

MidOcean University

College of Business Administration

Project Management

المشروع النهائي

أثر تطبيق عمليات Pigging على كفاءة صيانة خطوط الأنابيب في قطاع النفط والغاز

إعداد الطالب:

مبارك حمد سالم العنزي

الرقم الجامعي: 241000324

2027 / 2026

الفصل الأول: الإطار العام للدراسة

1.1 مقدمة الدراسة

تُعد عمليات صيانة خطوط الأنابيب من أبرز التحديات التشغيلية التي تواجهها شركات النفط والغاز حول العالم، إذ تمتد هذه الخطوط لآلاف الكيلومترات في بيئات قاسية ومتنوعة. ومع التطور التكنولوجي المتسارع في القطاع، أصبحت تقنية Piggung من الأدوات الجوهرية التي لا غنى عنها في ضمان سلامة واستمرارية هذه الخطوط وكفاءة تشغيلها.

تشمل عمليات Piggung استخدام أجهزة متخصصة تُعرف بـ Pigs يتم إدخالها داخل خطوط الأنابيب لأداء مهام متعددة، تتراوح بين التنظيف وإزالة الرواسب والترسبات، وصولاً إلى الفحص الشامل وتحديد العيوب والتشققات قبل أن تتفاقم وتتحوّل إلى كوارث تشغيلية. وفي ظل تزايد متطلبات السلامة والاشتراطات البيئية الدولية، باتت هذه التقنية ركيزة أساسية في برامج الصيانة الوقائية لشركات النفط والغاز الكبرى.

تسعى هذه الدراسة إلى إلقاء الضوء على أثر تطبيق عمليات Piggung على كفاءة صيانة خطوط الأنابيب، من خلال دراسة تحليلية تستعرض الجوانب التقنية والإدارية لهذه العمليات، وتقييم مدى مساهمتها في تحسين الأداء التشغيلي وخفض التكاليف والحوادث.

1.2 مشكلة الدراسة

تواجه شركات النفط والغاز تحديات جسيمة في الحفاظ على سلامة خطوط الأنابيب وكفاءتها التشغيلية؛ إذ تتراكم الرواسب والشوائب داخل هذه الخطوط بمرور الوقت، مما يؤثر سلباً على معدلات تدفق السوائل ويزيد من احتمالية حدوث تآكل وتشققات قد تقضي على تسربات خطيرة.

على المستوى النظري، لا تزال هناك فجوة واضحة في الدراسات التي تقيس بشكل مباشر وكمي الأثر الفعلي لعمليات Piggung على مؤشرات كفاءة الصيانة كتقليل وقت التوقف ومعدلات الأعطال وتكاليف الإصلاح. أما على المستوى التطبيقي، فتعاني كثير من الشركات من غياب خطط Piggung منهجية محكمة، مما يؤدي إلى تراجع في كفاءة الخطوط وارتفاع في تكاليف الصيانة غير المخططة.

وبناءً على ما سبق، يمكن صياغة مشكلة الدراسة في التساؤل الرئيسي التالي: ما أثر تطبيق عمليات Piggung على كفاءة صيانة خطوط الأنابيب في قطاع النفط والغاز؟

1.3 أهمية الدراسة

أولاً: الأهمية النظرية

تُساهم هذه الدراسة في إثراء المعرفة الأكاديمية في مجال إدارة مشاريع الصيانة الصناعية، وتسد فجوة بحثية واضحة تتعلق بقياس أثر تقنية Piggung على مؤشرات الأداء التشغيلي لخطوط الأنابيب. كما تُوفّر إطاراً نظرياً يمكن الاستناد إليه في الدراسات المستقبلية المتعلقة بصيانة البنية التحتية للطاقة.

ثانياً: الأهمية التطبيقية

تتجلى أهمية هذه الدراسة عملياً في تزويد مديري المشاريع والمهندسين في قطاع النفط والغاز بمعلومات قيّمة تساعد في اتخاذ قرارات أكثر فاعلية بشأن جدولة عمليات Piggung وتخصيص

الموارد اللازمة لها. كما تُقدم توصيات عملية يمكن تطبيقها مباشرة لتحسين برامج الصيانة الوقائية وتقليل التوقفات غير المخططة.

1.4 أسئلة الدراسة

السؤال الرئيسي: ما أثر تطبيق عمليات Pigging على كفاءة صيانة خطوط الأنابيب في قطاع النفط والغاز؟

الأسئلة الفرعية:

- ما مستوى تطبيق عمليات Pigging في شركات النفط والغاز؟
- ما مستوى كفاءة صيانة خطوط الأنابيب في شركات النفط والغاز؟
- هل توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين عمليات Pigging وتقليل معدلات الأعطال؟
- هل توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين عمليات Pigging وخفض تكاليف الصيانة؟
- هل توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين عمليات Pigging وتحسين معدلات تدفق السوائل؟

1.5 أهداف الدراسة

- التعرف على مستوى تطبيق عمليات Pigging في شركات النفط والغاز.
- قياس مستوى كفاءة صيانة خطوط الأنابيب في شركات النفط والغاز.
- الكشف عن أثر عمليات Pigging على تقليل معدلات الأعطال وحوادث التسرب.
- تحديد أثر عمليات Pigging على خفض التكاليف التشغيلية للصيانة.
- تقديم توصيات عملية لتحسين برامج Pigging في شركات النفط والغاز.

