادة من التقنيات الرقمية التي تتناسب مع هذا القطاع، حيث تتوفر العديد من الفرص التي يمكن ان تحقق العديد من الفوائد والمزايا لهذا القطاع.
- ضرورة دراسة وبحث التحديات التي تواجه التحول الرقمي في قطاع التعدين والعمل على معالجة هذه التحديات وإزالتها.
- توفير التدريب اللازم للموظفين لتمكينهم من استخدام الأنظمة الرقمية بفعالية.
- زيادة الوعي بأهمية التحول الرقمي من استثمار الموارد اللازمة لتحقيقه.
- توفير البيئة التنظيمية والقانونية المناسبة لتحقيق التحول الرقمي في قطاع التعدين.
- تحديد عملية اختيار التكنولوجيا المناسبة من خلال الإفادة من آراء الخبراء والمختصين في هذا المجال.
- الاهتمام بتقليل تكاليف تحديث وتطوير الأجهزة والمعدات من خلال مراقبتها جيدا.

المراجع

• أولاً: المراجع العربية

• ثانياً: المراجع الأجنبية

أولاً: المراجع العربية:

البلوشية، نوال.، الحراسي، نبهان.، & العوفي، علي. (٢٠٢٠). واقع التحول الرقمي في المؤسسات العمانية. *Journal of Information Studies and Technology*, 2020(1), 2.

بودشيشة، أحمد. (٢٠٢٢). إنعكاسات الحجر الصحي على هابيتوس الأفراد، ودور المؤسسات في الجزائر زمن كوفيد-١٩. دراسة ميدانية وفق المنهج النوعي. *المجلة العربية لعلم الاجتماع*، ١٥(٣٠)، ٨٧-١٤٤.

بوشنقير، إيمان، وداودي، الطيب. (٢٠١٣). التنمية المستدامة والتطور التكنولوجي في القطاع الصناعي: دراسة تحليلية. *مجلة العلوم الإنسانية*، ١٣(3)، ٣٦٣-٣٧٧.

الجمعية العلمية السورية للمعلوماتية. (٢٠٢١). التحول الرقمي في الصناعة. *مجلة المعلوماتية*، ١٥٨. تم الاسترجاع من الرابط: Syrian Computer Society

جموعي، فاطمة الزهراء (٢٠٢٣). دراسة استكشافية حول فرص وتحديات الحوسبة السحابية كآلية لتعزيز التحول الرقمي للتسيير ما بين المؤسسات في عصر الثورة الصناعية الرابعة: مقارنة نظرية. *مجلة البشائر الاقتصادية*، ٩(١)، ٦٢٤ - ٦٣٨.

الخريف، بندر. (٢٠٢٣). الصناعة و التعدين في المملكة العربية السعودية: الواقع و التحديات و التوجهات المستقبلية. ملتقى اسبار. <https://2u.pw/5ZlrCcCe>

رؤية-٢٠٣٠. (٢٠٢١). برنامج تطوير الصناعة الوطنية والخدمات اللوجستية خطة تنفيذ. https://daleel.gov.sa/wp-content/uploads/2023/05/210623_DPMV_WIP29.pdf

سليمان، سليم. (٢٠٢٢). *استراتيجية التنمية الصناعية الذكية والزراعة الرقمية الذكية: تجارب عالمية رائدة*. الملتقى الدولي الافتراضي: دور المناطق الصناعية في تحقيق الأمن الغذائي التشاركي في ظل التحول إلى الاقتصاد الأخضر (١١-١٢ مايو)، جامعة برج بوعريج - الجزائر.

السمري، منى، & المحيمد، محمد. (٢٠٢٤). التحول الرقمي وأثره في تحقيق البعد الاقتصادي للتنمية المستدامة دراسة تطبيقية على قطاع البنوك التجارية بالمملكة العربية السعودية. *المجلة العلمية للدراسات التجارية والبيئية*، ١٥(١)، ٢١٧-٢٤٨.

صالح، صافيناز. (٢٠٢٤). اثر التحول الرقمي على الهشاشة المالية دراسة تطبيقية على قطاع الصناعات الغذائية بمصر. *المجلة العلمية للبحوث التجارية* (جامعة المنوفية).
علي، أكرم نعمة. (٢٠٢٤). التحول الرقمي ودوره في بعض المتغيرات الاقتصادية: الأسس والمتطلبات. *مجلة الغري للعلوم الاقتصادية والإدارية*، ٢٠ (عدد خاص)، ٢٣٢-٢٤١.

