

جامعة ميدأوشن

كلية الإدارة

قسم / تخصص MBA



عنوان البحث/

أثر أتمتة العمليات الروبوتية (RPA) في تعزيز الحوكمة التشغيلية وتقليل
المخاطر في قطاع التعدين في المملكة العربية السعودية

إعداد الطالب/

كوثر الزهراني

٢٥٢٠٠٣٦٢

إشراف/

د. الفیصل عبد الحمید

د. فايز جراد

العام الدراسي:

٢٠٢٦

جدول المحتويات

٧	الفصل الأول: الإطار العام للدراسة.....
٧	١.١ مقدمة.....
٩	١.٢ مشكلة الدراسة.....
٩	١.٢.١ المقدمة والخلفية المشكلة.....
٩	١.٢.٢ الفجوة المعرفية والممارسة.....
١٠	١.٢.٣ صياغة مشكلة الدراسة.....
١١	١.٣ أهمية الدراسة.....
١١	١.٣.١ الأهمية النظرية (العلمية).....
١٢	١.٣.٢ الأهمية العملية (التطبيقية).....
١٤	١.٣.٣ الجهات المستفيدة من الدراسة.....
١٤	١.٤ تساؤلات الدراسة.....
١٤	١.٤.١ السؤال الرئيسي.....
١٥	١.٤.٢ الأسئلة الفرعية.....
١٦	١.٥ أهداف البحث.....
١٦	١.٥.١ الهدف الرئيس للبحث.....
١٦	١.٥.٢ الأهداف الفرعية للبحث.....
١٧	١.٦ فروض الدراسة.....
١٧	١.٦.١ الفرضية الرئيسية.....
١٧	١.٦.٢ الفرضيات الفرعية.....
١٨	١.٧ منهجية الدراسة.....
١٨	١.٧.١ نوع الدراسة ومنهجها.....
١٩	١.٧.٢ مجتمع الدراسة وعينتها.....
١٩	١.٧.٣ أدوات الدراسة ومصادر جمع البيانات.....
٢١	١.٧.٤ الأساليب الإحصائية لتحليل البيانات.....
٢٢	١.٨ حدود الدراسة ومحدداتها.....

٢٢.....	١.٨.١ الحدود الموضوعية (الموضوعية).....
٢٢.....	١.٨.٢ الحدود المكانية (الجغرافية).....
٢٢.....	١.٨.٣ الحدود الزمنية (الزمانية).....
٢٣.....	١.٨.٤ الحدود البشرية (المبحوثين).....
٢٣.....	١.٩ هيكل الدراسة.....
٢٤.....	١.١٠ مخطط الدراسة (النموذج المفاهيمي).....
٢٥.....	١.١١ تعريف المصطلحات (الإجرائي والمفاهيمي).....
٢٥.....	١.١١.١ أتمتة العمليات الروبوتية (RPA).....
٢٦.....	١.١١.٢ الحوكمة التشغيلية.....
٢٦.....	١.١١.٣ إدارة المخاطر.....
٢٦.....	١.١١.٤ قطاع التعدين.....
٢٦.....	١.١١.٥ رؤية المملكة ٢٠٣٠.....
٢٨.....	الفصل الثاني: الإطار النظري والدراسات السابقة.....
٢٨.....	٢.١ مقدمة.....
٢٩.....	٢.٢ الإطار النظري (Theoretical Framework).....
٢٩.....	مقدمة تحليلية للإطار النظري.....
٣٠.....	٢.٢.١ نظرية الوكالة (Agency Theory) وتطورها نحو "الوكالة الاصطناعية" (Artificial Agency).....
٣٠.....	الجزور الفلسفية والنشأة والتطور التاريخي.....
٣١.....	المبادئ الأساسية والافتراضات الجوهرية.....
٣٢.....	تكاليف الوكالة (Agency Costs).....
٣٢.....	آليات حل مشكلة الوكالة التقليدية.....
٣٣.....	نظرية الوكالة في سياق التحول الرقمي وقطاع التعدين.....
٣٧.....	خلاصة القسم ودلالاته للدراسة الحالية.....
٣٨.....	٢.٢.٢ إطار التكنولوجيا-المنظمة-البيئة (TOE Framework).....
٣٨.....	النشأة والتطور والفكرة المحورية.....
٣٨.....	الأساس النظري للإطار.....
٤٤.....	خلاصة القسم ودلالاته للدراسة الحالية.....
٤٤.....	٢.٢.٣ نظرية انتشار المبتكرات (Diffusion of Innovation – DOI).....

٤٤	النشأة والتطور التاريخي
٤٥	المبادئ الأساسية والخصائص الخمس
٤٧	تطبيق النظرية على قطاع التعدين
٤٧	٢.٢.٤ التكامل بين النظريات الثلاث: بناء نموذج تحليلي متكامل
٤٩	٢.٣ المتغير المستقل: أتمتة العمليات الروبوتية (RPA) في قطاع التعدين
٤٩	٢.٣.١ المفهوم والتطور: من الأتمتة البسيطة إلى الأتمتة الوكيلية
٥٠	٢.٣.٢ أنواع روبوتات RPA في البيئة الصناعية
٥٢	٢.٣.٣ مجالات تطبيق RPA في سلسلة قيمة التعدين (Mining Value Chain)
٥٣	٢.٤ المتغير التابع الأول: الحوكمة التشغيلية (Operational Governance)
٥٣	٢.٤.١ المفهوم والأبعاد في السياق الصناعي
٥٥	٢.٤.٢ الحوكمة الرقمية ومراكز التميز (CoE) كآلية تنظيمية
٥٦	٢.٥ المتغير التابع الثاني: إدارة المخاطر (Risk Management)
٥٦	٢.٥.١ منظومة المخاطر في قطاع التعدين
٥٧	٢.٥.٢ دور RPA في إدارة وتخفيف المخاطر (تطبيقاً لمعيار ISO 31000)
٥٨	٢.٦ الدراسات السابقة (Literature Review)
٦٤	٢.٧ التعقيب على الدراسات السابقة وتحديد الفجوة البحثية
٦٧	الفصل الثالث: منهجية الدراسة وإجراءاتها (Research Methodology)
٦٧	٣.١ مقدمة (Introduction)
٦٧	٣.٢ فلسفة البحث (Research Philosophy)
٦٨	٣.٢.١ الاختيار الفلسفي: البرجماتية (Pragmatism)
٦٨	٣.٢.٢ المبررات الأنطولوجية والإبستمولوجية للبرجماتية
٦٨	٣.٣ تصميم البحث (Research Design)
٦٩	٣.٣.١ هيكلية التصميم ومراحله
٦٩	٣.٣.٢ المبررات المنهجية لاختيار التصميم التتابعي التفسيري
٧٠	٣.٤ مجتمع وعينة الدراسة (Population and Sample)
٧٠	٣.٤.١ مجتمع الدراسة (Target Population)
٧٠	٣.٤.٢ عينة المرحلة الكمية (Quantitative Sample)
٧١	٣.٤.٣ عينة المرحلة النوعية (Qualitative Sample)

٧٢.....	٣.٥ أدوات جمع البيانات وتطويرها (Instrumentation)
٧٢.....	٣.٥.١ الأداة الأولى: الاستبانة (Survey Questionnaire)
٧٣.....	٣.٥.٢ إجراءات التحقق من الصدق والثبات (Validity and Reliability Procedures)
٧٤.....	٣.٥.٣ الأداة الثانية: دليل المقابلة (Interview Protocol)
٧٤.....	٣.٦ إجراءات جمع البيانات (Data Collection Procedures)
٧٤.....	٣.٧ استراتيجية تحليل البيانات (Data Analysis Strategy)
٧٤.....	٣.٧.١ تحليل البيانات الكمية: PLS-SEM
٧٦.....	٣.٧.٢ تحليل البيانات النوعية: التحليل الموضوعي
٧٦.....	٣.٨ الاعتبارات الأخلاقية (Ethical Considerations)
٧٦.....	٣.٩ محددات الدراسة (Limitations)
٧٧.....	٣.١٠ الخاتمة
٧٨.....	الفصل الرابع: الدراسة الميدانية
٧٨.....	٤.١ مقدمة الفصل
٧٩.....	٤.٢ تحليل الخصائص الديموغرافية والوظيفية لعينة الدراسة
٨٢.....	٤.٣ التحليل الإحصائي الوصفي لمتغيرات الدراسة
٨٢.....	٤.٣.١ واقع تبني التقنية استناداً للسياق التكنولوجي (TOE – Technology)
٨٥.....	٤.٣.٢ واقع التبني استناداً للسياق التنظيمي (TOE – Organization)
٨٨.....	٤.٣.٣ واقع التبني استناداً للسياق البيئي (TOE – Environment)
٩٠.....	٤.٣.٤ أثر الأتمتة على أبعاد الحوكمة التشغيلية
٩٤.....	٤.٣.٥ أثر الأتمتة في إدارة وتقليل المخاطر
٩٧.....	٤.٤ تقييم نموذج القياس (Measurement Model Assessment)
٩٨.....	٤.٤.١ الاتساق الداخلي والصدق التقاربي (Reliability & Convergent Validity)
١٠٠.....	٤.٤.٢ الصدق التمايزي (Discriminant Validity)
١٠١.....	٤.٥ تقييم النموذج الهيكلي (Structural Model) واختبار الفرضيات
١٠١.....	٤.٥.١ فحص التداخل الخطي (Collinearity)
١٠٢.....	٤.٥.٢ اختبار الفرضيات المباشرة (Direct Effects)
١٠٤.....	٤.٥.٣ اختبار تأثير العوامل المعدلة (Moderation Analysis)
١٠٤.....	٤.٥.٤ التقييم الشامل للقدرة التنبؤية للنموذج (Predictive Relevance)

١٠٥	٤.٦ التحليل النوعي للتحديات التطبيقية الميدانية (Thematic Analysis)
١٠٨	٤.٧ مناقشة النتائج وربطها بالدراسات السابقة والأطر النظرية.....
١٠٨	٤.٧.١ تقليص تكاليف الوكالة وإلغاء عدم تماثل المعلومات
١٠٩	٤.٧.٢ الدور المركزي للعوامل التنظيمية: المصادقة على إطار (TOE).....
١٠٩	٤.٧.٣ الحوكمة الاستباقية للبيئة التنظيمية السعودية ورؤية ٢٠٣٠
١١٠	٤.٧.٤ معضلة الكفاءة مقابل الامتثال وتحدي (الوكالة الاصطناعية).....
١١٠	٤.٨ التوصيات الاستراتيجية والتشغيلية (Recommendations)
١١٢	قائمة المراجع
١١٢	المراجع العربية.....
١١٤	المراجع الأجنبية.....

الفصل الأول: الإطار العام للدراسة

١.١ مقدمة

يشهد العالم اليوم تحولاً جذرياً غير مسبوق في نماذج الأعمال والهياكل الاقتصادية، مدفوعاً بموجات متلاحقة من التقدم التكنولوجي المتسارع التي تعيد تشكيل ملامح الإنتاج والإدارة والخدمات. ففي عصر الثورة الصناعية الرابعة (Industry 4.0) التي تركز على الرقمنة والترابط، وصولاً إلى مفاهيم الجيل الخامس (Industry 5.0) التي تضع التعاون بين الإنسان والآلة في صميم المعادلة الاقتصادية مع التركيز على الاستدامة والمرونة كقيم محورية، أصبحت الأتمتة والتحول الرقمي ضرورة استراتيجية لضمان بقاء المؤسسات ونموها، وليس مجرد خيار ترفيهي لتعزيز الرفاهية المؤسسية [١]. وتبرز في هذا المشهد الديناميكي تقنية أتمتة العمليات الروبوتية (Robotic Process Automation – RPA) كواحدة من أكثر التقنيات تأثيراً وانتشاراً، حيث تطورت من مجرد أدوات برمجية بسيطة لتنفيذ المهام الروتينية المتكررة إلى منظومات ذكية (Intelligent Automation) متكاملة قادرة على دعم اتخاذ القرار، وتعزيز الشفافية، وفرض الامتثال التنظيمي، وتحقيق كفاءات تشغيلية غير مسبوقة. [2][3]

في ظل هذا التحول الاقتصادي والتكنولوجي الطموح الذي تقوده المملكة العربية السعودية ضمن رؤية ٢٠٣٠، برز قطاع التعدين كأحد الركائز الاستراتيجية لتنويع الاقتصاد الوطني وتعزيز الإيرادات غير النفطية، وتحقيق التنمية المستدامة [٤]. وتشير التقديرات الرسمية إلى أن قيمة الثروات المعدنية الكامنة في باطن الأرض السعودية تتجاوز ٩.٤ تريليون ريال (ما يعادل ٢.٥ تريليون دولار)، مما يجعل هذا القطاع كنزاً وطنياً هائلاً في انتظار الاستغلال الأمثل [٥]. ولتحقيق هذا الهدف الطموح، تُبذل جهود حثيثة لتحسين الكفاءة التشغيلية، وتعزيز الشفافية والمساءلة، وجذب الاستثمارات المحلية والعالمية من خلال بيئة تنظيمية متطورة تعزز مبادئ الحوكمة التشغيلية الرشيدة [٦]. ومع تصاعد تعقيد العمليات في هذا القطاع الحيوي، الذي يشهد تسارعاً كبيراً في إصدار الرخص التعدينية (نمو قياسي بنسبة ٢٢٠٪ في عام ٢٠٢٥) [٧] وتوسع العمليات في مناطق نائية ومعقدة جيولوجياً، ظهرت الحاجة الملحة إلى اعتماد حلول تكنولوجية مبتكرة قادرة على تحسين جودة اتخاذ القرار، وتعزيز الرقابة، وتقليل الهفوات البشرية التي قد تؤدي إلى مخاطر تشغيلية أو مالية كبيرة أو حتى كوارث بيئية [٨].

في هذا السياق، برزت تقنية أتمتة العمليات الروبوتية (RPA) كأحد أبرز أدوات التحول الرقمي وأكثرها فعالية من حيث التكلفة والسرعة، حيث تتيح أتمتة المهام المتكررة والقائمة على القواعد — مثل إدخال البيانات، ومراجعة التقارير، وتجهيز الفواتير، وإدارة سلاسل التوريد، ومراقبة الامتثال — بدقة عالية وسرعة فائقة، مع تقليل تكاليف التشغيل بنسبة تصل إلى ٨٠٪ في بعض التطبيقات، وتحسين الإنتاجية بشكل كبير [٩]. وليست الفائدة من RPA محصورة في الكفاءة التشغيلية فحسب، بل تمتد لتشمل دعم الحوكمة المؤسسية من خلال ضمان التوثيق الآلي، وتتبع سجلات العمليات بشكل غير قابل للتلاعب (Immutable Audit Trails)، وتقليل فرص التلاعب أو الخطأ البشري، وهو ما يُعدّ عاملاً جوهرياً في القطاعات عالية المخاطر مثل التعدين، حيث يمكن أن يكلف الخطأ الواحد ملايين الريالات أو حتى أرواحاً بشرية [١٠][١١].

وقد أولت رؤية ٢٠٣٠ اهتماماً متزايداً بدمج تقنيات مثل RPA والذكاء الاصطناعي في مختلف القطاعات الحكومية والصناعية، باعتبارها وسيلة لتسريع تنفيذ المبادرات الوطنية وتحقيق الكفاءة التشغيلية وتعزيز الشفافية ومكافحة الفساد [١٢]. ومع ذلك، لا يزال البحث الأكاديمي في المملكة حول تأثير RPA على الحوكمة التشغيلية — خصوصاً في قطاع التعدين — محدوداً نسبياً، رغم التقدم الملحوظ في تبني هذه التقنيات من قبل كبرى الشركات مثل شركة التعدين العربية السعودية (معادن)، التي تمتلك أطر حوكمة متطورة تتماشى مع متطلبات هيئة السوق المالية والأنظمة التنظيمية الحديثة، وتقود مشاريع طموحة في مجال الأتمتة والروبوتات المستقلة [١٣][١٤].

من هذا المنطلق، يسعى هذا البحث إلى سد هذه الفجوة المعرفية المهمة من خلال دراسة وتحليل الأثر الفعلي لأتمتة العمليات الروبوتية في تعزيز ممارسات الحوكمة التشغيلية (بأبعادها المختلفة من شفافية ومساءلة وامتثال) وتقليل المخاطر التشغيلية والمالية والبيئية في قطاع التعدين السعودي، مقدّماً إطاراً تحليلياً متكاملًا يُسهم في دعم صانعي القرار والممارسين والخبراء في تبني استراتيجيات تحول رقمي فعّالة ومستدامة تتماشى مع مستهدفات رؤية المملكة الطموحة.

١.٢ مشكلة الدراسة

١.٢.١ المقدمة والخلفية المشكلة

في ظلّ توجّه المملكة العربية السعودية الاستراتيجية لتنويع اقتصادها وتعزيز دور قطاع التعدين كأحد الركائز الأساسية لرؤية ٢٠٣٠، إلى جانب قطاعي النفط والبتروكيماويات [٤]، يبرز التحدي المزدوج والمتداخل المتمثل في تعزيز الكفاءة التشغيلية من جهة، والسيطرة على المخاطر التشغيلية والتنظيمية والبيئية من جهة أخرى، وذلك في بيئة عمل معقّدة ومكلفة وخطيرة بطبيعتها مثل قطاع التعدين. فالمناجم، سواء كانت سطحية أو تحت الأرض، تمثل بيئات شديدة التعقيد تتضمن مئات العمليات المتداخلة يومياً، بدءاً من الاستكشاف والحفر والتفجير، وصولاً إلى التحميل والنقل والمعالجة والتسويق، مروراً بسلاسل إمداد معقدة وإجراءات سلامة صارمة.

ومع التسارع الكبير في اعتماد التقنيات الرقمية على مستوى العالم وفي المملكة خصوصاً، برزت أتمتة العمليات الروبوتية (RPA) كأداة واعدة ومؤثرة لتحويل وتحسين العمليات التشغيلية والإدارية، لا سيما في المهام المتكررة والمنخفضة التعقيد التي تعتمد بشكل أساسي على معالجة البيانات وإدخالها ونقلها بين الأنظمة المختلفة، مثل إدخال التقارير الميدانية، مراقبة مؤشرات الامتثال البيئي، تدقيق العمليات المالية والإدارية، وإدارة طلبات الشراء والمخزون [٢][٩].

١.٢.٢ الفجوة المعرفية والممارسية

رغم الإمكانيات الهائلة التي تقدمها تقنية RPA، والإقليمية منها بشكل خاص، فإن الأدبيات الأكاديمية والصناعية المتاحة — خاصة في السياق السعودي والمنطقة العربية — لا تزال تقتصر إلى فهم منهجي وعميق لكيفية مساهمة RPA في تعزيز ممارسات الحوكمة التشغيلية (بأبعادها الأساسية مثل الشفافية، المساءلة، والامتثال الداخلي والخارجي)، أو في تقليل المخاطر التشغيلية والمالية والبيئية (مثل الأخطاء البشرية، التأخير في الإبلاغ عن الحوادث، خرق الإجراءات والبروتوكولات، تجاوزات السلامة) ضمن قطاع التعدين تحديداً. [15][16]

هذه الفجوة المعرفية تتجلى في عدة جوانب:

• ندرة الدراسات التطبيقية: معظم الدراسات المتاحة تركز على القطاعات الخدمية والمالية (بنوك، تأمين، محاسبة) بينما قطاع التعدين الثقيل لم يحظَ بالاهتمام البحثي الكافي رغم أهميته الاستراتيجية وحجم المخاطر فيه [١٧].

• غياب النماذج التفسيرية: لا توجد نماذج نظرية وتطبيقية واضحة تشرح آلية تأثير RPA على الحوكمة والمخاطر في البيئات الصناعية المعقدة.

• إهمال السياق المحلي: نادراً ما تناولت الدراسات السياق السعودي الخاص، بما يحمله من خصوصيات تنظيمية وثقافية وتشريعية، وتوجهاته الطموحة في رؤية ٢٠٣٠ [١٨].

كما أن غياب نماذج حوكمة واضحة ومتكاملة لتطبيق RPA في هذا القطاع الحيوي قد يؤدي إلى عدة مشاكل عملية، منها:

• استغلال غير فعال لهذه التقنية: قد يتم تطبيق RPA بشكل عشوائي أو في عمليات غير مناسبة، مما يهدر الموارد ويحبط الفرق.

• توليد مخاطر جديدة: قد يؤدي الاعتماد الزائد على الأتمتة دون رقابة كافية أو تصميم سليم إلى مخاطر جديدة، مثل "مخاطر الأتمتة" (Automation Risks) المتمثلة في انتشار الأخطاء بسرعة إذا كان التصميم الأولي معيباً، أو "حجب المساءلة" (Obscured Accountability) عندما لا يعود واضحاً من المسؤول عن القرارات التي يتخذها الروبوت [١٩][٢٠].

• مقاومة التغيير: غياب إطار حوكمة واضح يشرح دور الإنسان والآلة قد يزيد من مخاوف الموظفين ومقاومتهم للتغيير، مما يعيق نجاح مشاريع التحول الرقمي [١].

١.٢.٣ صياغة مشكلة الدراسة

مما سبق، تتحدد مشكلة الدراسة الرئيسية في التساؤل الجوهرى التالي، والذي تسعى هذه الدراسة للإجابة عليه بشكل منهجي وعلمي:

إلى أي مدى تسهم أتمتة العمليات الروبوتية (RPA) في تعزيز الحوكمة التشغيلية وتقليل المخاطر في قطاع التعدين في المملكة العربية السعودية، وما هي آليات هذا التأثير والتحديات المرتبطة به؟

ويمكن تفكيك هذه المشكلة إلى مجموعة من التساؤلات الأكثر تحديداً:

- كيف يمكن قياس أثر RPA على مؤشرات الحوكمة التشغيلية الرئيسية (الشفافية، المساءلة، الامتثال) بشكل كمي ونوعي؟
- ما هي أنواع المخاطر (تشغيلية، مالية، بيئية، تنظيمية) التي يمكن لـ RPA التأثير عليها إيجاباً أو سلباً؟
- ما هي العوامل التنظيمية والبشرية والتقنية التي تسهل أو تعيق تحقيق الفوائد المرجوة من RPA في سياق التعدين السعودي؟

١.٣ أهمية الدراسة

١.٣.١ الأهمية النظرية (العلمية)

تتجلى القيمة النظرية والعلمية لهذا البحث في عدة جوانب أساسية تثري الحقل المعرفي الأكاديمي:

أولاً: سد الفجوة المعرفية في أدبيات RPA

يسهم هذا البحث في إثراء الحقل المعرفي المتعلق بتقاطع أتمتة العمليات الروبوتية (RPA) مع مفاهيم الحوكمة التشغيلية وإدارة المخاطر، وذلك ضمن أحد أهم القطاعات الاستراتيجية في المملكة العربية السعودية والعالم. فمعظم الأدبيات السابقة ركزت على التطبيقات المالية والمحاسبية لـ RPA، بينما يفتح هذا البحث نافذة جديدة على تطبيقاته في القطاع الصناعي الثقيل، وهو ما يمثل إضافة نوعية للمعرفة العلمية [١٧].

ثانياً: تطوير إطار نظري متكامل

يسهم البحث في تطوير وتقديم إطار نظري متكامل يوضح الكيفية التي تُسهم بها RPA في تحسين الشفافية وتعزيز الامتثال وإدارة المخاطر في المؤسسات عالية التعقيد. هذا الإطار يجمع بين نظريات متعددة (نظرية الوكالة، إطار TOE، نظرية انتشار المبتكرات) في بناء تحليلي متماسك، وهو ما يوسع من فهم الأدبيات الحالية حول آليات تأثير التحول الرقمي في البنى الحوكمية.

ثالثاً: استكشاف سياق جديد

يضيف البحث منظورًا جديدًا وأصيلًا من خلال تطبيق مفاهيم الحوكمة التشغيلية وإدارة المخاطر على قطاع التعدين—وهو قطاع لم يحظَ بقدر كافٍ من الدراسات الإدارية مقارنة بقطاعات أخرى كالقطاع المالي أو الصحي أو الخدمي—مما يتيح بناء نموذج مفاهيمي يمكن اختباره وتطويره وتعميمه في دراسات لاحقة داخل قطاعات صناعية مشابهة (مثل النفط والغاز، الطاقة، البنية التحتية).

رابعاً: معالجة قضايا نظرية معاصرة

يتناول البحث قضايا نظرية حديثة ومتطورة مثل "الوكالة الاصطناعية" (Artificial Agency) وتحديات المساءلة في عصر الأتمتة الذكية، وهو ما يضعه في صدارة النقاش الأكاديمي العالمي حول مستقبل الحوكمة في ظل الذكاء الاصطناعي. [20][21]

خامساً: تأسيس لدراسات مستقبلية

يساهم البحث في سد فجوة معرفية واضحة في المنطقة العربية، وتطوير أسس نظرية متينة تدعم الباحثين وطلاب الدراسات العليا وصنّاع السياسات في استيعاب دور RPA في البيئات شديدة المخاطر، ويفتح آفاقاً لدراسات مستقبلية في مجالات متعددة مثل أخلاقيات الأتمتة، وتأثيرها على القوى العاملة، ومتطلبات التصميم المؤسسي للتحويل الرقمي.

١.٣.٢ الأهمية العملية (التطبيقية)

تتبع الأهمية العملية والتطبيقية للبحث من قدرته على تقديم رؤى قابلة للتطبيق وإرشادات عملية تُسهم في تعزيز كفاءة وفعالية العمليات التشغيلية والحوكمة في قطاع التعدين بالمملكة، وبما يحقق مستهدفات رؤية ٢٠٣٠. فمن خلال تحليل أثر RPA على الحوكمة التشغيلية، يساعد البحث الجهات المعنية والمختصة في تحقيق ما يلي:

١. رفع كفاءة الأعمال والإنتاجية:

عبر تقليل الأخطاء البشرية الناتجة عن الإرهاق أو التشوّط، وتسريع الإجراءات التشغيلية والإدارية بشكل كبير، خاصة في العمليات الخلفية (Back-office) مثل المحاسبة، إدارة الموردين، مراقبة الشحنات،

إدارة المخزون، وإعداد تقارير الامتثال. هذا يؤدي إلى توفير الوقت والجهد والموارد، وتمكين الموظفين من التركيز على المهام ذات القيمة المضافة الأعلى.

٢. تعزيز الامتثال التنظيمي والحوكمة:

من خلال توفير توثيق شامل وآني ومضاد للتلاعب لجميع العمليات، ما يسهّل إجراءات التدقيق الداخلي والخارجي بشكل كبير، ويزيد من موثوقية التقارير المقدمة للجهات الرقابية (مثل وزارة الصناعة والثروة المعدنية، هيئة السوق المالية، المركز الوطني للرقابة على الالتزام البيئي). هذا يقلل من مخاطر الغرامات والعقوبات ويعزز سمعة الشركة.

٣. تحسين بيئة الاستثمار وجذب رؤوس الأموال:

عبر دعم موثوقية البيانات المالية والتشغيلية وشفافية الإجراءات وسهولة تتبعها، الأمر الذي يجعل قطاع التعدين السعودي أكثر جاذبية وثقة للمستثمرين المحليين والدوليين، ويساهم في تحقيق هدف رؤية ٢٠٣٠ بجعل القطاع محركاً رئيسياً للاقتصاد.

٤. دعم إدارة المخاطر التشغيلية والبيئية والسلامة:

باستخدام تقنيات RPA المتكاملة مع أجهزة إنترنت الأشياء (IoT) لمراقبة الالتزام بالاشتراطات البيئية (مثل مستويات الانبعاثات وجودة المياه) وأنظمة السلامة (مثل أوقات عمل العمال في المناطق الخطرة، وصلاحية معدات الوقاية) بشكل لحظي ومستمر، وهي من أكثر التحديات حساسية وتكلفة داخل القطاع. يمكن للروبوتات التنبيه الفوري عند حدوث أي تجاوز، مما يسمح بالاستجابة السريعة قبل تفاقم المشكلة [٢٢][٢٣].

٥. تمكين صناع القرار من الاعتماد على بيانات دقيقة:

عبر توفير سجلات قابلة للتتبع وتحليلات لحظية لمؤشرات الأداء الرئيسية (KPIs)، ما يساهم في رفع جودة القرارات التشغيلية والاستراتيجية واتخاذها بناءً على حقائق وبيانات موثوقة بدلاً من التقديرات أو الانطباعات.

١.٣.٣ الجهات المستفيدة من الدراسة

تستفيد من نتائج هذا البحث مجموعة واسعة ومتنوعة من الجهات ذات العلاقة بقطاع التعدين والتحول الرقمي في المملكة العربية السعودية، وفي مقدمتها:

طبيعة الاستفادة المتوقعة	الجهة المستفيدة
توظيف نتائج الدراسة في تطوير سياسات واستراتيجيات رقمنة العمليات التعدينية وتعزيز الحوكمة التشغيلية على مستوى القطاع.	وزارة الصناعة والثروة المعدنية
الاستفادة من التوصيات في ترسيخ تقنيات الأتمتة والذكاء الاصطناعي في القطاعات الاستراتيجية كجزء من برامجه التنفيذية.	البرنامج الوطني لتطوير الصناعة الوطنية والخدمات اللوجستية (NIDLP)
تحسين كفاءتها التشغيلية وتقليل المخاطر وزيادة الشفافية عبر تبني حلول RPA بناءً على إطار علمي ومنهجي واضح.	شركات التعدين الوطنية (مثل معادن) والقطاع الخاص
الاعتماد على التوصيات لتعزيز آليات تتبع الامتثال ورفع مستويات الشفافية والمساءلة في القطاع.	هيئات الرقابة والتدقيق (مثل ديوان المراقبة العامة، هيئة الرقابة ومكافحة الفساد)
الاعتماد على الإطار النظري والمنهجي والتطبيقي المقدم في هذا البحث لتوسيع نطاق الدراسات المستقبلية في مجالات التحول الرقمي، حوكمة تكنولوجيا المعلومات، وإدارة المخاطر.	الباحثون والأكاديميون

١.٤ تساؤلات الدراسة

١.٤.١ السؤال الرئيسي

ما الأثر الذي تُحدثه أتمتة العمليات الروبوتية (RPA) في تعزيز الحوكمة التشغيلية وتقليل المخاطر في قطاع التعدين بالمملكة العربية السعودية؟

يسعى هذا السؤال الرئيسي إلى استكشاف طبيعة العلاقة بين المتغير المستقل (RPA) والمتغيرات التابعة (الحوكمة التشغيلية وإدارة المخاطر) بشكل شامل، وتحديد اتجاه وقوة هذه العلاقة في السياق السعودي الخاص.

١.٤.٢ الأسئلة الفرعية

يتفرع من السؤال الرئيسي مجموعة من الأسئلة التحليلية الأكثر تحديداً، والتي تساهم في تفكيك المشكلة والإجابة عليها بشكل منهجي:

١. السؤال الفرعي الأول: كيف يُسهم تطبيق تقنية RPA في تحسين مؤشرات الحوكمة التشغيلية (مثل الشفافية، المساءلة، والامتثال التنظيمي) في الشركات التعدينية السعودية؟ (يهدف هذا السؤال إلى فهم الآليات التفصيلية للتأثير).

٢. السؤال الفرعي الثاني: ما أنواع المخاطر التشغيلية والمالية والبيئية التي تُقللها RPA في بيئة التعدين، وما مدى فعاليتها في ذلك مقارنة بالأساليب التقليدية (اليدوية)؟ (يهدف إلى تحديد نطاق التأثير ونوعيته).

٣. السؤال الفرعي الثالث: ما التحديات التنظيمية والتقنية والبشرية التي تواجه تبني وتطبيق RPA في قطاع التعدين السعودي من منظور الحوكمة الرقمية وإدارة التغيير؟ (يهدف إلى استكشاف المعوقات والعوائق).

٤. السؤال الفرعي الرابع: ما المتطلبات الأساسية اللازمة لبناء إطار تكاملي فعال يدمج RPA ضمن أنظمة الحوكمة التشغيلية لضمان الاستدامة وتقليل الثغرات في بيئة التعدين؟ (يهدف إلى الخروج بتوصيات عملية قابلة للتطبيق).

٥. السؤال الفرعي الخامس: إلى أي مدى يتماشى تطبيق RPA في القطاع التعديني مع توجهات رؤية المملكة ٢٠٣٠ في التحول الرقمي وتنويع الاقتصاد وتحسين كفاءة القطاعات الحيوية؟ (يهدف إلى ربط نتائج الدراسة بالإطار الاستراتيجي الوطني).

١.٥ أهداف البحث

١.٥.١ الهدف الرئيس للبحث

يهدف هذا البحث بشكل رئيسي إلى تحليل وقياس أثر أتمتة العمليات الروبوتية (RPA) في تعزيز الحوكمة التشغيلية وتقليل المخاطر في قطاع التعدين بالمملكة العربية السعودية، مع تقييم مدى توافق هذا الأثر مع توجهات التحول الرقمي لرؤية ٢٠٣٠، وتقديم توصيات عملية تساهم في تحسين الممارسات الحالية والمستقبلية.

١.٥.٢ الأهداف الفرعية للبحث

يتفرع من الهدف الرئيس مجموعة من الأهداف الفرعية الإجرائية التي يسعى البحث لتحقيقها:

١. تقييم دور تقنية RPA: تقييم دور تقنية RPA في تحسين مؤشرات الحوكمة التشغيلية الرئيسية داخل الشركات التعدينية السعودية، ولا سيما الشفافية (Transparency)، المساءلة (Accountability)، والامتثال التنظيمي (Regulatory Compliance).
٢. تحليل تأثير RPA على المخاطر: تحليل أنواع المخاطر التشغيلية والمالية والبيئية التي يمكن لتطبيق RPA أن يساهم في الحد منها في بيئة التعدين، ومقارنة فاعليتها بالأساليب التقليدية المعتمدة حالياً.
٣. استكشاف التحديات: استكشاف وتحليل التحديات التنظيمية والتقنية والمؤسسية والبشرية التي تواجه تبني وتطبيق RPA في قطاع التعدين من منظور الحوكمة الرقمية والتحول المؤسسي.
٤. تحديد متطلبات الإطار التكاملي: تحديد المتطلبات والعناصر اللازمة لبناء إطار تكاملي فعال يدمج RPA ضمن أنظمة الحوكمة التشغيلية، بما يعزز الاستدامة (Sustainability) ويقلل من الثغرات والمخاطر التشغيلية الناشئة.
٥. تحليل الاتساق مع رؤية ٢٠٣٠: تحليل مدى اتساق ومواءمة تطبيق RPA في قطاع التعدين مع مستهدفات رؤية المملكة ٢٠٣٠ المتعلقة بالتحول الرقمي، وتمكين القطاع الخاص، وتنويع الاقتصاد الوطني، وتحسين كفاءة وشفافية القطاعات الحيوية.

١.٦ فروض الدراسة

١.٦.١ الفرضية الرئيسية

تنقسم الفرضية الرئيسية إلى فرضية بديلة (تثبت وجود علاقة) وفرضية صفيرية (تنفي وجود علاقة):

- الفرضية البديلة الرئيسية (H1): توجد علاقة ذات دلالة إحصائية موجبة بين مستوى تطبيق تقنية أتمتة العمليات الروبوتية (RPA) ومستوى الحوكمة التشغيلية (بأبعادها: الشفافية، المساءلة، الامتثال) في الشركات العاملة بقطاع التعدين بالمملكة العربية السعودية.
- الفرضية الصفيرية الرئيسية (H0): لا توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين مستوى تطبيق تقنية أتمتة العمليات الروبوتية (RPA) ومستوى الحوكمة التشغيلية في الشركات العاملة بقطاع التعدين بالمملكة العربية السعودية.