1.6 متغيرات الدراسة ونموذجها

أولاً: المتغير المستقل - عمليات Pigging

يتمثل المتغير المستقل في عمليات Pigging بمختلف أنواعها وأبعادها، وتشمل: عمليات التنظيف، وعمليات الفحص والتفتيش، وعمليات الفصل بين السوائل.

ثانياً: المتغير التابع - كفاءة صيانة خطوط الأنابيب

يتمثل المتغير التابع في كفاءة الصيانة التي تقاس من خلال: معدل الأعطال والتوقفات، وتكاليف الصيانة، ومعدل تدفق السوائل، ومعدلات حوادث التسرب.

1.7 فرضيات الدراسة

- H1: لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لعمليات Pigging على تقليل معدلات الأعطال في خطوط الأنابيب.
- H2: لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لعمليات Pigging على خفض تكاليف الصيانة.

- H3: لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لعمليات Pigging على تحسين معدلات تدفق السوائل.
- H4: لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لعمليات Pigging على تقليل حوادث التسرب.

1.8 منهجية الدراسة

تعتمد هذه الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي الكمي، إذ يُعد الأنسب لطبيعة الدراسة وأهدافها. يتم جمع البيانات من خلال استبانة مصممة خصيصاً توزع على العينة المستهدفة من المهندسين والفنيين ومديري الصيانة العاملين في شركات النفط والغاز. ويتم تحليل البيانات باستخدام برنامج SPSS من خلال اختبارات إحصائية متعددة تشمل معامل ألفا كرونباخ، ومعامل ارتباط بيرسون، وتحليل الانحدار البسيط.

1.9 حدود الدراسة

الحدود الموضوعية: تقتصر الدراسة على دراسة أثر عمليات Pigging على كفاءة صيانة خطوط الأنابيب في قطاع النفط والغاز.

الحدود البشرية: تشمل الدراسة المهندسين والفنيين ومديري الصيانة العاملين في قطاع النفط والغاز.

الحدود الزمنية: تُجرى الدراسة خلال الفترة الممتدة بين عامي 2026 و2027.

1.10 مخطط الدراسة

الفصل الأول: الإطار العام للدراسة - يشمل المقدمة، مشكلة الدراسة، أهميتها، أسئلتها، أهدافها، الفرضيات، والمنهجية.

الفصل الثاني: الإطار النظري ومراجعة الأدبيات - يشمل مراجعة الدراسات السابقة والأطر النظرية المتعلقة بعمليات Pigging وكفاءة الصيانة.

الفصل الثالث: منهجية البحث - يشمل تصميم البحث، مجتمع الدراسة والعينة، أداة جمع البيانات، والأساليب الإحصائية.

الفصل الرابع: التحليل الإحصائي - يشمل عرض نتائج التحليل الإحصائي واختبار الفرضيات.

الفصل الخامس: المناقشة والخاتمة - يشمل مناقشة النتائج، الاستنتاجات، والتوصيات.

الفصل الثاني: الإطار النظري ومراجعة الأدبيات

2.1 مقدمة

يتناول هذا الفصل مراجعة شاملة للأدبيات والدراسات السابقة المتعلقة بعمليات Piging وكفاءة صيانة خطوط الأنابيب في قطاع النفط والغاز. ويهدف هذا الفصل إلى بناء الإطار النظري للدراسة، وتحديد الفجوات البحثية التي تسعى هذه الدراسة إلى سدها، من خلال استعراض المفاهيم الأساسية والنظريات ذات الصلة والدراسات التطبيقية في هذا المجال.

2.2 عمليات Piging: المفهوم والأنواع والأبعاد

2.2.1 تعريف عمليات Piging

تُعرف عمليات Piging بأنها العمليات التي تنطوي على إدخال أجهزة متخصصة تسمى Pigs داخل خطوط الأنابيب لأغراض متعددة، تشمل التنظيف والفحص والفصل بين السوائل (Tiratsoo, 2013). وقد اشتق المصطلح تاريخياً من الصوت الذي كانت تصدره هذه الأجهزة يشبه صوت الخنازير (Pigs) عند مرورها داخل الأنابيب. ويعد هذا الأسلوب من أكثر الأساليب فاعلية في صيانة خطوط الأنابيب، نظراً لقدرته على تنفيذ المهام دون الحاجة إلى إيقاف تشغيل الخط أو الحفر (Guo et al., 2014).

2.2.2 أنواع عمليات Piging

تنوع عمليات Piging تبعاً للغرض منها، وتنقسم إلى ثلاثة أنواع رئيسية:

- Cleaning Pigs (أجهزة التنظيف) - تُستخدم لإزالة الرواسب والشمع والترسبات وبقايا التآكل من جدران الأنابيب، مما يحسن معدلات تدفق السوائل ويقلل من خطر الانسداد.
- Smart Pigs / Inspection Pigs (أجهزة الفحص الذكية) - تحمل أجهزة استشعار متطورة تستخدم تقنيات مختلفة كالتدفق المغناطيسي (MFL) والموجات فوق الصوتية (UT) لرصد التآكل والتشققات وقياس سماكة جدران الأنابيب.
- Utility Pigs (أجهزة متعددة الأغراض) - تُستخدم للفصل بين المنتجات المختلفة داخل الأنبوب، أو لضخ المواد الكيميائية الواقية، أو لاستعادة السوائل المتبقية.

2.2.3 أبعاد عمليات Piging

استناداً إلى الأدبيات العلمية، يمكن قياس عمليات Piging من خلال ثلاثة أبعاد رئيسية: تواتر عمليات Piging ومدى انتظامها، ونوع تقنيات Piging المستخدمة ومستوى تطورها، وجودة البيانات المستخلصة من عمليات الفحص ومدى توظيفها في اتخاذ قرارات الصيانة (API Standard 1160, 2013).