قادة، عيسى. (٢٠٢٢). *مفاتيح التطوير المستمر للذكاء الاصطناعي في ظل الثورة الصناعية الرابعة*. الملتقى الدولي: الاستثمار المالي والصناعي في الذكاء الاصطناعي - التكنولوجيا المالية والثورة الصناعية الرابعة طرابلس: مركز جيل للبحث العلمي، سلسلة كتاب أعمال المؤتمرات، ٣٤، ١٣-٣١.

قشي، مريم. (٢٠٢٣). *الذكاء الاصطناعي في الصناعة ٤.٠: الفرص والتحديات المستقبلية*. الملتقى الدولي الأول: نحو اعتماد استراتيجيات الذكاء الاصطناعي في المؤسسات الصناعية وتحقيق الريادة المستدامة، (٧-٨ نوفمبر ٢٠٢٣). جامعة ٢٠ أوت ١٩٥٥، سكيكدة، الجزائر.

قنابر، ريم بكر عبد الفتاح. (٢٠٢٣). التحول الرقمي وتحقيق التنمية المستدامة في قطاع الطاقة المتجددة بالتطبيق على مصر: فرص وتحديات. *مجلة التكنولوجيا والقانون*، ٣٥(١٠٢)، ٥٨٣-٦٢٦.

لعلمي، سمية، ولعلمي، فاطمة. (٢٠٢٢). *إسهامات التحول الرقمي في قيام الثورة الصناعية الرابعة*. المؤتمر العلمي الدولي الأول حول: التحول الرقمي لمنظمات الأعمال العربية في ظل التوجه نحو الثورة الصناعية الرابعة: الفرص والتحديات. جامعة لشهيد حمه لخضر - الوادي، الجزائر.

مجر، أحمد، & غنيم، صفاء. (٢٠٢٢). تطوير أداة لقياس كفاءة التحول الرقمي للمدن العربية نحو المدن الذكية بالتطبيق على حالتين دراسيتين: مدينة ينبع البحر مدينة ينبع الصناعية بالمملكة العربية السعودية. *المجلة الدولية للتنمية*، ١١(١)، ٦١-٨٢.

مركز الاقتصاد الرقمي. (٢٠٢٤). *الصناعة الذكية في المملكة العربية السعودية: خريطة الانتشار واستراتيجية التحول*.

معادن. (٢٠١٨). معادن تعزز استراتيجياتها في التحول الرقمي بمذكرة تفاهم مع جنرال إلكتريك.

Retrieved 18 أكتوبر from

<https://www.maaden.com.sa/ar/news/details/408>

الياسري، أحمد جاسم، الدليمي، حيدر علي، جبار، إبراهيم جاسم، خضير، رعد نافع، الناجي، زينب
فلاح، وزهيري، محمود كاظم. (٢٠٢٤). دور التحول الرقمي في تنشيط تقنيات الصناعة الطاقة.
مجلة الغري للعلوم الاقتصادية والإدارية، ٢٠ (عدد خاص)، ١٥٧-١٧٤.

ثانياً: المراجع الأجنبية:

- Abdellah, W. R., Kim, J.-G., Hassan, M. M., & Ali, M. A. (2022). The key challenges towards the effective implementation of digital transformation in the mining industry. *Geosystem Engineering*, 25(1-2), 44-52 .
- Aziz, A., Schelén, O., & Bodin, U. (2020). A study on industrial IoT for the mining industry: Synthesized architecture and open research directions. *IoT*, 1(2), 529-550.
- Barnewold, L., & Lottermoser, B. G. (2020). Identification of digital technologies and digitalisation trends in the mining industry. *International journal of mining science and technology*, 30(6), 747-757.
- Barnewold, L., & Lottermoser, B. G. (2020). Identification of digital technologies and digitalisation trends in the mining industry. *International journal of mining science and technology*, 30(6), 747-757.
- Bi, L., Wang, Z., Wu, Z., & Zhang, Y. (2022). A new reform of mining production and management modes under Industry 4.0: Cloud mining mode. *Applied Sciences*, 12(6), 2781.
- Brodny, J. (2018). The fourth industrial revolution as an opportunity to enhance the effectiveness of the mining sector. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM*, 18(1.3), 949-956.
- Buhulaiga, E. A. (2021). *Unleashing the Potential of Manufacturing Digital Transformation, a Step Toward Achieving the Saudi Vision2030* (Doctoral dissertation, University of Johannesburg (South Africa)).
- Chui, M., Henke, N., & Miremadi, M. (2018). Most of AI's business uses will be in two areas. *Harvard Business Review*, 20, 3-7.
- Clausen, E., Sörensen, A., & Nienhaus, K. (2022). Mining 4.0. In *Handbook Industry 4.0: Law, Technology, Society* (pp. 785-792). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Crabbe, M. (2023). *Exploring Technology Adoption in Canada's Mineral Mining Sector: Navigating Through an Interplay of Factors* (Master's thesis, University of Waterloo).
- Dalenogare, L. S., Benitez, G. B., Ayala, N. F., & Frank, A. G. (2018). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of production economics*, 204, 383-394 .
- Dragičević, Z., & Bošnjak, S. (2019). Digital transformation in the mining enterprise: The empirical study. *Mining and Metallurgy Engineering Bor*(1-2), 73-90 .

- Durrant-Whyte, H., Geraghty, R., Pujol, F., & Sellschop, R. (2015). How digital innovation can improve mining productivity. *McKinsey & Company Insights*, 1-8.
- Firoozi, A. A., Tshambane, M., Firoozi, A. A., & Sheikh, S. M. (2024). Strategic load management: Enhancing eco-efficiency in mining operations through automated technologies. *Results in Engineering*, 102890.
- Gackowiec, P., Podobińska-Staniec, M., Brzychczy, E., Kühnbach, C., & Özver, T. (2020). Review of key performance indicators for process monitoring in the mining industry. *Energies*, 13(19), 5169.
- Gao, S., Hakanen, E., Töytäri, P., & Rajala, R. (2019). Digital transformation in asset-intensive businesses: Lessons learned from the metals and mining industry. The 52nd Hawaii International Conference on System Sciences, Hawaii.
- Guo, L., & Xu, L. (2021). The effects of digital transformation on firm performance: Evidence from China's manufacturing sector. *Sustainability*, 13(22), 12844 .
- Hennink, M., Hutter, I., & Bailey, A. (2020). *Qualitative research methods*. Sage .
- Hicham, B., & Hamza, D. T. (2024). Dimensions of Artificial Intelligence and Data Strategies in Industrial Enterprises and Achieving Sustainable Leadership: A Reading in the Saudi Industrial National Strategy 2016-2030. *Journal of North African Economies*, 20(34), 185-204.
- Jang, H., & Topal, E. (2020). Transformation of the Australian mining industry and future prospects. *Mining Technology*, 129(3), 120-134.
- Kalenov, O., & Kukushkin, S. (2021). Digital transformation of mining enterprises. *E3S Web of Conferences* ,
- KSA. (2016). رؤية السعودية ٢٠٣٠. (Retrieved 19 أكتوبر from <https://www.vision2030.gov.sa/>)
- Kunkel, S., & Matthess, M. (2020). Digital transformation and environmental sustainability in industry: Putting expectations in Asian and African policies into perspective. *Environmental science & policy*, 112, 318-329 .
- Kunyska, M., Piskun, I., Kotenko, V., & Kryvoruchko, A. (2024). Digital modelling technologies in the mining industry: Effectiveness and prospects of digitalisation of open-pit mining enterprises. *BULLETIN of Cherkasy State Technological University*, 29(1), 52-61 .
- Lazarenko, Y., Garafonova, O., Marhasova, V., & Tkalenko, N. (2021). Digital transformation in the mining sector: Exploring global technology trends and managerial issues. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 315, p. 04006). EDP Sciences.
- Litvinenko, V. S. (2020). Digital economy as a factor in the technological development of the mineral sector. *Natural Resources Research*, 29(3), 1521-1541.
- Llopis-Albert, C., Rubio, F., & Valero, F. (2021). Impact of digital transformation on the automotive industry. *Technological Forecasting and Social Change*, 162, 120343 .
- Maheswari, C., Priyanka, E., Thangavel, S., Vignesh, S. R., & Poongodi, C. (2020). Multiple regression analysis for the prediction of extraction efficiency in mining industry with industrial IoT. *Production Engineering*, 14, 457-471 .
- Maroufkhani, P., Desouza, K. C., Perrons, R. K., & Iranmanesh, M. (2022). Digital transformation in the resource and energy sectors: A systematic review. *Resources Policy*, 76, 102622.