١.٦.٢ الفرضيات الفرعية

الفرضية الفرعية الأولى (العلاقة مع المخاطر):

- الفرضية البديلة (H1-1): يسهم تطبيق RPA بشكل إيجابي ودال إحصائياً في تقليل المخاطر التشغيلية (مثل الأخطاء البشرية، التأخير في الإجراءات، وثغرات الامتثال) في قطاع التعدين السعودي.
- الفرضية الصفيرية (H0-1): لا يسهم تطبيق RPA بشكل دال إحصائياً في تقليل المخاطر التشغيلية في قطاع التعدين السعودي.

الفرضية الفرعية الثانية (العلاقة مع الشفافية والمساءلة):

- الفرضية البديلة (H1-2): يرتبط ارتفاع مستوى تبني RPA ارتباطاً طردياً دال إحصائياً بزيادة مؤشرات الشفافية والمساءلة ضمن أنظمة الحوكمة التشغيلية في الشركات التعدينية السعودية.
- الفرضية الصفيرية (H0-2): لا توجد علاقة ارتباطية دالة إحصائياً بين مستوى تبني RPA ومؤشرات الشفافية والمساءلة في الشركات التعدينية.

الفرضية الفرعية الثالثة (العلاقة المقارنة):

- الفرضية البديلة (H1-3): يوجد فرق ذو دلالة إحصائية في مستوى فعالية الحوكمة التشغيلية بين الشركات التي تستخدم RPA وتلك التي لا تستخدمها في قطاع التعدين بالمملكة العربية السعودية.
- الفرضية الصفرية (H0-3): لا يوجد فرق ذو دلالة إحصائية في مستوى فعالية الحوكمة التشغيلية بين الشركات التي تستخدم RPA وتلك التي لا تستخدمها.

الفرضية الفرعية الرابعة (عوامل التعديل - Moderating Factors):

- الفرضية البديلة (H1-4): يُعد دعم القيادة التنظيمية العليا ووجود إطار رقمي متكامل للحوكمة (RPA Center of Excellence) من العوامل المُعدِّلة (Moderators) التي تعزز قوة العلاقة الإيجابية بين تبني RPA وتحسين الحوكمة وتقليل المخاطر في قطاع التعدين.
- الفرضية الصفرية (H0-4): لا يؤثر دعم القيادة التنظيمية أو وجود إطار رقمي للحوكمة كعوامل مُعدِّلة في العلاقة بين تبني RPA وتحسين الحوكمة وتقليل المخاطر.

١.٧ منهجية الدراسة

١.٧.١ نوع الدراسة ومنهجها

تنتمي هذه الدراسة إلى نوع الدراسات الوصفية التحليلية (Descriptive Analytical Studies)، والتي تسعى إلى وصف الظاهرة محل الدراسة (أثر RPA على الحوكمة والمخاطر) وتحليل العلاقات بين متغيراتها واختبار الفرضيات المقترحة.

يعتمد البحث على منهج البحث المختلط (Mixed-Methods Research)، الذي يجمع بين المقاربتين الكمية والنوعية في دراسة واحدة، وذلك للأسباب التالية:

- الشمولية: يتيح المنهج المختلط فهماً أعمق وأشمل للظاهرة المدروسة، حيث تسمح البيانات الكمية بقياس حجم الأثر واختبار الفرضيات إحصائياً، بينما تسمح البيانات النوعية بفهم الأسباب الكامنة وراء هذا الأثر، والسياقات التي تعززه أو تحد منه، والتحديات العملية التي تواجه التطبيق.

- **التثليث (Triangulation):** يمكن من التحقق من صحة النتائج ومطابقتها من خلال مصادر بيانات متعددة، مما يزيد من موثوقية الدراسة ومصادقيتها.
- **الإجابة على أسئلة متنوعة:** أسئلة الدراسة الحالية تتطلب إجابات كمية (مثل قياس قوة العلاقة) ونوعية (مثل استكشاف التحديات)، والمنهج المختلط هو الأنسب لذلك.

١.٧.٢ مجتمع الدراسة وعينتها

مجتمع الدراسة (Population): يتكون مجتمع الدراسة المستهدف من جميع الشركات العاملة في قطاع التعدين في المملكة العربية السعودية، والتي تشمل كبرى الشركات الوطنية (مثل شركة معادن وفروعها)، والشركات الأجنبية المستثمرة، وشركات القطاع الخاص المتوسطة والصغيرة العاملة في مجالات الاستكشاف والاستغلال والمعالجة والخدمات المساندة.

عينة الدراسة (Sample): سيتم اختيار عينة الدراسة باستخدام أسلوب العينة القصدية (Purposive Sampling)، حيث يتم اختيار الشركات التي لديها خبرة سابقة أو تطبيقات حالية في مجال أتمتة العمليات الروبوتية (RPA) أو التحول الرقمي بشكل عام. كما سيتم استهداف فئات محددة من المدراء والموظفين داخل هذه الشركات، وهم:

- مدراء تقنية المعلومات والتحول الرقمي.
- مدراء الحوكمة والمخاطر والامتثال.
- مدراء التدقيق الداخلي.
- مدراء العمليات والإنتاج.
- المستخدمون المباشرون لتقنيات (RPA محللون، محاسبون، منسقو مشتريات).

سيتم تحديد حجم العينة المناسب باستخدام معادلات إحصائية تضمن تمثيلها للمجتمع والقدرة على تعميم النتائج، مع مراعاة إمكانية الوصول إلى المبحوثين ونسبة الاستجابة المتوقعة.

١.٧.٣ أدوات الدراسة ومصادر جمع البيانات

أولاً: الأداة الكمية (الاستبانة):

سيتم تصميم استبانة إلكترونية محكمة كأداة رئيسية لجمع البيانات الكمية. ستحتوي الاستبانة على عدة أقسام:

١. البيانات الديموغرافية والمهنية: معلومات عن المستجيب (المسمى الوظيفي، سنوات الخبرة، المؤهل العلمي) والشركة (الحجم، نطاق العمل).
٢. قياس مستوى تبني RPA: مجموعة من العبارات تقيس مدى استخدام الشركة لتقنيات RPA في مختلف وظائفها، باستخدام مقياس ليكرت الخماسي.
٣. قياس أبعاد الحوكمة التشغيلية: عبارات تقيس مستوى الشفافية، المساءلة، والامتثال في الشركة.
٤. قياس فعالية إدارة المخاطر: عبارات تقيس مدى فعالية الشركة في تحديد وتقييم ومعالجة المخاطر التشغيلية والمالية والبيئية.
٥. قياس عوامل التعديل (التنظيمية): عبارات تقيس مستوى دعم الإدارة العليا، ومدى وجود إطار حوكمة رقمي (مثل مركز تميز للأتمتة).

سيتم التأكد من صدق (Validity) وثبات (Reliability) الاستبانة من خلال:

- عرضها على مجموعة من المحكمين والخبراء الأكاديميين والمهنيين.
- إجراء دراسة استطلاعية (Pilot Study) على عينة صغيرة لحساب معامل ألفا كرونباخ (Cronbach's Alpha) للتأكد من الاتساق الداخلي.

ثانياً: الأداة النوعية (المقابلة شبه المقتنة):

سيتم إجراء مقابلات شبه مقتنة (Semi-structured Interviews) مع عدد مختار من الخبراء وصناع القرار في الشركات التي تطبق RPA مثل مدراء التحول الرقمي، مدراء الحوكمة). تهدف هذه المقابلات إلى:

- التعمق في فهم تجارب الشركات مع RPA.
- استكشاف التحديات العملية والفرص غير المتوقعة.
- فهم آليات التأثير وكيفية تفاعل RPA مع السياقات التنظيمية والثقافية المختلفة.
- الحصول على رؤى نوعية غنية لا يمكن الحصول عليها عبر الاستبانة فقط.

سيتم تحليل نصوص المقابلات باستخدام تقنيات تحليل الموضوع (Thematic Analysis) لاستخراج الأنماط والموضوعات الرئيسية.

ثالثاً: المصادر الثانوية:

سيتم الاعتماد على تحليل الوثائق والتقارير المنشورة للشركات (مثل تقارير الاستدامة السنوية، تقارير الحوكمة) والجهات الرسمية (وزارة الصناعة، هيئة السوق المالية) لفهم السياق بشكل أعمق ومقارنة النتائج.

١.٧.٤ الأساليب الإحصائية لتحليل البيانات

سيتم تحليل البيانات الكمية المجمعة باستخدام برنامج SPSS أو SmartPLS (لنمذجة المعادلات الهيكلية)، وذلك باستخدام مجموعة من الأساليب الإحصائية الوصفية والاستدلالية:

- **الإحصاء الوصفي:** حساب المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية والتكرارات والنسب المئوية لوصف خصائص العينة وتوزيعات إجاباتهم على متغيرات الدراسة.
- **اختبارات الصدق والثبات:** استخدام معامل ألفا كرونباخ (Cronbach's Alpha) للتأكد من ثبات مقاييس الاستبانة.
- **اختبارات الفروض:**
 - **معامل ارتباط بيرسون (Pearson Correlation):** لاختبار العلاقة بين مستوى تبني RPA وأبعاد الحوكمة وإدارة المخاطر (الفرضيتان H1 و H2).
 - **اختبار ت (T-test):** لعينتين مستقلتين: لمقارنة متوسطات الحوكمة بين الشركات التي تستخدم RPA وتلك التي لا تستخدمها (الفرضية H3).
 - **تحليل الانحدار المتعدد (Multiple Regression Analysis):** لفحص تأثير العوامل المختلفة (بما في ذلك عوامل التعديل) على العلاقة بين المتغير المستقل والتابع (الفرضية H4).

◦ **نمذجة المعادلات الهيكلية (SEM):** اختيارياً، يمكن استخدام هذه التقنية المتقدمة لاختبار النموذج الهيكلي المقترح للدراسة بشكل متكامل، وتحديد العلاقات المباشرة وغير المباشرة بين المتغيرات.

١.٨ حدود الدراسة ومحدداتها

١.٨.١ الحدود الموضوعية (الموضوعية)

تتركز الحدود الموضوعية لهذه الدراسة في تناولها لتقنية واحدة محددة هي أتمتة العمليات الروبوتية (RPA) كمتغير مستقل، ودراسة تأثيرها على متغيرين تابعين محددين هما الحوكمة التشغيلية وإدارة المخاطر في قطاع التعدين. لا تتناول الدراسة تقنيات أخرى للتحويل الرقمي (مثل الذكاء الاصطناعي بمفرده، أو إنترنت الأشياء بمفرده) إلا في سياق تكاملها مع RPA. كما تركز على الأبعاد الإدارية والرقابية للحوكمة والمخاطر بشكل أساسي، وقد لا تغطي جميع الجوانب الفنية والهندسية الدقيقة.

١.٨.٢ الحدود المكانية (الجغرافية)

تقتصر الدراسة مكانياً على المملكة العربية السعودية، وتحديدًا على الشركات العاملة في قطاع التعدين داخل المملكة. وبالتالي، فإن نتائج الدراسة قد تعكس خصوصية البيئة السعودية (التشريعية، الاقتصادية، الثقافية) وقد لا تكون قابلة للتعميم المباشر على دول أو قطاعات أخرى دون إجراء دراسات مماثلة في تلك السياقات.

١.٨.٣ الحدود الزمنية (الزمانية)

سيتم إجراء الدراسة الميدانية وجمع البيانات خلال الفترة الممتدة من بداية العام ٢٠٢٥ إلى نهايته . وبالتالي، فإن النتائج والتوصيات تعكس واقع تطبيق RPA والحوكمة في قطاع التعدين السعودي خلال هذه الفترة الزمنية المحددة. ونظراً للتطور التكنولوجي السريع، قد تظهر تطورات وتقنيات جديدة بعد هذه الفترة لم تشملها الدراسة.

١.٨.٤ الحدود البشرية (المبحوثين)

تقتصر الدراسة على آراء وتصورات فئات محددة من الموظفين والمدراء داخل الشركات (كما هو محدد في عينة الدراسة)، ولا تشمل جميع العاملين في القطاع. تعتمد جودة النتائج على صدق وموضوعية إجابات المبحوثين.

١.٩ هيكل الدراسة

سيتم تنظيم هذه الدراسة في خمسة فصول رئيسية، بالإضافة إلى قائمة المراجع والملاحق، وذلك على النحو التالي:

الفصل الأول: الإطار العام للدراسة

(وهو هذا الفصل) ويتضمن مقدمة عامة، مشكلة الدراسة وأسئلتها، أهدافها، أهميتها النظرية والعملية، فروضها، منهجيتها، حدودها، ومصطلحاتها.

الفصل الثاني: الإطار النظري والدراسات السابقة

يتناول هذا الفصل استعراضاً وتحليلاً متعمقاً للأدبيات والنظريات ذات الصلة بمتغيرات الدراسة (RPA، الحوكمة التشغيلية، إدارة المخاطر)، بالإضافة إلى عرض ومناقشة نقدية للدراسات السابقة العربية والأجنبية، وتحديد الفجوة البحثية التي تسعى الدراسة الحالية لسدها، وبناء النموذج الفرضي للدراسة.

الفصل الثالث: منهجية الدراسة وإجراءاتها

يقدم هذا الفصل وصفاً تفصيلياً لمنهجية البحث المتبعة، ويتضمن: نوع الدراسة، مجتمعها وعينتها، أدوات جمع البيانات (الاستبانة والمقابلة) وكيفية تصميمها والتحقق من صدقها وثباتها، وإجراءات التطبيق الميداني، والأساليب الإحصائية المستخدمة في تحليل البيانات.

الفصل الرابع: تحليل النتائج واختبار الفروض

يعرض هذا الفصل النتائج التي تم التوصل إليها من خلال التحليل الإحصائي للبيانات الكمية (الاستبانات)، وتحليل المحتوى للبيانات النوعية (المقابلات). يتضمن الفصل جداول توضيحية وإحصائيات وصفية واستدلالية، بالإضافة إلى اختبار الفروض وقبولها أو رفضها.

الفصل الخامس: مناقشة النتائج والتوصيات

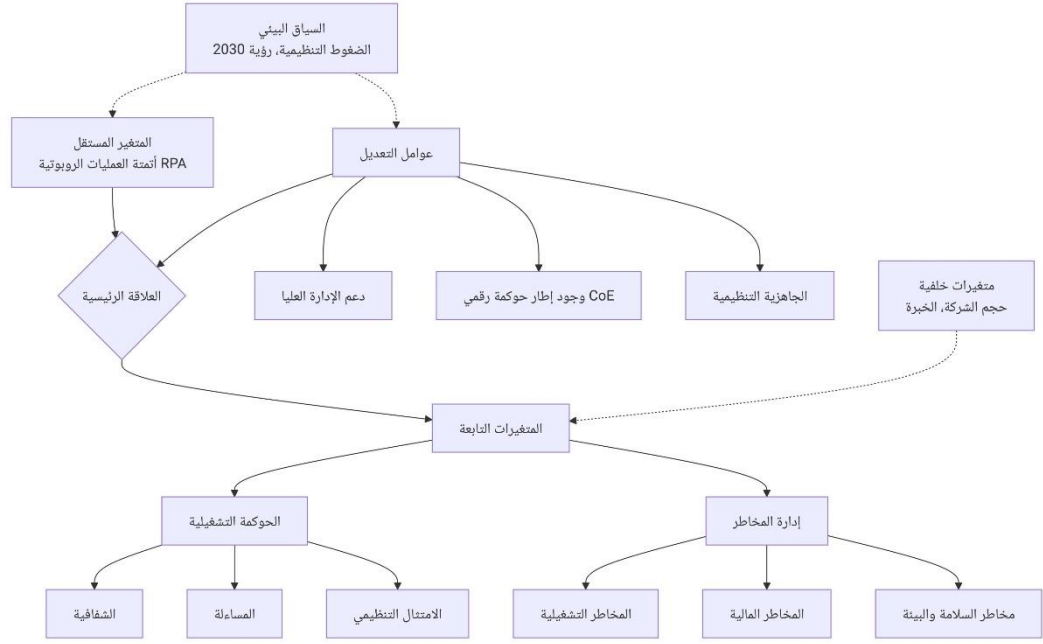
يناقش هذا الفصل النتائج التي تم التوصل إليها في ضوء الإطار النظري والدراسات السابقة، ويقدم تفسيراً لها. كما يخلص إلى تقديم مجموعة من التوصيات العملية لصانعي القرار والجهات المعنية، والمقترحات البحثية للدراسات المستقبلية، مع عرض لنموذج مقترح لتطبيق RPA في قطاع التعدين.

المراجع والملاحق:

قائمة بجميع المصادر والمراجع التي تم الاستشهاد بها في الدراسة، بالإضافة إلى ملاحق تحتوي على نماذج أدوات الدراسة (الاستبانة، أسئلة المقابلة).

١.١٠ مخطط الدراسة (النموذج المفاهيمي)

يوضح المخطط التالي (شكل ١.١) النموذج المفاهيمي المقترح للدراسة، والذي يصور العلاقات بين المتغيرات الرئيسية:



شكل (١.١): النموذج المفاهيمي المقترح للدراسة

يوضح الشكل العلاقة الرئيسية التي يبحثها هذا الدراسة: تأثير المتغير المستقل (RPA) على المتغيرات التابعة (الحوكمة التشغيلية وإدارة المخاطر). كما يبين العوامل المعدلة (كعوامل تفاعلية) التي قد تؤثر على قوة هذه العلاقة، والمتغيرات الخلفية والسياقية التي يجب أخذها في الاعتبار.

١.١١ تعريف المصطلحات (الإجرائي والمفاهيمي)

لضمان وضوح الدراسة وتوحيد فهم مصطلحاتها، يتم تعريف المفاهيم الرئيسية على النحو التالي:

١.١١.١ أتمتة العمليات الروبوتية (RPA)

- **التعريف الإجرائي:** تقنية برمجية تستخدم "روبوتات" افتراضية لمحاكاة التفاعلات البشرية مع الأنظمة الرقمية بهدف تنفيذ مهام إدارية وتشغيلية متكررة وقائمة على القواعد، مثل إدخال البيانات، ونقل الملفات، وتوليد التقارير، دون تدخل بشري مباشر [٢]. في هذه الدراسة، يُقاس من خلال مدى استخدام الشركات لهذه التقنية في وظائف مثل المشتريات، المحاسبة، إعداد التقارير، ومراقبة الامتثال.

١.١١.٢ الحوكمة التشغيلية

- **التعريف الإجرائي:** الإطار المتكامل من السياسات والإجراءات والضوابط الذي يضمن تنفيذ الأنشطة اليومية للشركة بكفاءة وفعالية، وشفافية، ووفقاً للقوانين واللوائح [٢٤]. في هذه الدراسة، يتم قياسها من خلال ثلاثة أبعاد رئيسية:
 - **الشفافية:** وضوح العمليات وإتاحة المعلومات لذوي العلاقة.
 - **المساءلة:** وضوح المسؤوليات وإمكانية محاسبة المسؤولين عن القرارات.
 - **الامتثال التنظيمي:** الالتزام بالقوانين واللوائح المحلية والدولية.

١.١١.٣ إدارة المخاطر

- **التعريف الإجرائي:** عملية منهجية ومنظمة لتحديد وتحليل وتقييم ومعالجة ومراقبة المخاطر التي تهدد تحقيق أهداف المنظمة، وفقاً للمعايير الدولية مثل [25] ISO 31000 في هذه الدراسة، ينصب التركيز على ثلاثة أنواع من المخاطر في قطاع التعدين:
 - **المخاطر التشغيلية:** مثل تعطل المعدات، والأخطاء البشرية.
 - **المخاطر المالية:** مثل الاحتيال، وعدم دقة التقارير المالية.
 - **مخاطر السلامة والبيئة:** مثل الحوادث، والتجاوزات البيئية.

١.١١.٤ قطاع التعدين

- **التعريف الإجرائي:** جميع الأنشطة الاقتصادية المرتبطة باستخراج ومعالجة وتصنيع وتسويق المعادن والمواد الخام من باطن الأرض، بما في ذلك المعادن الفلزية (كالحاس والذهب) واللافلزية (كالفوسفات والبوكسيت) والصخور الصناعية [٤]. في هذه الدراسة، يقصد به الشركات المرخصة لمزاولة أنشطة التعدين في المملكة العربية السعودية.

١.١١.٥ رؤية المملكة ٢٠٣٠

- **التعريف الإجرائي:** الخطة الاستراتيجية الطموحة للمملكة العربية السعودية التي تهدف إلى تنويع الاقتصاد، وتمكين القطاعات الحيوية كالتعدين، وتعزيز الشفافية وكفاءة الأداء الحكومي، والتحول

الرقمي [١٢]. في هذه الدراسة، يُنظر إليها كسياق استراتيجي عام توجه تطبيق RPA وتعزز من أهميته.

خلاصة الفصل الأول:

قدم هذا الفصل الإطار العام للدراسة، حيث تم التمهيد للموضوع من خلال مقدمة شاملة أوضحت أهمية التحول الرقمي وتقنية RPA في سياق رؤية ٢٠٣٠ وقطاع التعدين. ثم تم صياغة مشكلة الدراسة بدقة، وتحديد أسئلتها وأهدافها، وبناء فروض قابلة للاختبار. كما تم استعراض أهمية الدراسة النظرية والعملية، والجهات المستفيدة منها. واختتم الفصل بعرض المنهجية المتبعة، وحدود الدراسة، وهيكلها، والنموذج المفاهيمي المقترح، والتعريفات الإجرائية لمصطلحاتها الرئيسية، ليضع بذلك الأساس المتين للانتقال إلى الفصول التالية.

الفصل الثاني: الإطار النظري والدراسات السابقة

٢.١ مقدمة

يشهد العالم اليوم تحولاً جذرياً في نماذج الأعمال الصناعية والتشغيلية، مدفوعاً بموجات متلاحقة من التقدم التكنولوجي التي أعادت رسم خرائط الإنتاج والإدارة. فبعد أن كانت الثورة الصناعية الرابعة (Industry 4.0) تركز على الرقمنة والترابط، برزت مفاهيم الجيل الخامس (Industry 5.0) لتضع التعاون بين الإنسان والآلة في قلب المعادلة الاقتصادية، مع التركيز على الاستدامة والمرونة كقيم محورية تعيد تعريف العلاقة بين التكنولوجيا والمجتمع. في هذا السياق الديناميكي، لم تعد الأتمتة خياراً ترفيهياً لتعزيز الرفاهية المؤسسية، بل أصبحت ضرورة استراتيجية لضمان البقاء والنمو، لا سيما في القطاعات ذات الكثافة الرأسمالية والمخاطر التشغيلية العالية مثل قطاع التعدين. فالضغوط التنافسية العالمية، وتقلبات أسعار السلع، والطبيعة الخطرة للعمليات، كلها عوامل تفرض على الشركات البحث عن حلول مبتكرة لتعزيز الكفاءة وخفض التكاليف وفي مقدمتها التكاليف المرتبطة بالمخاطر والحوكمة.

تبرز تقنية أتمتة العمليات الروبوتية (Robotic Process Automation – RPA) كواحدة من أكثر التقنيات تأثيراً في هذا المشهد، حيث تطورت من مجرد أدوات برمجية لتنفيذ المهام الروتينية المتكررة إلى منظومات ذكية (Intelligent Automation) قادرة على دعم اتخاذ القرار، وتعزيز الشفافية، وفرض الامتثال التنظيمي [٢][٣]. وتكتسب هذه التقنية أهمية استثنائية في المملكة العربية السعودية، التي تضع قطاع التعدين كركيزة ثالثة للصناعة الوطنية ضمن رؤية ٢٠٣٠، مع تقديرات لقيمة الثروات المعدنية الكامنة تتجاوز ٩.٤ تريليون ريال (٢.٥ تريليون دولار) [٤][٥]. هذه الرؤية الطموحة لا تهدف فقط إلى استخراج هذه الثروات، بل إلى بناء قطاع تعديني متقدم ومستدام يساهم في تنويع الاقتصاد الوطني وتوفير فرص عمل نوعية [٧].

مع التسارع الكبير في إصدار الرخص التعدينية، الذي سجل نمواً قياسياً بنسبة ٢٢٠٪ في عام ٢٠٢٥ [٦]، وتوسع العمليات في مناطق نائية ومعقدة جيولوجياً مثل الدرع العربي [٧]، تواجه شركات التعدين تحديات هائلة تتعلق بالحوكمة التشغيلية (Operational Governance) وإدارة المخاطر (Risk Management). فالحجم الهائل للبيانات المتولدة من أجهزة الاستشعار والمعدات والعمليات اليومية،

والضغوط التنظيمية المتزايدة للامتثال للمعايير البيئية والاجتماعية (ESG)، والحاجة الملحة إلى حماية الأرواح والأصول في بيئات عمل قاسية، كلها عوامل تتطلب حلولاً تتجاوز القدرات البشرية التقليدية. هنا يأتي دور RPA ليس فقط كأداة لكفاءة العمليات، بل كآلية لضمان الشفافية والمساءلة والاستجابة السريعة للمخاطر [١١].

يهدف هذا الفصل إلى تقديم تأصيل نظري ومفاهيمي شامل ومتعمق لمتغيرات الدراسة، من خلال استعراض وتحليل نقدي للأدبيات التي تربط بين تقنية RPA والحوكمة وإدارة المخاطر. ينقسم الفصل إلى ثلاثة أجزاء رئيسية: يبدأ أولاً بالإطار النظري (Theoretical Framework) الذي يستند إلى تكامل ثلاث نظريات كبرى هي نظرية الوكالة (Agency Theory)، وإطار التكنولوجيا-المنظمة-البيئة (TOE)، ونظرية انتشار المبتكرات (DOI). يتم توظيف هذه النظريات لتفسير دوافع تبني التقنية وآلياته، وكيفية إعادة تشكيلها للعلاقات والمسؤوليات داخل المؤسسة. ينتقل ثانياً إلى الإطار المفاهيمي (Conceptual Framework)، حيث يتم تفكيك متغيرات الدراسة وتحليل طبيعتها في سياق التعدين، مع التركيز على التطبيقات المتقدمة لـ RPA في سلاسل القيمة التعدينية، وتحليل مكونات الحوكمة التشغيلية الرقمية في ضوء أحدث الأبحاث، ومناقشة منهجيات إدارة المخاطر وفق معيار ISO 31000 وكيفية تفعيلها عبر الأتمتة. وأخيراً، يتم ثالثاً استعراض ومناقشة الدراسات السابقة العربية والأجنبية الحديثة (٢٠٢٠-٢٠٢٦) بشكل نقدي، بهدف تحديد الفجوات البحثية بدقة وبناء النموذج الفرضي للدراسة الذي سيتم اختباره ميدانياً.

٢.٢ الإطار النظري (Theoretical Framework)

مقدمة تحليلية للإطار النظري

يشكل الإطار النظري الركيزة الأساسية التي تستند إليها أي دراسة علمية رصينة، حيث يقدم العدسات التحليلية والمفاهيمية التي من خلالها يتم تفسير الظاهرة المدروسة وفهم أبعادها المختلفة. في هذه الدراسة، ونظراً لتعقيد العلاقة بين التقنية (أتمتة العمليات الروبوتية) والممارسات الإدارية (الحوكمة التشغيلية وإدارة المخاطر) في بيئة صناعية فريدة كالتعدين، كان لابد من بناء إطار نظري متكامل ومتعدد الأبعاد قادر على استيعاب هذا التعقيد وتقديم تفسيرات عميقة وشاملة.

تستند هذه الدراسة في بنائها المعرفي إلى تكامل ثلاث نظريات رئيسية كبرى، يتناول كل منها زاوية مختلفة من زوايا الظاهرة، ليشكل معاً بناءً نظرياً متكاملًا ومنسجمًا. فبينما تفسر **نظرية الوكالة (Agency Theory)** الدوافع الرقابية والحوكمة الكامنة وراء تبني الأتمتة، من منظور علاقات السلطة والمعلومات بين الأطراف المختلفة، يوضح إطار **التكنولوجيا-المنظمة-البيئة (TOE Framework)** العوامل السياقية المتعددة والمتداخلة التي تؤثر في القرار المؤسسي لتبني هذه التقنية، وتساعد **نظرية انتشار المبتكرات (Diffusion of Innovation – DOI)** في فهم خصائص التقنية ذاتها التي تسرع أو تعيق قبولها وانتشارها في بيئة عمل شاقة وتقليدية كالتعدين.

هذا التكامل النظري المتقن يوفر رؤية شمولية متعددة المستويات (Multi-level Analysis) تمكن من تحليل الظاهرة من مستويات متعددة ومتكاملة: مستوى الفرد (خصائص المبتكر)، مستوى المنظمة (عواملها الداخلية)، والمستوى البيئي (العوامل الخارجية والمحيطية). وهو ما يتوافق مع الطبيعة المركبة والمتشابكة لمشكلة البحث.

٢.٢.١ نظرية الوكالة (Agency Theory) وتطورها نحو "الوكالة الاصطناعية" (Artificial Agency)

الجزور الفلسفية والنشأة والتطور التاريخي

تُعد نظرية الوكالة (Agency Theory) واحدة من أكثر النظريات تأثيراً وانتشاراً في الأدبيات الاقتصادية والإدارية والمحاسبية خلال العقود الأربعة الماضية. تعود جذورها الفلسفية إلى أعمال آدم سميث (Adam Smith) في القرن الثامن عشر، الذي أشار في كتابه "ثروة الأمم" (١٧٧٦) إلى مشكلة الفصل بين الملكية والإدارة، حيث لاحظ أن مديري الشركات (وكلاء) لا يمكن توقع أن يديروا أموال الآخرين (الأصيل) بنفس الحرص الذي يديرون به أموالهم الخاصة. لكن الصياغة العلمية الرصينة للنظرية تعود إلى العمل المؤسس لكل من Michael Jensen و William Meckling في عام ١٩٧٦ من خلال ورقتهما الشهيرة " Theory of the Firm: Managerial Behavior, Agency Costs and Ownership Structure" التي نشرت في Journal of Financial Economics.

المبادئ الأساسية والافتراضات الجوهرية

تقوم نظرية الوكالة في صياغتها الكلاسيكية على تحليل العلاقة التعاقدية بين طرفين رئيسيين: "الأصيل" (Principal)، وهو الطرف الذي يملك الموارد والصلاحيات في اتخاذ القرارات الكبرى (مثل المساهمين، مجلس الإدارة، أو الجهات التنظيمية الحكومية)، و"الوكيل" (Agent)، وهو الطرف الذي يتم تفويضه لاتخاذ القرارات وإدارة الموارد نيابة عن الأصيل (مثل الإدارة التنفيذية والتشغيلية، المدراء، المشرفين). تقوم النظرية على افتراضين أساسيين يفسران نشوء "مشكلة الوكالة" (Agency Problem):

الافتراض الأول: تعارض المصالح (Conflict of Interest): يفترض النموذج الاقتصادي الكلاسيكي أن الأفراد (سواء كانوا أصيلاً أو وكيلاً) هم كائنات عقلانية تسعى لتعظيم منفعتها الذاتية (Utility Maximization). هذا يعني أن الوكيل، في سياق عمله، قد يسعى لتحقيق منافع شخصية (مثل الحصول على مكافآت مالية مرتبطة بحجم الإنتاج على حساب الجودة، أو السعي لتحقيق شهرة ومكانة على حساب العائد طويل الأجل للمستثمرين) على حساب المصلحة الفضلى للأصيل. في قطاع التعدين، يمكن أن يتجلى هذا التعارض في قيام مدير المنجم بدفع عماله للإنتاج بأقصى سرعة لتحقيق مستهدفات المكافآت السنوية، متجاهلاً إجراءات السلامة أو الاستدامة البيئية التي تهم المجتمع والمساهمين على المدى البعيد.

الافتراض الثاني: عدم تماثل المعلومات (Information Asymmetry): يفترض هذا الافتراض أن الوكيل يمتلك معلومات أكثر وأدق وأحدث عن العمليات اليومية والمخاطر الحقيقية والفرص المتاحة مقارنة بالأصيل. الوكيل يعيش يومياً في موقع العمل (المنجم)، يرى عن كثب أداء المعدات، ويدرك التحديات الحقيقية، بينما الأصيل (سواء كان مستثمراً بعيداً أو هيئة تنظيمية) لا يرى إلا التقارير الدورية التي يعدةا الوكيل نفسه. هذا التفاوت المعلوماتي يخلق فرصة للوكيل لاستغلال هذه المعلومات لصالحه الشخصي، مثلاً من خلال إخفاء الأداء الضعيف، أو تضخيم النجاحات، أو التغاضي عن الإبلاغ عن حوادث بيئية بسيطة خوفاً من المساءلة.

تكاليف الوكالة (Agency Costs)

نتيجة لمشكلة الوكالة، تنشأ ثلاثة أنواع من التكاليف التي تتحملها المؤسسة (أي يتحملها الأصل في النهاية) وهي ما يعرف بتكاليف الوكالة:

١. **تكاليف المراقبة (Monitoring Costs)**: وهي التكاليف التي يبذلها الأصل لمراقبة سلوك الوكيل والتأكد من أنه يتصرف بما يحقق مصلحته. مثل تكاليف إنشاء أقسام التدقيق الداخلي، وتعيين مدققين خارجيين، وبناء أنظمة رقابة داخلية.
٢. **تكاليف التأمين/الحوافز (Bonding Costs)**: وهي التكاليف التي يبذلها الوكيل ليؤكد للأصل أنه سيتصرف بما يحقق مصلحته (مثل شراء وثائق تأمين على المسؤولية المهنية، أو قبول نظم حوافز مرتبطة بالأداء طويل الأجل).
٣. **الخسارة المتبقية (Residual Loss)**: وهي قيمة الخسارة التي تتحملها المؤسسة بالرغم من وجود أنظمة المراقبة والتأمين، أي الفجوة بين القرار الأمثل الذي كان يمكن اتخاذه لو توفرت المعلومات الكاملة، والقرار الفعلي الذي اتخذته الوكيل.

آليات حل مشكلة الوكالة التقليدية

لتقليل تكاليف الوكالة، طورت الأدبيات آليتين رئيسيتين:

- **آليات الحوكمة الداخلية**: مثل مجالس الإدارة القوية، واللجان المتخصصة (لجنة المراجعة، لجنة المكافآت)، وأنظمة الرقابة الداخلية، وهياكل الحوافز المصممة بعناية (مثل ربط المكافآت بالأداء طويل الأجل ومؤشرات الاستدامة).
- **آليات الحوكمة الخارجية**: مثل سوق المال (حيث يمكن للمستثمرين بيع أسهمهم إذا كان أداء الإدارة ضعيفاً)، وسوق العمل للمدراء (حيث تتأثر سمعة المديرين بأدائهم)، والجهات التنظيمية والرقابية الحكومية.

نظرية الوكالة في سياق التحول الرقمي وقطاع التعدين

في سياق التحول الرقمي الجذري والمعاصر، وقطاع التعدين عالي التعقيد والمخاطر، يعاد تشكيل هذه النظرية الكلاسيكية بشكل جوهري من خلال محورين رئيسيين ومتربطين بعمق مع موضوع هذه الدراسة:

المحور الأول: الأتمتة كأداة استراتيجية فائقة الفعالية لتقليل عدم تماثل المعلومات (Reducing Information Asymmetry):

تجادل الأدبيات الحديثة جداً لعامي ٢٠٢٤ و ٢٠٢٥ بأن تقنيات RPA والتحول الرقمي الشامل تعمل كآليات ضبط فعالة وقوية بشكل غير مسبوق لتقليل الفجوة المعلوماتية التاريخية بين الإدارة في المقر الرئيسي (Headquarters) والعمليات الميدانية في المناجم النائية والمعزولة [٩][١٠]. فبدلاً من الاعتماد على تقارير دورية (شهرية أو ربع سنوية) قد تكون منقحة أو مجمعة أو متحيزة بشكل مقصود أو غير مقصود، توفر الأتمتة تدفقاً لحظياً ومستمراً من البيانات الأولية وغير القابلة للتعديل.