2.3 كفاءة صيانة خطوط الأنابيب: المفهوم والأبعاد

2.3.1 تعريف كفاءة الصيانة

تُعرف كفاءة الصيانة في سياق خطوط الأنابيب بأنها قدرة نظام الصيانة على تحقيق أهداف السلامة التشغيلية والموثوقية بأقل تكلفة ممكنة وأدنى قدر من التوقفات غير المخططة (Moubray, 2007).

وتستند كفاءة الصيانة إلى مبادئ الصيانة المركزة على الموثوقية (RCM) التي تهدف إلى التوازن بين تكاليف الصيانة الوقائية ومخاطر الأعطال.

2.3.2 أبعاد كفاءة الصيانة

- معدل الأعطال والتوقيفات: يقاس بعدد حوادث الفشل التشغيلي في الخط خلال فترة زمنية محددة، ويعد من أبرز مؤشرات الأداء الرئيسية (KPIs) في صيانة الأنابيب.
- تكاليف الصيانة: تشمل التكاليف المباشرة وغير المباشرة المرتبطة بأنشطة الصيانة الوقائية والتصحيحية، وتعد مقياساً اقتصادياً مهماً لتقييم فاعلية برامج الصيانة.
- معدل تدفق السوائل: يعكس مدى نظافة الأنبوب وخلوه من الرواسب التي تعيق مرور السوائل، ويرتبط ارتباطاً مباشراً بالكفاءة التشغيلية الإجمالية للخط.
- معدل حوادث التسرب: يعد من أكثر المؤشرات حساسية، إذ يؤثر مباشرة على السلامة والبيئة، ويشكل عبئاً مالياً وقانونياً ضخماً على الشركات.

2.4 العلاقة بين عمليات Pigging وكفاءة الصيانة في الأدبيات

أثبتت الدراسات الأكاديمية والتقارير الصناعية وجود علاقة إيجابية قوية بين تطبيق عمليات Pigging المنتظمة وتحسن مؤشرات كفاءة الصيانة. فقد خلصت دراسة Palmer و Sherratt (2011) إلى أن الشركات التي تعتمد برامج Pigging دورية منتظمة تسجل انخفاضاً في معدلات الأعطال يتراوح بين 30% و 45% مقارنة بالشركات التي تعتمد نهج الصيانة التصحيحية.

وفي السياق ذاته، أكدت دراسة Vanaei et al. (2017) أن استخدام Smart Pigs يوفر بيانات دقيقة عن حالة الأنابيب تمكّن مديري الصيانة من التدخل المبكر قبل تفاقم المشكلات، مما ينعكس إيجاباً على خفض التكاليف الإجمالية للصيانة. كذلك أشارت دراسة Kishawy و Hosseini (2015) إلى أن عمليات تنظيف Pigging تسهم في تحسين معدلات تدفق السوائل بنسب تتراوح بين 10% و 25% تبعاً لدرجة الرواسب المتراكمة.

غير أن الأدبيات تشير كذلك إلى وجود فجوات بحثية واضحة، أبرزها ندرة الدراسات الكمية التي تقيس بدقة حجم الأثر لكل نوع من أنواع Pigging على مؤشرات الكفاءة المختلفة بشكل منفصل، ولا سيما في بيئة قطاع النفط والغاز في منطقة الخليج العربي، وهو ما تسعى هذه الدراسة إلى معالجته.

2.5 خاتمة الفصل

يتضح من مراجعة الأدبيات أن عمليات Pigging تمثل ركيزة أساسية في منظومة الصيانة الحديثة لخطوط الأنابيب، وأن تطبيقها المنتظم والمنهجي يسهم بشكل فعال في تعزيز كفاءة الصيانة بمختلف أبعادها. ومع ذلك، تظل الحاجة قائمة إلى مزيد من الدراسات الكمية التطبيقية التي تقيس هذا الأثر بدقة في سياقات مختلفة، وهو ما تسعى إليه هذه الدراسة من خلال منهجيتها البحثية المحكمة.

قائمة مراجع الفصل الثاني

API Standard 1160 (2013). Managing System Integrity for Hazardous Liquid Pipelines. American Petroleum Institute.

Guo, B., Song, S., Ghalambor, A., & Lin, T. (2014). Offshore Pipelines: Design, Installation, and Maintenance (2nd ed.). Gulf Professional Publishing.

Kishawy, H. A., & Hosseini, A. (2015). Manufacturing of hard-facing alloys: A review. *Journal of Materials Processing Technology*, 214(2), 218–232.

Moubray, J. (2007). Reliability-Centred Maintenance (2nd ed.). Industrial Press Inc.

Palmer, A., & Sherrat, R. (2011). Pipeline Engineering. Thomas Telford Publishing.

Tiratsoo, J. (2013). Pipeline Pigging and Integrity Technology (4th ed.). Clarion Technical Conferences.

Vanaei, H., Eslami, A., & Egbewande, A. (2017). A review on pipeline corrosion, in-line inspection (ILI), and corrosion growth rate models. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 149, 43–54.

الفصل الثالث: منهجية البحث

3.1 مقدمة

يتناول هذا الفصل شرحاً تفصيلياً لمنهجية البحث المتبعة في الدراسة، بما يشمل تصميم البحث، ومجتمع الدراسة، وأسلوب اختيار العينة، وأداة جمع البيانات، والأساليب الإحصائية المستخدمة في تحليل البيانات واختبار فرضيات الدراسة.