- Melibari, W., Baodhah, H., & Akkari, N. (2023, January). IIoT-Based Industry Transformation In Saudi Arabia. In *2023 1st International Conference on Advanced Innovations in Smart Cities (ICAISC)* (pp. 1-6). IEEE.
- Mthimkhulu, N. (2023). *Digital Transformation Opportunities and Challenges in the South African Mining Sector* University of the Witwatersrand]. South Africa .
- Nwaila, G. T., Frimmel, H. E., Zhang, S. E., Bourdeau, J. E., Tolmay, L. C., Durrheim, R. J., & Ghorbani, Y. (2022). The minerals industry in the era of digital transition: An energy-efficient and environmentally conscious approach. *Resources Policy*, 78, 102851.
- Onifade, M., Adebisi, J. A., Shivute, A. P., & Genc, B. (2023). Challenges and applications of digital technology in the mineral industry. *Resources Policy*, 85, 103978.
- Sánchez, F., & Hartlieb, P. (2020). Innovation in the mining industry: Technological trends and a case study of the challenges of disruptive innovation. *Mining, Metallurgy & Exploration*, 37(5), 1385-1399.
- Schuh, G., Anderl, R., Gausemeier, J., Ten Hompel, M., & Wahlster, W. (2020). *Industrie 4.0 maturity index: Managing the digital transformation of companies*. a. STUDY. <https://en.acatech.de/publication/industrie-4-0-maturity-index-update-2020/>
- Seale, C., & Charteris-Black, J. (2010). Keyword analysis: A new tool for qualitative research. *The SAGE handbook of qualitative methods in health research*, 536-556 .
- Shamin, A., Frolova, O., Makarychev, V., Yashkova, N., Kornilova, L., & Akimov, A. (2019). Digital transformation of agricultural industry. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science ‘
- Storey, K. (2023). From FIFO to LILO: The place effects of digitalization in the mining sector. *The Extractive Industries and Society*, 13, 101206.
- Tashenova, L., Babkin, A., & Mamrayeva, D. (2019). Digital transformation of industrial production in the context of Industry 4.0. *Bulletin of the Karaganda university Economy series*, 96(4), 154-162 .
- Ustundag, A., & Cevikcan, E. (2017). *Industry 4.0: managing the digital transformation*. Springer .
- Ustundag, A., & Cevikcan, E. (2017). *Industry 4.0: managing the digital transformation*. Springer.
- Vaismoradi, M., Jones, J., Turunen, H., & Snelgrove, S. (2016). Theme development in qualitative content analysis and thematic analysis .
- Van Hau, N., Khanh Ly, C. T., Quynh Nga, N., Hong Duyen, N. T., & Huong Hue, T. T. (2022). Digital Transformation in Mining Sector in Vietnam. *Inżynieria Mineralna*(2), 21-30 .
- Xu, Y., Wang, L., Xiong, Y., Wang, M., & Xie, X. (2023). Does digital transformation foster corporate social responsibility? Evidence from Chinese mining industry. *Journal of environmental management*, 344, 118646.
- Young, A & ‘.Rogers, P. (2019). A review of digital transformation in mining. *Mining, Metallurgy & Exploration*, 36(4), 683-699 .

- Zaman, Q. U., Zhao, Y., Zaman, S., Batool, K., & Nasir, R. (2024). Reviewing energy efficiency and environmental consciousness in the minerals industry Amidst digital transition: A comprehensive review. *Resources Policy*, 91, 104851.
- Zhang, Q., Wu, P., Li, R., & Chen, A. (2024). Digital transformation and economic growth Efficiency improvement in the Digital media era: Digitalization of industry or Digital industrialization?. *International Review of Economics & Finance*, 92, 667-677.
- Zhironkin, S., & Ezdina, N. (2023). Review of transition from mining 4.0 to mining 5.0 innovative technologies. *Applied Sciences*, 13(8), 4917.
- Zhironkina, O., & Zhironkin, S. (2023). Technological and intellectual transition to mining 4.0: A review. *Energies*, 16(3), 1427.
- Zvarivadza, T., Onifade, M., Dayo-Olupona, O., Said, K. O., Githiria, J. M., Genc, B., & Celik, T. (2024). On the impact of Industrial Internet of Things (IIoT)-mining sector perspectives. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 1-39.