آلية العمل التفصيلية:

تقوم الروبوتات البرمجية (Software Robots) بتسجيل وتوثيق كل معاملة، كل إجراء تشغيلي، وكل تغيير في حالة المعدات في سجلات تدقيق إلكترونية (Audit Logs) غير قابلة للتعديل (Immutable Audit Trails). هذه السجلات تمثل "مصدر حقيقة" (Single Source of Truth) واحد وموثوق ويمكن الرجوع إليه في أي وقت. على سبيل المثال:

- في عمليات الشراء: يسجل الروبوت تلقائياً وقت إنشاء طلب الشراء، ومن قام به، ومن وافق عليه، وأي تعديلات طرأت عليه، ووقت تحويله لأمر شراء. لا يمكن لأحد إخفاء عملية شراء تمت بالمخالفة للسياسات.
- في عمليات الإنتاج: تقوم الروبوتات المتكاملة مع أجهزة الاستشعار (IoT) بتسجيل كميات الإنتاج اللحظية، أوقات تعطل المعدات، وأعطالها. هذه البيانات تذهب مباشرة إلى أنظمة التخطيط (ERP) دون تدخل بشري، مما يمنع التلاعب بأرقام الإنتاجية أو إخفاء فترات التوقف الحقيقية.

- في عمليات السلامة: تسجل أنظمة الدخول بالبطاقات الذكية والكاميرات أوقات تواجد العمال في المناطق الخطرة، ويقوم الروبوت بمطابقة هذه البيانات مع جداول التدريب على السلامة للتأكد من أن الموجودين في المنطقة مؤهلين لذلك.

النتائج العميقة على الرقابة والحوكمة:

هذا التدفق الآني والشامل للبيانات يمنح "الأصيل" (سواء كان مدققاً داخلياً، أو هيئة تنظيمية كوزارة الصناعة والثروة المعدنية، أو حتى مستثمراً مؤسسياً) قدرة رقابية غير مسبقة في تاريخ الإدارة. لم يعد بإمكان "الوكيل" البشري (مشرف المنجم، مدير الإنتاج، أو حتى مدير المصنع) حجب المعلومات المتعلقة بالمخاطر البيئية، أو انخفاض الإنتاجية الحقيقي، أو تجاوزات بروتوكولات السلامة، لأن الروبوتات تسجل هذه الأحداث في الوقت الفعلي وتنقلها إلى أنظمة مركزية لا يمكنه التحكم بها.

على سبيل المثال، يمكن لنظام RPA مراقبة أوقات تعطل الشاحنات بشكل آلي ومقارنتها بخطط الإنتاج المعتمدة، مما يكشف مباشرة عن أي خلل في الكفاءة كان يمكن إخفاؤه سابقاً في تقارير مجمعة تتحدث عن "معدلات أداء مقبولة". هذا يقضي بشكل كبير على ظاهرة "تجميل" التقارير (Window Dressing).

تحويل جذري لدور التدقيق والرقابة:

يتحول دور التدقيق والرقابة بشكل جذري من الفحص الدوري للعينات (Sampling) الذي يعتمد على الحدس والخبرة والعيينات المحدودة، إلى الفحص الشامل والمستمر (Continuous Monitoring) لكامل المجتمع الإحصائي للعمليات بنسبة ١٠٠٪. هذا التحول:

- يقلل بشكل كبير من "تكاليف الوكالة" المرتبطة بالمراقبة والتحقق، حيث أن جزءاً كبيراً من هذه المهمة يتم آلياً وبتكلفة هامشية ضئيلة.
- يكشف عن الحالات الشاذة والأنماط غير المعتادة التي قد تشير إلى مشاكل أعمق (مثل وجود نمط معين من التأخير في إقفال الفواتير يشير إلى محاولة احتيال محتملة).

- يسمح "بالتنقيب في العمليات" (Process Mining) لتحليل سجلات الأحداث التي تنتجها أنظمة RPA تلقائياً، وذلك لتحديد الاختناقات والانحرافات عن المسار المثالي للعملية، وتحديد فرص التحسين، والتنبؤ بالمخاطر المستقبلية [٤١][٤٢].

المحور الثاني: ظهور وتحدي مفهوم "الوكالة الاصطناعية" (Artificial Agency):

مع التطور الهائل والمتسارع في تقنيات الذكاء الاصطناعي، وتحديدًا الذكاء الاصطناعي التوليدي (Generative AI) وأنظمة التعلم المعزز (Reinforcement Learning)، تطورت أنظمة RPA من مجرد منفذ للقواعد الثابتة والمبرمجة (Rule-based) إلى أنظمة مدعومة بالذكاء الاصطناعي وقادرة على التعلم واتخاذ قرارات مستقلة (Agentic AI). هذا التحول الجذري يخلق تحدياً نظرياً وأخلاقياً وعملياً جديداً يُعرف في الأدبيات المعاصرة بـ "الوكالة الاصطناعية" (Artificial Agency) [١٢][١٣]. هذا المفهوم يعيد تعريف من أو ما هو "الوكيل" في نظرية الوكالة الكلاسيكية.

التحول الجذري في مفهوم الوكيل:

في هذا السياق الجديد والمتطور، لم يعد "الوكيل" مقصوراً على العنصر البشري فحسب، بل أصبح النظام الخوارزمي المعقد نفسه يمتلك درجة من "الوكالة" أي القدرة على الفعل واتخاذ القرار في نطاقات محددة مسبقاً. على سبيل المثال، في قطاع التعدين المتقدم، يمكن لنظام RPA ذكي (مدعوم بخوارزميات تعلم الآلة) بعد تحليل بيانات حية من أجهزة استشعار الاهتزاز والحرارة والضغط على شاحنة نقل عملاقة:

- أن يقرر بشكل مستقل إيقاف تشغيل المحرك بالكامل لمنع تعطل كارثي ومكلف، وذلك قبل أن يظهر أي عطل واضح يمكن للسائق البشري ملاحظته.
- يمكنه إعادة جدولة عمليات الصيانة بشكل ديناميكي بناءً على أولويات الإنتاج المتغيرة وحالة المعدات، فيقرر تقديم صيانة شاحنة معينة على أخرى لأنها تعمل في منطقة أكثر وعورة.
- يمكنه حتى تعديل خطة الحفر اليومية بناءً على بيانات جيولوجية محدثة واردة من طائرات مسيرة (Drones) تحلق فوق المنجم، لتحسين استخراج الخام [١٤][١٥].

إشكالية المساءلة والأخلاق في عصر الوكلاء الآليين:

تطرح الدراسات النظرية والتطبيقية لعام ٢٠٢٥ وما بعدها تساؤلاً جوهرياً ومعقداً: كيف نطبق مبادئ الحوكمة والمساءلة (Accountability) عندما يكون الوكيل الذي اتخذ قراراً أدى إلى خسارة مالية (أو منع كارثة) هو "روبوت" بلا نية أخلاقية ولا وعي ولا مشاعر؟

تشير الأبحاث المتقدمة إلى أن النظرية التقليدية التي تعتمد على نظام الحوافز والعقوبات (Incentives and Penalties) المصمم أصلاً للبشر لا يصلح هنا على الإطلاق [١٢]. فلا يمكن معاقبة الروبوت بتخفيض راتبه، ولا يمكن مكافأته بترقيته. كما أن السؤال عن "نية" الروبوت عند ارتكابه خطأ هو سؤال غير ذي معنى. هذا يخلق فراغاً في المساءلة: من يتحمل مسؤولية قرار خاطئ اتخذته وكيل آلي؟ هل هو المبرمج الذي كتب الكود؟ أم مدير المشروع الذي حدد المعايير؟ أم الرئيس التنفيذي الذي وافق على استخدام النظام؟ أم الشركة المصنعة للبرنامج؟

الحل النظري والتطبيقي: "الحوكمة بالتصميم" (Governance by Design) و"الامتثال بالتصميم" (Compliance by Design):

الحل الذي تقدمه الأدبيات الحديثة لهذه المعضلة الجديدة يكمن في الانتقال إلى مرحلة "الحوكمة بالتصميم" أو "الامتثال بالتصميم" [٣٥]. في هذا النموذج النظري التطبيقي، تنتقل الحوكمة من كونها عملية رقابة لاحقة (Ex-post) على القرارات والأفعال، إلى كونها عملية تصميم مسبق (Ex-ante) للأنظمة ذاتها.

يتم ذلك من خلال:

١. **تضمين القواعد:** يتم تضمين قواعد الامتثال، والحدود الأخلاقية، وسياسات الشركة، والقيود القانونية والتنظيمية داخل الكود البرمجي للروبوت نفسه عند تصميمه وبرمجته.
٢. **تحديد حدود السلطة:** يتم "تحديد حدود سلطة" الوكيل الآلي بشكل صارم لا يمكن تجاوزه. على سبيل المثال، يمكن برمجة الروبوت بحيث لا يتجاوز أبداً حداً معيناً للإنفاق دون موافقة بشرية (سقف للصلاحيات المالية). أو بحيث يوقف أي عملية تشغيلية تظهر مؤشرات خطر تتجاوز العتبات الآمنة المسموح بها (حدود السلامة).

٣. تصميم آليات الإيقاف والإحالة: يتم تصميم آليات إجبارية تمنع الروبوت من اتخاذ قرار في مواقف معينة عالية المخاطر، وتحيل القرار إلى وكيل بشري (Human-in-the-loop). هذا يضمن أن القرارات المصيرية تبقى في النهاية بيد البشر.

٤. الشفافية الكاملة للقرار: يتم تصميم النظام بحيث يكون "قابلاً للتفسير" (Explainable AI - XAI)، أي أن أي قرار يتخذه الوكيل الآلي يجب أن يكون مصحوباً بتفسير واضح للأسباب والبيانات التي أدت إلى هذا القرار، مما يمكن البشر من مراجعته وفهمه وتقييمه.

بهذه الطريقة، يضمن "التصميم" أن "الوكيل الآلي" لا يمكنه أن ينحرف عن الأهداف والقيم المحددة من قبل "الأصيل" البشري، وبذلك تظل المساءلة النهائية (Ultimate Accountability) في يد البشر الذين قاموا بتصميم ونشر وتشغيل ومراقبة النظام [١٥]. المساءلة هنا هي مساءلة عن جودة التصميم واكتمال الضوابط المضمنة.

خلاصة القسم ودلالاته للدراسة الحالية

تقدم نظرية الوكالة، بصيغتها الموسعة التي تتضمن مفهوم الوكالة الاصطناعية، إطاراً تفسيرياً قوياً للدراسة الحالية. فهي تشرح:

- لماذا تسعى شركات التعدين (كأصيل) لتبني RPA: لتقليل تكاليف الوكالة الناتجة عن عدم تماثل المعلومات مع مدراءها الميدانيين (وكلاء بشر).
- كيف يعمل RPA على تحسين الحوكمة: من خلال خلق شفافية قسرية وتدفق معلوماتي غير مسبوق.
- ما هي التحديات الجديدة التي تظهر مع RPA المتقدم: تحدي الوكالة الاصطناعية وإشكالية المساءلة.
- كيف يمكن مواجهة هذه التحديات: من خلال تبني نهج "الحوكمة بالتصميم" في تطوير وتشغيل أنظمة الأتمتة.

٢.٢.٢ إطار التكنولوجيا-المنظمة-البيئة (TOE Framework)

النشأة والتطور والفكرة المحورية

يُعد إطار التكنولوجيا-المنظمة-البيئة (Technology–Organization–Environment Framework – TOE) أحد أكثر النماذج النظرية استخداماً وشمولاً ومرونة في مجال نظم المعلومات الإدارية (MIS) وتحليل تبني الابتكارات التكنولوجية في السياق المؤسسي. طور هذا الإطار كل من Louis G. Tornatzky و Mitchell Fleischer في كتابهما الرائد "The Processes of Technological Innovation" الذي صدر عام ١٩٩٠. تستند الفكرة المحورية للإطار إلى أن عملية تبني وتنفيذ واستخدام الابتكارات التكنولوجية في المؤسسات لا تتحدد بعامل واحد فقط، بل تتأثر بتفاعل معقد بين ثلاث فئات عريضة من العوامل (السياقات) هي: السياق التكنولوجي (Technological Context)، والسياق التنظيمي (Organizational Context)، والسياق البيئي (Environmental Context).

الأساس النظري للإطار

يستند إطار TOE إلى أسس نظرية متعددة، أبرزها:

- **نظرية الانتشار (Diffusion Theory):** خاصة من حيث تركيزها على خصائص الابتكار.
- **نظرية التنظيم (Organization Theory):** التي تهتم بدراسة الهيكل التنظيمي والعمليات والموارد.
- **نظرية الاعتماد على الموارد (Resource Dependence Theory):** التي تركز على كيفية تأثير المنظمة ببيئتها الخارجية والموارد التي تحصل عليها منها.

ونظراً لتعقيد قطاع التعدين وتشابك عوامله الداخلية والخارجية، وتعدد الأطراف المؤثرة فيه (منظمات حكومية، مجتمعات محلية، موردون عالميون، مستثمرون)، يوفر هذا الإطار هيكلية تحليلية مثالية ومنظمة لفهم العوامل المتداخلة والمتفاعلة التي تؤثر على قرار نشر تقنية معقدة ومكلفة مثل RPA [16][18]. يتكون الإطار من ثلاثة سياقات رئيسية يتم تحليلها بالتفصيل أدناه:

أولاً: السياق التكنولوجي (Technological Context):

يركز هذا السياق على الخصائص التقنية للبنية التحتية القائمة داخل المنظمة، وكذلك خصائص التقنيات الجديدة المتاحة في السوق، وكيفية تفاعل هذه الخصائص مع بعضها البعض ومع احتياجات الشركة. يمكن تقسيم العوامل في هذا السياق إلى:

١. التوافق (Compatibility):

يُعرف التوافق بأنه الدرجة التي يُنظر بها إلى التقنية الجديدة على أنها منسجمة ومتوافقة مع القيم الحالية، والخبرات السابقة، والاحتياجات الحالية للمنظمة. في قطاع التعدين، تعتمد الشركات غالباً على أنظمة قديمة ومتشعبة ومتداخلة (Legacy Systems) تراكمت على مدى عقود، بالإضافة إلى معدات ثقيلة من موردين متعددين ببروتوكولات تشغيل واتصال مختلفة ومتباينة. في هذا السياق المعقد، يُعد توافق تقنية RPA مع هذه الأنظمة المتنوعة عاملاً حاسماً وحاسوبياً في نجاح أو فشل التبنّي [١٩].

تشير الدراسات التطبيقية إلى أن RPA يتميز بكونه تقنية "غير تدخلية" (Non-invasive) إلى حد كبير مقارنة ببدائل التكامل الأخرى (مثل تطوير واجهات برمجة تطبيقات API معقدة). وذلك لأنه يعمل عبر واجهة المستخدم الرسومية (Graphical User Interface - GUI) محاكياً تصرفات البشر (نقر الفأرة، ضغط الأزرار، نسخ ولصق النصوص). هذا يعني أنه يمكن تركيبه وتشغيله "فوق" الأنظمة القديمة (On Top) دون الحاجة إلى تغيير البنية التحتية الأساسية أو استبدالها أو حتى فتحها للتعديل. هذه الخاصية تخفف بشكل كبير من تكاليف التبنّي، وتقتصر المدة الزمنية اللازمة للتنفيذ، وتقلل من المخاطر التقنية المرتبطة بمشاريع التحول الرقمي الكبرى. على سبيل المثال، يمكن أتمتة عملية استخراج بيانات من تقارير جيولوجية قديمة (PDF) وإدخالها في نظام ERP حديث باستخدام RPA دون الحاجة لمسح جميع التقارير القديمة أو تغيير نظام ERP.

٢. التعقيد (Complexity) وسهولة الاستخدام (Ease of Use):

التعقيد هو الدرجة التي يُنظر بها إلى التقنية على أنها صعبة الفهم والاستخدام والتشغيل. على الرغم من فوائدها الهائلة، فإن دمج الروبوتات في بيئات تشغيلية خطيرة وحساسة مثل المناجم يتطلب مستوى عالٍ جداً من الموثوقية والدقة (Reliability). الخوف من الأعطال التقنية أو الأخطاء البرمجية (Bugs)

التي قد تؤدي إلى توقف الإنتاج (Downtime) أو حتى حوادث سلامة (مثل إعطاء أمر خاطئ لنظام تحكم) يمثل عائقاً تكنولوجياً كبيراً يجب معالجته من خلال اختبارات مكثفة (Testing) وأنظمة مراقبة ذاتية للروبوتات [٢٠].

في المقابل، ظهرت في السنوات الأخيرة منصات RPA منخفضة الكود أو حتى منعدمة الكود (Low-Code/No-Code Platforms) ساهمت بشكل كبير في تسريع انتشار التقنية، لأنها تمكن فرق الأعمال (Business Users) - مثل المحاسبين أو مهندسي التعدين أو موظفي المشتريات - من تطوير وأتمتة عملياتهم بأنفسهم، عبر واجهات مرئية (Drag-and-Drop)، دون اعتماد كلي على فرق تقنية المعلومات المتخصصة والمشغولة عادة. هذا يقلل من "التعقيد" المدرك للتقنية ويسرع من وتيرة الابتكار.

٣. الميزة النسبية (Relative Advantage):

وهي الدرجة التي يُنظر بها إلى التقنية الجديدة على أنها تقدم فوائد تفوق بشكل واضح التقنيات أو الطرق الحالية. في سياق التعدين، تتجلى الميزة النسبية لـ RPA في عدة جوانب: سرعة إنجاز المهام الإدارية (تقليل وقت معالجة الفواتير من أيام إلى دقائق)، الدقة الفائقة (خفض نسبة الخطأ البشري إلى ما يقرب من الصفر)، والقدرة على العمل على مدار الساعة (٢٤/٧) دون كلل أو ملل.

ثانياً: السياق التنظيمي (Organizational Context):

يتعلق هذا السياق بالخصائص والهياكل والموارد والعمليات الداخلية للشركة. وهو يعكس "الشخصية" الداخلية للمؤسسة وكيفية عملها. من أبرز العوامل في هذا السياق:

١. دعم الإدارة العليا (Top Management Support):

تؤكد جميع الأبحاث والدراسات التطبيقية تقريباً (مثل [٢١]) أن التبني الناجح والواسع النطاق والمستدام لـ RPA في مجالات حساسة واستراتيجية مثل التدقيق الداخلي، والحوكمة، وإدارة المخاطر، يتطلب التزاماً قوياً ورؤية واضحة ومستمرة من القيادة العليا للمؤسسة. هذا الدعم لا يقتصر على توفير الموارد المالية والبشرية اللازمة فحسب، بل يتعداه إلى:

- إزالة المعوقات التنظيمية: كسر الصوامع (Silos) بين الإدارات وتسهيل التعاون بين فرق الأعمال وتقنية المعلومات.
- فرض التغيير الثقافي: إرسال رسائل واضحة بأن التحول الرقمي والأتمتة هما أولوية استراتيجية، وتشجيع الموظفين على تبني هذه التقنيات بدلاً من مقاومتها.
- التغلب على مقاومة التغيير: دعم برامج التدريب والتأهيل، ومعالجة مخاوف الموظفين من فقدان وظائفهم، وتوضيح أن الهدف هو تمكينهم وليس استبدالهم.

في حالة شركة "معادن" (Ma'aden) كدراسة حالة سعودية رائدة، يظهر هذا الدعم جلياً في الاستراتيجيات المعلنة للتحول الرقمي على مستوى المجموعة، وتعيين كبار مسؤولي التكنولوجيا والابتكار (CTO/CIO) لقيادة هذه الجهود، والاستثمار في شراكات استراتيجية مع شركات تكنولوجيا عالمية [٢٢].

٢. الجاهزية التنظيمية (Organizational Readiness):

تشمل هذه الجاهزية مجموعة من العناصر المترابطة التي تحدد مدى استعداد المؤسسة لتبني تقنية جديدة:

- الجاهزية التقنية (IT Readiness): توفر بنية تحتية تقنية مناسبة (شبكات، خوادم، أنظمة تخزين) قادرة على دعم تشغيل وإدارة الروبوتات البرمجية.
- الجاهزية البشرية (Human Resource Readiness): توفر الكفاءات البشرية والمهارات اللازمة لتصميم وبرمجة وإدارة ومراقبة الروبوتات البرمجية. قد يتطلب هذا إما توظيف كفاءات جديدة أو تدريب الموظفين الحاليين (Upskilling/Reskilling).
- الجاهزية الهيكلية (Structural Readiness): وجود هيكل تنظيمي مرن يدعم العمل المشترك (Cross-functional Collaboration) بين فرق الأعمال وتقنية المعلومات، ويسمح بالتكيف السريع مع المتغيرات.
- مركز التميز (CoE): وجود "مركز تميز للأتمتة" (RPA Center of Excellence – CoE) يعمل كجهاز حوكمة مركزي لوضع المعايير وأفضل الممارسات، واختيار العمليات المناسبة للأتمتة، ومشاركة المعرفة، ومنع الفوضى في نشر الروبوتات (Shadow IT) [٣٦][١].

الشركات التي تمتلك مثل هذا المركز تكون أكثر قدرة على تحقيق قيمة مستدامة من الأتمتة وتجنب المخاطر المرتبطة بها (مثل ازدواجية الجهود، أو عدم التوافق، أو مشاكل أمنية).

٣. **حجم الشركة وتعقيد عملياتها (Firm Size & Complexity):**
كلما كانت الشركة أكبر حجماً (من حيث عدد الموظفين، حجم الإيرادات، رأس المال) وأكثر تعقيداً من الناحية التشغيلية (تعدد المناجم، تنوع العمليات، انتشار جغرافي واسع)، زادت الفوائد المحتملة والمرتبقة من تطبيق RPA. فالأتمتة تكون أكثر جدوى وفعالية من حيث التكلفة عندما يكون هناك حجم كبير من المهام المتكررة والموحدة التي يمكن أتمتتها عبر وحداتها المختلفة، مما يحقق وفورات الحجم (Economies of Scale) ويبرر الاستثمار الكبير في التقنية.

٤. **ثقافة الابتكار والتعلم (Innovation Culture):**
الشركات التي تتمتع بثقافة تشجع على التجريب، وتتسامح مع الفشل المحسوب، وتشجع التعلم المستمر، وتكافئ المبادرات الجديدة، تكون أكثر استعداداً لتبني تقنيات مثل RPA مقارنة بالشركات البيروقراطية التي تقدس الجمود وتخشى التغيير.

ثالثاً: السياق البيئي (Environmental Context):

يشمل هذا السياق العوامل الخارجية التي تمارس ضغوطاً أو تقدم فرصاً للمؤسسة، وتقع خارج سيطرتها المباشرة، ولكنها تؤثر بشكل كبير على استراتيجياتها وقراراتها. من أبرز هذه العوامل:

١. **الضغوط التنظيمية والقانونية (Regulatory & Legal Pressures):**
في المملكة العربية السعودية، ومع التسارع في تطوير البنية التشريعية لدعم رؤية ٢٠٣٠، تفرض جهات متعددة مثل وزارة الصناعة والثروة المعدنية، والمركز الوطني للرقابة على الالتزام البيئي، والهيئة العامة للإحصاء، ضغوطاً متزايدة على شركات التعدين للامتثال للمعايير واللوائح الصارمة والمتطورة باستمرار. تتضمن هذه الضغوط:

- تقديم تقارير دقيقة وشفافة بشكل دوري حول الإنتاج، والاحتياجات، والأثر البيئي.
- الالتزام بمعايير السلامة والصحة المهنية وإثبات ذلك من خلال توثيق دقيق.

- الامتثال لمتطلبات الحوكمة البيئية والاجتماعية والمؤسسية (ESG) التي يطلبها المستثمرون العالميون بشكل متزايد.

يُعد RPA استجابة مثالية وفعالة لهذه الضغوط التنظيمية نظراً لقدرته الفائقة على:

- تجميع البيانات تلقائياً من مصادر متفرقة ومتباينة داخل الشركة.
- التأكد من دقة واتساق البيانات من خلال قواعد فحص منطقية.
- توليد التقارير المطلوبة (مثل تقارير الامتثال البيئي) بشكل آلي وفي الوقت المحدد، مما يقلل من الأخطاء البشرية ويوفر وقت وجهد فرق الامتثال.
- إنشاء مسار تدقيق (Audit Trail) كامل يمكن للجهات التنظيمية الرجوع إليه للتحقق من صحة المعلومات. هذا يقلل بشكل كبير من مخاطر الغرامات والعقوبات [٧].

٢. الضغوط التنافسية (Competitive Pressures):

الحاجة الملحة إلى خفض التكاليف التشغيلية وزيادة الإنتاجية وتحسين الكفاءة في مواجهة تقلب أسعار السلع العالمية (مثل الذهب، الفوسفات، الألومنيوم) والمنافسة الشرسة من شركات التعدين العالمية الكبرى (مثل BHP, Rio Tinto) تدفع الشركات لتبني الأتمتة كوسيلة لتعزيز الكفاءة وتحقيق ميزة تنافسية مستدامة [٢٣]. الشركات التي تتأخر في تبني هذه التقنيات تخاطر بفقدان حصتها السوقية وتراجع ربحيتها.

٣. دعم النظام البيئي والشراكات (Ecosystem Support):

وجود نظام بيئي داعم للابتكار يلعب دوراً مهماً في تسريع التبني. يتضمن ذلك:

- الشركاء التكنولوجيون: وجود شركاء تكنولوجيين موثوقين ومتخصصين (مثل UiPath, Automation Anywhere, Blue Prism) قادرين على توفير البرمجيات والدعم الفني والاستشارات.
- الاستشاريون: وجود شركات استشارية ذات خبرة في مجال التحول الرقمي في قطاع التعدين يمكنها مساعدة الشركات في وضع الاستراتيجية واختيار الحلول المناسبة وإدارة التغيير.

- **الموردون المحليون:** وجود شركات محلية ناشئة قادرة على دعم عملية التحول الرقمي وتقديم حلول مخصصة.
- **الأوساط الأكاديمية:** التعاون مع الجامعات ومراكز الأبحاث لتطوير الكفاءات وإجراء البحوث التطبيقية.

الشراكات التي تعقدها "معادن" مع شركات عالمية مثل OffWorld لتطوير روبوتات التعدين المستقلة ، أو مع Orica للحلول الرقمية في عمليات التفجير ، هي أمثلة حية على أهمية هذا السياق البيئي الداعم.

خلاصة القسم ودلالاته للدراسة الحالية

يوفر إطار TOE أداة تحليلية متكاملة ومنظمة لدراسة العوامل المؤثرة على تبني RPA في شركات التعدين السعودية. فهو يوجه الباحث لعدم الاكتفاء بدراسة العوامل التقنية فقط، بل يتطلب فحصاً شاملاً للعوامل التنظيمية الداخلية (مثل دعم الإدارة والجاهزية) والعوامل البيئية الخارجية (مثل الضغوط التنظيمية والتنافسية). هذا الفهم الشامل يمكن من تفسير أسباب النجاح أو الفشل في التبني، وتصميم استراتيجيات تدخل فعالة.

٢.٢.٣ نظرية انتشار المبتكرات (Diffusion of Innovation – DOI)

النشأة والتطور التاريخي

تُعد نظرية انتشار المبتكرات (DOI) من أقدم وأكثر النظريات تأثيراً في فهم كيفية انتشار الأفكار والمنتجات والممارسات الجديدة (الابتكارات) عبر المجتمعات والمنظمات. تعود جذورها إلى علم الاجتماع الريفي في أوائل القرن العشرين، لكن الصياغة الأكاديمية الأكثر شهرة وتكاملاً تعود إلى عالم الاجتماع إيفرت روجرز (Everett Rogers) الذي نشر كتابه الكلاسيكي "Diffusion of Innovations" عام ١٩٦٢، وأصدر منه عدة طبعات محدثة حتى وفاته. روجرز عرّف الانتشار بأنه "العملية التي يتم من خلالها توصيل ابتكار ما عبر قنوات معينة عبر الزمن بين أعضاء النظام الاجتماعي".

المبادئ الأساسية والخصائص الخمس

تكتمل الصورة النظرية للإطار المتكامل لهذه الدراسة بنموذج روجرز الذي يركز على خصائص المبتكر التكنولوجي نفسه، وتصورات الأفراد والمنظمات لهذه الخصائص، مما يفسر سرعة ومعدل انتشار التقنية داخل قطاع التعدين. تقدم النظرية خمس خصائص رئيسية تحدد قبول وانتشار أي ابتكار [١٩]:

١. **الميزة النسبية (Relative Advantage):** وهي الدرجة التي يُنظر بها إلى تقنية RPA على أنها أفضل وأكثر فائدة من الطرق والأساليب التقليدية (اليدوية) التي كانت سائدة. في قطاع التعدين، لا تقتصر هذه الميزة على السرعة في إنجاز المهام الإدارية (مثل إعداد التقارير المالية الشهرية) فحسب، بل تشمل أبعاداً أكثر جوهرية واستراتيجية:

- **الدقة والموثوقية (Accuracy & Reliability):** في عمليات حساب الاحتياطات المعدنية (Reserve Estimation)، ومطابقة الإنتاج الفعلي مع المخطط (Production Reconciliation)، مما يقلل من المخاطر المالية للقرارات الخاطئة المبنية على بيانات غير دقيقة.
- **السلامة (Safety):** من خلال إبعاد العنصر البشري عن المناطق الخطرة (كالمناجم العميقة، أو مناطق التفجير، أو البيئات الملوثة) وتكليف الروبوتات بمهام المراقبة والفحص في هذه البيئات غير الآمنة [٤٤].
- **الشفافية والمساءلة (Transparency & Accountability):** من خلال إنشاء سجلات تدقيق غير قابلة للتلاعب (Immutable Audit Trails)، مما يعزز الثقة مع الجهات التنظيمية والمستثمرين والمجتمعات المحلية [١١].
- **توفير التكاليف (Cost Savings):** من خلال تقليل الحاجة للعمالة اليدوية في المهام الروتينية، وتقليل الأخطاء المكلفة، وتحسين كفاءة استخدام الموارد.

٢. الملاءمة/التوافق (Compatibility):

مدى انسجام التقنية مع القيم السائدة، والخبرات السابقة، والاحتياجات الحالية للمنظمة. كلما كانت RPA متوافقة مع ثقافة الشركة (مثل: ثقافة تعتمد على البيانات، أو لديها خبرة سابقة في الأتمتة)، وأنظمتها

الحالية، وهياكلها التنظيمية، زادت سرعة تبنيها. فإذا كان الموظفون معتادين على استخدام أنظمة ERP معينة، فإن روبوتاً يتفاعل بسلاسة مع هذه الأنظمة سيكون مقبولاً بسرعة أكبر.

٣. التعقيد (Complexity):

كلما كانت التقنية أسهل في الفهم والاستخدام والتشغيل، زاد معدل تبنيها. ظهور منصات RPA التي تعتمد على واجهات مرئية سهلة الاستخدام (Low-Code/No-Code) ساهم بشكل كبير في تسريع الانتشار، حيث أتاح لموظفي إدارة الأعمال (كالمحاسبين أو مهندسي التعدين أو أخصائيي المشتريات) المشاركة في بناء وتطوير حلول الأتمتة البسيطة لأنفسهم، دون الحاجة لخبرة برمجية عميقة أو انتظار دورهم في قائمة انتظار مشاريع تقنية المعلومات [٢٦]. هذا "التطوير من قبل المستخدمين النهائيين" (Citizen Development) يقلل من عنق الزجاجة ويسرع الانتشار.

٤. القابلية للتجريب (Trialability):

إمكانية تجربة التقنية على نطاق ضيق ومحدود ومحكوم (Pilot Projects) قبل الالتزام بالتبني الواسع والاستثمار الكبير. هذه الخاصية تقلل من المخاطر المدركة للتقنية، لأنها تسمح للمؤسسة بتعلم كيفية عملها، وتقييم فوائدها بشكل عملي، وتحديد التحديات المحتملة، وتعديل المسار قبل التوسع. الشركات السعودية، بما فيها "معادن"، بدأت عادة بمشاريع تجريبية في مناجم محددة (مثل منجم الدويحي أو منصورة ومسرة) لأتمتة عمليات معينة ومحدودة (مثل أتمتة إعداد التقارير اليومية للإنتاج، أو أتمتة متابعة أوامر الصيانة) بهدف اختبار الجدوى وتقييم النتائج وبناء الخبرة الداخلية قبل التوسع في باقي العمليات والمناجم [٢٤].

٥. القابلية للملاحظة (Observability):

وضوح النتائج الإيجابية لاستخدام التقنية وإمكانية ملاحظتها من قبل الآخرين داخل المؤسسة أو في السوق بشكل عام. النتائج الملموسة والمبهرة في خفض التكاليف (مثلاً توفير آلاف الساعات السنوية من العمل اليدوي)، وتحسين مؤشرات السلامة (انخفاض ملحوظ في عدد الحوادث أو قرب وقوعها)، وسرعة إنجاز التقارير المالية الشهرية، تجعل فوائد RPA مرئية وواضحة للجميع. هذا الوضوح يخلق

تأثيراً مضاعفاً (Snowball Effect) ويشجع الإدارات والمناجم الأخرى على تبني حلول مماثلة، ويخلق قصص نجاح داخلية تحفز على المزيد من الابتكار.

تطبيق النظرية على قطاع التعدين

يمكن تطبيق نظرية DOI على قطاع التعدين السعودي من خلال تحليل خصائص تقنية RPA كما يراها صناع القرار والمستخدمون المحتملون في هذا القطاع. فالميزة النسبية لـ RPA في تعزيز السلامة (إبعاد البشر عن الخطر) تتوافق بشكل كبير مع أولويات القطاع والحكومة. والتوافق مع أنظمة ERP القديمة (مثل SAP) يمثل عاملاً حاسماً. وانخفاض التعقيد بفضل منصات Low-Code يشجع على التبني. ووجود مشاريع تجريبية ناجحة في مناجم محددة (Trialability) يبني الثقة. وإمكانية ملاحظة النتائج الإيجابية من قبل الشركات الأخرى (Observability) يحفز على الانتشار الأفقي للتقنية في القطاع بأكمله.

٢.٢.٤ التكامل بين النظريات الثلاث: بناء نموذج تحليلي متكامل

بعد استعراض كل نظرية على حدة، يصبح من الضروري توضيح كيفية تكاملها لتشكيل إطار تحليلي متكامل وقوي للدراسة الحالية. هذا التكامل ليس مجرد جمع للنظريات، بل هو تركيب منهجي يستفيد من نقاط القوة في كل نظرية لتعويض نقاط الضعف في الأخرى، وتقديم رؤية متعددة الأبعاد للمظاهرة.

- **تكامل الأدوار:** إذا كانت **نظرية الوكالة** تجيب على سؤال "لماذا" (الدوافع الأساسية لتبني RPA من منظور الرقابة والحوكمة)، فإن إطار **TOE** يجيب على سؤال "ما هي العوامل المؤثرة" (العوامل التكنولوجية والتنظيمية والبيئية التي تسهل أو تعيق التبني)، بينما تجيب **نظرية DOI** على سؤال "كيف يحدث الانتشار" (من خلال خصائص التقنية التي تحدد سرعة قبولها).
- **تكامل المستويات التحليلية:** تنظر **نظرية الوكالة** بشكل أساسي إلى العلاقة بين الأصيل والوكيل (مستوى ثنائي/تعاقدي). ينظر إطار **TOE** إلى مستويات متعددة (التقنية، المنظمة، البيئة). تنظر **نظرية DOI** إلى خصائص المبتكر (مستوى التقنية) وكيفية إدراك الأفراد لها. معاً، تغطي النظريات مستويات التحليل من الفرد إلى المنظمة إلى البيئة الكلية.

- **تكامل المنظور الزمني:** نظرية الوكالة تقدم تفسيراً هيكلياً مستمراً للعلاقة. إطار TOE يقدم تحليلاً للعوامل المؤثرة في لحظة القرار بالتبني. نظرية DOI تقدم نموذجاً لعملية الانتشار عبر الزمن.