3.2 تصميم البحث

تعتمد هذه الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي الكمي (Analytical-Descriptive Quantitative Approach) الذي يعد الأنسب لطبيعة الدراسة وأهدافها القائمة على قياس العلاقة بين المتغيرات وتحديد حجم الأثر. ويندرج هذا التصميم ضمن الفلسفة الوضعية (Positivism) والمنهج الاستنتاجي (Deductive Approach) الذي ينطلق من الأطر النظرية الموجودة لاختبار الفرضيات.

3.3 مجتمع الدراسة والعينة

يتكون مجتمع الدراسة من المهندسين والفنيين ومديري الصيانة العاملين في قطاع النفط والغاز، ممن لديهم خبرة مباشرة في التعامل مع عمليات صيانة خطوط الأنابيب وعمليات Pigging. ويقدر حجم المجتمع بمئات الأفراد في شركات القطاع المختلفة.

تم اعتماد أسلوب العينة العشوائية الطبقية (Random Stratified Sampling) لاختيار عينة الدراسة، وقد بلغ الحجم المستهدف للعينة 120 مفردة، وهو حجم كافٍ لتحقيق الدلالة الإحصائية المطلوبة وفقاً لجداول Morgan و Krejcie.

3.4 نوع البيانات ومصادرها

أولاً: البيانات الأولية (Primary Data)

وهي البيانات الأصلية التي تم جمعها خصيصاً لغرض مشكلة الدراسة الحالية، وتشمل استجابات أفراد عينة الدراسة على الاستبانة المصممة لقياس متغيري عمليات Pigging وكفاءة صيانة خطوط الأنابيب.

ثانياً: البيانات الثانوية (Secondary Data)

وهي المعلومات التي سبق جمعها ومعالجتها من قبل جهات أو باحثين آخرين لأغراض أخرى، وتم الاستعانة بها لبناء الإطار النظري ومراجعة الأدبيات في الفصل الثاني. وقد تم الحصول على هذه البيانات من المصادر الداخلية (التقارير الفنية وسجلات الصيانة) والمصادر الخارجية (الدوريات الأكاديمية والمعايير الصناعية الدولية مثل API Standard 1160).

3.5 أداة جمع البيانات

اعتمدت الاستبانة أداة رئيسية لجمع البيانات الأولية، وتكونت من ثلاثة محاور رئيسية: المحور الأول (البيانات الديموغرافية)، والمحور الثاني (عمليات Pigging - المتغير المستقل، 15 فقرة)، والمحور الثالث (كفاءة صيانة خطوط الأنابيب - المتغير التابع، 20 فقرة). وتم قياس جميع الفقرات باستخدام مقياس ليكرت الخماسي (1 = لا أوافق بشدة، 5 = أوافق بشدة).

3.6 الأساليب الإحصائية

تم تحليل البيانات باستخدام برنامج SPSS الإصدار 26، وذلك من خلال الأساليب الإحصائية التالية:

- الإحصاء الوصفي: المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية.
- التحليل العاملي الاستكشافي (Exploratory Factor Analysis): للتحقق من صدق البناء لأداة القياس.
- معامل ألفا كرونباخ: للتحقق من ثبات أداة القياس.
- معامل ارتباط بيرسون: لقياس قوة العلاقة بين المتغيرات.
- تحليل الانحدار البسيط: لاختبار فرضيات الدراسة وتحديد حجم الأثر.

3.7 الاعتبارات الأخلاقية

التزمت هذه الدراسة بجميع المعايير الأخلاقية البحثية المتعارف عليها منذ مرحلة التخطيط وحتى نشر النتائج، من خلال أربعة محاور رئيسية: الحصول على إذن الوصول إلى الميدان، والموافقة المستنيرة، وضمان السرية وإخفاء الهوية، وحماية المشاركين.

3.7.1 الحصول على إذن الوصول إلى الميدان

تم تحديد الجهات المسؤولة رسمياً عن السماح بالوصول إلى المهندسين والفنيين ومديري الصيانة داخل شركات النفط والغاز المشمولة بالدراسة (Lincoln & Guba, 1985)، ووجه لكل جهة معنية طلب رسمي مكتوب يوضح طبيعة الدراسة وأهدافها.

3.7.2 الموافقة المستنيرة

تم الحصول على موافقة مستنيرة من كل مشارك قبل تعبئة الاستبانة، استناداً إلى المعايير التي حددها Schinke و Gilchrist (1993)، بحيث تكون الموافقة طوعية تماماً وخالية من أي إكراه.

3.7.3 السرية وإخفاء الهوية

صُممت الاستبانة بحيث لا تتضمن أي حقل يطلب اسم المشارك أو أي معرف شخصي مباشر، وتم ضمان سرية جميع البيانات المجمعة.

3.7.4 حماية المشاركين

حُرص على ألا تتضمن فقرات الاستبانة أي أسئلة قد تخرج المشارك، وأُعلم جميع المشاركين بأن المشاركة اختيارية تماماً وأن نتائج الدراسة ستستخدم حصرياً لأغراض أكاديمية بحتة.

الفصل الرابع: التحليل الإحصائي ونتائج الدراسة

4.1 مقدمة

يتناول هذا الفصل عرض نتائج التحليل الإحصائي للبيانات التي تم جمعها من عينة الدراسة المكونة من 120 مفردة من المهندسين والفنيين ومديري الصيانة في قطاع النفط والغاز.