الملاحق

الاستبانة

استبانة بعنوان

دور التحول الرقمي في تحسين كفاءة العمليات الصناعية في قطاع
التعدين بالمملكة العربية السعودية

ضمن إجراءات دراسة للحصول على درجة الماجستير في إدارة الأعمال

إعداد الطالب

عبدالعزیز بن محمد الشهري

الرقم الجامعي (٢٤١٠٠٢٣٤٠)

إشراف

د. الفیصل عبدالحمید

د. فايز جراد

العام الجامعي

١٤٤٥هـ - ٢٠٢٤م

السلام عليكم ورحمة الله وبركاته،،،

تحية طيبة وبعد،،،

يقوم الباحث بإجراء دراسة بعنوان «دور التحول الرقمي في تحسين كفاءة العمليات الصناعية في قطاع التعدين بالمملكة العربية السعودية»، استكمالاً لمتطلبات الحصول على درجة الماجستير في إدارة الأعمال، وقد تطلب ذلك إعداد استبانة لقياس واقع تنفيذ التحول الرقمي في العمليات الصناعية، وتحديات تطبيق التحول الرقمي في العمليات الصناعية، وتأثير تطبيق التحول الرقمي في العمليات الصناعية. حيث هدفت الدراسة إلى:

١. الكشف عن واقع تنفيذ التحول الرقمي في العمليات الصناعية ضمن قطاع التعدين في المملكة العربية السعودية.

٢. الكشف عن التحديات الرئيسية لتنفيذ التحول الرقمي في العمليات الصناعية ضمن قطاع التعدين في المملكة العربية السعودية.

٣. الكشف عن دور تطبيق التكنولوجيا الرقمية في تحسين كفاءة العمليات الصناعية ضمن قطاع التعدين في المملكة العربية السعودية، من وجهة نظر الموظفين في شركات التعدين.

ولتحقيق أهداف الدراسة والاجابة عن تساؤلاتها تم الاعتماد على قائمة الاستقصاء، لذا نرجو من حضراتكم التكرم بالإجابة على كافة البنود الواردة في الاستبانة، ونحيطكم علماً أن نتائج الاستبيان لن تستخدم سوى لأغراض البحث العلمي.

وتفضلوا بقبول وافر الاحترام وجُل التقدير

الباحث

عبدالعزیز بن محمد الشهري

الاستبانة

أولاً: البيانات الأولية

• الجنس

() ذكر () أنثى

• السن

() ٢٠-٣٠ عام () ٣١-٣٩ عام () ٤٠-٤٩ عام () خمسين عام فأكثر

• سنوات الخدمة

() من ١-٥ سنوات () من ٦-١٠ سنوات () ١١-٢٠ () أكثر من 20 عام

ثانياً: محاور الاستبانة

م	العبارات	أبعاد المقياس			
		موافق تماماً	موافق	محايد	غير موافق تماماً
المحور الأول: واقع تنفيذ التحول الرقمي في العمليات الصناعية					
١	تعتمد الشركة على أنظمة رقمية لإدارة الإنتاج.				
٢	تستخدم الشركة التكنولوجيا الرقمية لتحسين جودة المنتجات.				
٣	تنفذ الشركة الصيانة الدورية باستخدام أدوات التحليل الرقمي.				
٤	تُوظف الشركة تقنيات تحليل البيانات الضخمة لتحسين كفاءة الإنتاج.				
٥	تُدمج الشركة الأجهزة الذكية في عمليات التحكم الصناعي.				
٦	تُحلل الشركة البيانات الفورية لاتخاذ قرارات تشغيلية دقيقة.				
٧	تستخدم الشركة أنظمة رقمية لمراقبة الأداء التشغيلي.				
٨	تستخدم الشركة التقنيات الرقمية التي تعزز التكامل بين أقسام الإنتاج المختلفة.				
٩	تستخدم الشركة تكنولوجيا رقمية تحقق مرونة العمليات الصناعية.				
١٠	تستخدم الشركة أنظمة تخطيط الموارد الرقمية لتحسين الكفاءة الإنتاجية.				
١١	تُطبق الشركة تقنيات الواقع المعزز في التدريب على العمليات التشغيلية.				
١٢	تُسهم التحليلات الرقمية التي تجريها الشركة في تحسين استدامة العمليات الصناعية.				
١٣	تستخدم الشركة أنظمة رقمية لتقليل الأخطاء البشرية في الإنتاج.				
١٤	تستخدم الشركة نماذج المحاكاة الرقمية لتخطيط العمليات الإنتاجية.				
١٥	تحقق الشركة مستويات عالية من الأمان الصناعي				