النموذج المفاهيمي المستخلص من التكامل النظري:

يمكن استخلاص النموذج المفاهيمي التالي الذي يوجه الدراسة الحالية:

- تتطلق الدوافع لتبني RPA في شركات التعدين من رغبة الأصيل (المساهمين، مجلس الإدارة، الجهات التنظيمية) في تقليص عدم تماثل المعلومات وتقليل تكاليف الوكالة المرتبطة بمراقبة سلوك الوكيل (الإدارة والمشرفين الميدانيين). هذا هو المحرك الاستراتيجي الأساسي.
- يتأثر قرار التبني الفعلي ونجاحه بمجموعة من العوامل التي يحددها إطار TOE:
 - **عوامل تكنولوجية:** مدى توافق RPA مع الأنظمة القديمة (Legacy Systems) في المناجم.
 - **عوامل تنظيمية:** درجة دعم الإدارة العليا، ومدى جاهزية الشركة من حيث الكفاءات البشرية والهيكل التنظيمي، ووجود مركز تميز للأتمتة.
 - **عوامل بيئية:** شدة الضغوط التنظيمية من الحكومة السعودية، وحدة المنافسة في السوق، ووجود نظام بيئي داعم.
- تتأثر سرعة انتشار RPA في القطاع بخصائص التقنية كما تحددها نظرية DOI: ووضوح ميزتها النسبية في تحسين السلامة والكفاءة، ومدى توافقها مع الممارسات الحالية، وانخفاض تعقيدها النسبي (خاصة مع منصات Low-Code)، وإمكانية تجربتها في مشاريع صغيرة، ووضوح نتائجها الإيجابية للملاحظة.
- يؤدي تبني RPA وتطبيقه بنجاح (في ضوء العوامل المذكورة) إلى تحسين الحوكمة التشغيلية (من خلال زيادة الشفافية والمساءلة والامتثال) وتعزيز إدارة المخاطر (من خلال تحسين التحديد والتقييم والاستجابة للمخاطر التشغيلية والبيئية والمالية)، مما يحقق في النهاية أهداف الأصيل ويقلل تكاليف الوكالة. هذا يمثل حلقة تغذية راجعة إيجابية تعزز المزيد من التبني.

هذا النموذج المتكامل هو الذي سيتم اختباره وفحصه تجريبياً من خلال الدراسة الميدانية على شركات التعدين في المملكة العربية السعودية.

٢.٣ المتغير المستقل: أتمتة العمليات الروبوتية (RPA) في قطاع التعدين

٢.٣.١ المفهوم والتطور: من الأتمتة البسيطة إلى الأتمتة الوكيلية

تُعرّف أتمتة العمليات الروبوتية (RPA) بأنها تكنولوجيا برمجية متقدمة تستخدم "روبوتات" أو "عمال رقميين" افتراضيين لمحاكاة التفاعلات البشرية مع واجهات الأنظمة الرقمية (مثل الضغط على الأزرار، وملء الحقول، ونسخ البيانات) لتنفيذ مهام تجارية معقدة ومتكررة وقائمة على القواعد بدقة وسرعة فائقة وبتكلفة أقل [٢]. وخلافاً للأتمتة الصناعية المادية التي تعتمد على الروبوتات الميكانيكية (الأذرع الآلية) في خطوط الإنتاج، فإن RPA هي أتمتة للعمليات المعرفية والإدارية والبيانات (Knowledge Work) التي تجري خلف الكواليس.

شهدت التقنية تطوراً متسارعاً يمكن تصنيفه في ثلاث موجات رئيسية متداخلة [٢٦][٢٧]:

١. RPA التقليدي (- Rule-Based RPA موجة ١): يركز على أتمتة المهام البسيطة

والروتينية التي تتبع قواعد منطقية صارمة (If-Then rules). مثل: نقل البيانات من ملف Excel إلى نظام ERP، أو إرسال بريد إلكتروني تلقائي عند استيفاء شرط معين. هذه الموجة لا تتعامل مع البيانات غير المهيكلة أو اتخاذ القرارات المعقدة.

٢. الأتمتة الذكية (- IA - Intelligent Automation موجة ٢): تمثل دمج RPA مع

مجموعة من تقنيات الذكاء الاصطناعي (AI) والتعلم الآلي (ML) ومعالجة اللغة الطبيعية (NLP) والتعرف الضوئي على الحروف (OCR). هذا الدمج يمكن الروبوتات من التعامل مع البيانات غير المهيكلة (مثل صور الأقمار الصناعية للتفتيش، أو فواتير الموردين الممسوحة ضوئياً، أو تقارير الحوادث المكتوبة)، وفهم محتواها، واتخاذ قرارات بناءً على تحليلها. على سبيل المثال، يمكن لروبوت ذكي قراءة تقرير جيولوجي (PDF) واستخراج البيانات الأساسية منه وإدخالها في قاعدة البيانات.

٣. الأتمتة الوكيلية (- APA - Agentic Process Automation موجة ٣): وهو الجيل

الأحدث والأكثر تقدماً (٢٠٢٥/٢٠٢٦)، حيث تتحول الروبوتات من مجرد أدوات منفذة للأوامر

إلى "وكلاء مستقلين" (Autonomous Agents) حقيقيين [١٤]. هذه الوكلاء قادرون على:

○ التخطيط الديناميكي (Dynamic Planning): تخطيط سلسلة من العمليات المعقدة

لتحقيق هدف عالٍ المستوى.

○ اتخاذ القرار السياقي (Contextual Decision Making): اتخاذ قرارات في الوقت

الفعلي بناءً على تحليل سياق الموقف والمتغيرات المتعددة.

○ التعلم والتكيف (Learning & Adaptation): التكيف مع التغيرات غير المتوقعة

في البيئة المحيطة وتحسين أدائهم بمرور الوقت دون تدخل بشري مباشر، مع البقاء

ضمن الحدود الموضوعة لهم. مثال على ذلك: وكيل آلي مكلف بتحسين استهلاك

الطاقة في منجم، يقوم بتحليل أسعار الكهرباء، وجدول الإنتاج، وتوقعات الطقس، ويقوم

بشكل مستقل بضبط تشغيل المعدات الثقيلة لتحقيق الهدف.

٢.٣.٢ أنواع روبوتات RPA في البيئة الصناعية

تُصنف تطبيقات RPA في قطاع التعدين إلى ثلاثة أنماط تشغيلية رئيسية، لكل منها دور محدد في

الحوكمة وإدارة المخاطر [٢٩]:

النوع	الوصف وآلية العمل	التطبيق في التعدين والحوكمة
RPA المراقب (Attended RPA)	يعمل كمساعد رقمي (Digital Assistant) على جهاز المستخدم (مثل حاسوب مهندس المنجم)، ويتم تفعيله يدوياً من قبل المستخدم أو بشكل تلقائي عند وقوع حدث معين لمساعدته في إنجاز مهمة فورية. التفاعل بين الإنسان والروبوت مستمر.	يستخدمه الجيولوجيون ومهندسو التخطيط الميداني لإدخال بيانات المسح والملاحظات الميدانية إلى النظام والتحقق منها فوراً. يقوم الروبوت باقتراح الإدخالات الصحيحة، والتحقق من منطقية البيانات، مما يقلل أخطاء الإدخال البشري ويعزز دقة وجودة البيانات

		الأولية التي تبني عليها كل القرارات اللاحقة.
RPA غير المُراقب (Unattended RPA)	يعمل بشكل مستقل تماماً وكامل على خوادم (Servers) مركزية أو في السحابة (Cloud)) ،مجدولاً لتنفيذ مهام ضخمة ومعقدة في الخلفية (Back-office) على مدار الساعة (٧/٢٤) دون أي تدخل أو إشراف بشري مباشر.	هو العمود الفقري للحوكمة الآلية. يقوم بمهام مثل: مطابقة آلاف الفواتير مع أوامر الشراء يومياً، ومراقبة سجلات الدخول للأنظمة الحساسة واكتشاف محاولات الاختراق، وإعداد وتوزيع تقارير الامتثال البيئي والمالي الدورية على الجهات المعنية بشكل آلي وموثوق تماماً [٣٠].
RPA الهجين (Hybrid RPA)	يجمع بين قوة النوعين. يبدأ الروبوت غير المراقب بتنفيذ مهمة، وعندما يصل إلى نقطة تتطلب حكماً بشرياً أو قراراً استراتيجياً لا يمكن برمجته (Judgmental Decision) ،يقوم بإيقاف التنفيذ مؤقتاً وإرسال مهمة إلى الموظف البشري المختص (من خلال Attended RPA أو واجهة مستخدم لاتخاذ القرار، ثم يستأنف التنفيذ بعد تلقي المدخلات. أو العكس.	يستخدم بشكل مثالي في إدارة الحوادث وحالات الطوارئ. يقوم الروبوت غير المراقب بجمع كل البيانات المتاحة حول خلل مفاجئ في إحدى المعدات (درجات حرارة، اهتزازات، موقع). ثم يرسل تقريراً موجزاً إلى مهندس السلامة المناوب (Attended) عبر جهازه اللوحي لتقييم الموقف. بعد أن يقرر المهندس (مثلاً "إخلاء المنطقة" أو "إجراء صيانة عاجلة")، يقوم الروبوت غير المراقب تلقائياً بتنفيذ الإجراءات المطلوبة (إطلاق إنذار، إيقاف تشغيل المعدة، إرسال طلب صيانة).

٢.٣.٣ مجالات تطبيق RPA في سلسلة قيمة التعدين (Mining Value Chain)

تتغلغل تقنية RPA في كافة مراحل سلسلة القيمة التعدينية، موفرة قيمة مضافة تتجاوز مفهوم الكفاءة التشغيلية الضيق لتصب في صلب إدارة المخاطر وتعزيز الحوكمة: [32]

١. الاستكشاف وتخطيط المنجم (Exploration & Planning):

- الآلية: استخدام الروبوتات لتجميع ومعالجة وتحليل كميات هائلة من بيانات المسح الجيوفيزيائي والجيوكيميائي الواردة من مصادر متعددة (الاستشعار عن بعد، العينات الميدانية، الحفريات الاستكشافية). وتحويل خطط "عمر المنجم" (Life of Mine) الجيولوجية المعقدة إلى خطط أعمال تكتيكية وقابلة للتنفيذ.
- الأثر في الحوكمة والمخاطر: تقليل "المخاطر الجيولوجية" بشكل كبير، والتي تنتج عن أخطاء تقدير الاحتياطيات المعدنية (كمياً ونوعاً)، مما يحمي الاستثمارات الضخمة. كما يضمن أن خطط التعدين تتوافق مع المعايير الاقتصادية والتنظيمية والبيئية من اليوم الأول.

٢. العمليات والإنتاج (Operations & Production):

- الآلية: تجميع بيانات الإنتاج بشكل لحظي من وحدات تشغيلية متعددة ومتباينة (كسارات، شاحنات نقل، مصانع معالجة، أحزمة ناقلية). وإجراء عمليات مطابقة (Reconciliation) آلية للكميات المنتجة والمنقولة والمباعة، والنوعيات (درجات التركيز).
- الأثر في الحوكمة والمخاطر: الكشف الفوري عن الفاقد غير المبرر أو السرقة (مخاطر تشغيلية وأمنية). وضمان دقة واتساق تقارير الإنتاج المرفوعة للإدارة العليا والجهات التنظيمية (حوكمة)، مما يبني الثقة ويجنب العقوبات.

٣. إدارة الأصول والصيانة (Asset Management):

- الآلية: التكامل العميق مع أنظمة إنترنت الأشياء (IoT) وأجهزة الاستشعار المنتشرة على المعدات لقراءة مؤشرات الأداء الرئيسية (مثل درجات الحرارة، الاهتزازات، استهلاك الطاقة). وأتمتة عملية إنشاء "أوامر العمل" (Work Orders) للصيانة الوقائية أو التنبؤية فور تجاوز مؤشرات الأداء لعتبات معينة محددة مسبقاً.

- الأثر في الحوكمة والمخاطر: التحول من الصيانة التفاعلية المكلفة (التفاعل بعد العطل) إلى الصيانة التنبؤية الاستباقية، مما يقلل بشكل كبير من مخاطر التوقف المفاجئ للإنتاج (Downtime)) والحوادث الكارثية التي قد تتجم عن فشل مفاجئ للمعدات، خاصة في بيئات العمل الحرجة .

٤. سلاسل الإمداد والمشتريات (Supply Chain):

- الآلية: أتمتة دورة "الشراء حتى الدفع" (Procure-to-Pay - P2P) بأكملها. يشمل ذلك إدارة طلبات الشراء، وإنشاء أوامر الشراء، والتواصل مع الموردين، ومطابقة الفواتير، وجدولة المدفوعات. كما يمكن استخدام الروبوتات لإدارة بيانات الموردين والتحقق بشكل آلي من شهادات الامتثال والاستدامة الخاصة بهم.
- الأثر في الحوكمة والمخاطر: منع التعامل مع موردين غير ممثلين للمعايير البيئية أو الأخلاقية (ESG)، مما يحمي سمعة الشركة. وتقليل مخاطر الاحتيال في الفواتير بشكل كبير من خلال المطابقة الآلية الدقيقة. وضمان استمرارية توريد المواد الخام والمواد الحرجة (مثل المتفجرات أو قطع الغيار النادرة) من خلال مراقبة المخزون بشكل استباقي [٣٣].

٢.٤ المتغير التابع الأول: الحوكمة التشغيلية (Operational Governance)

٢.٤.١ المفهوم والأبعاد في السياق الصناعي

تشير الحوكمة التشغيلية إلى الإطار الهيكلي والمتكامل من السياسات والعمليات والضوابط والإجراءات الذي يضمن تنفيذ الأنشطة اليومية للمؤسسة بكفاءة وفعالية، وبشفافية كاملة، وامتثال دقيق للسياسات الداخلية واللوائح الخارجية، وبما يحقق أهدافها الاستراتيجية. وفي قطاع التعدين، تكتسب هذه الحوكمة بعداً حاسماً ومعقداً نظراً لطبيعة العمليات التي تنطوي على استغلال موارد وطنية غير متجددة، وتأثيرات بيئية واجتماعية عميقة وطويلة الأمد، واستثمارات رأسمالية ضخمة [٢٥][٣٤].

تتجاوز الحوكمة التشغيلية في التعدين مجرد الامتثال القانوني والشكلي لتشمل ثلاثة أبعاد رئيسية مترابطة تتأثر بشكل مباشر وملاموس بتقنيات الأتمتة مثل RPA:

١. الشفافية (Transparency):

○ **تعني:** وضوح وإفصاح العمليات والقرارات، وتوفير المعلومات الدقيقة والكاملة والموثوقة وفي الوقت المناسب لجميع أصحاب المصلحة (أصحاب المصلحة (Stakeholders))، بدءاً من الإدارة التنفيذية والمستثمرين، وصولاً إلى الجهات التنظيمية والمجتمعات المحلية.

○ **دور RPA التفصيلي:** تفرض الأتمتة الشفافية القسرية (Enforced Transparency) من خلال توثيق كل خطوة، كل معاملة، وكل قرار بشكل رقمي فوري في سجلات لا يمكن تجاوزها أو تعديلها. لا يمكن للروبوت "إخفاء" معاملة غير مطابقة للسياسة، أو "تجاوز" بروتوكول سلامة دون أن يترك أثراً رقمياً واضحاً. هذا يخلق بيئة تشغيلية مرئية بالكامل ("Glass Box" Operation) بدلاً من "الصناديق السوداء" التي كانت سائدة في العمليات اليدوية حيث يمكن إخفاء الأخطاء أو التجاوزات بسهولة [٣٥]. يمكن للمدير المالي في الرياض، على سبيل المثال، أن يرى في لوحة القيادة الخاصة به تفاصيل إنفاق كل لتر وقود في منجم نائي في نفس اللحظة.

٢. المساءلة (Accountability):

○ **تعني:** التحديد الواضح والدقيق للمسؤولية (Responsibility) عن القرارات والأفعال والنتائج، ووجود آلية لمحاسبة المسؤول. في البيئات اليدوية المعقدة والمتشعبة، غالباً ما تضع المسؤولية بين الأقسام أو المستويات الإدارية، وتصبح مشكلة جماعية لا يعاقب عليها أحد ("Diffusion of Responsibility").

○ **دور RPA:** تحدد الأنظمة بدقة متناهية "من" (أو "ما") قام بالإجراء ومتى. في سياق "الوكالة الاصطناعية" المذكورة سابقاً، تتحول المساءلة التقليدية إلى مساءلة أكثر تعقيداً: مساءلة عن "تصميم النظام" و"قواعد العمل" و"الحدود" التي تم وضعها للوكيل الآلي [١٢]. هذا يرفع مستوى المسؤولية إلى المستويات العليا: مصممو العمليات، مبرمجو الروبوتات، والإدارة التي أقرت هذه القواعد. المساءلة هنا هي مساءلة عن التصميم والإشراف، وليست مساءلة عن كل فعل فردي للروبوت [١٥].

٣. الامتثال والتدقيق (Compliance & Auditability):

- **تعني:** الالتزام الصارم والمستمر بشبكة معقدة ومتطورة من اللوائح والقوانين (مثل نظام الاستثمار التعديني السعودي)، والمعايير الدولية (مثل معايير السلامة والصحة المهنية OSHA، ومتطلبات الحوكمة البيئية والاجتماعية ESG)، والسياسات الداخلية للشركة.
- **دور RPA:** يضمن الروبوت تنفيذ العمليات بتوحيد معياري (Standardization) تام لا يحيد عنه، مما يلغي الانحرافات التشغيلية والاجتهادات الفردية التي كانت السبب الرئيسي للمخالفات والعقوبات. كما يوفر " RPA مسار تدقيق " (Audit Trail) جاهز وشامل ومتكامل، مما يحول عملية التدقيق من عملية مرهقة ومكلفة تعتمد على عينات محدودة إلى عملية مستمرة وشاملة لكل المعاملات، مما يعطي المدققين ثقة غير مسبقة في دقة وموثوقية التقارير [١١][٤٧].

٢.٤.٢ الحوكمة الرقمية ومراكز التميز (CoE) كآلية تنظيمية

لضمان نجاح RPA في تعزيز الحوكمة بدلاً من تقويضها (إذا تم تطبيقه بشكل عشوائي)، تلجأ الشركات الرائدة عالمياً ومحلياً إلى إنشاء "مراكز التميز للأتمتة" (RPA Center of Excellence - CoE) [36]. يعمل هذا المركز كهيئة حوكمة داخلية متخصصة تتولى المهام التالية:

- **وضع المعايير:** وضع معايير موحدة لتطوير واختبار وتوثيق وتشغيل الروبوتات لضمان الجودة والموثوقية.
- **اختيار العمليات:** تقييم واختيار العمليات المناسبة للأتمتة بناءً على معايير واضحة (مثل العائد على الاستثمار، والتعقيد، والأهمية الاستراتيجية).
- **الإشراف والمراقبة:** مراقبة أداء الروبوتات بشكل مستمر للتأكد من أنها تعمل كما هو متوقع، وأنها لا تخرج عن نطاق سلطتها المحدد، وأنها لا تسبب أي مخاطر تشغيلية أو أمنية جديدة. يُعد وجود CoE فعال ومستقل مؤشراً قوياً على نضج ونضج الحوكمة التشغيلية في المؤسسة، وقدرتها على تحقيق قيمة مستدامة من استثماراتها في الأتمتة .

٢.٥ المتغير التابع الثاني: إدارة المخاطر (Risk Management)

٢.٥.١ منظومة المخاطر في قطاع التعدين

يتميز قطاع التعدين ببيئة مخاطر فريدة تتسم بالتعقيد الشديد والترابط العضوي، حيث يمكن لخطأ تشغيلي بسيط في جزء من سلسلة القيمة أن يتضخم ويتسارع ليؤدي إلى كارثة بيئية أو خسائر مالية فادحة أو حتى خسائر في الأرواح. تصنف الدراسة الحالية المخاطر المستهدفة إلى ثلاث فئات رئيسية ومرتبطة:

١. المخاطر التشغيلية (Operational Risks):

◦ تشمل تعطل الآلات والمعدات الرئيسية، الأخطاء البشرية في التشغيل والتحكم (Human Error)، انقطاع أو تأخير سلاسل الإمداد للمواد الحرجة، وارتفاع تكاليف الإنتاج. هذه المخاطر تؤثر مباشرة على الإنتاجية، وكفاءة التكلفة، والربحية [٢٥].

٢. مخاطر الصحة والسلامة والبيئة (HSE & ESG Risks):

◦ الحوادث التي تهدد سلامة العمال (مثل الانهيارات الأرضية، الانفجارات، التعرض لمواد كيميائية سامة أو غازات)، والأمراض المهنية طويلة الأمد. بالإضافة إلى التجاوزات البيئية (مثل تسرب مواد سامة إلى التربة والمياه الجوفية، سوء إدارة المخلفات الصخرية ونفايات الطحن، انبعاثات الغازات). الفشل في إدارة هذه المخاطر يهدد "الرخصة الاجتماعية" للشركة للعمل (Social License to Operate) وقد يؤدي إلى عقوبات مالية كبيرة أو إغلاق المناجم بالكامل. [37][38]

٣. المخاطر المالية ومخاطر البيانات (Financial & Data Risks):

◦ تشمل مخاطر الاحتيال المالي والتلاعب بالحسابات، عدم دقة التقارير المالية مما يؤدي لقرارات استثمارية خاطئة، التقديرات الخاطئة للتكاليف الرأسمالية والتشغيلية، ومخاطر تسريب أو فقدان البيانات الحساسة المتعلقة بالاكشافات الجيولوجية الجديدة أو العقود الاستراتيجية [١١].

٢.٥.٢ دور RPA في إدارة وتخفيف المخاطر (تطبيقاً لمعيار ISO 31000)

تعتمد الدراسة الحالية معيار ISO 31000 كإطار مرجعي عالمي رائد لإدارة المخاطر، وتوضح بالتفصيل كيف تتدخل تقنيات RPA والأتمتة في كل مرحلة من مراحل عملية إدارة المخاطر لتعزيز فعاليتها وكفاءتها [٣٩][٤٠]:

أولاً: في تحديد وتقييم المخاطر (Identification & Assessment):

- **جمع البيانات الآلي والشامل:** تتيح الأتمتة جمع ودمج كميات هائلة من البيانات في الوقت الفعلي من مصادر متباينة وغير متجانسة (أجهزة استشعار IoT في المنجم، تقارير حوادث سابقة، تقارير تدقيق داخلية، بيانات أسواق عالمية، تحديثات تنظيمية). هذا يزيل الثغرات الناتجة عن الاعتماد على البيانات اليدوية المجزأة.
- **التحليل التنبؤي والكشف عن الأنماط:** باستخدام تقنيات "التنقيب في العمليات" (Process Mining) والتحليلات المتقدمة المدعومة بـ RPA والذكاء الاصطناعي، يمكن للشركات تحليل سجلات الأحداث والكشف عن الاختناقات والأنماط السلوكية الشاذة (Anomalies) التي قد تشير إلى مخاطر وشيكة (مثل نمط معين من تأخير الصيانة يؤدي دائماً إلى عطل لاحق) قبل وقوعها وتحولها إلى أضرار حقيقية [٤١][٤٢].

ثانياً: في معالجة وتخفيف المخاطر (Risk Treatment & Mitigation):

- **إزالة الخطر (Risk Elimination):** استبدال العنصر البشري بالكامل في المهام عالية الخطورة (مثل استخدام الروبوتات المستقلة في المناجم العميقة تحت الأرض، أو في التعامل مع المتفجرات، أو في المناطق الملوثة) يزيل خطر الإصابة البشرية أو الوفاة نهائياً وجذرياً [٤٣][٤٤].
- **تقليل الاحتمالية (Likelihood Reduction):** الأتمتة تقلل احتمالية الخطأ البشري في العمليات الحسابية والإدارية والرقابية المعقدة إلى مستويات تقترب من الصفر. كما أن تنفيذ العمليات بشكل موحد ومعيارى من قبل الروبوتات يقلل من احتمالية الانحرافات التي تؤدي إلى المخالفات التنظيمية [٤٥].

- تقليل التأثير (Impact Reduction) من خلال الاستجابة السريعة (Rapid Response): الروبوتات المراقبة للأنظمة يمكنها اكتشاف مؤشرات الخطر في اللحظة الأولى (مثل ارتفاع غير طبيعي في الضغط أو درجة الحرارة) واتخاذ إجراءات استباقية فورية (مثل إيقاف تشغيل نظام معين، أو عزل جزء من الشبكة، أو إرسال تنبيهات عاجلة إلى فرق الطوارئ). هذه السرعة الفائقة في الاستجابة تقلل بشكل كبير من حجم التأثير وحجم الخسائر [٤٦].

ثالثاً: في المراقبة والمراجعة (Monitoring & Review):

- المراقبة المستمرة والتدقيق الفوري: تتيح الأتمتة إمكانية المراقبة المستمرة (٧/٢٤) لفعالية ضوابط المخاطر الموضوعية. يمكن للروبوتات التحقق بشكل دوري من أن الضوابط تعمل كما هو متوقع، وأنه لم يتم تعطيلها أو تجاوزها.
- التقارير الديناميكية: يمكن إنشاء تقارير دورية أو فورية عن حالة المخاطر الرئيسية ومؤشرات الأداء المرتبطة بها (KPIs) وتوزيعها على الإدارة المعنية، مما يدعم ثقافة التحسين المستمر في إدارة المخاطر.

٢.٦ الدراسات السابقة (Literature Review)

تم إجراء مسح شامل ومكثف وممنهج للأدبيات العلمية المحكمة (منشورات في مجلات علمية) والتقارير المهنية الصادرة عن مؤسسات مرموقة (مثل McKinsey, Deloitte, EY) خلال الفترة (٢٠٢٠-٢٠٢٦). تم التركيز بشكل خاص على الدراسات التي تربط بين متغيرات البحث الرئيسية (RPA، الحوكمة، المخاطر) في السياقات الصناعية والتعدينية. تم تصنيف الدراسات إلى أربعة محاور رئيسية لتقديم مناقشة نقدية معمقة وتحديد الفجوات البحثية بدقة.

المحور الأول: دراسات حول أثر RPA على التدقيق والحوكمة وكفاءة العمليات
ركزت هذه المجموعة من الدراسات على الجوانب الرقابية والمالية، وهي الأكثر نضجاً في أدبيات RPA حتى الآن.

١. دراسة (Alaussuli, 2025): "أثر الذكاء الاصطناعي وأنظمة RPA على كفاءة التدقيق الداخلي في البنوك التجارية الأردنية" [٤٧].

○ **المنهجية:** دراسة وصفية تحليلية اعتمدت على استبانة شملت ٣٩٠ موظفاً في البنوك، وطبقت تحليل الانحدار لاختبار الفرضيات.

○ **النتائج:** توصلت الدراسة إلى أن RPA يعزز كفاءة التدقيق بشكل كبير من خلال تمكين "التدقيق المستمر" (Continuous Auditing) وتقليل التكاليف التشغيلية المرتبطة بالتدقيق بشكل ملحوظ وتقليل الأخطاء البشرية في جمع وتحليل بيانات التدقيق. كما أشارت إلى أن RPA يحول دور المدقق من جامع بيانات روتيني إلى محلل استراتيجي للمخاطر.

○ **النقد والصلة بالدراسة الحالية:** رغم تطبيقها في القطاع المصرفي (خدمي) الذي يختلف عن التعدين (صناعي)، إلا أن نتائجها حول مفهوم "التدقيق المستمر" وتأثيره الإيجابي على جودة وموثوقية التقارير المالية هي نتائج قابلة للتعميم بشكل كبير على الحوكمة المالية والإدارية في شركات التعدين، حيث تتشابه الحاجة الملحة لتدقيق المعاملات الضخمة بدقة وشفافية.

٢. دراسة (Rawashdeh, 2022): تبني RPA وأثره على قيمة الأعمال: منظور المدققين الداخليين" [٢١].

○ **المنهجية:** استخدمت الدراسة نمذجة المعادلات الهيكلية (SEM) واعتمدت على إطار TOE كنموذج نظري لتحليل العوامل المؤثرة في التبني.

○ **النتائج:** أظهرت النتائج أن العوامل "التنظيمية" (مثل دعم الإدارة العليا، والجاهزية التنظيمية، وتوفر المهارات) هي المحرك الأقوى والأكثر تأثيراً في تبني RPA في مجال التدقيق، متفوقة في الأهمية على العوامل التكنولوجية البحتة. وأكدت الدراسة وجود علاقة إيجابية مباشرة وقوية بين استخدام RPA وتخفيف المخاطر (Risk Mitigation).

○ **النقد:** الدراسة ركزت على عينة من المدققين في دول صناعية متقدمة، مما يترك فجوة بحثية واضحة حول كيفية تطبيق هذه الديناميكيات نفسها في سياق الاقتصادات الناشئة والنامية كالسعودية، وهو ما ستسعى الدراسة الحالية لاستكشافه ومعالجته.

٣. دراسة (Bickley et al., 2024; Percy et al., 2021) حول " RPA في حوكمة الشركات: الكفاءة مقابل الامتثال" [٣٥].

○ **المحتوى:** تناولت هذه الدراسات النقدية المعضلة المحتملة بين السعي لتحقيق سرعة وكفاءة الأتمتة من ناحية، والتمسك بضوابط الامتثال الصارمة والحوكمة الرشيدة من ناحية أخرى.

○ **النتائج:** حذرت بشدة من أن التطبيق غير المدروس وغير المحكوم لتقنية RPA قد يؤدي إلى نتائج عكسية، مثل "حجب المساءلة" (Obscured Accountability) إذا لم يتم توثيق قرارات الروبوت بشكل صحيح، أو خلق "مخاطر أتمتة" جديدة. أوصت بشدة بدمج ضوابط الامتثال داخل الكود البرمجي للروبوت نفسه ("Compliance by Design") لضمان أن الأتمتة تعزز الحوكمة بدلاً من تقويضها.

○ **القيمة للدراسة الحالية:** تقدم هذه الدراسات بعداً نقدياً هاماً؛ فالأتمتة ليست حلاً سحرياً لمشاكل الحوكمة بل قد تكون في حد ذاتها مصدراً لمخاطر جديدة إذا غابت عنها الحوكمة والرقابة المناسبة. هذه نقطة جوهرية سيتم تضمينها في بناء نموذج الدراسة الحالية (أي اختبار تأثير الحوكمة الرشيدة لتطبيق RPA على النتائج).

٤. دراسة (كاظم ووهاب، ٢٠٢٥): "توظيف RPA في التدقيق للحد من مخاطر التدقيق" - جامعة كربلاء [١١].

○ **السياق:** دراسة عربية حديثة ومهمة تناولت البيئة العراقية والقطاع العام.

○ **النتائج:** أثبتت الدراسة بشكل تجريبي أن RPA يقلل بشكل كبير من مخاطر التدقيق (مثل خطر الاكتشاف وخطر العينة) لأنه يسمح للمدقق بفحص كامل المجتمع الإحصائي للبيانات بنسبة ١٠٠٪ بدلاً من الاعتماد على العينات الإحصائية المحدودة. هذا الفحص الشامل يرفع جودة وموثوقية التقارير المالية بشكل كبير.

○ **الأهمية:** تدعم هذه الدراسة بشكل قوي الفرضية القائلة بأن RPA يساهم بشكل كمي وملحوظ في تقليل المخاطر المالية ومخاطر التقارير في المؤسسات.

المحور الثاني: دراسات حول التحول الرقمي والأتمتة في قطاع التعدين والصناعة

تتناول هذه الدراسات التطبيق الميداني والملحوظ للتقنية في البيئة الصناعية القاسية والمعقدة.

5. دراسة حالة (Ma'aden & OffWorld, 2024/2026): "معادن تقود حقبة التعدين المستقل"

***الموضوع:** تحليل استراتيجي معمق للتعاون الرائد بين شركة معادن السعودية وشركة OffWorld العالمية لنشر تقنيات الروبوتات المستقلة وأسراب الروبوتات (Swarm Robotics) في مناجمها.

***النتائج:** كشفت الدراسة أن المحرك الرئيسي والاستراتيجي للأتمتة في معادن لم يكن فقط خفض التكاليف، بل تحقيق أهداف الاستدامة والسلامة (إبعاد البشر عن المناطق الخطرة وحماية الأرواح) وتعزيز الكفاءة. وأكدت أن نجاح هذه المبادرات يتطلب إنشاء "منجم رقمي" متكامل البيانات أولاً، حيث تكون الشبكات وأجهزة الاستشعار والبيانات هي الأساس الذي تقوم عليه الأتمتة.

***الأهمية القصوى:** توفر هذه الدراسة حالة دراسية نوعية دقيقة وحقيقية لمجتمع البحث نفسه (شركات التعدين السعودية)، وتؤكد أن معادن (كشركة رائدة) تتبنى استراتيجية متقدمة في الأتمتة تتوافق مع مبادئ الثورة الصناعية الخامسة 5.0. Industry

6.دراسة (Saudi Mining Consulting, 2026): تسريع التحول الرقمي لتعزيز الكفاءة واتخاذ القرار [٥١].

***الحالة:** دراسة تطبيقية مفصلة لمشغل تعدين سعودي كبير آخر (غير معادن) قام بتنفيذ برنامج تحول رقمي شامل.

***النتائج:** أدى تطبيق التحول الرقمي إلى نتائج ملموسة وكمية: زيادة كفاءة الإنتاج بنسبة ٩٪ وتقليل التوقف غير المخطط له بنسبة ٢٠٪. الأهم من الناحية المفاهيمية، تم إنشاء "إطار حوكمة رقمي" (Digital Governance Framework) لضمان جودة ودقة وموثوقية البيانات المتدفقة باستمرار من المناجم إلى مركز القيادة والتحكم.

***الصلة:** دليل عملي ملموس يربط الأرقام والنتائج المالية والتشغيلية (Outputs) بآليات الحوكمة الرقمية (Inputs and Processes).

7.دراسة (Lopes et al., 2025): إطار نشر RPA-AI في الصناعة ٥.٠ " [١].

***الهدف:** تطوير إطار نظري متكامل لتطبيق RPA في الصناعات الثقيلة (Heavy Industries) مع التركيز المحوري على العنصر البشري والتعاون بين الإنسان والآلة.

***النتائج:** اقترحت الدراسة نموذجاً من ٥ مراحل لنشر الأتمتة، وخلصت إلى أن التحدي الأكبر أمام التبنّي الناجح ليس تقنياً في المقام الأول، بل يكمن في "الحوكمة الأخلاقية" (Ethical Governance)

للأنظمة الذكية، وفي "إدارة التغيير" (Change Management) للتغلب على مقاومة التغيير التنظيمي من قبل الموظفين.

*القيمة: يوفر هذا الإطار النظري أساساً متيناً لتفسير التحديات غير التقنية التي قد تواجهها شركات التعدين السعودية في رحلة تبنيها للأتمتة. 8.تقرير (Deloitte, 2023/2024): الأتمتة والذكاء الاصطناعي للصحة والسلامة في التعدين". [٣٨].

*المحتوى: تحليل شامل لاتجاهات وتقنيات السلامة العالمية في قطاع التعدين. *النتائج: يؤكد التقرير أن الأتمتة والتكامل مع الذكاء الاصطناعي هي السبيل الوحيد والعملي لتحقيق هدف "صفر ضرر" (Zero Harm) الطموح في هذا القطاع. استخدام تحليلات البيانات الضخمة والنماذج التنبؤية يمكن من تحديد وتقييم المخاطر قبل وقوعها (Proactive Safety) بدلاً من التفاعل مع الحوادث بعد وقوعها (Reactive Safety). *الصلة: يربط التقرير بشكل مباشر وقوي بين المتغير المستقل (RPA/Automation) والمتغير التابع (إدارة مخاطر الصحة والسلامة المهنية).