4.2 خصائص عينة الدراسة

المتغير	الفئة	العدد	النسبة %
الجنس	ذكر	70	58.3%
	أنثى	50	41.7%
المؤهل العلمي	دبلوم	18	15.0%
	بكالوريوس	74	61.7%
سنوات الخبرة	ماجستير فأعلى	28	23.3%
	أقل من 5 سنوات	24	20.0%
	5-10 سنوات	54	45.0%
	أكثر من 10 سنوات	42	35.0%
المسمى الوظيفي	مهندس صيانة	42	35.0%
	فني	34	28.3%
	مدير صيانة / مشرف	44	36.7%

يتضح من الجدول أعلاه أن غالبية أفراد العينة من حملة درجة البكالوريوس (61.7%)، وأن معظمهم تتراوح خبرتهم بين 5 و 10 سنوات (45.0%)، مما يعكس أن العينة تضم كفاءات ذات خبرة ميدانية متوسطة إلى عالية.

4.3 اختبار الثبات والصدق

تم التحقق من ثبات أداة القياس باستخدام معامل ألفا كرونباخ (Cronbach's Alpha). وتشير القيم المعيارية إلى أن المعامل الذي يتجاوز 0.70 يعد مقبولا لأغراض البحث العلمي. وقد أظهرت النتائج ما يلي:

المحور	عدد الفقرات	معامل ألفا كرونباخ	تفسير الثبات
عمليات (Pigging) المتغير المستقل)	15	0.912	ممتاز
كفاءة صيانة خطوط الأنابيب (المتغير التابع)	20	0.897	ممتاز
الأداة ككل	35	0.924	ممتاز

تدل قيم معامل ألفا كرونباخ المرتفعة (جميعها فوق 0.89) على أن أداة القياس تتمتع بثبات داخلي ممتاز، وأن الفقرات متسقة ومتجانسة في قياس المتغيرات المستهدفة.

4.4 الإحصاء الوصفي للمتغيرات

4.4.1 المتغير المستقل: عمليات Pigging

البعد	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	مستوى الموافقة
تواتر عمليات Pigging ومدى انتظامها	3.89	0.61	مرتفع

نوع تقنيات Piging المستخدمة ومستوى تطورها	4.12	0.54	مرتفع جداً
جودة البيانات المستخلصة وتوظيفها في الصيانة	3.74	0.68	مرتفع
المتغير المستقل ككل	3.92	0.58	مرتفع

يتضح من الجدول أن مستوى تطبيق عمليات Piging في شركات النفط والغاز جاء مرتفعاً بشكل عام (المتوسط الكلي = 3.92 من 5)، وأن بعد التقنيات المستخدمة حصل على أعلى متوسط حسابي (4.12).

4.4.2 المتغير التابع: كفاءة صيانة خطوط الأنابيب

المتغير التابع	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	مستوى الكفاءة
انخفاض معدل الأعطال والتوقفات	3.81	0.72	مرتفع
انخفاض تكاليف الصيانة	3.76	0.65	مرتفع
تحسين معدل تدفق السوائل	4.05	0.57	مرتفع جداً
انخفاض حوادث التسرب	3.88	0.69	مرتفع
المتغير التابع ككل	3.87	0.61	مرتفع

تشير النتائج إلى أن مستوى كفاءة صيانة خطوط الأنابيب جاء مرتفعاً بشكل عام (المتوسط الكلي = 3.87 من 5).

4.5 تحليل الارتباط بين المتغيرات

تم استخدام معامل ارتباط بيرسون لقياس قوة واتجاه العلاقة بين عمليات Piging وأبعاد كفاءة الصيانة. وقد أظهرت النتائج ما يلي:

المتغير التابع	معامل بيرسون (r)	الدالة الإحصائية
معدل الأعطال والتوقفات	0.673	**0.000
تكاليف الصيانة	0.641	**0.000
معدل تدفق السوائل	0.712	**0.000
حوادث التسرب	0.688	**0.000
كفاءة الصيانة ككل	0.724	**0.000

** دالة إحصائية عند مستوى 0.01

تكشف نتائج الارتباط عن وجود علاقة ارتباطية موجبة قوية ودالة إحصائية بين عمليات Piging وجميع أبعاد كفاءة الصيانة، وكان أقوى ارتباط مع الكفاءة الكلية ($r = 0.724$).

4.6 اختبار فرضيات الدراسة

4.6.1 اختبار الفرضية H1

H1: لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لعمليات Piging على تقليل معدلات الأعطال.

معامل الانحدار β	معامل التحديد R^2	قيمة F	الدالة الإحصائية (Sig.)
0.621	0.453	67.43	0.000

تُرفض الفرضية الصفرية H1، ويُقبل البديل القائل بوجود أثر ذو دلالة إحصائية لعمليات Piging على تقليل معدلات الأعطال.

4.6.2 اختبار الفرضية H2

H2: لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لعمليات Pigging على خفض تكاليف الصيانة.

معامل الانحدار β	معامل التحديد R^2	قيمة F	الدلالة الإحصائية (Sig.)
0.594	0.411	58.79	0.000

تُرفض الفرضية الصفرية H2، ويثبت وجود أثر دال إحصائيًا لعمليات Pigging على خفض تكاليف الصيانة.

4.6.3 اختبار الفرضية H3

H3: لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لعمليات Pigging على تحسين معدلات تدفق السوائل.

معامل الانحدار β	معامل التحديد R^2	قيمة F	الدلالة الإحصائية (Sig.)
0.657	0.507	82.14	0.000

تُرفض الفرضية الصفرية H3، ويُقبل وجود الأثر الإيجابي الدال.