					بسبب رقمنة عملياتها.	
المحور الثاني: تحديات تطبيق التحول الرقمي في العمليات الصناعية						
					يفتقر العاملون إلى المهارات التقنية اللازمة لاستخدام الأنظمة الرقمية الجديدة.	١٦
					ترتفع تكاليف تحديث وتطوير الأجهزة والمعدات، مما يؤدي إلى إبطاء التنفيذ.	١٧
					تعيق الأنظمة القديمة توافق التقنيات الرقمية الحديثة، مما يحد من فاعلية التحول الرقمي.	١٨
					يرفض بعض الموظفين تغيير طرق العمل التقليدية، مما يؤثر على نجاح الرقمنة.	١٩
					تغيب الخطط الاستراتيجية الواضحة للتحول الرقمي، مما يعطل التنفيذ الفعال.	٢٠
					يتخوف المسؤولون من مخاطر التهديدات الإلكترونية، مما يؤثر على ثقتهم في الأنظمة الرقمية.	٢١
					يعاني فريق تكنولوجيا المعلومات من ضغط العمل أثناء تنفيذ الرقمنة، مما يحد من كفاءته.	٢٢
					تتشكل فرق العمل أحياناً في تحقيق التكامل بين العمليات اليدوية والرقمية، مما يعطل تدفق العمل.	٢٣
					تتأخر عملية اختيار التكنولوجيا المناسبة، مما يؤجل بدء تطبيق التحول الرقمي.	٢٤
					يضعف نقص الدعم الفني المستمر استقرار الأنظمة الرقمية ويؤثر على أدائها.	٢٥
					يقلل ضعف الاتصال بشبكات الإنترنت من كفاءة الأنظمة الرقمية ويعطل بعض الوظائف.	٢٦
					تؤثر قلة التدريب المقدم للموظفين على قدرتهم في استخدام الأنظمة الرقمية بفعالية.	٢٧
					يحد غياب الوعي بأهمية التحول الرقمي من استثمار الموارد اللازمة لتحقيقه.	٢٨
					تؤدي متطلبات الامتثال للمعايير الصناعية إلى تأخير تنفيذ الرقمنة وإبطاء تبني التقنيات الجديدة.	٢٩

المحور الثالث: تأثير تطبيق التحول الرقمي في كفاءة العمليات الصناعية						
٣٠	يعزز التحول الرقمي المرونة التشغيلية للعمليات الإنتاجية.					
٣١	يزيد استخدام الأنظمة الرقمية من حسن استخدام الموارد					
٣٢	يقلل التحول الرقمي من التكاليف التشغيلية على المدى الطويل.					
٣٣	يحسن التحول الرقمي مرونة العمليات الصناعية واستجابتها للمتغيرات.					
٣٤	يدعم التحول الرقمي استدامة العمليات وتقليل الهدر.					
٣٥	يزيد استخدام التحليلات الرقمية من دقة التوقعات الإنتاجية.					
٣٦	يُحسن تطبيق تقنيات الصيانة التنبؤية استمرارية العمل.					
٣٧	يقلل التحول الرقمي من الأخطاء البشرية في عمليات الإنتاج.					
٣٨	يُسرع استخدام الأتمتة الرقمية العمليات التصنيعية.					
٣٩	يُمكّن التحول الرقمي من مراقبة الأداء في الوقت الحالي.					
٤٠	يُسهم استخدام الأنظمة الرقمية في تحسين سلامة العمال.					