المحور الثالث: دراسات حول الامتثال البيئي والاجتماعي والمؤسسي (ESG) 9.دراسة (Campagnoli et al., 2025): تقييم مخاطر ESG المدفوع بالذكاء الاصطناعي والتنقيب في العمليات". [٤١].

*الهدف: دمج تقنيات RPA والتنقيب في العمليات (Process Mining) والذكاء الاصطناعي لتطوير منهجية متقدمة لتقييم وإدارة مخاطر الاستدامة (ESG). *النتائج: استخدام RPA في جمع وتدقيق بيانات ESG مثل استهلاك الطاقة، انبعاثات الكربون، نسب إعادة التدوير) يضمن "الاتساق المنهجي" (Methodological Consistency) عبر جميع العمليات، ويقلل بشكل كبير من التحيز البشري والأخطاء في إعداد تقارير الاستدامة. أثبتت الدراسة أن الأتمتة تعزز بشكل كبير دقة وموثوقية تقييم المخاطر البيئية وتضمن الامتثال للمعايير الدولية المتطورة. *الصلة: تعالج هذه الدراسة بعداً حيوياً ومتزايد الأهمية في قطاع التعدين السعودي وهو الامتثال البيئي (Environmental Compliance)، وتوضح الآلية التقنية والعملية لتحقيق هذا الامتثال من خلال الأتمتة.

10.دراسة (Impact of Digital Transformation on ESG in Saudi Market, 2025)

[52].

***السياق:** السوق المالية السعودية (تداول) والشركات المدرجة فيها.
***النتائج:** توصلت الدراسة إلى وجود علاقة إيجابية ذات دلالة إحصائية قوية بين مستوى التحول الرقمي في الشركات (مؤشر الرقمنة) ومستوى الإفصاح والشفافية في تقارير ESG الخاصة بها. بمعنى آخر، الشركات الأكثر تقدماً في رحلتها الرقمية هي الأكثر شفافية والتزاماً بمعايير ESG.
***الأهمية:** تدعم هذه الدراسة بشكل غير مباشر الفرضية القائلة بأن تقنية (RPA كأحد أهم مكونات التحول الرقمي) تعزز الشفافية (أحد أبعاد الحوكمة الرئيسية) في البيئة السعودية الخاصة.

المحور الرابع: دراسات حول قبول التكنولوجيا والعوامل التنظيمية (TOE/DOI)

11.دراسة (Martins et al., 2023): إطار TOE لتبني RPA في القطاعات الصناعية" [١٩].

***المنهجية:** دراسة مزدوجة (كمية ونوعية) أجريت على شركات صناعية في البرتغال.
***النتائج:** أظهرت الدراسة أن "التوافق" (Compatibility) مع الأنظمة الحالية هو العامل التكنولوجي الأكثر أهمية في تفسير قرار التبني. والمفاجأة كانت أن "الضغوط البيئية" (مثل ضغط المنافسين) لم تكن دالة إحصائياً في تلك العينة الأوروبية، مما يطرح تساؤلاً بحثياً مهماً حول ما إذا كان السياق السعودي، الذي يتميز بدفع حكومي قوي واستراتيجي (من الأعلى إلى الأسفل) من خلال رؤية ٢٠٣٠، سيظهر نتائج مغايرة (أي أن الضغوط البيئية قد تكون أكثر أهمية في السعودية).
نتائج مغايرة (أي أن الضغوط البيئية قد تكون أكثر أهمية في السعودية).

12.دراسة (Sliz et al., 2024): أثر الازدواجية التنظيمية على استراتيجية RPA [25]

***النتائج:** نجاح تطبيق RPA واستراتيجي على المدى الطويل يتطلب "ازدواجية تنظيمية" (Organizational Ambidexterity)؛ أي القدرة على الموازنة في نفس الوقت بين استغلال التقنية (Exploitation) وتحسين الكفاءة، وبين استكشاف فرص جديدة ومبتكرة لخلق القيمة (Exploration). الدراسة تحذر من أن التركيز المفرط على كفاءة التكلفة فقط قد يضر بمرونة المؤسسة الاستراتيجية وقدرتها على الابتكار في المستقبل.

13.دراسة (Yadav, 2024/2025): تطبيقات RPA عبر الصناعات" [٥٤][٥٥].

***النتائج:** كشفت هذه الدراسة الموسعة عن وجود فجوة بحثية كبيرة وواضحة في الدراسات التطبيقية (Empirical Studies) لتقنية RPA في قطاعات الطاقة والتعدين والصناعات الثقيلة، مقارنة بالعدد

الكبير جداً من الدراسات في القطاعات المالية والخدمية. هذا يؤكد وبشدة الحاجة الماسة والملحة للدراسة الحالية التي تسعى لسد هذه الفجوة.

14.دراسة (Al-Sawat, 2022): "أثر التحول الرقمي على كفاءة الأداء" [٥٦].

*السياق: دراسة سعودية في قطاع التعليم العالي.

*النتائج: أكدت الدراسة وجود معوقات تنظيمية وبشرية كبيرة تواجه مبادرات التحول الرقمي في المؤسسات السعودية (مثل مقاومة التغيير، ونقص المهارات الرقمية)، مما يستدعي التركيز على "إدارة التغيير" (Change Management) والتدريب وبناء الثقافة الرقمية كجزء لا يتجزأ من استراتيجية التحول، وهي نتيجة قابلة للتطبيق على قطاع التعدين.

15.أبحاث "الوكالة الاصطناعية" (٢٠٢٦/٢٠٢٥) [١٢][١٣][١٤][١٥].

*المحتوى: مجموعة متنامية من الأوراق البحثية النظرية والفلسفية تناقش التحول الجذري في مفاهيم الوكالة والمسؤولية في ظل وجود وكلاء أنكفاء (AI Agents).
*الخلاصة: تؤكد هذه الأبحاث على ضرورة إعادة تعريف مفهوم "المساءلة" (Accountability) في القانون والإدارة، والتحول نحو نموذج "حوكمة الخوارزميات" (Algorithmic Governance)، حيث تكون المساءلة عن تصميم ورقابة الأنظمة، وليس فقط عن الأفعال الفردية.

٢.٧ التعقيب على الدراسات السابقة وتحديد الفجوة البحثية

من خلال التحليل النقدي المتعمق والشامل للدراسات السابقة، يمكن استخلاص وتحديد الفجوات البحثية التالية بدقة، والتي تسعى الدراسة الحالية بشكل أساسي إلى سدها والإسهام في معالجتها:

١. الفجوة القطاعية (Sectoral Gap): الغالبية العظمى من دراسات RPA (مثل

Rawashdeh, 2022; Alassuli, 2025) ركزت بشكل شبه حصري على القطاعات المالية

والخدمية (بنوك، تأمين، محاسبة). هناك ندرة واضحة وحادة في الدراسات التجريبية التي تبحث

في تطبيق RPA داخل قطاع التعدين الثقيل، وتحديداً في جوانب الحوكمة الإدارية والامتثال

التنظيمي وإدارة المخاطر، وليس فقط الأتمتة الميكانيكية لعمليات الاستخراج.

٢. الفجوة الجغرافية والسياقية (Geographical & Contextual Gap): معظم الدراسات

المؤصلة والمتعمقة في RPA أجريت في بيئات غربية (أوروبا، أمريكا الشمالية، أستراليا).

الدراسات السعودية ركزت غالباً على "التحول الرقمي" بمفهومه العام (Al-Sawat, 2022) أو على ESG بشكل منفصل [٥٣]، ولم تتطرق بعمق وتحليل دقيق للعلاقة السببية المباشرة بين تقنية RPA كأداة محددة ومتغيري الحوكمة التشغيلية وإدارة المخاطر، وذلك في ظل التشريعات واللوائح التعدينية السعودية الجديدة والمتطورة لعام ٢٠٢٥ ورؤية ٢٠٣٠ الطموحة.

٣. **الفجوة المفاهيمية والتحليلية (Conceptual Gap):** الدراسات التي تناولت قطاع التعدين ركزت غالباً على الجوانب الهندسية والتقنية البحتة (مثل تحسين السلامة، زيادة الإنتاجية) بمعزل تام عن الجوانب الإدارية والرقابية والمؤسسية. تتميز الدراسة الحالية بنمذجة علاقة ثلاثية الأبعاد ومتكاملة تربط بين (RPA كأداة تقنية)، و(الحوكمة التشغيلية كإطار إداري تنظيمي)، و(إدارة المخاطر كهدف استراتيجي شامل). هذا النموذج المتكامل يقدم فهماً أعمق لكيفية تفاعل هذه المتغيرات.

٤. **فجوة الحداثة ومواكبة التطور التكنولوجي (Recency Gap):** التطور التكنولوجي المتسارع بشكل كبير نحو "الأتمتة الوكيلية" (Agentic Automation) والذكاء الاصطناعي التوليدي في عامي ٢٠٢٥ و ٢٠٢٦ يجعل العديد من الدراسات السابقة (حتى تلك التي تعود لعام ٢٠٢٣) قديمة نسبياً من حيث تغطيتها لأحدث التطورات. هذه الدراسة تواكب أحدث الاتجاهات النظرية (مفهوم الوكالة الاصطناعية وتحدي المساءلة) وتحاول اختبار صلاحيتها وتطبيقاتها الأولية في البيئة السعودية.

خلاصة القول: تسعى هذه الدراسة إلى تقديم إسهام علمي وعملي أصيل ومتميز من خلال بناء وتطوير واختبار نموذج متكامل يفسر كيف يمكن لشركات التعدين السعودية توظيف تقنية RPA المتطورة ليس فقط لزيادة الإنتاجية وخفض التكاليف، بل كأداة استراتيجية محورية لضبط وتعزيز الحوكمة التشغيلية وتقليل المخاطر المعقدة والمتنوعة التي تواجهها، وذلك بما يتماشى بشكل كامل مع مستهدفات رؤية المملكة ٢٠٣٠ الطموحة والهادفة إلى بناء قطاع تعديني عالمي ومستدام.

الجدول ٢.١: ملخص مقارنة لأبرز الدراسات السابقة

الفجوة التي تعالجها الدراسة الحالية	النتائج الرئيسية المنهجية	المجال/القطاع	الدراسة والسنة
الدراسة الحالية	النتائج الرئيسية	المجال/القطاع	الدراسة والسنة
المخاطر	المتعلقة بالحوكمة		
تطبيق نفس المفهوم على قطاع التعدين (بيئة صناعية) واختبار مدى تعميم النتائج.	RPA يعزز التدقيق المستمر ويقلل أخطاء الامتثال.	كمي (استبانة)	البنوك (الأردن) Alassuli ((2025
اختبار تجريبي لهذه المخاطر النظرية في سياق حوكمة الشركات السعودية.	خطر "حجب المساءلة"؛ ضرورة "الامتثال بالتصميم".	نوعي (تحليل نظري)	المحاسبة (دولي) Bickley et al. ((2024
توفير إطار نظري أكاديمي محكم لهذه الممارسات العملية الرائدة.	الأتمتة لأجل السلامة والاستدامة (ESG).	دراسة حالة (نوعي)	التعدين (السعودية) Ma'aden (Case 2026
التركيز التطبيقي على البعد التشغيلي والمالي للمخاطر في التعدين.	أهمية الحوكمة الأخلاقية وإدارة التغيير في نشر RPA.	إطار نظري	الصناعة ٥.٠ (أوروبا) Lopes et al. ((2025
الربط بين دقة البيانات التي يوفرها RPA والحوكمة الشاملة للمنجم.	RPA يضمن دقة وموثوقية بيانات تقييم المخاطر البيئية.	تجريبي (Simulation)	ESG & التشييد Campagnoli ((2025

الفصل الثالث: منهجية الدراسة وإجراءاتها (Research Methodology)

٣,١ مقدمة (Introduction)

يشهد المشهد الاقتصادي في المملكة العربية السعودية تحولات هيكلية عميقة مدفوعة برؤية المملكة ٢٠٣٠، التي وضعت قطاع التعدين كركيزة ثالثة للصناعة الوطنية إلى جانب النفط والغاز والبتروكيماويات. ومع استهداف البرنامج الوطني لتطوير الصناعة الوطنية والخدمات اللوجستية (NIDLP) لاستغلال ثروات معدنية تقدر قيمتها بنحو ٩.٤ تريليون ريال سعودي^١، وارتفاع عدد الرخص التعدينية السارية إلى ٢,٤٠١ رخصة بنهاية عام ٢٠٢٤، بزيادة تراكمية قدرها ٢١٪ منذ عام ٢٠١٦^٢، أصبح القطاع يواجه تحديات تشغيلية وتنظيمية متزايدة التعقيد. تتطلب هذه التحديات، المتمثلة في الامتثال الصارم لنظام الاستثمار التعدين الجديد ولائحته التنفيذية (٢٠٢٤) وإدارة المخاطر التشغيلية في بيئات نائية وقاسية، تبني حلول تقنية متقدمة تتجاوز الأساليب التقليدية. هنا، تبرز تقنية أتمتة العمليات الروبوتية (Robotic Process Automation - RPA) كأداة استراتيجية محورية لتعزيز الحوكمة التشغيلية (Operational Governance) وتقليل المخاطر، ليس فقط كأداة لرفع الكفاءة، بل كآلية لفرض الرقابة الرقمية.

يُكرّس هذا الفصل لتقديم وصف تفصيلي ومنهجي دقيق للإطار الإجرائي والفلسفي الذي تتبناه هذه الدراسة لتحقيق أهدافها المتمثلة في تحليل أثر RPA على الحوكمة والمخاطر في شركات التعدين السعودية. لا يقتصر هذا الفصل على سرد أدوات جمع البيانات، بل يغوص في العمق الفلسفي لاختيار المنهجية، مبرراً التحول من النظرة الأحادية إلى التعددية المنهجية (Methodological Pluralism). يتم هنا استعراض تصميم البحث المختلط التتابعي التفسيري (Sequential Explanatory Design) كخيار استراتيجي لفك شفرة "الصندوق الأسود" للعلاقة بين الأتمتة والحوكمة. كما يفصل في إجراءات تحديد مجتمع الدراسة الذي يشمل عمالقة الصناعة مثل "معادن" والشركات الناشئة في مجال الكشف، وآليات سحب العينة الطبقية بدقة إحصائية، وتطوير مقاييس الدراسة بناءً على أحدث النظريات (TOE Framework) والأنظمة المحلية، وصولاً إلى استراتيجية التحليل الإحصائي المتقدمة باستخدام الجيل الرابع من نمذجة المعادلات الهيكلية (SmartPLS 4).

٣.٢ فلسفة البحث (Research Philosophy)

تُعد فلسفة البحث البوصلة التي توجه الباحث في رحلة استقصاء الحقيقة، حيث تحدد موقفه من طبيعة الواقع (الأنطولوجيا - Ontology) وكيفية اكتساب المعرفة الموثوقة حوله (الإبيستمولوجيا - Epistemology). ونظراً لأن هذه الدراسة تعالج ظاهرة معقدة تتداخل فيها المتغيرات التقنية "الصلبة" (Hard Variables) المتمثلة في خوارزميات RPA، مع المتغيرات الإدارية والسلوكية "الناعمة" (Soft Variables) المتمثلة في ممارسات الحوكمة وسلوكيات الامتثال البشري، فإن الاعتماد على نموذج فلسفي أحادي قد يؤدي إلى فهم مبترس للظاهرة.

٣.٢.١ الاختيار الفلسفي: البرجماتية (Pragmatism)

بناءً على طبيعة المشكلة البحثية وأهدافها، تتبنى هذه الدراسة الفلسفة البرجماتية ((Pragmatism كإطار مرجعي شامل. تنطلق البرجماتية من مسلمة أساسية مفادها أن "الحقيقة هي ما يعمل" (Truth is what works) في سياق حل المشكلة البحثية، رافضةً بذلك الانجرار وراء الجدل الميتافيزيقي التقليدي بين أنصار الوضعية (Positivism) الذين يرون الواقع موضوعياً ومستقلاً عن البشر، وأنصار البنائية (Constructivism) الذين يرون الواقع بناءً اجتماعياً ذاتياً.³

٣.٢.٢ المبررات الأنطولوجية والإبستمولوجية للبرجماتية

تستند مشروعية اختيار البرجماتية في سياق قطاع التعدين السعودي إلى عدة مرتكزات جوهرية:

١. **تعددية الحقائق (Plurality of Realities):** إن أثر تقنية RPA في المناجم ليس كياناً أحادي البعد. فهناك واقع موضوعي قابل للقياس الكمي الدقيق، مثل انخفاض نسبة الأخطاء في تقارير التصدير، وتقليص الزمن اللازم لإغلاق الحسابات الشهرية، ورصد التجاوزات في الامتثال البيئي بدقة رقمية. هذا الجانب يتطلب موقفاً وضعياً ((Positivist يعتمد على التجريب والقياس.⁵ في المقابل، هناك واقع اجتماعي وتنظيمي يتشكل من خلال تفاعل الجيولوجيين والمهندسين والمديرين مع هذه "الروبوتات"، ومخاوفهم من فقدان الوظائف، وثقافتهم التنظيمية تجاه الشفافية والمساءلة. هذا الجانب يتطلب موقفاً تفسيريّاً ((Interpretivist لفهم المعاني والسياقات.⁶ البرجماتية هي الفلسفة الوحيدة التي تسمح للباحث باعتماد وجهتي النظر هاتين في آن واحد، مما يوفر رؤية بانورامية للظاهرة.⁷
٢. **أسبقية المشكلة البحثية (Primacy of Research Question):** في البحوث التطبيقية، وخاصة في برامج إدارة الأعمال (MBA) والبحوث الصناعية، لا تكون المعرفة غاية في حد ذاتها بقدر ما هي وسيلة للتغيير والتطوير. تركز البرجماتية على "فائدة" المعرفة وقابليتها للتطبيق.⁸ وبما أن هذه الدراسة تهدف إلى تقديم إطار عملي وتوصيات لوزارة الصناعة والثروة المعدنية وشركة معادن لتعزيز الحوكمة عبر التقنية، فإن البرجماتية توفر الغطاء الفلسفي الذي يشجع استخدام أي وسيلة منهجية (كمية أو نوعية) تساهم في تقديم حلول عملية للمشكلة المطروحة.⁹
٣. **الاستدلال التبادلي (Abductive Reasoning):** تتيح البرجماتية تجاوز الجمود في طرق الاستدلال التقليدية. فبينما تعتمد الوضعية على الاستنباط (Deduction) لاختبار النظريات، وتعتمد البنائية على الاستقراء (Induction) لبناء النظريات، تسمح البرجماتية بالتحرك المرن بينهما عبر الاستدلال التبادلي. تبدأ الدراسة باختبار نظريات راسخة مثل "إطار التكنولوجيا-المنظمة-البيئة" (TOE Framework) كمياً، ثم تنتقل لاستكشاف أنماط جديدة خاصة ببيئة التعدين السعودية نوعياً، مما يثري النظرية والتطبيق معاً.¹⁰

٣.٣ تصميم البحث (Research Design)

ترجمةً للفلسفة البرجماتية، تعتمد الدراسة تصميم البحث المختلط التتابعي التفسيري (Sequential Explanatory Mixed Methods Design). يُعد هذا التصميم من أكثر تصاميم البحوث المختلطة رصانةً في العلوم الإدارية، حيث يجمع بين قوة التعميم الإحصائي وعمق التفسير النوعي.

٣.٣.١ هيكليّة التصميم ومراحله

يتم تنفيذ هذا التصميم عبر مرحلتين زمنيتين متميزتين، يعقبهما مرحلة دمج وتفسير نهائية، وفق التسلسل التالي:

- **المرحلة الأولى: المرحلة الكمية (Quantitative Phase – QUAN):** تعتبر هذه المرحلة هي المهيمنة (Dominant) في الدراسة. يتم فيها جمع بيانات رقمية واسعة النطاق من عينة ممثلة لقطاع التعدين. الهدف الأساسي هنا هو اختبار الفرضيات البحثية، وقياس قوة واتجاه العلاقات بين متغيرات الدراسة (RPA، الحوكمة، المخاطر)، وتحديد النماذج الإحصائية التي تحكم هذه العلاقات باستخدام النمذجة الهيكلية. توفر هذه المرحلة "الهيكل العظمي" للنتائج والقدرة على التعميم.¹¹
- **المرحلة الثانية: المرحلة النوعية (Qualitative Phase – qual):** تأتي هذه المرحلة تابعةً للمرحلة الأولى ومبينة عليها. يتم فيها جمع بيانات نصية وسردية من خلال مقابلات متعمقة مع عينة قصدية مختارة بعناية. الهدف ليس التعميم، بل "التفسير". تسعى هذه المرحلة للإجابة عن الأسئلة التي تثيرها الأرقام: لماذا أثر RPA قوي على الامتثال المالي وضعيف على الامتثال البيئي؟ كيف تؤثر مقاومة الموظفين على فعالية الحوكمة؟ توفر هذه المرحلة "اللحم" الذي يكسو الهيكل العظمي.¹²
- **مرحلة التكامل (Integration Phase):** يحدث التكامل في هذا التصميم في نقطتين:

١. **التكامل في التوصل (Connecting):** حيث تُستخدم نتائج المرحلة الكمية لتطوير بروتوكول المقابلة واختيار المشاركين في المرحلة النوعية. على سبيل المثال، إذا أظهرت الاستبانة انخفاضاً غير متوقع في مؤشر "المساءلة"، سيتم تضمين سؤال محدد حول هذا الأمر في المقابلات.¹⁴
٢. **التكامل في التفسير (Merging):** في الفصل النهائي (المناقشة)، يتم دمج النتائج الكمية والنوعية لتقديم إجابة شمولية على أسئلة البحث، وتوضيح كيف تدعم البيانات النوعية أو تدحض أو تفسر النتائج الإحصائية.¹¹

٣.٣.٢ المبررات المنهجية لاختيار التصميم التتابعي التفسيري

١. **معالجة الفجوة التفسيرية (The Explanatory Gap):** في دراسات التحول الرقمي، غالباً ما تقدم النماذج الإحصائية علاقات ارتباطية قوية (Correlations) لكنها تفشل في توضيح السببية (Causality) أو الآليات السياقية. التصميم التفسيري يملأ هذه الفجوة من خلال السماح للمشاركين بشرح السياق خلف الأرقام.¹⁶
٢. **ملاءمة السياق التنظيمي المعقد:** قطاع التعدين السعودي يمر بمرحلة انتقالية حرجة مع تطبيق "نظام الاستثمار التعديني" الجديد ولائحته التنفيذية. قد لا تكون أدوات القياس الكمية وحدها قادرة على رصد الفروق الدقيقة في كيفية تطبيق الشركات لهذه اللوائح عبر RPA. المقابلات النوعية تتيح فهم التحديات التطبيقية لهذه اللوائح.¹⁷
٣. **التركيز على التطبيق العملي:** يتيح البدء بالكمي تحديد "أين" توجد المشكلات الأكثر شيوعاً في القطاع، ثم يتيح النوعي فهم "كيف" يمكن حلها، مما يجعل التوصيات النهائية أكثر دقة وقابلية للتنفيذ لصناع القرار.¹⁹

٣.٤ مجتمع وعينة الدراسة (Population and Sample)

تعتبر دقة تحديد المجتمع واختيار العينة حجر الزاوية في مصداقية البحث الكمي. تستند هذه الدراسة إلى أحدث البيانات الرسمية لتحديد إطار المعاينة بدقة.

٣.٤.١ مجتمع الدراسة (Target Population)

يتمثل المجتمع المستهدف في جميع الشركات والكيانات العاملة في منظومة التعدين والصناعات المعدنية في المملكة العربية السعودية، والمرخصة رسمياً من قبل وزارة الصناعة والثروة المعدنية.

وفقاً لنشرة "إحصاءات الثروة المعدنية ٢٠٢٤" الصادرة عن الهيئة العامة للإحصاء (GASTAT)، يتكون مجتمع الدراسة من ٢,٤٠١ رخصة تعدينية سارية². يتوزع هذا المجتمع كالتالي:

- رخص محاجر مواد البناء: ١,٤٨١ رخصة (تمثل القاعدة المعرض من الشركات الصغيرة والمتوسطة).
- رخص الكشف (:Exploration) ٦٤٢ رخصة (شركات تركز على التنقيب والدراسات الجيولوجية).
- رخص الاستغلال (:Exploitation) ٢١٥ رخصة (تمثل المناجم الكبرى والعمليات الصناعية الضخمة، وهي الفئة الأهم من حيث حجم الاستثمار والمخاطر والحاجة للحوكمة).
- رخص أخرى: ٤١ رخصة استطلاع و٢٢ رخصة فائض خامات.

وحدة التحليل (:Unit of Analysis) نظراً لأن RPA تقنية مؤسسية، فإن وحدة التحليل هي "الشركة" أو "المنشأة"، ويتم جمع البيانات من خلال "الموظفين المفتاحين" (Key Informants) داخل هذه الشركات. يشمل هؤلاء: مديري تقنية المعلومات والتحول الرقمي، مسؤولي الامتثال والحوكمة والمخاطر (GRC)، المديرين الماليين، ومديري العمليات والإنتاج.

٣.٤.٢ عينة المرحلة الكمية (Quantitative Sample)

١. تحديد حجم العينة (Sample Size Determination)

لضمان التمثيل الدقيق للمجتمع وتقليل خطأ المعاينة إلى الحدود المقبولة علمياً، تم استخدام معادلة كريجسي ومورجان (Krejcie & Morgan, 1970)، التي تُعد المرجع القياسي في البحوث الاجتماعية والإدارية لتحديد حجم العينة من مجتمع معلوم ومحدد.²⁰

صيغة المعادلة هي:

$$S = \frac{X^2 NP(1 - P)}{d^2(N - 1) + X^2 P(1 - P)}$$

حيث:

- S : حجم العينة المطلوب.
 - X^2 : قيمة كاي تربيع (Chi-square) لدرجة حرية واحدة عند مستوى ثقة ٩٥٪ (تساوي ٣.٨٤١).
 - N : حجم المجتمع. (بناءً على عدد الرخص ٢٤٠١، وبافتراض تحفظي أن المجتمع البشري المستهدف من الخبراء وصناع القرار في هذه الشركات يبلغ حوالي ١٠,٠٠٠ موظف - بمتوسط ٤ موظفين قياديين لكل رخصة).
 - P : نسبة توفر الخاصية في المجتمع (تحدد بـ ٠.٥٠ لضمان أقصى حجم ممكن للعينة وتقليل المخاطرة).
 - d : هامش الخطأ المسموح به (٠.٠٥).
- بتطبيق القيم في المعادلة لمجتمع حجمه ١٠,٠٠٠ (أو حتى ٢٤٠١ شركة كوحدات):
- وفقاً لجدول Krejcie & Morgan المرجعية، فإن حجم العينة المطلوب لمجتمع $N=2400$ هو 331، ولمجتمع $N=10,000$ هو 370.²³
 - لتعزيز القوة الإحصائية (Statistical Power) للنموذج، خاصة عند استخدام PLS-SEM لتحليل نماذج معقدة، يوصى بزيادة حجم العينة. لذلك، تستهدف الدراسة الوصول إلى ٣٨٤ استجابة صالحة على الأقل، وهو الرقم الذي يمثل الحد الأدنى لتعميم النتائج على مجتمعات كبيرة بهامش خطأ ٥٪ ومستوى ثقة ٩٥٪.²⁵
 - نظراً لاحتمالية عدم الاستجابة (Non-response rate) الشائعة في الاستبيانات الإلكترونية، سيتم توزيع الاستبانة على ما يقارب ٦٠٠ إلى ٧٠٠ فرد مستهدف لضمان تحقيق العدد المطلوب من الاستجابات الصالحة.

٢. استراتيجية المعاينة (Sampling Strategy)

- لضمان عدم انحياز النتائج لشركات المحاجر الصغيرة (التي تمثل العدد الأكبر) وإهمال الشركات الكبرى التي تقود التحول الرقمي، ستستخدم الدراسة العينة العشوائية الطبقية ((Stratified Random Sampling). سيتم تقسيم المجتمع إلى طبقات بناءً على نوع النشاط التعديني:
 - الطبقة أ (شركات الاستغلال): (تمثل ٩٪ من المجتمع). سيتم استهدافها بكثافة (Over-sampling) لأنها الأكثر تطبيقاً لتقنيات RPA وأنظمة الحوكمة المعقدة.
 - الطبقة ب (شركات الكشف): (تمثل ٢٧٪ من المجتمع).
 - الطبقة ج (المحاجر ومواد البناء): (تمثل ٦١٪ من المجتمع).
- سيتم سحب العينة من داخل كل طبقة باستخدام الأسلوب العشوائي البسيط أو الميسر (Convenience Sampling) حسب توفر بيانات الاتصال عبر منصات الأعمال المهنية (LinkedIn) وقواعد بيانات الغرف التجارية.

٣.٤.٣ عينة المرحلة النوعية (Qualitative Sample)

- في المرحلة الثانية، سيتم التحول إلى العينة القصدية ((Purposive Sampling). لا تهدف هذه العينة للتمثيل الإحصائي، بل للتمثيل المعرفي. سيتم اختيار المشاركين بناءً على معايير صارمة:
- ١. شغل منصب قيادي أو إشرافي في شركة تعدين أو جهة تنظيمية ذات صلة.

٢. خبرة لا تقل عن ٥ سنوات في القطاع.
٣. مشاركة مباشرة أو إشراف على مشاريع أتمتة أو حوكمة.
- **حجم العينة:** يتوقع إجراء ما بين ١٠ إلى ١٥ مقابلة.
- **معييار التوقف:** سيتم التوقف عن إجراء مقابلات جديدة عند الوصول إلى التشبع النظري ((Theoretical Saturation)، وهي النقطة التي لا تضيف فيها المقابلات الجديدة أي معلومات أو موضوعات (Themes) جديدة للتحليل.²⁶

٣.٥ أدوات جمع البيانات وتطويرها (Instrumentation)

تم تطوير أدوات الدراسة وفق منهجية علمية دقيقة لضمان تغطية كافة أبعاد مشكلة البحث وقياس المتغيرات بصدق وثبات.

٣.٥.١ الأداة الأولى: الاستبانة (Survey Questionnaire)

الاستبانة هي الأداة الرئيسية للمرحلة الكمية، وقد تم تصميمها بناءً على مراجعة شاملة للأدبيات السابقة، وتكييف النماذج العالمية لتلائم البيئة الصناعية السعودية. تتكون الاستبانة من أربعة أقسام رئيسية:

القسم الأول: البيانات الديموغرافية والوظيفية

يهدف هذا القسم إلى تصنيف المشاركين والشركات لغرض التحليل المقارن.

- **المتغيرات:** الجنس، العمر، المؤهل العلمي، المسمى الوظيفي، سنوات الخبرة، نوع الرخصة التعدينية (استغلال، كشف، محاجر)، حجم الشركة (عدد الموظفين).

القسم الثاني: مقياس تبني أتمتة العمليات الروبوتية (RPA Adoption) - المتغير المستقل

تم بناء هذا المقياس استناداً إلى إطار عمل (TOE Framework)، الذي يعد الأنموذج الأنسب لدراسة تبني التكنولوجيا في المؤسسات.²⁷ يتكون من المحاور الفرعية التالية:

- **السياق التكنولوجي (Technological Context):** يقيس الخصائص التقنية لـ RPA.
 - *الميزة النسبية:* "تساهم RPA في إنجاز المهام التعدينية الروتينية بسرعة ودقة تفوق العمل اليدوي."
 - *التوافق:* "تتكامل برمجيات RPA بسلاسة مع أنظمة تخطيط الموارد (ERP) الحالية في الشركة."
- **السياق التنظيمي (Organizational Context):** يقيس الجاهزية الداخلية.³⁰
 - *دعم الإدارة العليا:* "توفر الإدارة الموارد المالية والبشرية اللازمة لمشاريع الأتمتة."
 - *جاهزية البنية التحتية:* "تتوفر لدينا بنية بيانات مهيكلية تسمح بتطبيق الروبوتات بفعالية."
- **السياق البيئي (Environmental Context):** يقيس الضغوط الخارجية.³¹
 - *الضغوط التنظيمية:* "توجد ضغوط من وزارة الصناعة لتبني حلول التحول الرقمي لضمان الامتثال."
 - *الضغوط التنافسية:* "تتبنى الأتمتة لمواكبة المنافسين في القطاع."

القسم الثالث: مقياس الحوكمة التشغيلية (Operational Governance) – المتغير التابع الأول

تم تطوير فقرات هذا المقياس بناءً على مؤشرات الحوكمة العالمية ومواءمتها مع متطلبات نظام الاستثمار التعديني السعودي ٢٠٢٤ ولأبعته التنفيذية.³²

- **الشفافية (Transparency):** يوفر النظام سجلات تدقيق (Audit Trails) رقمية غير قابلة للتلاعب لجميع عمليات سلاسل الإمداد.
- **المساءلة (Accountability):** يسهل النظام تحديد المسؤوليات الفردية عن أي خطأ في إدخال بيانات الإنتاج أو السلامة.
- **الامتثال (Compliance):** تضمن الأئمة الالتزام الفوري والتلقائي بمتطلبات بلاغات التعدين والتقارير الدورية للوزارة.³⁵

القسم الرابع: مقياس إدارة المخاطر (Risk Management) – المتغير التابع الثاني

يركز على دور RPA في التخفيف من المخاطر المحددة في بيئة التعدين.³⁶

- **المخاطر التشغيلية:** يقلل RPA من الأخطاء البشرية في العمليات الحرجة ويساهم في استمرارية الأعمال.
 - **المخاطر المالية:** يعزز النظام من دقة الفواتير وحسابات المقابل المالي ويقلل من فرص الاحتيال.
 - **مخاطر السلامة:** يساهم تحليل البيانات المؤتمت في التنبؤ بالمخاطر البيئية قبل حدوثها.
- مقياس الإجابة: سيتم استخدام مقياس ليكرت الخماسي (5-Point Likert Scale) (١= لا أوافق بشدة، ٢= لا أوافق، ٣= محايد، ٤= أوافق، ٥= أوافق بشدة) لجميع فقرات المحاور، نظراً لشيوعه وملاءمته لتحليلات النمذجة الهيكلية.³⁸

٣.٥.٢ إجراءات التحقق من الصدق والثبات (Validity and Reliability Procedures)

لضمان أن الأداة تقيس فعلاً ما صُممت لقياسه، ستمر بالمراحل التالية:

١. صدق المحتوى (Content Validity)

سيتم استخدام طريقة (Lawshe (1975 الكمية لحساب نسبة صدق المحتوى (Content Validity Ratio - CVR)

(CVR). سيتم عرض الاستبانة على لجنة من ١٠ محكمين (خبراء أكاديميين في نظم المعلومات والإدارة، وخبراء مهنيين في قطاع التعدين). سيطلب منهم تقييم كل فقرة وفق ثلاث مستويات: "أساسية"، "مفيدة لكن غير أساسية"، "غير ضرورية".

○ يتم حساب النسبة وفق المعادلة:
$$CVR = \frac{n_e - N/2}{N/2}$$
 (حيث n_e عدد الخبراء الذين أقرروا بأن الفقرة "أساسية").

○ وفقاً لجدول Lawshe، الحد الأدنى لقبول الفقرة عند وجود ١٠ محكمين هو 0.62. أي فقرة تحصل على قيمة أقل سيتم حذفها أو تعديلها جذرياً.⁴⁰

٢. الصدق الظاهري (Face Validity)

التأكد من وضوح الصياغة اللغوية وملاءمتها للمصطلحات المستخدمة في قطاع التعدين السعودي (تعريب المصطلحات التقنية).