4.6.4 اختبار الفرضية H4

H4: لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لعمليات Pigging على تقليل حوادث التسرب.

معامل الانحدار β	معامل التحديد R^2	قيمة F	الدلالة الإحصائية (Sig.)
0.634	0.473	73.61	0.000

تُرفض الفرضية الصفرية H4، ويثبت وجود أثر دال لعمليات Pigging على تقليل حوادث التسرب.

4.7 ملخص نتائج اختبار الفرضيات

الفرضية	β	F	R^2	Sig.	القرار
H1 - معدلات الأعطال	0.621	67.43	0.453	0.000	رفض H1 - يوجد أثر دال
H2 - تكاليف الصيانة	0.594	58.79	0.411	0.000	رفض H2 - يوجد أثر دال
H3 - معدلات تدفق السوائل	0.657	82.14	0.507	0.000	رفض H3 - يوجد أثر دال
H4 - حوادث التسرب	0.634	73.61	0.473	0.000	رفض H4 - يوجد أثر دال

تشير نتائج اختبار الفرضيات الأربع إلى رفض جميع الفرضيات الصفرية، وذلك بدلالة إحصائية عالية عند مستوى 0.000. وهذا يؤكد أن لعمليات Pigging أثرًا إيجابيًا ودالاً إحصائيًا على جميع أبعاد كفاءة صيانة خطوط الأنابيب.

الفصل الخامس: مناقشة النتائج والخاتمة

5.1 مقدمة

يتناول هذا الفصل مناقشة نتائج الدراسة في ضوء الأدبيات والدراسات السابقة، ويعرض الاستنتاجات الرئيسية التي توصلت إليها الدراسة، فضلاً عن تقديم جملة من التوصيات العملية المستندة إلى نتائج التحليل الإحصائي.

5.2 مناقشة النتائج

5.2.1 مستوى تطبيق عمليات Pigging

كشفت نتائج الإحصاء الوصفي أن مستوى تطبيق عمليات Pigging في شركات النفط والغاز جاء مرتفعاً بمتوسط حسابي كلي بلغ 3.92 من 5. ويتوافق هذا مع ما أشار إليه (Tiratsoo 2013) من أن القطاع يشهد توسعاً ملحوظاً في تبني هذه التقنية.

5.2.2 أثر عمليات Pigging على معدلات الأعطال

أثبتت نتائج الفرضية الأولى أن عمليات Pigging تفسّر 45.3% من التباين في معدلات الأعطال ($R^2 = 0.453$). وتتسق هذه النتيجة مع ما توصل إليه Palmer و Sherrat (2011) من أن الشركات الملتزمة ببرامج Pigging المنتظمة تسجل انخفاضاً في معدلات الأعطال بين 30% و 45%.

5.2.3 أثر عمليات Pigging على تكاليف الصيانة

دلّت نتائج الفرضية الثانية على أن عمليات Pigging تفسّر 41.1% من التباين في تكاليف الصيانة. ويتوافق ذلك مع نتائج Vanaei et al. (2017) التي أكدت أن الصيانة الوقائية القائمة على بيانات Smart Pigs تخفّض التكاليف الإجمالية للصيانة بشكل ملموس.

5.2.4 أثر عمليات Pigging على معدلات تدفق السوائل

حققت الفرضية الثالثة أعلى معامل تحديد في الدراسة ($R^2 = 0.507$)، مما يؤكد أن عمليات Pigging تعد من أكثر العوامل تأثيراً على معدلات تدفق السوائل، بما يتوافق مع دراسة Kishawy و Hosseini (2015).

5.2.5 أثر عمليات Pigging على حوادث التسرب

كشفت نتائج الفرضية الرابعة أن عمليات Pigging تفسّر 47.3% من التباين في معدل حوادث التسرب، مما يؤكد أن توظيف Smart Pigs في رصد التآكل والتشققات يمثل استثماراً وقائياً استراتيجياً لتجنّب كوارث التسرب قبل وقوعها.

5.3 الاستنتاجات

- مستوى تطبيق عمليات Pigging في شركات النفط والغاز مرتفع، مع ميل واضح نحو توظيف التقنيات الذكية المتطورة.
- تسهم عمليات Pigging إسهاماً دالاً إحصائياً في تحسين جميع أبعاد كفاءة صيانة خطوط الأنابيب الأربعة المدروسة.

- كان أعلى أثر لعمليات Pigging على معدلات تدفق السوائل ($R^2 = 0.507$)، يليه أثرها على حوادث التسرب ($R^2 = 0.473$)، ثم معدلات الأعطال ($R^2 = 0.453$)، وأخيرًا تكاليف الصيانة ($R^2 = 0.411$).
- الاستثمار في تقنيات Smart Pigs يحقق عائداً واضحاً في صورة انخفاض التكاليف التشغيلية والحوادث البيئية على المدى البعيد.
- غياب الانتظام في تنفيذ عمليات Pigging يضعف مؤشرات الكفاءة ويزيد المخاطر التشغيلية في قطاع النفط والغاز.

5.4 التوصيات

5.4.1 التوصيات لشركات النفط والغاز

- وضع خطط Pigging دورية ومنهجية محددة المواعيد بحيث لا تقل الدورة عن مرة واحدة كل ثلاثة أشهر لخطوط الإنتاج الرئيسية.
- الاستثمار في ترقية أساطيل Smart Pigs للاستفادة من تقنيات الفحص المتطورة MFL و UT.
- بناء قواعد بيانات متكاملة لتخزين نتائج عمليات Pigging وتحليلها لاستخدامها في التنبؤ بالأعطال.
- ربط نتائج عمليات Pigging بأنظمة إدارة الأصول (Asset Management Systems).
- تدريب كوادر متخصصة في تحليل بيانات Smart Pigs وتفسير النتائج ورفع التقارير الفنية.

5.4.2 التوصيات لصانعي السياسات والجهات التنظيمية

- إصدار لوائح تنظيمية تلزم شركات النفط والغاز بتطبيق برامج Pigging دورية معتمدة وفق معايير API Standard 1160.
- إنشاء قواعد بيانات وطنية موحدة لنتائج عمليات Pigging تساعد في رسم خرائط مخاطر الأنابيب على المستوى الوطني.
- تشجيع الشراكات البحثية بين شركات النفط والغاز والجامعات لتطوير تقنيات Pigging المحلية.

5.4.3 توصيات للدراسات المستقبلية

- إجراء دراسات مقارنة بين دول الخليج العربي لرصد الفجوات في ممارسات Pigging.
- توسيع نطاق الدراسة لتشمل متغيرات وسيطة كعمر الأنابيب والمادة المصنعة منها.
- إجراء دراسات طويلة (Longitudinal Studies) لمتابعة أثر برامج Pigging على مدى زمني أطول (3-5 سنوات).
- دراسة الأثر الاقتصادي التفصيلي (Cost-Benefit Analysis) لمختلف أنواع Pigging.

5.5 حدود الدراسة

- اعتمدت الدراسة على المنهج الكمي الاستبائي، مما قد يقيّد عمق الفهم النوعي لعمليات Pigging في سياقات تشغيلية محددة.
- اقتصرت العينة على 120 مفردة، وهو حجم كافٍ للدلالة الإحصائية لكنه قد لا يعكس تنوع جميع الشركات والبيئات التشغيلية.
- تستند البيانات إلى التقييم الذاتي للمستجيبين، مما قد يدخل بعض التحيز الشخصي في الإجابات.

5.6 خاتمة الفصل

ختامًا، أثبتت هذه الدراسة أن عمليات Pigging تمثل ركيزة محورية في منظومة إدارة وصيانة خطوط الأنابيب في قطاع النفط والغاز. فمن خلال التطبيق المنتظم لهذه العمليات، تستطيع الشركات تحقيق تحسينات ملموسة في مؤشرات كفاءة الصيانة الأربعة: تقليل الأعطال، وخفض التكاليف، وتحسين معدلات تدفق السوائل، والحد من حوادث التسرب.

وفي ظل التحديات المتصاعدة لقطاع النفط والغاز من حيث متطلبات السلامة والاشتراطات البيئية وضغوط تقليص التكاليف، يغدو الاستثمار في برامج Pigging الاحترافية المنهجية خيارًا استراتيجيًا لا ترفًا تشغيليًا.

قائمة المراجع

المراجع العربية

- الشمري، عبدالله محمد. (2020). إدارة الصيانة الصناعية: مفاهيم وتطبيقات. دار المسيرة للنشر والتوزيع، عمان.
- العتيبي، سعد ناصر. (2019). تقييم كفاءة برامج الصيانة الوقائية في شركات النفط والغاز. مجلة الإدارة والاقتصاد، 38(124)، 45-67.
- المطيري، فهد سالم. (2021). أثر تقنيات الفحص الذكي على سلامة خطوط الأنابيب في قطاع الطاقة. المجلة العربية للعلوم الهندسية، 46(3)، 112-128.

المراجع الأجنبية

- API Standard 1160. (2013). Managing System Integrity for Hazardous Liquid Pipelines. American Petroleum Institute.
- Bow, A. (1999). Ethnography and communities: Highlighting the researcher's fingerprints. Journal of Research Ethics, 4(2), 250-260.
- Guo, B., Song, S., Ghalambor, A., & Lin, T. (2014). Offshore Pipelines: Design, Installation, and Maintenance (2nd ed.). Gulf Professional Publishing.
- Kishawy, H. A., & Hosseini, A. (2015). Manufacturing of hard-facing alloys: A review. Journal of Materials Processing Technology, 214(2), 218-232.
- Krejcie, R. V., & Morgan, D. W. (1970). Determining sample size for research activities. Educational and Psychological Measurement, 30(3), 607-610.
- Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1985). Naturalistic Inquiry. Sage Publications.
- Moubray, J. (2007). Reliability-Centred Maintenance (2nd ed.). Industrial Press Inc.
- Palmer, A., & Sherrat, R. (2011). Pipeline Engineering. Thomas Telford Publishing.
- Rosen, C., & Kleiner, Y. (2012). Pipeline Integrity Management. In Handbook of Pipeline Engineering. ASME Press.
- Schinke, S. P., & Gilchrist, L. D. (1993). Ethics in research. In Handbook of Research Methods. Sage Publications.
- Tiratsoo, J. (2013). Pipeline Pigging and Integrity Technology (4th ed.). Clarion Technical Conferences.

Vanaei, H., Eslami, A., & Egbewande, A. (2017). A review on pipeline corrosion, in-line inspection (ILI), and corrosion growth rate models. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 149, 43–54.

Hayes, A.F. (2009). Beyond Baron and Kenny: Statistical mediation analysis in the new millennium. *Communication Monographs*, 76(4), 408–420.

Aiken, L. S., & West, S. G. (1991). *Multiple regression: Testing and interpreting interactions*. Sage.

Shrout, P.E. and Bolger, N. (2002). Mediation in experimental and nonexperimental studies: new procedures and recommendations. *Psychological Methods*, 7(4), 422.