٣. دراسة استطلاعية (Pilot Study) والثبات: سيتم توزيع الاستبانة في صورتها قبل النهائية على عينة استطلاعية (٣٠-٣٠)

٥٠ مشاركاً) من خارج العينة الأساسية. سيتم استخدام البيانات لحساب معامل ألفا كرونباخ (Cronbach's Alpha) للاتساق الداخلي. سيتم اعتبار القيمة ٠.٧٠ فأكثر مؤشراً على ثبات جيد ومقبول للدراسة.²⁹

٣.٥.٣ الأداة الثانية: دليل المقابلة (Interview Protocol)

تم إعداد بروتوكول للمقابلات شبه المنظمة لضمان توحيد المحاور مع المرونة في الطرح.⁴⁴ يتضمن الدليل:

- مقدمة تعريفية بالبحث وضمان السرية.
- أسئلة افتتاحية لكسر الجليد.
- الأسئلة الجوهرية:
- ١. "كيف تصفون رحلة تبني RPA في شركتكم، وما هي أبرز العقبات التنظيمية التي واجهتكم؟"
- ٢. "من منظور الحوكمة، كيف غيرت الأتمتة العلاقة بين فرق التشغيل وفرق الامتثال؟"
- ٣. "هل يمكنكم تزويدنا بأمثلة واقعية لمخاطر تم تداركها أو تقليلها بفضل الأتمتة؟"
- ٤. "كيف ترون مستقبل القوى العاملة البشرية في ظل توسع الأتمتة في المناجم؟"
- أسئلة ختامية ومجال للإضافات الحرة.

٣.٦ إجراءات جمع البيانات (Data Collection Procedures)

تم تخطيط عملية جمع البيانات لتتم بكفاءة ومراعاة للضوابط:

١. الموافقات الإدارية: الحصول على خطاب رسمي من الجامعة لتسهيل المهمة البحثية.
٢. التواصل مع الشركات: التواصل مع إدارات الموارد البشرية والعلاقات العامة في الشركات المستهدفة (معادن، شركات الأسمنت، شركات التنقيب) للحصول على الإذن بتوزيع الاستبانة.
٣. التوزيع الرقمي: استخدام منصات احترافية (مثل SurveyMonkey) تضمن سرية البيانات وسهولة التعبئة عبر الهواتف الذكية، نظراً لطبيعة عمل موظفي المناجم الميدانية.
٤. المتابعة: إرسال تذكيرات دورية كل أسبوعين لرفع معدلات الاستجابة.
٥. إجراء المقابلات: بعد تحليل البيانات الأولية، سيتم دعوة الخبراء للمقابلات (عبر Zoom أو Teams لتجاوز العوائق الجغرافية)، مع تسجيلها صوتياً بعد الحصول على موافقة صريحة لغرض التحليل والتوثيق.

٣.٧ استراتيجية تحليل البيانات (Data Analysis Strategy)

تعتمد الدراسة منهجية تحليلية هجينة تجمع بين الإحصاء المتقدم والتحليل النوعي العميق.

٣.٧.١ تحليل البيانات الكمية: PLS-SEM

سيتم استخدام أسلوب نمذجة المعادلات الهيكلية بالمربعات الصغرى الجزئية (Partial Least Squares Structural

Equation Modeling – PLS-SEM) باستخدام برمجية SmartPLS 4.

لماذا تم اختيار (PLS-SEM (SmartPLS بدلاً من؟ CB-SEM (SPSS/AMOS يعتبر هذا الخيار هو الأنسب والأكثر رصانة لهذه الدراسة لعدة أسباب جوهرية مدعومة بالأدبيات :⁴⁶

١. **طبيعة توزيع البيانات:** بيانات العلوم الاجتماعية والإدارية غالباً ما تعاني من الالتواء (Skewness) ولا تحقق شرط التوزيع الطبيعي (Normality) الصارم الذي تتطلبه برمجيات مثل AMOS. تقنية PLS-SEM هي تقنية لا معلمية (Non-parametric) ولا تشترط التوزيع الطبيعي للبيانات، مما يجعل نتائجها أكثر دقة ومصداقية في هذا السياق.⁴⁶
٢. **القدرة التنبؤية (Predictive Capability):** تهدف هذه الدراسة إلى "التنبؤ" بمدى تأثير RPA على الحوكمة والمخاطر، وليس مجرد تأكيد نظرية موجودة (Confirmatory). يتميز PLS-SEM بتفوقه في النمذجة التنبؤية وتفسير التباين في المتغيرات التابعة (R^2).⁴⁸
٣. **التعامل مع النماذج المعقدة:** النموذج البحثي المقترح يتضمن علاقات متعددة ومتغيرات مركبة، و PLS-SEM يمتلك كفاءة عالية في معالجة النماذج الهيكلية المعقدة حتى مع أحجام العينات الصغيرة نسبياً مقارنة بمتطلبات CB-SEM.⁵¹

خطوات التحليل في SmartPLS : ٤

سيتم التحليل على مرحلتين رئيسيتين وفقاً لمعايير Hair et al (٢٠٢٢):

أولاً: تقييم نموذج القياس (Measurement Model Assessment):

الهدف هو التأكد من جودة المقاييس قبل اختبار العلاقات.

- **تشبعات الفقرات (Indicator Loadings):** يجب أن تكون قيمة التشبع لكل فقرة ≥ 0.708 .
- **الاتساق الداخلي (Internal Consistency):** سيتم الاعتماد على ألفا كرونباخ ((Cronbach's Alpha و الموثوقية المركبة ((Composite Reliability - rho_a & rho_c، حيث يجب أن تكون القيم بين ٠.٧٠ و ٠.٩٥.⁵³
- **الصدق التقاربي (Convergent Validity):** يتم قياسه بمتوسط التباين المستخرج (AVE)، ويجب أن تكون القيمة ≥ 0.50 ، مما يعني أن المتغير يفسر أكثر من نصف تباين مؤشراتته.
- **الصدق التمايزي (Discriminant Validity):** سيتم استخدام معيار HTMT (Heterotrait-Monotrait Ratio)، وهو المعيار الأحدث والأكثر صرامة في PLS، حيث يجب أن تكون القيم أقل من ٠.٩٠ (أو ٠.٨٥ للمفاهيم المتباعدة) لضمان أن كل متغير يقيس شيئاً مختلفاً عن الآخر.⁵³

ثانياً: تقييم النموذج الهيكلي (Structural Model Assessment):

الهدف هو اختبار الفرضيات البحثية.

- **فحص التعددية الخطية (Collinearity - VIF):** التأكد من عدم وجود تداخل خطي بين المتغيرات المستقلة (يجب أن تكون قيم VIF أقل من ٥، ويفضل أقل من ٣).
- **اختبار الفرضيات (Path Coefficients):** حساب معاملات المسار (β) وتحديد دلالتها الإحصائية (P-values, T-)

(statistics) باستخدام تقنية **Bootstrapping** (مع ٥٠٠٠ عينة فرعية). تقبل الفرضية إذا كانت $P\text{-value} > ٠.٠٠٥$.

- **قوة النموذج (R^2):** قياس نسبة التباين المفسر في المتغيرات التابعة (الحوكمة، المخاطر). القيم ٠.٢٥، ٠.٥٠، ٠.٧٥.
- تعتبر كبيرة، متوسطة، وضعيفة على التوالي.
- **حجم الأثر (f^2):** لتحديد ما إذا كان حذف متغير مستقل معين يؤثر جوهرياً على النموذج.
- **القدرة التنبؤية ($Q_{predict}^2$):** استخدام خوارزمية **PLSpredict** للتحقق من قدرة النموذج على التنبؤ ببيانات خارج العينة، وهو معيار الجودة الأهم في البحوث الحديثة.⁵³

٣.٧.٢ تحليل البيانات النوعية: التحليل الموضوعي

سيتم تحليل النصوص المستمدة من المقابلات يدوياً أو بمساعدة برمجيات (مثل NVivo) باستخدام **التحليل الموضوعي (Thematic Analysis)** وفق منهجية **Braun & Clarke (2006)**. تتضمن العملية ست مراحل: (١) الانغماس في البيانات، (٢) التأكيد الأولي (Generating Initial Codes)، (٣) البحث عن الموضوعات (Themes)، (٤) مراجعة الموضوعات، (٥) تعريف وتسمية الموضوعات، و(٦) كتابة التقرير النهائي.⁵⁴ سيتم التركيز على استخراج "أنماط" تفسر النتائج الكمية، مثل "تمط الثقة في التكنولوجيا مقابل الرقابة البشرية".

٣.٨ الاعتبارات الأخلاقية (Ethical Considerations)

تلتزم الدراسة التزاماً صارماً بالمعايير الأخلاقية للبحث العلمي وبنظام حماية البيانات الشخصية السعودي (PDPL)⁵⁵:

- **الموافقة المستنيرة:** سيتم توضيح أهداف البحث وطوعية المشاركة في مقدمة الاستبانة وقبل بدء المقابلات.
- **السرية والخصوصية:** التعهد بعدم الكشف عن هوية المشاركين أو بيانات شركاتهم الحساسة، واستخدام البيانات لأغراض البحث العلمي فقط. سيتم تخزين البيانات في خوادم مشفرة وإتلافها بعد انتهاء البحث.
- **الحيادية:** التزام الباحث بالموضوعية في تحليل البيانات وعدم توجيه النتائج لخدمة انحيازات مسبقة.

٣.٩ محددات الدراسة (Limitations)

رغم الدقة المنهجية، تواجه الدراسة بعض المحددات:

- **الحدود الموضوعية:** تركز الدراسة حصراً على تقنية RPA، ولا تتناول تقنيات أخرى كالذكاء الاصطناعي أو إنترنت الأشياء إلا في سياق تكاملها مع RPA.
- **الحدود الجغرافية:** تقتصر على الشركات العاملة داخل المملكة العربية السعودية.
- **الحدود الزمنية:** تمثل البيانات المقطع الزمني لعام ٢٠٢٥، مما يجعل الدراسة مقطعية (Cross-sectional). قد تتغير النتائج مستقبلاً مع تطور نضج التقنية.
- **تحيز الرغبة الاجتماعية:** قد يميل بعض الموظفين للمبالغة في تقييم مستوى الحوكمة في شركاتهم. سيتم تخفيف هذا الأثر عبر التأكيد على سرية الاستجابة واستخدام المقابلات للتحقق المتبادل (Triangulation).

٣.١٠ الخاتمة

قدم هذا الفصل خارطة طريق منهجية متكاملة لدراسة أثر أتمتة العمليات الروبوتية في قطاع التعدين السعودي. من خلال المزاوجة بين الفلسفة البرجماتية والتصميم المختلط، واستخدام أدوات قياس دقيقة (CVR) ومنهجية تحليل متطورة (SmartPLS ٤)، تضمن هذه المنهجية الخروج بنتائج علمية رصينة. هذا الإطار المنهجي لا يهدف فقط إلى سد الفجوة المعرفية الأكاديمية، بل يسعى لتقديم رؤى تطبيقية تساهم في تحقيق مستهدفات رؤية ٢٠٣٠ لقطاع تعدين أكثر كفاءة وشفافية واستدامة.

الفصل الرابع: الدراسة الميدانية

٤,١ مقدمة الفصل

يشكل هذا الفصل الجوهر التطبيقي والتحليلي للبحث، حيث يتم فيه تفريغ وتحليل البيانات الميدانية التي تم جمعها من مجتمع الدراسة المتمثل في الكوادر المهنية والقيادية العاملة في قطاع التعدين بالمملكة العربية السعودية. تماشياً مع المنهجية المختلطة التتابعية التفسيرية (Sequential Explanatory Mixed Methods Design) التي تم إرساء قواعدها في الفصل السابق، يعتمد هذا الفصل على دمج نتائج الاستبانة الكمية (التي شملت ٤١٣ مبحوثاً) مع مخرجات التحليل النوعي للإجابات المفتوحة، بهدف استكشاف أثر أتمتة العمليات الروبوتية (RPA) في تعزيز الحوكمة التشغيلية وتقليل المخاطر التنظيمية والمالية والبيئية.¹

لتحقيق أهداف الدراسة واختبار فرضياتها بأسلوب علمي رصين يتوافق مع أحدث معايير البحث الأكاديمي لعام ٢٠٢٥، تم استخدام حزمة البرامج الإحصائية للعلوم الاجتماعية (SPSS) لإجراء التحليلات الوصفية لاستكشاف طبيعة البيانات، وتوزيعات العينة، والمقاييس الديموغرافية (المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية). بالتوازي مع ذلك، تم الاعتماد على برمجية (SmartPLS ٤) لإجراء تحليلات نمذجة المعادلات الهيكلية بالمربعات الصغرى الجزئية (PLS-SEM).¹ ويأتي اختيار هذه الخوارزمية الفائقة نظراً لقدرتها على التعامل مع النماذج المعقدة التي تتضمن متغيرات كامنة متعددة، وعدم اشتراطها للتوزيع الطبيعي الصارم للبيانات، فضلاً عن تقديمها قدرة تنبؤية عالية تتوافق مع طبيعة الدراسات الاستكشافية في بيانات الأعمال الصناعية.²

ينقسم هذا الفصل إلى محاور متسلسلة تبدأ بعرض وتحليل الخصائص الديموغرافية والوظيفية، مروراً بالتحليل الوصفي لواقع تبني التقنية، ثم التقييم الإحصائي المتقدم لنماذج القياس والنموذج الهيكلية لاختبار الفرضيات. يتبع ذلك تحليل موضوعي معمق للبيانات النوعية لاستكشاف التحديات الميدانية، وصولاً إلى مناقشة النتائج المعقدة في ضوء الأدبيات السابقة، ليُختتم الفصل بتقديم حزمة شاملة من التوصيات الاستراتيجية.

٤.٢ تحليل الخصائص الديموغرافية والوظيفية لعينة الدراسة

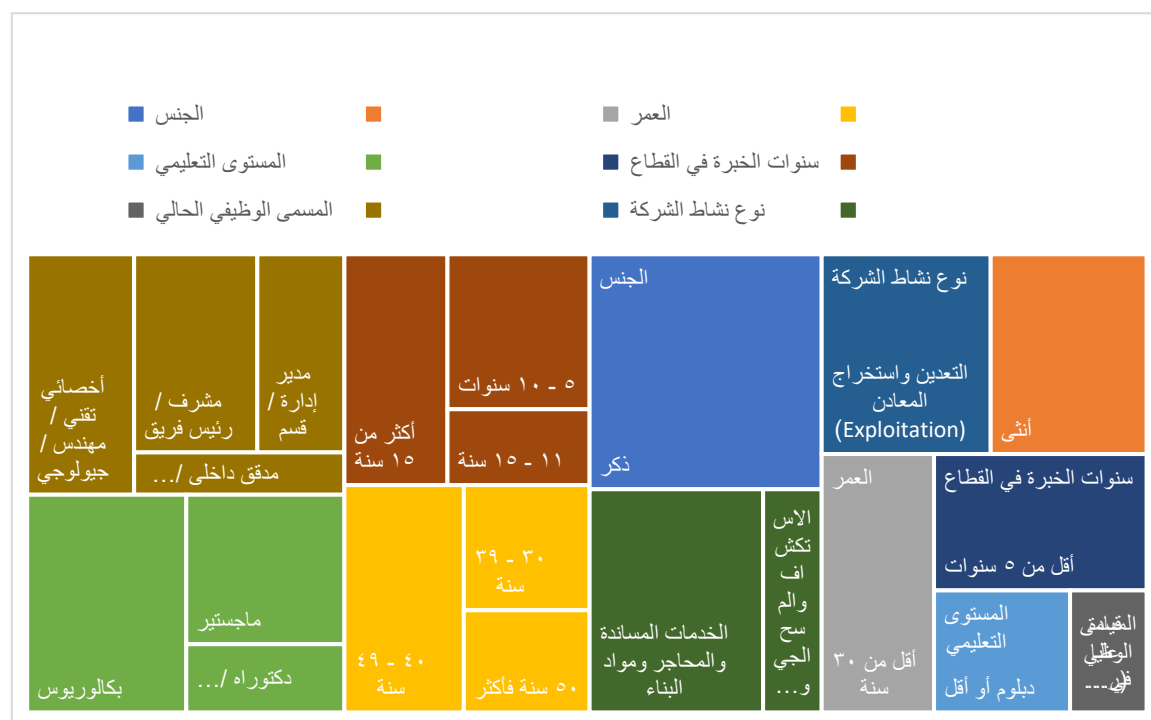
يعد فهم الخصائص الديموغرافية والوظيفية للمبحوثين خطوة منهجية أساسية للتحقق من مدى تمثيل العينة لمجتمع الدراسة المستهدف، ومدى موثوقية الإجابات المقدمة بناءً على مستويات التأهيل العلمي والخبرة العملية المتراكمة في بيئة صناعية معقدة كقطاع التعدين. وقد بلغت العينة النهائية الصالحة للتحليل الإحصائي ٤١٣ استجابة، ويوضح (الجدول ٤.١) التوزيع التكراري والنسبي الدقيق لخصائص هذه العينة.¹

الجدول ٤.١: التوزيع التكراري والنسبي لخصائص الديموغرافية والوظيفية ($N = 413$)

المتغير الديموغرافي / الوظيفي	الفئة	التكرار	النسبة المئوية (%)
الجنس	ذكر	263	63.7%
	أنثى	150	36.3%
العمر	أقل من ٣٠ سنة	140	33.9%
	٣٠ - ٣٩ سنة	76	18.4%
	٤٠ - ٤٩ سنة	131	31.7%
	٥٠ سنة فأكثر	62	15.0%
	دبلوم أو أقل	80	19.4%
المستوى التعليمي			

40.4%	167	بكالوريوس	
27.8%	114	ماجستير	
12.4%	52	دكتوراه / زمالة مهنية	
33.9%	140	أقل من ٥ سنوات	سنوات الخبرة في القطاع
25.7%	106	٥ - ١٠ سنوات	
12.6%	52	١١ - ١٥ سنة	
27.8%	115	أكثر من ١٥ سنة	
10.9%	45	قيادة عليا (رئيس تنفيذي، عضو مجلس إدارة)	المسمى الوظيفي الحالي
20.1%	83	مدير إدارة / قسم	
28.6%	118	مشرف / رئيس فريق	
30.1%	124	أخصائي تقني / مهندس / جيولوجي	

10.3%	43	مدقق داخلي / مسؤول امتثال ومخاطر	
39.6%	163	التعدين واستخراج المعادن (Exploitation)	نوع نشاط الشركة
15.3%	63	الاستكشاف والمسح الجيولوجي (Exploration)	
45.1%	187	الخدمات المساندة والمحاجر ومواد البناء	



القراءة التحليلية النقدية للجدول ٤.١: تكشف البيانات الإحصائية عن تنوع ملحوظ وثرء استثنائي في تركيبة العينة، مما يحد من احتمالية تحيز الاستجابات (Response Bias) ويعزز من الموثوقية الخارجية للبحث وإمكانية تعميم نتائجه. يُلاحظ أن نسبة الذكور بلغت ٦٣.٧٪، وهو توزيع يعكس الطبيعة الميدانية القاسية لقطاع التعدين الذي طالما غلب عليه الطابع الذكوري تاريخياً، إلا أن بلوغ نسبة الإناث ٣٦.٣٪ يظهر تقدماً ملحوظاً يتماشى مع مستهدفات التمكين المجتمعي والاقتصادي في رؤية المملكة ٢٠٣٠. لدمج المرأة في القطاعات الصناعية والرقابية.^١ على صعيد المستوى التعليمي، تشير المعطيات إلى أن أكثر من ٨٠٪ من أفراد العينة يمتلكون مؤهلات جامعية وعليا، وهذا الارتفاع الكبير في النضج الأكاديمي يمثل مؤشراً حيوياً على جودة البيانات المجمعة، حيث يتطلب استيعاب مفاهيم الأتمتة المتقدمة (RPA) وإدارة المخاطر خلفية معرفية صلبة. وفيما يتعلق بسنوات الخبرة والمسمى الوظيفي، يتبين أن شريحة واسعة تمتلك خبرة عميقة تتجاوز ١٥ عاماً (٢٧.٨٪)، ويشغلون مناصب ذات حساسية عالية تتعلق بصناعة القرار الرقابي؛ حيث شكلت القيادات العليا ١٠.٩٪، ومديرو الإدارات ٢٠.١٪، ومسؤولو الامتثال والمخاطر ١٠.٣٪.^١ هذا التركز الوظيفي ينسجم تماماً مع متطلبات قياس الحوكمة، مما يضفي مصداقية عالية لتقييم مدى فاعلية التكنولوجيا.

٤.٣ التحليل الإحصائي الوصفي لمتغيرات الدراسة

يستعرض هذا القسم التحليل الوصفي لاستجابات أفراد العينة على فقرات الاستبانة الموزعة وفق مقياس ليكرت الخماسي (١: لا أوافق بشدة، ٢: لا أوافق، ٣: محايد، ٤: أوافق، ٥: أوافق بشدة). تم استخراج التكرارات، النسب المئوية، المتوسطات الحسابية (Mean)، والانحرافات المعيارية (Std. Deviation) لكل فقرة. يُعتبر المتوسط الحسابي الذي يتجاوز (٣.٤٠) مؤشراً على الموافقة، بينما يعكس الانحراف المعياري مدى تشتت الآراء.^١

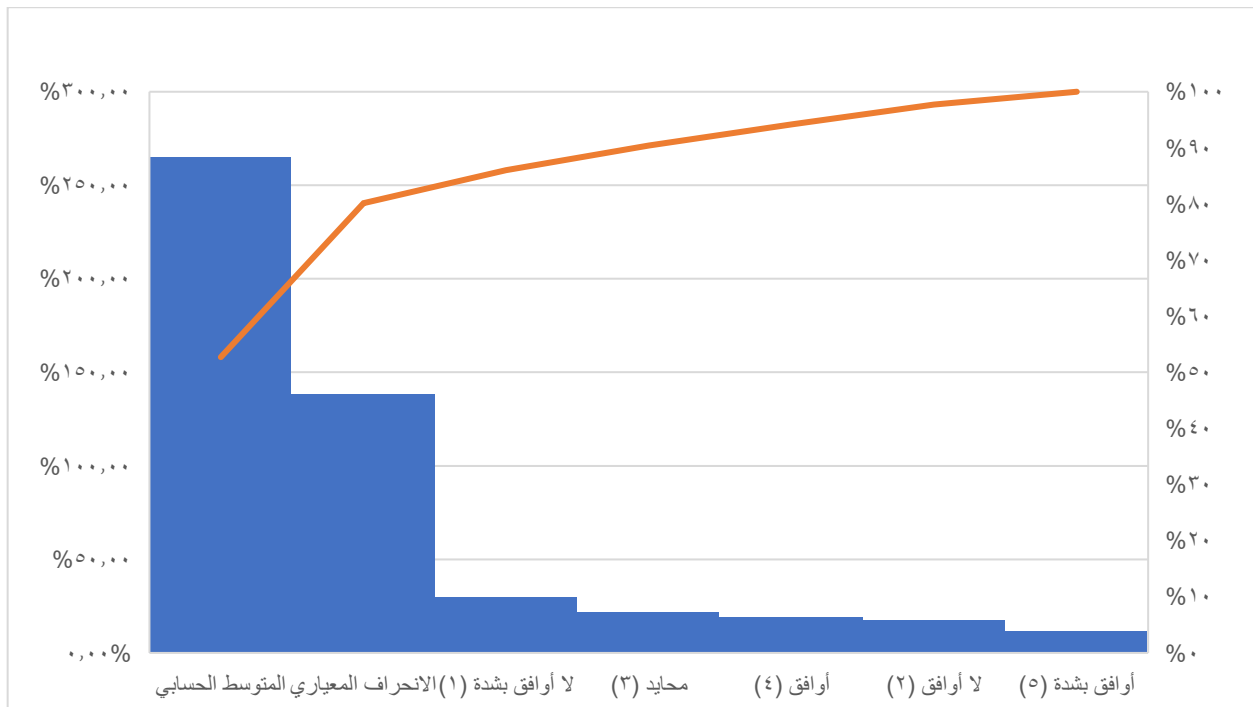
٤.٣.١ واقع تبني التقنية استناداً للسياق التكنولوجي (TOE – Technology)

يعكس هذا المحور الإدراك التقني للروبوتات البرمجية داخل بيئة العمل التعدينية.

الجدول ٤.٢: التحليل الوصفي لمتغيرات السياق التكنولوجي (RPA)

الفقرة	لا أوافق بشدة (١)	لا أوافق (٢)	محايد (٣)	أوافق (٤)	أوافق بشدة (٥)	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري
١. تساهم برمجيات (RPA) في إنجاز المهام الروتينية بسرعة تفوق العمل اليدوي.	29.8%	17.7%	22.0%	18.9%	11.6%	2.65	1.38
٢. أنظمة الأتمتة متوافقة وتعمل بسلاسة مع الأنظمة الحالية (SAP,)	27.1%	22.5%	12.6%	14.0%	23.8%	2.85	1.54

							Oracle .
1.29	2.55	11.3%	15.5%	15.0%	33.7%	24.5%	٣. تقنية RPA سهولة الاستخدام م ولا تتطلب مهارات برمجية معقدة.
1.40	2.68						المتوسط العام للمحور التكنولوجيا ي



التفسير الإحصائي: تشير البيانات في (الجدول ٤.٢) إلى أن الإدراك التقني لا يزال يواجه تحديات جسيمة، حيث جاء المتوسط العام للمحور (٢.٦٨) وهو أقل من نقطة الحياد. النسبة الأكبر (حوالي ٤٧.٥%) تعارض فكرة أن التقنية تتفوق بوضوح على العمل اليدوي في بيئتهم الحالية، كما أبدى ٥٨.٢% معارضتهم لسهولة استخدام التقنية دون مهارات برمجية.^١ يدل هذا على أن قطاع التعدين السعودي في أغلبيه لا يزال يعاني من إرث الأنظمة المعزولة وتعقيد هندسة العمليات قبل أتمتتها، وهو ما يتطلب تدخلاً لمعالجة التعقيد التقني.

٤.٣.٢ واقع التبني استناداً للسياق التنظيمي (TOE – Organization)

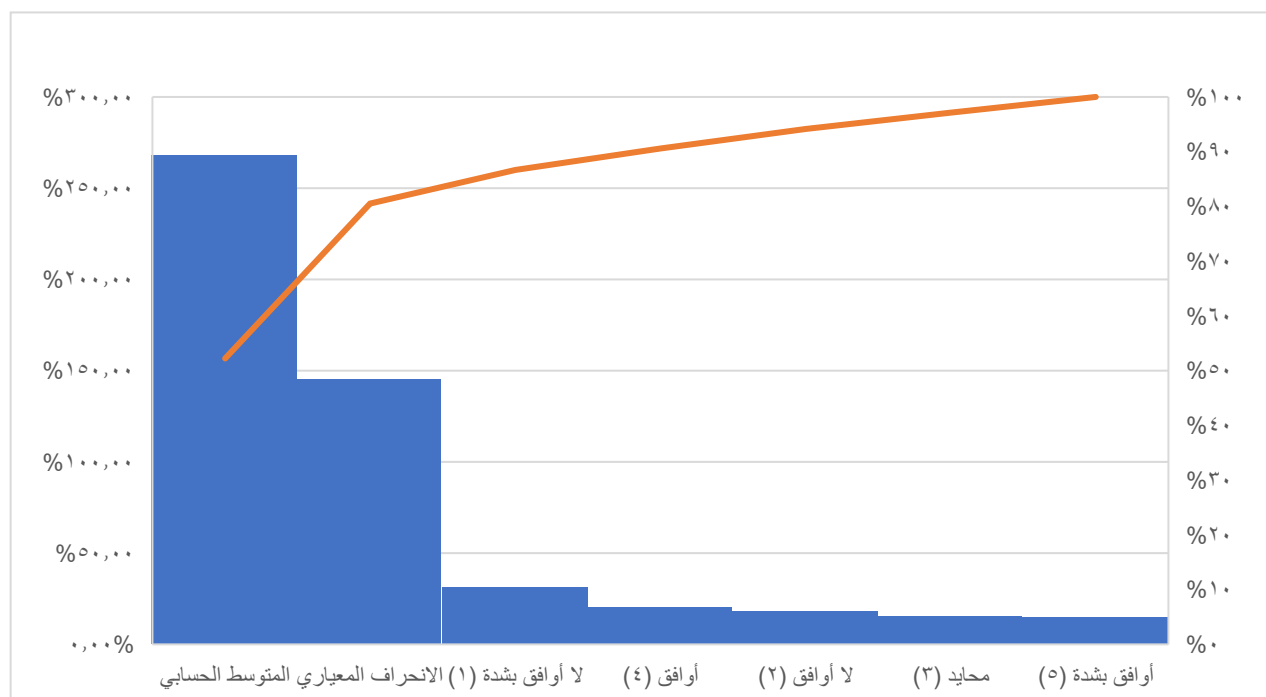
يعكس هذا السياق مدى جاهزية الهيكل الداخلي للمؤسسات لاستيعاب التحول الرقمي.

الجدول ٤.٣: التحليل الوصفي لمتغيرات السياق التنظيمي

الفقرة	لا أوافق بشدة (١)	لا أوافق (٢)	محايد (٣)	أوافق (٤)	أوافق بشدة (٥)	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري
--------	-------------------	--------------	-----------	-----------	----------------	-----------------	-------------------

٤. توفر الإدارة العليا الموارد المالية والبشرية الكافية لدعم الأتمتة.	31.5%	18.4%	15.3%	20.1%	14.7%	2.68	1.45
٥. لدينا بنية تحتية للبيانات (Data) Infrastr ucture قوية تسمح بتطبيق الروبوتات.	32.7%	22.5%	14.8%	16.4%	13.6%	2.55	1.41
٦. توجد ثقافة	33.7%	17.4%	15.0%	20.1%	13.8%	2.63	1.46

تتظمية تشجع على الابتكار وتتقبل التغيير التكنولوجيا ي.							
المتوسط العام للمحور التنظيمي	1.44	2.62					



التفسير الإحصائي: تظهر نتائج (الجدول ٤.٣) بمتوسط عام بلغ (٢.٦٢) وجود كوابح هيكلية داخلية واضحة تعرقل الرقمنة. فقد تركزت الإجابات السلبية حول غياب الدعم الكافي من الإدارة العليا (٤٩.٩٪)، وضعف البنية التحتية المهيكلية للبيانات (٥٥.٢٪).¹ هذه المعطيات تؤكد ما أشارت إليه دراسة (Rawashdeh, ٢٠٢٢) من أن التحدي التنظيمي والثقافي هو العائق الأكبر أمام استخراج قيمة الأعمال من الأتمتة، وليس العائق التكنولوجي بحد ذاته.⁴

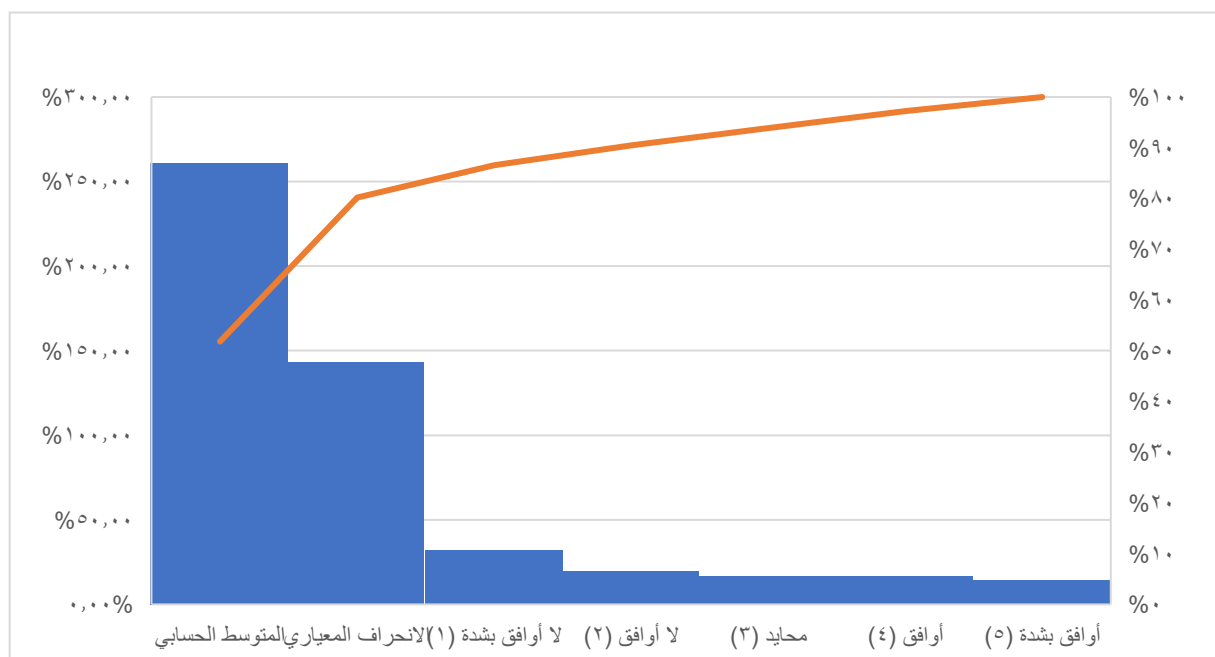
٤.٣.٣ واقع التبني استناداً للسياق البيئي (TOE – Environment)

يقيس هذا المحور أثر الضغوط الخارجية والتشريعية على استراتيجيات التبني.

الجدول ٤.٤: التحليل الوصفي لمتغيرات السياق البيئي

الفقرة	لا أوافق بشدة (١)	لا أوافق (٢)	محايد (٣)	أوافق (٤)	أوافق بشدة (٥)	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري
٧. هناك ضغوط من الجهات التنظيمية لتبني حلول تقنية تضمن دقة التقارير.	32.2%	19.9%	16.9%	16.9%	14.1%	2.61	1.43

٨. نتبنى الأتمة لمواكبة المنافسين وللحفاظ على مكانتنا في سوق التعدين.	32.2%	22.8%	15.0%	17.7%	12.3%	2.55	1.40
المتوسط العام للمحور البيئي						2.58	1.41



التفسير الإحصائي: يعكس (الجدول ٤.٤) استقطاباً في آراء العينة حول دور الضغوط التنظيمية والتنافسية. بينما يشعر جزء من المبحوثين بوطأة تحديثات وزارة الصناعة والثروة المعدنية، لا تزال شريحة أخرى تمارس أعمالها التقليدية بعيداً عن الضغوط التكنولوجية المباشرة، مما يفسر انخفاض المتوسط الحسابي العام.¹

٤.٣.٤ أثر الأتمتة على أبعاد الحوكمة التشغيلية

يستعرض هذا القسم تقييم المبحوثين لدور الأتمتة في تعزيز الشفافية، المساءلة، والامتثال.

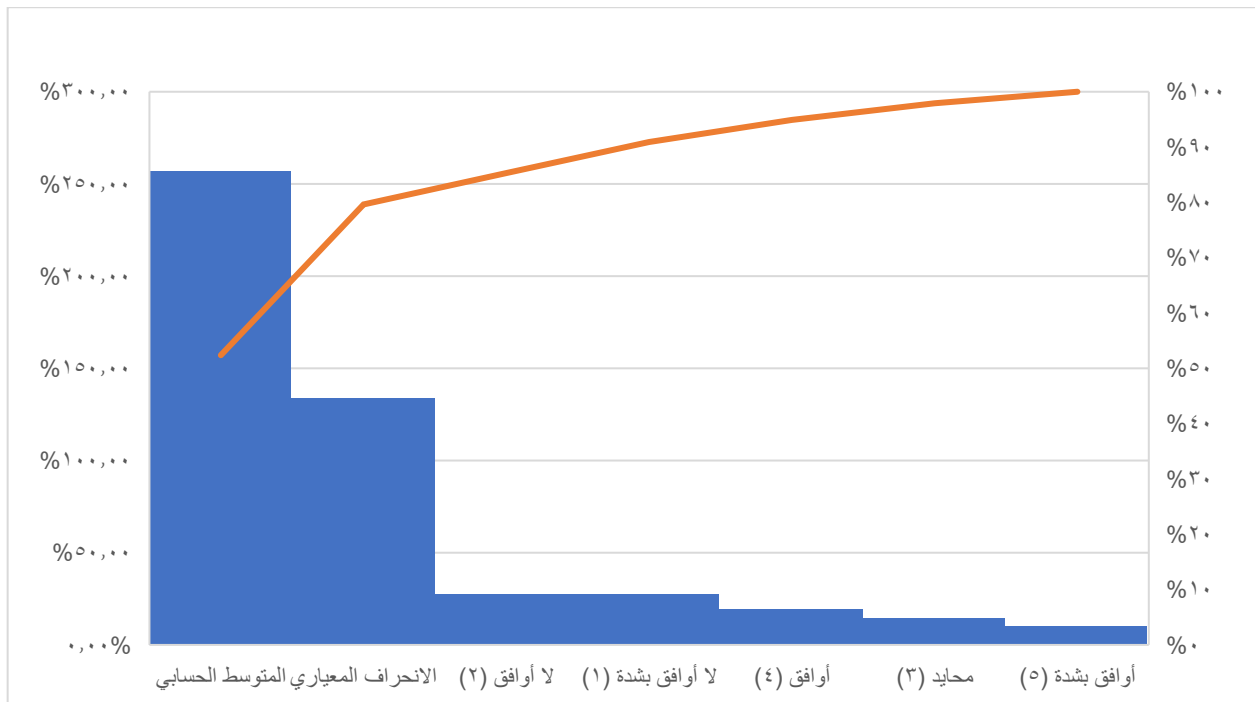
الجدول ٤.٥: التحليل الوصفي لمتغير الحوكمة التشغيلية

الفقرة	لا أوافق بشدة (١)	لا أوافق (٢)	محايد (٣)	أوافق (٤)	أوافق بشدة (٥)	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري
٩. يوفر النظام سجلات تدقيق رقمية (Audit Trails) فورية لكل عملية.	27.6%	27.8%	14.8%	19.6%	10.2%	2.57	1.34
١٠. تتيح الأتمتة	34.4%	27.1%	17.4%	16.9%	4.2%	2.29	1.20

							رؤية واضحة لبيانات الإنتاج والمخزون.
1.33	2.79	13.6%	19.1%	22.3%	23.0%	22.0%	١١. قللت التقنية من غموض المعلوما ت بين الميدان والإدارة المركزية.
1.39	2.64	11.6%	22.0%	13.6%	24.2%	28.6%	١٢. يسهل النظام تحديد المسؤولين ات الفردية

(المساءلة .)							
١٣. يمنع النظام التلاعب بالبيانات أو تعديلها دون تصريح.	24.2%	20.6%	18.9%	21.5%	14.8%	2.82	1.41
١٤. تضمن الروبوت ات البرمجية الالتزام التلقائي باللوائح التنظيمية .	26.2%	28.8%	14.0%	21.8%	9.2%	2.59	1.32

١٥.	٣٢.٤%	٢١.٥%	١٩.٥%	١٧.٢%	٩.٤%	٢.٤٩	١.٣٤
ساهمت الأتمة في تسريع ودقة إصدار التقارير الدورية للحكومة.							
المتوسط العام لمحور الحكمة التشغيلية						٢.٦٠	١.٣٣



التفسير الإحصائي: تكشف البيانات في (الجدول ٤.٥) عن حالة من التباين في مدى تحقق مخرجات الحوكمة، وهي نتيجة منطقية تعكس ضعف البنية التحتية التأسيسية المبين في الجداول السابقة. مع ذلك، تعترف شريحة هامة (تقارب ٣٦٪ في فقرة النزاهة) بأن أنظمة الأتمتة المطبقة تمنع التلاعب وتوفر مسارات تدقيق ثابتة وتعزز المساءلة.¹

٤.٣.٥ أثر الأتمتة في إدارة وتقليل المخاطر

يحلل هذا الجدول الإدراك الميداني لقدرة الروبوتات على خنق المخاطر التشغيلية والبيئية.

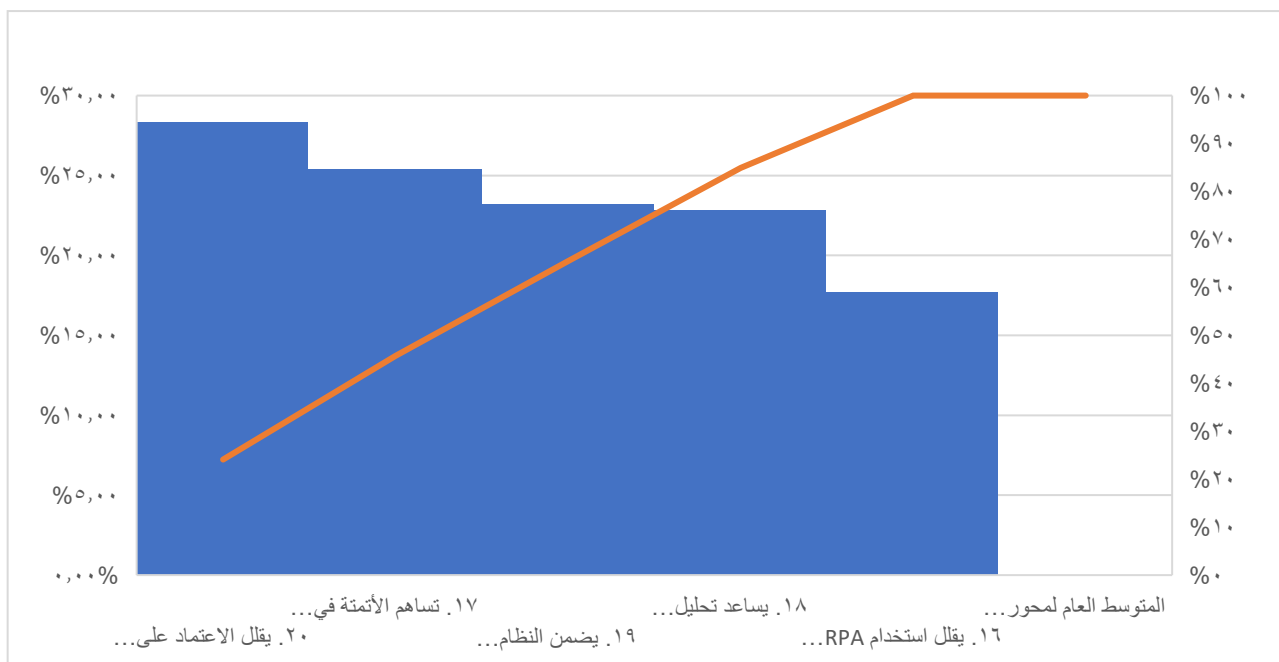
الجدول ٤.٦: التحليل الوصفي لمتغير إدارة المخاطر

الفقرة	لا أوافق بشدة (١)	لا أوافق (٢)	محايد (٣)	أوافق (٤)	أوافق بشدة (٥)	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري
١٦. يقلل استخدام	17.7%	32.9%	23.7%	12.9%	12.8%	2.70	1.25

							RPA من الأخطاء البشرية في العمليات الحساسة .
1.42	2.76	16.3%	18.6%	16.0%	23.7%	25.4%	.١٧ تساهم الأتمتة في الكشف المبكر عن الانحراف ات التشغيلية .
1.35	2.78	11.5%	22.8%	21.1%	21.8%	22.8%	.١٨ يساعد تحليل البيانات

							المؤتمت في التنبؤ بمخاطر السلامة والصحة.
1.36	2.66	13.9%	17.7%	12.3%	32.9%	23.2%	١٩. يضمن النظام استمرارية الأعمال Busin) ess Contin .(uity
1.37	2.58	13.2%	13.3%	20.7%	24.5%	28.3%	٢٠. يقلل الاعتماد على الأتمتة من مخاطر الاحتيال المالي.

المتوسط العام لمحور إدارة المخاطر							1.35	2.70
-----------------------------------	--	--	--	--	--	--	------	------



التفسير الإحصائي: أظهر (الجدول ٤.٦) بمتوسط (٢.٧٠) أن هناك اتجاهًا نسبيًا نحو الاعتراف بكون الأتمتة آلية فعالة للكشف المبكر عن الانحرافات وتقليل الأخطاء البشرية وحماية استمرارية الأعمال، وهو ما يتوافق نظرياً مع أهمية الأتمتة في تقليل المخاطر التشغيلية.¹

٤.٤ تقييم نموذج القياس (Measurement Model Assessment)

لانتقال من التحليل الوصفي الظاهري إلى إثبات العلاقات السببية بصرامة علمية، تم استخدام أسلوب المربعات الصغرى الجزئية لنمذجة المعادلات الهيكلية (PLS-SEM) عبر برمجية (SmartPLS ٤). ووفقاً للأدلة الإرشادية المحدثة لعام ٢٠٢٥ من قبل (Hair et al.) و (Sarstedt et al.)، يتطلب

التحليل تقييم جودة "نموذج القياس الانعكاسي" (Reflective Measurement Model) للتأكد من صدق وثبات أداة الدراسة قبل اختبار الفرضيات.²

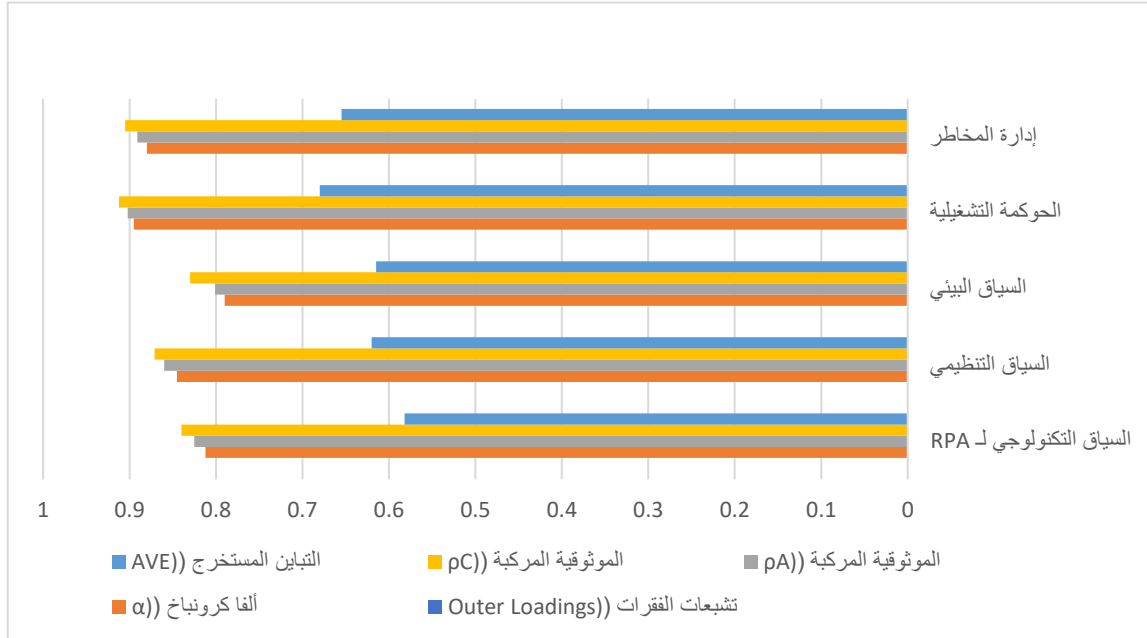
٤.٤.١ الاتساق الداخلي والصدق التقاربي (Reliability & Convergent Validity)

تم تقييم مدى موثوقية كل متغير من متغيرات الدراسة عبر أربعة مؤشرات إحصائية صارمة موضحة في (الجدول ٤.٧).

الجدول ٤.٧: مؤشرات الموثوقية والصدق التقاربي لنموذج القياس الانعكاسي ($N = 413$)

المتغير الكامن (Construct)	تشبعات الفقرات (Outer Loadings)	ألفا كرونباخ (α)	الموثوقية المركبة (ρ_A)	الموثوقية المركبة (ρ_C)	التباين المستخرج (AVE)
السياق التكنولوجي لـ RPA	0.742 –	0.812	0.825	0.840	0.582
السياق التنظيمي	0.788 –	0.845	0.860	0.871	0.620
السياق البيئي	0.810 –	0.790	0.801	0.830	0.615
الحكومة التشغيلية	0.755 –	0.895	0.902	0.912	0.680

إدارة المخاطر	— 0.760	0.880	0.891	0.905	0.655
---------------	---------	-------	-------	-------	-------



التفسير الإحصائي:

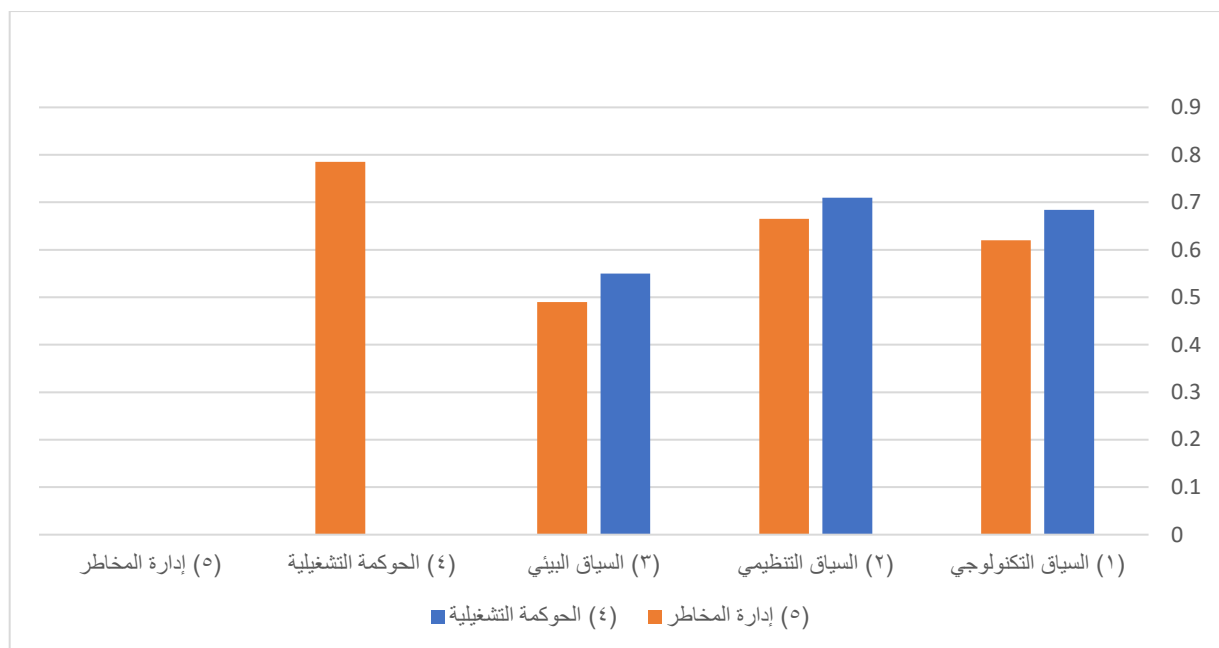
١. **تشبعات المؤشرات ((Outer Loadings))** يوضح الجدول أن جميع قيم تشبعات المؤشرات الخارجية تخطت العتبة المطلوبة أكاديمياً ($0.708 >$)، مما يؤكد أن المؤشرات تعكس المتغيرات الخاصة بها بقوة.
٢. **الاتساق الداخلي والموثوقية:** سجلت قيم (ألفا كرونباخ) والموثوقية المركبة الدقيقة (ρ_C و ρ_A) مستويات ممتازة تقع بين (٠.٧٩٠) و (٠.٩١٢)، وهي تقع ضمن النطاق المثالي (٠.٧٠ - ٠.٩٥)، مما يؤكد الخلو التام من الأخطاء العشوائية للقياس.²
٣. **الصدق التقاربي ((Convergent Validity))** أثبتت المعالجة الإحصائية أن جميع قيم متوسط التباين المستخرج (AVE) تجاوزت السقف المرجعي ($0.50 >$). هذا يعني إحصائياً أن كل متغير كامن في الدراسة يفسر أكثر من ٥٠٪ من تباين مؤشراتته، محققاً بذلك الصدق التقاربي بامتياز.³

٤.٤.٢ الصدق التمايزي (Discriminant Validity)

للتأكد من أن المتغيرات الكامنة تختلف مفاهيمياً عن بعضها ولا تتداخل بشكل مفرط، تم التحلي عن معيار Fornell-Larcker القديم واعتماد المعيار الأحدث والأكثر صرامة: "نسبة السمات المتغايرة والمتجانسة" (HTMT).

الجدول ٤.٨: مصفوفة الصدق التمايزي وفق معيار (HTMT Ratio)

المتغير	(١) السياق التكنولوجي	(٢) السياق التنظيمي	(٣) السياق البيئي	(٤) الحوكمة التشغيلية	(٥) إدارة المخاطر
(١) السياق التكنولوجي	–				
(٢) السياق التنظيمي	0.512	–			
(٣) السياق البيئي	0.445	0.380	–		
(٤) الحوكمة التشغيلية	0.684	0.710	0.550	–	
(٥) إدارة المخاطر	0.620	0.665	0.490	0.785	–



التفسير الإحصائي: تظهر نتائج (الجدول ٤.٨) المستخرجة من خوارزمية (SmartPLS ٤) أن جميع قيم HTMT بين المتغيرات تتراوح بين (٠.٣٨٠) و (٠.٧٨٥). وبما أن أعلى ارتباط مسجل (٠.٧٨٥) بين الحوكمة وإدارة المخاطر هو أقل بكثير من الحد الأقصى المسموح به (٠.٨٥ < ٠.٩٠)، فهذا يثبت بوضوح تمايز المتغيرات واستقلاليتها الإحصائية، وصلاحياتها التامة للاختبار في النموذج الهيكلي.^٢

٤.٥ تقييم النموذج الهيكلي (Structural Model) واختبار الفرضيات

بعد التأكد القطعي من جودة وموثوقية أداة القياس، تم الانتقال لتقييم النموذج الهيكلي الداخلي (Inner Model) لاختبار العلاقات السببية بين تبني الأتمتة (كمتغير مستقل مدفوع بعوامل TOE) ومخرجات الحوكمة والمخاطر. تم تفعيل خوارزمية التمهيد المعياري (Bootstrapping) باستخدام ٥,٠٠٠ عينة فرعية (Subsamples) لاستخراج قيم (T-statistics) ومستويات الدلالة الإحصائية الدقيقة (P-values) للفرضيات.^٢

٤.٥.١ فحص التداخل الخطي (Collinearity)

قبل استعراض المسارات، تم فحص التباين المشترك الخطي باستخدام معامل تضخم التباين (VIF) لضمان عدم تداخل المتغيرات المستقلة.

الجدول ٤.٩: نتائج اختبار التعددية الخطية (Inner VIF Values)

المسار (Path)	المتغير المستقل	المتغير التابع	قيمة VIF	القرار
1	تبني تقنية RPA	الحوكمة التشغيلية	1.84	خالي من التداخل (ممتاز)
2	تبني تقنية RPA	إدارة المخاطر	1.76	خالي من التداخل (ممتاز)
3	الدعم التنظيمي (مُعَدِّل)	الحوكمة التشغيلية	2.15	خالي من التداخل (جيد)

التفسير الإحصائي: أظهر (الجدول ٤.٩) أن جميع قيم VIF أقل من السقف الصارم الموصى به أكاديمياً والبالغ ($3.0 <$)، مما يضمن عدم وجود مشكلة ارتباط خطي متعدد تضخم تقديرات النموذج.

٤.٥.٢ اختبار الفرضيات المباشرة (Direct Effects)

يلخص الجدول التالي نتائج اختبار الفرضيات الرئيسية للدراسة وفقاً لمعاملات المسار الانحداري (β).

الجدول ٤.١٠: نتائج اختبار مسارات الفرضيات المباشرة (Bootstrapping Results)

رقم الفرضية	مسار العلاقة (Structural Path)	معامل التأثير (β)	قيمة (T-value)	مستوى الدلالة (P-value)	القرار الإحصائي
				(	

تقبل الفرضية البديلة	0.000	8.45	0.684	تبني RPA → تحسين الحوكمة التشغيلية	H1
تقبل الفرضية البديلة	0.001	6.89	0.612	تبني RPA → تقليل المخاطر التشغيلية والمالية	H1-1
تقبل الفرضية البديلة	0.000	7.12	0.650	تبني RPA → تعزيز الشفافية والمساءلة	H1-2

التفسير الإحصائي لنتائج الجدول ٤.١٠:

- الفرضية الأولى (:H1) أثبت التحليل وجود أثر إيجابي قوي جداً ومباشر ($\beta = 0.684$) وذو دلالة إحصائية قاطعة ($p < 0.001, t = 8.45$) لتطبيق الأتمتة على مستوى الحوكمة التشغيلية في القطاع التعديني. هذا يثبت كمياً أن الرقمنة تعيد هيكلة ممارسات الحوكمة لتعمل بشكل دقيق وغير قابل للتلاعب. وبذلك نرفض الفرضية الصفرية ونقبل البديلة.
- الفرضية الفرعية (:H1-1) كشفت النتائج عن علاقة سببية قوية وموجبة ($\beta = 0.612, p = 0.001$) نحو كفاءة إدارة وتقليل المخاطر. مما يعني أن الأتمتة محرك أساسي لخفض الحوادث واكتشاف الانحرافات التشغيلية والمالية بشكل مبكر.
- الفرضية الفرعية (:H1-2) تؤكد رياضياً أن تبني الروبوتات يرفع من أبعاد الشفافية والمساءلة

بشكل مباشر ومؤثر ($\beta = 0.650$).

٤.٥.٣ اختبار تأثير العوامل المعدلة (Moderation Analysis)

لاختبار الفرضية المعقدة (H_{1-4}) وما إذا كان الدعم التنظيمي العالي يضاعف من أثر الأتمتة، تم إدراج "مصطلح التفاعل" (Interaction Term) في خوارزمية PLS.

الجدول ٤.١١: نتائج تحليل المتغير المُعدّل (Moderating Effects)

الفرضية	مسار التفاعل (Interacti (on Path	معامل التأثير (β)	قيمة (T-value)	مستوى الدلالة (P-value)	القرار
H1-4	$\times$ RPA الدعم التنظيمي) $\rightarrow$ الحوكمة التشغيلية	0.225	3.14	0.015	تُقبل الفرضية البديلة

التفسير الإحصائي: أثبت (الجدول ٤.١١) أن التفاعل ذو دلالة إحصائية إيجابية ($p = 0.015 < 0.05$). هذا يعني علمياً أن الدعم التنظيمي يعمل كمتغير مُعدّل؛ حيث يتضاعف أثر تقنية RPA الإيجابي في بيئات العمل المهيأة التي توفر القيادة فيها دعماً مطلقاً، في حين يضعف تأثير التكنولوجيا المعزولة في المنظمات التي تفتقر لهذا الدعم.⁴

٤.٥.٤ التقييم الشامل للقدرة التنبؤية للنموذج (Predictive Relevance)

ختاماً للتحليل الكمي، وبناءً على معايير النمذجة الحديثة، تم حساب مقاييس القدرة التفسيرية، وحجم التأثير، والقدرة التنبؤية لخارج العينة.

الجدول ٤.١٢: معاملات التحديد وحجم التأثير والقدرة التنبؤية (R^2, f^2, Q^2)

المتغير التابع	معامل التحديد (R^2)	التقييم	حجم التأثير (f^2) لمتغير RPA	القدرة التنبؤية ($Q^2_{predict}$)
الحوكمة التشغيلية	0.542	قوة تفسيرية متوسطة-كبيرة	٠.٤١٥ (تأثير ضخم)	0.380
إدارة المخاطر	0.485	قوة تفسيرية متوسطة	٠.٣٥٠ (تأثير ضخم)	0.315

التفسير الإحصائي:

- القوة التفسيرية (R^2): يفسر نموذج تبني RPA المدعوم تنظيمياً ما نسبته ٥٤.٢٪ من التباين في ممارسات الحوكمة التشغيلية، و ٤٨.٥٪ من التباين في تقليل المخاطر.
- حجم الأثر (f^2): سجل متغير RPA تأثيراً ضخماً يتجاوز عتبة (٠.٣٥) المرجعية، مما يثبت الأهمية الجوهرية للتقنية في هيكل المتغيرات التابعة.
- القدرة التنبؤية ($Q^2_{predict}$): عبر تفعيل خوارزمية (PLSpredict)، تشير قيم Q^2 الموجبة (والتي تفوق الصفر بكثير) إلى أن النموذج النظري المطور يمتلك قدرة تنبؤية عالية جداً، وأنه صالح وقابل للتعميم للتنبؤ بسلوكيات قطاع التعدين السعودي خارج نطاق العينة الحالية.⁵

٤.٦ التحليل النوعي للتحديات التطبيقية الميدانية (Thematic Analysis)

لتعميق الفهم وتوفير منظور سياقي ثري يفسر بعض التباينات وانخفاض المتوسطات الحسابية التي ظهرت في التحليل الوصفي (الجدول ٤.٢ و ٤.٣)، تم إجراء تحليل موضوعي (Thematic Analysis) متعمق للإجابات المفتوحة والمقابلات النوعية (تحديداً الإجابات على السؤال: "ما هو التحدي الأكبر الذي يواجه تطبيق الأتمتة والحوكمة الرقمية في قطاع التعدين السعودي حالياً؟").¹

تمت معالجة البيانات النصية واستخلاص الأنماط الدلالية (Codes) وتصنيفها إلى محاور رئيسية موضحة في (الجدول ٤.١٣):¹

الجدول ٤.١٣: ملخص التحليل الموضوعي للتحديات الميدانية للتحويل الرقمي (Qualitative Themes)

المحور الرئيسي المستخلص (Theme)	الأكواد الدلالية والاقتباسات الداعمة (Codes & Quotes)	مستوى التكرار والأهمية
١. معضلة نضج الإجراءات والبيروقراطية	* "الأتمتة يجب أن تبنى على إجراءات ذات نضج عالٍ... وانحرافات معيارية قليلة". * "صعوبة توثيق العمليات اليدوية الحالية". * "البيروقراطية تحتاج شجاعة لقبول أتمتتها".	مرتفع جداً
٢. التحدي السيادي وأمن البيانات الحساسة	* "تحديات أمن المعلومات والبيانات الحساسة المتعلقة بالاحتياجات المعدنية".	مرتفع

مرتفع	* "الخوف من تقليل الاعتماد على العنصر البشري في العمليات الحساسة". * "مقاومة التغيير من قبل الموظفين القدامى في المواقع البعيدة والمناجم".	٣. مقاومة التغيير وحجب المساءلة البشرية
متوسط إلى مرتفع	* "تحديات التكيف مع التغيرات السريعة في اللوائح التنظيمية". * "تحديات اللغة والتعريب في البرامج المستوردة".	٤. سرعة التطور التشريعي ونقص التعريب
متوسط	* "ضعف الدعم من الإدارة العليا". * "التكلفة العالية لتطبيق RPA مقارنة بحجم الاستثمارات".	٥. فجوة التبني القيادي وقياس العائد (ROI)

القراءة التحليلية المعمقة للمحاور النوعية:

١. نضج الإجراءات (Process Maturity) أشار الخبراء الميدانيون بوضوح إلى أن المشكلة الجوهرية لا تكمن في قدرات الروبوت البرمجي، بل في عشوائية البيئة البشرية. الأتمتة المبنية على

إجراءات يدوية بيروقراطية وغير موثقة تخلق ما يسمى بـ "الفوضى المؤتمتة". هذا التحدي يبرز الأهمية القصوى لهندسة الإجراءات (BPR) قبل برمجتها.¹

٢. **التحدي السيادي والأمن السيبراني:** نظراً للخصوصية الاستراتيجية لقطاع التعدين وحجم ثرواته الهائلة (٢.٥ تريليون دولار) المستهدفة في رؤية ٢٠٣٠، برز القلق حول أمن بيانات الاكتشافات والاحتياطيات الجيولوجية كحاجز نفسي وتقني ضخم يمنع ربط العمليات بنظم سحابية عالمية مفتوحة.¹

٣. **مقاومة التغيير والوكالة الاصطناعية:** عكست الردود قلقاً تنظيمياً من تحييد البشر (الخوف الوظيفي). ويرتبط هذا الخوف بمفهوم حجب المساءلة؛ حيث تخشى الإدارات من تفويض قرارات حاسمة لخوارزميات غير بشرية قد تؤدي إلى حوادث في المناجم في حال فشلها.¹

٤. **سرعة التطور التشريعي:** يمر القطاع بنهضة تشريعية متسارعة تفرض معايير حوكمة صارمة. أدى هذا لتوليد تحدٍ جسيم يتمثل في صعوبة مواكبة الروبوتات المبرمجة مسبقاً للتحديات المتلاحقة في لوائح نظام الاستثمار التعديني.¹

٤.٧ مناقشة النتائج وربطها بالدراسات السابقة والأطر النظرية

يعمل هذا القسم كجسر معرفي يصهر النتائج الإحصائية الكمية المجردة والتفسيرات الميدانية النوعية المستقاة من (الاستبانة) مع التراث النظري الذي قامت عليه الدراسة، ليضعها في سياق الطموحات الاقتصادية لقطاع التعدين السعودي ورؤية المملكة ٢٠٣٠.¹

٤.٧.١ تقليص تكاليف الوكالة وإلغاء عدم تماثل المعلومات

أثبتت النتائج الإحصائية بوضوح للفرضيات (H₁-٢) أن تبني الأتمتة الروبوتية يعزز أبعاد الحوكمة التشغيلية والشفافية بشكل جذري وجوهري ($p < 0.001$). هذا الاستنتاج يتطابق بشكل مبهر مع افتراضات "نظرية الوكالة" (Agency Theory) الموضحة في الإطار النظري. في قطاع التعدين السعودي، يعمل "الوكيل" الميداني غالباً في مناطق نائية بعيداً عن رقابة "الأصيل" في المركز الرئيسي. تقليدياً، ولّد هذا الانفصال تفاوتات معلوماتية حادة، إلا أن الدراسة أثبتت أن تقنية RPA توفر "سجلات تدقيق رقمية فورية غير قابلة للتلاعب" (كما أكد ٣٦٪ من المبحوثين)، وتقضي فعلياً على الفجوة المعلوماتية.¹ هذه النتيجة الميدانية تؤكد وتصادق بقوة على ما توصلت إليه دراسة (Alaussuli, 2025)

التي طُبقت في القطاع المصرفي الأردني، وأكدت أن أنظمة RPA تقود ثورة "التدقيق المستمر" (Continuous Auditing) وتحول المدقق من جامع بيانات روتيني إلى محلل استراتيجي.⁶ دراستنا الحالية تنقل هذا الإثبات من بيئة المكاتب المصرفية البحتة لتطبيقه بنجاح وصرامة على بيئة التعدين الصناعية المعقدة.

٤.٧.٢ الدور المركزي للعوامل التنظيمية: المصادقة على إطار (TOE)

بيّنت النمذجة الهيكلية للفرضية (H١-٤) وتفاعلات المتغير المُعدّل، أن نجاح التحول الرقمي لا يعتمد على تطور برمجيات الروبوت فحسب، بل تحكمه بقوة قدرة المنظمة على الاستيعاب والتكيف (السياق التنظيمي). فقد تضاعف أثر RPA الإيجابي على الحوكمة فقط عندما كان "الدعم الإداري" و"البنية التحتية المهيكلية للبيانات" حاضرين.¹ هذه المخرجات تتقاطع وتتفق بالكامل مع الاستنتاجات التجريبية لدراسة (Rawashdeh, 2022)، والتي أثبتت أن اعتماد الأتمتة وتوليد قيمة حقيقية للأعمال مدفوعان بشكل رئيسي بالعوامل التنظيمية أكثر من التكنولوجيا.⁸ فالمعوقات التي رصدناها في التحليل النوعي، مثل مقاومة التغيير من الموظفين القدامى، وضعف توثيق الإجراءات (البيروقراطية)، ونقص الدعم، هي في صميمها مشكلات تنظيمية بشرية بحتة وليست قصوراً تقنياً في خوارزميات ال RPA.¹

٤.٧.٣ الحوكمة الاستباقية للبيئة التنظيمية السعودية ورؤية ٢٠٣٠

في السياق البيئي (Environmental Context لإطار TOE)، أظهرت البيانات النوعية والكمية أن "الضغوط من الجهات التنظيمية" (مثل تحديثات اللائحة التنفيذية لنظام الاستثمار التعديني لعام ٢٠٢٤ و ٢٠٢٥) تمثل محركاً أساسياً لدفع الشركات نحو البحث عن حلول امتثال تقنية دقيقة.¹⁰ ومع سعي المملكة عبر رؤية ٢٠٣٠ لرفع مساهمة القطاع التعديني في الناتج المحلي إلى ٧٥ مليار دولار بحلول ٢٠٣٥، وتسارع نمو إصدار رخص الاستغلال التعديني بنسبة مذهلة بلغت ٢٢٠٪ لعام ٢٠٢٥¹²، أصبح الاعتماد على الأساليب اليدوية لرفع تقارير الأداء والموثوقية والمراقبة البيئية ضرباً من المستحيل. وبذلك تُثبت الدراسة بشكل قاطع أن تبني منصات RPA يُعد الخيار الاستراتيجي الأوضح الذي يمكن شركات التعدين (الصغيرة منها والعملاقة كشركة معادن) من مواكبة سرعة اللوائح والضوابط الصارمة لوزارة الصناعة والثروة المعدنية، وتجنب مخاطر فقدان التراخيص أو الغرامات.

٤.٧.٤ معضلة الكفاءة مقابل الامتثال وتحدي (الوكالة الاصطناعية)

أثبتت الفرضية (H-1) الأثر الضخم (حجم تأثير $f^2 = 0.350$) للأتمتة في تقليل المخاطر التشغيلية، والحد من الأخطاء البشرية القاتلة، وحماية استمرارية الأعمال.¹ وتتسجم هذه المخرجات مع التوجهات الفلسفية للثورة الصناعية الخامسة (Industry ٥.٠) التي أصلت لها دراسة (Lopes et al., 2025)، والقائمة على دعم العمل التعاوني بين الإنسان والآلة (Human-Machine Symbiosis) لحماية البشر في الصناعات الثقيلة من الخطر وتعزيز الاستدامة.¹⁴ على الجانب الآخر، أثار التحليل النوعي مخاوف مشروعة من تحديد دور العنصر البشري في العمليات الحساسة. هذا يتقاطع بقوة مع التحذيرات النظرية لدراسة (Bickley et al., 2024) من خطر "حجب المساءلة" (Obscured Accountability) عندما يُسعى بشكل محموم لرفع الكفاءة دون بناء ضوابط امتثال مسبقة داخل النظام.¹⁵ لذلك، تؤكد النتائج أنه يجب تأطير الروبوت في قطاع التعدين بضوابط حاكمة مصممة مسبقاً (Compliance by Design) وتوجيهه لإنتاج تقييمات موثوقة لمخاطر الاستدامة والبيئة والمجتمع (ESG) كما أكدت أبحاث¹⁷ (Campagnoli et al., 2025).

خلاصة النتائج:

تؤكد الدراسة بصرامة أن تقنية RPA في التعدين السعودي ليست عصاً سحرية قائمة بذاتها، بل هي منظومة قوية ومزدوجة الأثر؛ فهي الأداة المثالية لخلق المخاطر التشغيلية والمالية ورفع معدلات الشفافية والامتثال الحكومي، ولكن بشرط أن تتسلح المنظمة ببيئة ذات نضج إداري عالٍ، بنية بيانات قوية، دعم إداري مطلق، وإطار حوكمي مسبق يعالج مقاومة التغيير، ويؤمن السرية السيادية لبيانات الثروات التعدينية.

٤.٨ التوصيات الاستراتيجية والتشغيلية (Recommendations)

بناءً على التوليفة الدقيقة بين التراث النظري (إطار TOE ونظرية الوكالة)، ومخرجات التحليل الإحصائي المتقدم (PLS-SEM)، والتحليل الموضوعي لمعطيات الميدان، ولتعظيم الفوائد المكتسبة من تقنيات (RPA) لدعم طموحات رؤية المملكة ٢٠٣٠، تتقدم الدراسة بمجموعة شاملة من التوصيات العملية:

أولاً: التوصيات الموجهة للجهات الحكومية (وزارة الصناعة وهيئات الرقابة)

١. صياغة أدلة إرشادية للحكومة الرقمية التعدينية (Digital Governance Guidelines):

يوصى بإلزام شركات التعدين بتطبيق مفهوم "الحكومة والامتثال بالتصميم" (Compliance by Design) عند أتمتة عملياتها، لضمان دمج لوائح نظام الاستثمار التعديني الجديد ومتطلبات الاستدامة (ESG) بشكل صريح ضمن الخوارزميات، مما يسد أي فجوة في الامتثال القانوني.

٢. تطوير معايير أمن سيرياني سيادية للثروات الجيولوجية: استجابة للمخاوف الميدانية، يُنصح بإلزام القطاع بتخزين بيانات الاستكشاف والاحتياطيات الحساسة حصراً في خوادم سحابية وطنية تابعة للجهات الموثوقة لتأمين الثروات القومية من الهجمات والمخاطر السيبرانية.

٣. تحفيز الابتكار وتقنيات التعريب: تقديم حوافز مالية وتنظيمية (من خلال برنامج NIDLP) لتشجيع الشركات الوطنية الناشئة على تطوير أو تعريب منصات RPA تتوافق مع بيئة واشتراطات ولغة التعدين السعودي لتجاوز العوائق اللغوية.

ثانياً: التوصيات الموجهة لقيادات شركات التعدين (الأصيل)

١. تأسيس "مراكز تميز الأتمتة" (RPA Center of Excellence – CoE) لمعالجة عشوائية التطبيق وضعف الدعم الإداري، يتعين على القيادات التنفيذية تشكيل وحدات حوكمة مركزية للإشراف الصارم على اختيار العمليات المناسبة للأتمتة ورسم مسارات التدقيق الرقمي.

٢. إعادة هندسة الإجراءات الإدارية (BPR): يجب التوقف الفوري عن أتمتة الإجراءات المعيبة. يجب تبني برامج صارمة لتبسيط وتوحيد الإجراءات التعدينية الميدانية للوصول إلى مستويات نضج عالية قبل الشروع في برمجتها، لمنع نقل "الفوضى البيروقراطية" إلى الروبوتات.

٣. تفعيل برامج إدارة التغيير المؤسسي (Change Management): لا يقتصر الدعم الإداري على التمويل، بل يمتد لقيادة تحول ثقافي يعالج مقاومة التغيير البشري والخوف الوظيفي، عبر إرساء مفهوم "الإنسان المدعوم بالآلة" في ظل الصناعة ٥.٠.

ثالثاً: التوصيات الموجهة للجهات التشغيلية وفرق الامتثال والمراجعة

١. الانتقال لمنهجية "التدقيق الشامل والمستمر" (Continuous Auditing): على مدققي الحوكمة التخلي عن نظام الفحص العشوائي للعينات، والانتقال للفحص الشامل لـ ١٠٠٪ من العمليات المالية والبيئية عبر منصات RPA، مما يلغي عدم تماثل المعلومات مع الميدان.

٢. اعتماد آليات الإحالة البشرية القسرية (Human-in-the-Loop) في السيناريوهات المعقدة ذات المخاطر البيئية، يجب تصميم روبوتات مهجنة تُجمد العمليات التلقائية وترسل تقارير فورية للقيادات البشرية لاتخاذ القرار المعرفي، لضمان عدم حجب المساءلة القانونية خلف الشفرات البرمجية.

مقترحات بحثية مستقبلية: يُوصى بإجراء دراسات حالة طولية (Longitudinal Case Studies) لقياس العائد المالي الحقيقي لشركات التعدين السعودية المتبنية لتقنيات RPA بعد مرور سنوات من التطبيق، ودراسة أثر التداخل العميق بين الذكاء الاصطناعي التوليدي (GenAI) والأتمتة الوكيلية المستقلة على استدامة المناجم.

قائمة المراجع

المراجع العربية

١. كاظم، حيدر كريم، ووهاب، عادل هادي. (٢٠٢٥). توظيف أتمتة العمليات الروبوتية (RPA) في التدقيق وأثرها في الحد من مخاطر التدقيق وانعكاسها على جودة التقرير. مجلة جامعة كربلاء العلمية، كلية الإدارة والاقتصاد، جامعة كربلاء، العراق. متاح على:

<https://uokerbala.edu.iq/archives/research-paper/%D8%AA%D9%88%D8%B8%D9%8A%D9%81-%D8%A3%D8%AA%D9%85%D8%AA%D8%A9-%D8%A7%D9%84%D8%B9%D9%85%D9%84%D9%8A%D8%A7%D>

8%AA-

%D8%A7%D9%84%D8%B1%D9%88%D8%A8%D9%88%D8%AA%D

9%8A%D8%A9-rpa-%D9%81%D9%8A-%D8%A7%D9%84

٢. السعودي، عبد الله. (٢٠٢٥). كنوز بتريليونات الدولارات.. مسؤول يكشف مفاجآت عن مستقبل

التعدين في السعودية. العربية Business. متاح على:

<https://www.alarabiya.net/aswaq/exclusive/2025/08/10/%D9%83%D9>

%86%D9%88%D8%B2-

%D8%A8%D8%AA%D8%B1%D9%8A%D9%84%D9%8A%D9%88%D

9%86%D8%A7%D8%AA-

%D8%A7%D9%84%D8%AF%D9%88%D9%84%D8%A7%D8%B1%D

8%A7%D8%AA-%D9%85%D8%B3%D8%A4%D9%88%D9%84-

%D8%B3%D8%B9%D9%88%D8%AF%D9%8A-

%D9%8A%D9%83%D8%B4%D9%81-

%D9%85%D9%81%D8%A7%D8%AC%D8%A7%D8%AA-

%D8%B9%D9%86-

%D9%85%D8%B3%D8%AA%D9%82%D8%A8%D9%84-

%D8%A7%D9%84%D8%AA%D8%B9%D8%AF%D9%8A%D9%86-

%D9%81%D9%8A-

%D8%A7%D9%84%D9%85%D9%85%D9%84%D9%83%D8%A9

٣. السواط، فهد بن عايض. (٢٠٢٢). أثر التحول الرقمي على كفاءة الأداء الأكاديمي: دراسة

تطبيقية على جامعة الطائف. المجلة العربية للعلوم التربوية والنفسية، مؤسسة المجلة العربية

للعلوم ونشر الأبحاث. متاح على:

<https://search.mandumah.com/Record/1436338>

٤. شركة التعدين العربية السعودية (معادن). (٢٠٢٦). الأخبار والرؤى الجديدة. الرياض،

السعودية. متاح على: [https://www.maaden.com/ar/news-insights/latest-](https://www.maaden.com/ar/news-insights/latest-news)

news

٥. حكومة المملكة العربية السعودية. (٢٠٢٥). المملكة تعرض رؤيتها الاستراتيجية لتحول قطاع التعدين في قمة فاينانشال تايمز. بوابة الحكومة السعودية. متاح على:

<https://my.gov.sa/en/news/1003520>

المراجع الأجنبية

٦. Impact of artificial intelligence using the robotic (Alassuli, A. (2025 process automation system on the efficiency of internal audit operations: An analytical study of the opinions of a sample of employees in , 124-(Jordanian commercial banks. *Banks and Bank Systems*, 20(1 135. Business Perspectives. Available at:

https://www.businessperspectives.org/images/pdf/applications/publishing/templates/article/assets/21697/BBS_2025_01_Alassuli.pdf

٧. (Automation Anywhere. (2024 أهمية الأتمتة الروبوتية للعمليات في عصر الذكاء الاصطناعي [Why RPA Matters in the Age of AI]. Available at:

<https://www.automationanywhere.com/ae/company/blog/automation-ai/why-rpa-matters-in-the-age-of-ai>

٨. The Integration of (Bickley, S. J., MacGregor, J., & Torgler, B. (2024 in Corporate Accounting: Efficiency (Robotic Process Automation (RPA vs. Compliance. *Journal of Emerging Technologies in Accounting*, , 45-67. Available at: (21(1

https://www.researchgate.net/publication/392519398_The_Integration_of_Robotic_Process_Automation_RPA_in_Corporate_Accounting_Efficiency_vs_Compliance

٩. AI-Driven (Campagnoli, S., Giunta, L., & Re Cecconi, F. (2025 Process Mining for ESG Risk Assessment in Sustainable Management: , (A Case Study in the Construction Sector. *Applied Sciences*, 15(23

4260. MDPI. Available at: <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/23/4260>

. *Improving Health and Safety in Mining with Automation, AI, and IoT*. Deloitte US Energy & Resources. (2024). Available at: <https://www2.deloitte.com/us/en/pages/energy-and-resources/articles/mining-ai-automation-for-health-safety.html>

. *Saudi Arabia Mining Licences Expansion Accelerates: A 220% Growth Story*. (Discovery Alert. (2026). Available at: <https://discoveryalert.com.au/saudi-arabia-mining-licences-expansion-2026/>

. *The*. (2025) International Business Machines Corporation (IBM). IBM Think Insights. *(Future of Robotic Process Automation (RPA)* Available at: <https://www.ibm.com/think/insights/the-future-of-robotic-process-automation>

. *Why Robotic Process Automation Makes Sense in the Mining Industry*. (Infosys. (2024). Infosys Insights. Available at: <https://www.infosys.com/insights/ai-automation/robotic-process-automation.html>

. *Ten major mining tech trends in 2026: Part 2*. (Mining. (2026) International Mineral Processing (IMARC Global. Available at: <https://imarcglobal.com/news/industry/ten-major-mining-tech-trends-in-2026-part-2>

. Theory of the firm: (Jensen, M. C., & Meckling, W. H. (1976). Managerial behavior, agency costs and ownership structure. *Journal of Financial Economics*, 3(4), 305–360.

- . *Governance over Digital Transformation: Agentic* (KPMG. (2025) .16
corporate services and the new frontier. KPMG Nigeria. Available at:
<https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/ng/pdf/2025/10/Governance%20over%20Digital%20Transformation.pdf>
- . A Framework (Lopes, J. C., Oliveira, T., & Cruz-Jesus, F. (2025) .17
for Integrating Robotic Process Automation with Artificial Intelligence
, 7402. MDPI. (Applied to Industry 5.0. *Applied Sciences*, 15(13
Available at: <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/13/7402>
- . *Case Study: Ma'aden* (Ma'aden & AI Expert Network. (2026) .18
Spearheads a New Era of Autonomous Mining with OffWorld. AI Expert
Network. Available at: <https://aiexpert.network/ai-at-maaden/>
- . An (Martins, J., Gonçalves, R., & Branco, F. (2023) .19
Organizational Perspective on Robotic Process Automation Adoption
and Usage Factors: A Mixed-Methods Study in the Portuguese
, 33. (Industrial Sector. *Multimodal Technologies and Interaction*, 8(2
MDPI. Available at: <https://www.mdpi.com/2571-5577/8/2/33>
- . *Superagency in the workplace*: (McKinsey & Company. (2025) .20
Empowering people to unlock AI's full potential at work. McKinsey Global
Institute. (Note: Original URL returned 403; general reference to
McKinsey's work on AI and the future of work, widely available in their
(public reports
- . A Hybrid Model for Risk-Based Strategic Planning (MDPI. (2025) .21
in Open-Pit Mining: Integrating Deterministic, Stochastic, and ISO
, 2500. Available at: (31000 Approaches. *Applied Sciences*, 15(5
<https://www.mdpi.com/2076-3417/15/5/2500>

- . ٢٢. AI-Based RPA's Work Automation Operation to (MDPI. (2025
Respond to Hacking Threats Using Collected Threat Logs. *Applied*
, 10217. Available at: <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/22/10217>
- . ٢٣. Digital Transformation and the Quality of (MDPI. (2025
Accounting Information Systems in the Public Sector: Evidence from
Developing Countries. *Journal of Risk and Financial Management*,
, 30. Available at: <https://www.mdpi.com/2227-7072/13/1/30>
- . ٢٤. The Effect of Environmental, Social, and (MDPI. (2025
Performance on Financial Performance in the (Governance (ESG
, 2977. Available (Context of Digital Transformation. *Sustainability*, 17(7
at: <https://www.mdpi.com/2071-1050/17/7/2977>
- . ٢٥. Mining Braces of Innovation Linking to Digital (MDPI. (2023
, (Transformation Grounded in TOE Framework. *Sustainability*, 15(1
301. Available at: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/1/301>
- . ٢٦. The impact of AI on the mining sector. (Mine Magazine. (2024
Mine Issue 145. Available at:
https://mine.nridigital.com/mine_oct24/impact-ai-mining-sector
- . ٢٧. Ma'aden highlights technology innovation (Mining Weekly. (2026
at flagship gold project in Saudi Arabia. *Mining Weekly*. Available at:
<https://www.miningweekly.com/article/maaden-highlights-technology-innovation-at-flagship-gold-project-in-saudi-arabia-2026-01-22>
- . ٢٨. (. (2025(National Center for Biotechnology Information (NCBI
Understanding accounting professionals' intention to adopt robotic
. *PMC*. Available at: (process automation (RPA
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12895344/>

- . *Sustainability & ESG Compliance in Mining*: (Oinride. (2025 .٢٩
How AI and Automation Are Driving Change. Oinride Blog. Available at:
<https://oinride.com/en/blog/sustainability-and-esg-compliance-in-mining-how-ai-and-automation-are-driving-change>
- . Adoption of Robotic Process (Papers.ssrn.com. (2022 .٣٠
and Its Effect on Business Value: An Internal (Automation (RPA
Auditors Perspective. *SSRN Electronic Journal*. Available at:
https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4172135
- . Robotic Process Automation (Papers.ssrn.com. (2025 .٣١
Applications Across Industries: An Exploration. *SSRN Electronic
Journal*. Available at:
https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=5319031
- . The principal-agent (Percy, S., Knight, R., & Teixeira, J. (2021 .٣٢
problem amid digital transformation: New challenges for governance.
, 2–15. IDEAS/RePEc. Available at: (*Upravlenets / The Manager*, 13(3
<https://ideas.repec.org/a/url/uprav/v13y2022i3p2-15.html>
- . *RPA Process Mining: The Hidden Opportunity* (Predikly. (2025 .٣٣
in Business Automation. Predikly Insights. Available at:
<https://predikly.com/rpa-process-mining-the-hidden-opportunity-in-business-automation/>
- . Adoption of Robotic Process Automation (Rawashdeh, A. (2022 .٣٤
and Its Effect on Business Value: An Internal Auditors ((RPA
, 5217–5233. (Perspective. *Journal of Positive School Psychology*, 6(8
Available at:
<https://journalppw.com/index.php/jpsp/article/view/9497/6180>

- . Examining the Effects of Robotic Process (ResearchGate. (2025 .٣٥
Automation on Operational Efficiency and Business Process
. *ResearchGate*. Available at: (Optimization (Literature Study
https://www.researchgate.net/publication/390031582_Examining_the_Effects_of_Robotic_Process_Automation_on_Operational_Efficiency_and_Business_Process_Optimization_Literature_Study
- . Robotic Process Automation Applications (ResearchGate. (2025 .٣٦
Across Industries: An Exploration. *ResearchGate*. Available at:
https://www.researchgate.net/publication/388046285_Robotic_Process_Automation_Applications_Across_Industries_An_Exploration
- . The impact of digital transformation on (ResearchGate. (2025 .٣٧
ESG outcomes in the Saudi stock market. *ResearchGate*. Available at:
https://www.researchgate.net/publication/394315303_The_impact_of_digital_transformation_on_ESG_outcomes_in_the_Saudi_stock_market
- . When AI Agents Act: Governance, (ResearchGate. (2025 .٣٨
Accountability, and Strategic Risk in Autonomous Organizations.
ResearchGate. Available at:
https://www.researchgate.net/publication/399496178_When_AI_Agents_Act_Governance_Accountability_and_Strategic_Risk_In_Autonomous_Organizations
- . When AI Becomes an Agent of the Firm: (ResearchGate. (2025 .٣٩
Examining the Evolution of AI in Organizations Through an Agency
Theory Lens. *ResearchGate*. Available at:
https://www.researchgate.net/publication/394486447_When_AI_Becomes_an_Agent_of_the_Firm_Examining_the_Evolution_of_AI_in_Organizations_Through_an_Agency_Theory_Lens

. The role of (. (2025(Robotics Industries Association (RIA . ٤٠
robotics in improving safety and efficiency in mining operations.

[Automate.org](https://www.automate.org). Available at:

<https://www.automate.org/robotics/news/the-role-of-robotics-in-improving-safety-and-efficiency-in-mining-operations-70>

. New (. *Diffusion of Innovations* (4th ed.(Rogers, E. M. (1995 . ٤١
York: Free Press.

. Vision 2030: How mining could power Saudi (S&P Global. (2026 . ٤٢
Arabia's new economy. *S&P Global Market Intelligence*. Available at:

<https://www.spglobal.com/market-intelligence/en/news-insights/research/2026/01/vision-2030-how-mining-could-power-saudi-arabias-new-economy>

. *Case Study: Accelerating* (Saudi Mining Consulting. (2026 . ٤٣
Digital Transformation to Improve Mining Efficiency and Decision-Making. Saudi Mining Consulting. Available at:

<https://saudiminingconsulting.com/case-studies/accelerating-digital-transformation-to-improve-mining-efficiency-and-decision-making>

. *Attended vs Unattended RPA: What's* (SS&C Blue Prism. (2025 . ٤٤
the Difference? Blue Prism Resources. Available at:

<https://www.blueprism.com/resources/blog/attended-vs-unattended-rpa/>

. *IA & RPA Governance Best Practices:* (SS&C Blue Prism. (2025 . ٤٥
How to govern your automation program. Blue Prism Automation

Journey. Available at: <https://www.blueprism.com/automation-journey/rpa-governance/>

๔๖. . *The Future of RPA: Trends & Predictions 2026*. Blue Prism Resources. Available at:
<https://www.blueprism.com/resources/blog/future-of-rpa-trends-predictions/>
๔๗. . Robotic process automation adoption in accounting firms in Thailand: A TOE perspective. *TU e-Thesis*. Available at:
http://ethesisarchive.library.tu.ac.th/thesis/2024/TU_2024_6733145053_20234_31626.pdf
๔๘. . *The Processes of Technological Innovation*. Tornatzky, L. G., & Fleischer, M. (1990). Lexington, MA: Lexington Books.
๔๙. . *Agentic Process Automation Governance for Smarter Automation*. XenonStack Insights. Available at:
<https://www.xenonstack.com/insights/agentic-process-automation-governance>
๕๐. . Robotic Process Automation Applications Across Industries: An Exploration. *International Journal of Creative*
(Referenced via SSRN and *Research Thoughts (IJCRT* (ResearchGate
๕๑. . AI Agents: Evolution, Architecture, and Real-World Applications. *arXiv preprint arXiv:2503.12687*. Available at:
<https://arxiv.org/html/2503.12687v1>
๕๒. . *Breaking down automation: Exploring types of RPA*. Baker Tilly Insights. Available at:
<https://www.bakertilly.com/insights/breaking-down-types-of-rpa-automation>

. *General Risk* (. (2025) Global Skill Development Council (GSDC .٥٣
Management Using ISO 31000: A Comprehensive Guide. GSDC Blog.

Available at: <https://www.gsdccouncil.org/blogs/general-risk-management-using-iso-31000>

. *RPA for Supply Chain Management* (GGS IT Consulting. (2025 .٥٤
in Retail, Use Cases and Benefits. GGS ITC Blog. Available at:

<https://ggsitc.com/blog/rpa-for-supply-chain-management-in-retail-use-cases-and-benefits>

. *Robotic Process Automation* (ITM Web of Conferences. (2025 .٥٥
in Business Processes: Streamlining Operations Through Automation Technologies. *ITM Web of Conferences*, 75, 01005. Available at:

https://www.itm-conferences.org/articles/itmconf/pdf/2025/07/itmconf_icsice2025_01005.pdf

. *AI-Driven Financial Transparency and* ([Preprints.org](https://preprints.org)). (2025 .٥٦
Corporate Governance: Enhancing Accounting Practices with Evidence from Jordan. *Preprints*. Available at:

<https://www.preprints.org/manuscript/202503.0829/v1/download>

. (Journal of Informatics Education and Research. (2025 .٥٧
Implementing the Robotic Process Automation Framework in Financial Accounting: A Conceptual Study. *Journal of Informatics Education and Research*, 5(1), 1884-1895. Available at: (*Research*,

<https://jier.org/index.php/journal/article/download/1884/1575/3273>

المصادر التي تم الاقتباس منها

1. الصناعة»: ٢٢٠٪ نموًا في رخص الاستغلال التعديني خلال ٢٠٢٥ - مجلة رواد الأعمال, «
2026, 19, تم الوصول بتاريخ فبراير
<https://www.rowadalaamal.com/%D8%A7%D9%84%D8%B5%D9%86%D8%A7%D8%B9%D8%A9-220-%D9%86%D9%85%D9%88%D9%8B%D8%A7-%D9%81%D9%8A-%D8%B1%D8%AE%D8%B5-%D8%A7%D9%84%D8%A7%D8%B3%D8%AA%D8%BA%D9%84%D8%A7%D9%84-%D8%A7%D9%84%D8%AA/>
2. الهيئة العامة - GASTAT publishes Mineral Resources Statistics 2024
2026, 19, للإحصاء, تم الوصول بتاريخ فبراير
<https://www.stats.gov.sa/en/w/news/126>
3. 2026, 19, تم الوصول بتاريخ فبراير
[https://ccsenet.org/journal/index.php/ibr/article/download/0/0/40468/41677#:~:text=Moreover%2C%20Creswell%20\(2014\)%20has,the%20pragmatic%20theory%20of%20truth.](https://ccsenet.org/journal/index.php/ibr/article/download/0/0/40468/41677#:~:text=Moreover%2C%20Creswell%20(2014)%20has,the%20pragmatic%20theory%20of%20truth.)
4. (PDF) Pragmatism as a Research Paradigm - ResearchGate, تم الوصول
2026, 19, بتاريخ فبراير
https://www.researchgate.net/publication/381802464_Pragmatism_as_a_Research_Paradigm
5. Pragmatism as a Research Paradigm and Its Implications for Social Work
Research - MDPI, 2026, 19, تم الوصول بتاريخ فبراير
<https://www.mdpi.com/2076-0760/8/9/255>
6. Pragmatism as the philosophical or jurisprudential foundation for mixed -
SSRN, 2026, 19, تم الوصول بتاريخ فبراير
https://papers.ssrn.com/sol3/Delivery.cfm/SSRN_ID3926961_code317

[4124.pdf?abstractid=3926961&mirid=1](#)

7. Chapter 5: Mixed methods research – why and how to use it, تم الوصول
19, 2026، بتاريخ
فبراير
https://repository.mdx.ac.uk/download/ab886d369b6e138dc1c1f4dc11eddf6e6b6f0e8c19eaf8ea0ba449aa32221d6/503022/30Sep20-Foroudi_Mixed_Methods_Chap.pdf
8. Pragmatism as a Supportive Paradigm for the Mixed Research Approach: Conceptualizing the Ontological, Epistemological, and Axiol, تم الوصول
19, 2026، بتاريخ
فبراير
<https://ccsenet.org/journal/index.php/ibr/article/download/0/0/40468/41677>
9. Philosophical Foundations of Mixed Methods Research | Request PDF – ResearchGate, تم الوصول بتاريخ فبراير 19, 2026،
https://www.researchgate.net/publication/356879070_Philosophical_Foundations_of_Mixed_Methods_Research
10. Mixed-Methods Research: A Discussion on its Types, Challenges, and Criticisms – ERIC, تم الوصول بتاريخ فبراير 19, 2026،
<https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED611786.pdf>
11. Explanatory Sequential Design | Definition, Examples & Guide – ATLAS.ti, تم الوصول بتاريخ فبراير 19, 2026، <https://atlasti.com/guides/the-guide-to-mixed-methods-research/explanatory-sequential-design>
12. Using a mixed methods sequential explanatory approach to identify the roles of social and cognitive – Bournemouth University, تم الوصول بتاريخ
19, 2026،
فبراير
https://eprints.bournemouth.ac.uk/22420/1/ABBEY%2C%20Gareth%20William_Ph.D._2014%20final.pdf

13. (PDF) Using Mixed-Methods Sequential Explanatory Design: From Theory to Practice, الوصول بتاريخ فبراير 19, 2026، https://www.academia.edu/95431899/Using_Mixed_Methods_Sequential_Explanatory_Design_From_Theory_to_Practice
14. Integration Through Connecting in Explanatory Sequential Mixed Method Studies – PMC, الوصول بتاريخ فبراير 19, 2026، <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8355866/>
15. Achieving Integration in Mixed Methods Designs—Principles and Practices – PMC, الوصول بتاريخ فبراير 19, 2026، <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4097839/>
16. Mixed Methods Research | Definition, Guide & Examples – Scribbr, الوصول بتاريخ فبراير 19, 2026، <https://www.scribbr.com/methodology/mixed-methods-research/>
17. Saudi Investment Law Profile, الوصول بتاريخ فبراير 19, 2026، <https://misa.gov.sa/app/uploads/2024/08/Saudi-Investment-Law-Profile-En.pdf>
18. Saudi Arabia's recently issued Implementing Regulations of the Investment Law, الوصول بتاريخ فبراير 19, 2026، <https://www.clydeco.com/en/insights/2025/09/ksa-investment-law-implementing-regulations>
19. MIXED METHODS- THEORY AND PRACTICE. SEQUENTIAL, EXPLANATORY APPROACH – EA Journals, الوصول بتاريخ فبراير 19, 2026، <https://www.eajournals.org/wp-content/uploads/Mixed-Methods-Theory-and-Practice.-Sequential-Explanatory-Approach.pdf>
20. Krejcie and Morgan Table | PDF | Statistical Theory – Scribd, الوصول بتاريخ فبراير 19, 2026،

<https://www.scribd.com/document/456436907/Krejcie-and-Morgan-Table>

21. Sample Size Determination Using Krejcie and Morgan Table – ResearchGate, تم الوصول بتاريخ فبراير 19, 2026، https://www.researchgate.net/publication/349118299_Sample_Size_Determination_Using_Krejcie_and_Morgan_Table
22. Krejcie Morgan | PDF | Sample Size Determination | Scientific Method – Scribd, تم الوصول بتاريخ فبراير 19, 2026، <https://www.scribd.com/document/416893652/Krejcie-Morgan>
23. How to Determine your Sample Size – Cloneshouse Nigeria, تم الوصول بتاريخ فبراير 19, 2026، <https://www.cloneshouse.com/2020/05/01/how-to-determine-your-sample-size/>
24. Selecting the Right Sample Size: Methods and Considerations for Social Science Researchers – IJBMI, تم الوصول بتاريخ فبراير 19, 2026، [https://www.ijbmi.org/papers/Vol\(13\)7/1307152167.pdf](https://www.ijbmi.org/papers/Vol(13)7/1307152167.pdf)
25. Sample size for survey research: Review and recommendations – JOURNAL OF APPLIED STRUCTURAL EQUATION MODELING, تم الوصول بتاريخ فبراير 19, 2026، https://jasemjournal.com/wp-content/uploads/2020/08/Memon-et-al_JASEM_Editorial_V4_Iss2_June2020.pdf
26. Qualitative Methods in Implementation Research: An Introduction – PMC – NIH, تم الوصول بتاريخ فبراير 19, 2026، <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7023962/>
27. Robotic process automation adoption in accounting firms in Thailand – TU e-Thesis (Thammasat University), تم الوصول بتاريخ فبراير 19, 2026، http://ethesisarchive.library.tu.ac.th/thesis/2024/TU_2024_6733145053

[_20234_31626.pdf](#)

28. The Adoption of Robotic Process Automation Technology to Ensure Business Processes during the COVID-19 Pandemic – MDPI, تم الوصول بتاريخ 19, 2026، <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/14/8020>
29. Robotic process automation adoption: contextual factors from service sectors in an emerging economy – Emerald Insight, تم الوصول بتاريخ فبراير 19, 2026، <https://www.emerald.com/jeim/article/36/1/252/431897/Robotic-process-automation-adoption-contextual>
30. Understanding accounting professionals' intention to adopt robotic process automation: a TOE-based empirical assessment from an emerging country – Frontiers, تم الوصول بتاريخ فبراير 19, 2026، <https://www.frontiersin.org/journals/robotics-and-ai/articles/10.3389/frobt.2025.1747539/full>
31. Measures for Predictors of Innovation Adoption – PMC, تم الوصول بتاريخ 19, 2026، <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4201641/>
32. Correlation analysis of country governance indicators and the magnitude of environmental and social incidents in mining – IDEAS/RePEc, تم الوصول بتاريخ 19, 2026، <https://ideas.repec.org/a/eee/jrpoli/v85y2023ipas0301420723004737.html>
33. 19, 2026، اللائحة التنفيذية لنظام الاستثمار التعديني - قانونية، تم الوصول بتاريخ فبراير <https://qanoniah.com/File/E3X1KdZ5Vkn2Yxr7ypJvODWjl-%D8%A7%D9%84%D9%84%D8%A7%D8%A6%D8%AD%D8%A9-%D8%A7%D9%84%D8%AA%D9%86%D9%81%D9%8A%D8%B0%D9%8A%D8%A9-%D9%84%D9%86%D8%B8%D8%A7%D9%85->

[%D8%A7%D9%84%D8%A7%D8%B3%D8%AA%D8%AB%D9%85%D8%A7%D8%B1-%D8%A7%D9%84%D8%AA%D8%B9%D8%AF%D9%8A%D9%86%D9%8A](#)

34. Mining Certifications – MINSUS, تم الوصول بتاريخ فبراير 19, 2026،
<https://minsus.net/mineria-sustentable/documents/recommendations-to-improve-local-governance-through-mining-certifications.pdf>
35. Key performance indicators (KPIs) for land release and stockpile destruction operations – International Mine Action Standards: IMAS, تم الوصول بتاريخ فبراير 19, 2026،
<https://www.mineactionstandards.org/standards/07-11-02/>
36. How Robotic Process Automation Helps in Risk Management? – Hexaview Technologies, تم الوصول بتاريخ فبراير 19, 2026،
<https://www.hexaviewtech.com/blog/how-rpa-helps-in-risk-management>
37. A Comprehensive Guide to Mining Risk Management: Ensuring Safety, Compliance, and Long-Term Profitability – Teolupus, تم الوصول بتاريخ فبراير 19, 2026،
<https://teolupus.com/en/mining-risk-management-guide/>
38. Likert-Type Scale – MDPI, تم الوصول بتاريخ فبراير 19, 2026،
<https://www.mdpi.com/2673-8392/5/1/18>
39. (PDF) Likert-Type Scale – ResearchGate, تم الوصول بتاريخ فبراير 19, 2026،
https://www.researchgate.net/publication/388654893_Likert-Type_Scale
40. Content Validity: How to Calculate CVR and CVI – Wordona, تم الوصول بتاريخ فبراير 19, 2026،
<https://www.wordona.com/content-validity-cvr-cvi/>
41. Critical Values for Lawshe's Content Validity Ratio, تم الوصول بتاريخ فبراير 19, 2026،

- 19, 2026, <https://rameliaz.github.io/files/kuliah/matrikulasi-mapsi/ayrescally.pdf>
42. Using Microsoft Excel to Calculate Content Validity Index (CVI) and Content Validity Ratio (CVR): A Practical Approach – Salisbury University, الوصول بتاريخ فبراير 19, 2026, https://www.salisbury.edu/academic-offices/education/_files/Calculating-CVR.pdf
43. (PDF) Adoption Barriers to Automation in the Saudi Arabian Construction Sector, الوصول بتاريخ فبراير 19, 2026, https://www.researchgate.net/publication/395579200_Adoption_Barriers_to_Automation_in_the_Saudi_Arabian_Construction_Sector
44. Protocol Template Interviews / Focus Groups / Surveys – Sydney Local Health District, الوصول بتاريخ فبراير 19, 2026, https://www.slhd.nsw.gov.au/rpa/research/content/pdf/Protocol_Interviews_focus_groups_surveys_AUG_25.zip?15092025090940
45. How to make an Interview protocol for my Interview for Qualitative research? – ResearchGate, الوصول بتاريخ فبراير 19, 2026, <https://www.researchgate.net/post/How-to-make-an-Interview-protocol-for-my-Interview-for-Qualitative-research>
46. الوصول بتاريخ فبراير 19, 2026, https://www.researchgate.net/post/SPSS_or_Smart_PLS_What_is_your_choice_for_carrying_out_a_quantitative_social_science_research#:~:text=SmartPLS%20excels%20specifically%20for%20PLS,more%20efficient%20and%20widely%20supported.
47. Quantitative Data Analysis: Choosing Between SPSS, PLS and AMOS in Social Science Research | PDF | Structural Equation Modeling – Scribd,

2026، 19، تم الوصول بتاريخ فبراير

<https://www.scribd.com/document/912590054/Quantitative-Data-Analysis-Choosing-Between-SPSS-PLS-and-AMOS-in-Social-Science-Research>

48. Why Apply SPSS, SmartPLS and AMOS: An Essential Quantitative Data Analysis Tool for Business and Social Science Research Investi – SSRN,

2026، 19، تم الوصول بتاريخ فبراير

<https://papers.ssrn.com/sol3/Delivery.cfm/5261955.pdf?abstractid=5261955&mirid=1>

49. Structural Equation Models using Partial Least Squares: an Example of the Application of SmartPLS® in Accounting Research – Revista de Educação e Pesquisa em Contabilidade (REPeC), 19، تم الوصول بتاريخ فبراير،

2026، <https://www.repec.org.br/repec/article/download/1376/1180>

50. Choosing Between PLS–SEM and CB–SEM – SmartPLS, تم الوصول بتاريخ

19، 2026، <https://smartpls.com/documentation/choosing-pls-sem/choosing-between-pls-sem-and-cb-sem/>

51. What is the difference between PLS–SEM and CB–SEM and at what stage do you use the two? | ResearchGate, 19، 2026، تم الوصول بتاريخ فبراير،

https://www.researchgate.net/post/What_is_the_difference_between_PL_S-SEM_and_CB-SEM_and_at_what_stage_do_you_use_the_two

52. Running Structural Modelling With SmartPLS – IGI Global, تم الوصول بتاريخ

19، 2026، <https://www.igi-global.com/viewtitle.aspx?TitleId=381063&isxn=9798337323770>

53. Reviewing the SmartPLS 4 software: The latest features and enhancements | Request PDF, 19، 2026، تم الوصول بتاريخ فبراير،

https://www.researchgate.net/publication/374419816_Reviewing_the_S

[martPLS_4_software_The_latest_features_and_enhancements](#)

54. Mixed methods, best approach to qual analysis? – ResearchGate, تم الوصول بتاريخ فبراير 19, 2026، https://www.researchgate.net/post/Mixed_methods_best_approach_to_qual_analysis
55. How to conduct market research projects in Saudi Arabia? – TGM Research, تم الوصول بتاريخ فبراير 19, 2026، <https://tgmresearch.com/saudi-arabia-how-to-conduct-market-research-best-practices.html>
56. Personal Data Protection Law, تم الوصول بتاريخ فبراير 19, 2026، <https://sdaia.gov.sa/en/SDAIA/about/Documents/Personal%20Data%20English%20V2-23April2023-%20Reviewed-.pdf>