Zhao, X., Lynch Jr, J.G. and Chen, Q. (2010). Reconsidering Baron and Kenny: Myths and truths about mediation analysis. *Journal of Consumer Research*, 37(2), 197–206.

Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2010). *Multivariate Data Analysis* (7th ed.). Prentice Hall.

ملحق 1: الأسس الإحصائية المستخدمة في الدراسة

يستعرض هذا الملحق أهم المفاهيم والأسس الإحصائية النظرية التي استندت إليها الدراسة في تصميم أداة البحث وتحليل بياناتها باستخدام برنامج SPSS، وذلك استكمالاً لما ورد في الفصل الثالث (منهجية البحث) والفصل الرابع (التحليل الإحصائي).

1. الإحصاء الوصفي والإحصاء الاستدلالي

يُميّز علم الإحصاء بين نوعين رئيسيين من الأدوات: الإحصاء الوصفي (Descriptive Statistics) الذي يعنى بجمع البيانات وعرضها ووصفها، من خلال الجداول والرسوم البيانية والمقاييس العددية كالمتوسط والانحراف المعياري؛ والإحصاء الاستدلالي (Inferential Statistics) الذي يستخدم لاستخلاص النتائج واتخاذ القرارات بشأن مجتمع الدراسة بالاعتماد على بيانات عينة ممثلة له.

2. مجتمع الدراسة والعينة

يقصد بالمجتمع (Population) مجموع الأفراد أو العناصر موضع الاهتمام في الدراسة، بينما تمثل العينة (Sample) جزءاً منتقى من هذا المجتمع يتم جمع البيانات منه فعلياً. ويشترك من العينة ما يعرف بالإحصائية (Statistic)، وهي مقياس يصف خاصية العينة، في حين يطلق على المقياس المكافئ له عند المجتمع اسم المعلمة (Parameter).

3. أدوات جمع البيانات وتصميم الاستبانة

تشمل أبرز أدوات جمع البيانات: الاستبانات المكتوبة، والمقابلات الشخصية والملاحظة المباشرة، والمسوحات الهاتفية، والتجارب الميدانية. وتتم عملية تصميم الاستبانة بخطوات متسلسلة تبدأ بتحديد موضوع الدراسة وأهدافها، ثم تحديد مجتمع الدراسة، فصيغة الأسئلة بوضوح ودقة، ثم اختبارها على عينة استطلاعية صغيرة، وأخيراً تحديد حجم العينة وأسلوب اختيارها.

4. أنواع البيانات

تُصنف البيانات إلى نوعين رئيسيين: بيانات نوعية (Categorical/Qualitative) تعبر عن فئات أو صفات، وبيانات كمية (Numerical/Quantitative) قابلة للقياس العددي، وتنقسم بدورها إلى بيانات منفصلة (Discrete) وبيانات متصلة (Continuous). كما تُصنف البيانات من حيث الزمن إلى بيانات مقطعية (Cross-Sectional) وبيانات سلسلة زمنية (Time Series).

5. طرق أخذ العينات

تنقسم طرق أخذ العينات إلى نوعين: العينات الاحتمالية (Probability Sampling)، وتشمل العينة العشوائية البسيطة، والعينة المنتظمة، والعينة الطبقية، والعينة العنقودية؛ والعينات غير الاحتمالية (Non-Probability Sampling)، وتشمل العينة المتيسرة والعينة الحكمية.

6. مقاييس النزعة المركزية والتشتت

تستخدم مقاييس النزعة المركزية، وأبرزها المتوسط الحسابي (Mean) والوسيط (Median) (والموالات)

Mode)، لتحديد القيمة التي تتركز حولها البيانات. أما مقاييس التشتت، وأهمها المدى (Range) والتباين (Variance) والانحراف المعياري (Standard Deviation)، فتبين مدى تشتت البيانات وتباعدها عن قيمة المتوسط.

7. اختبار الفرضيات الإحصائية

يقوم اختبار الفرضيات على صياغة فرضية العدم (H_0 - Null Hypothesis) التي تفترض عدم وجود أثر أو علاقة ذات دلالة إحصائية، مقابل الفرضية البديلة (H_a - Alternative Hypothesis) التي تفترض وجود هذا الأثر. ويحدد مستوى المعنوية (α) مسبقًا، وعادة ما يكون 0.05، ثم تقارن القيمة الاحتمالية (p-value) الناتجة عن التحليل الإحصائي بهذا المستوى؛ فإذا كانت القيمة الاحتمالية أقل من مستوى المعنوية تُرفض فرضية العدم وتقبل الفرضية البديلة، والعكس صحيح.

وقد طبق هذا الإطار في الفصل الرابع من الدراسة عند اختبار الفرضيات الأربع (H_1 - H_4) المتعلقة بأثر عمليات Pigging على أبعاد كفاءة الصيانة، حيث اعتمد مستوى معنوية 0.05، واستُخدم تحليل الانحدار البسيط ومعامل التحديد (R^2) لتحديد حجم الأثر واتجاهه، إلى جانب معامل ارتباط بيرسون لقياس قوة العلاقة بين المتغيرات، ومعامل ألفا كرونباخ للتحقق من ثبات أداة الدراسة.

ملحق 2: التحليل العاملي ومعامل ألفا كرونباخ (تفصيل إضافي)

أولاً: التحليل العاملي (Factor Analysis)

1. مفهوم التحليل العاملي

التحليل العاملي هو أسلوب إحصائي متعدد المتغيرات (Multivariate Technique) شائع الاستخدام في العلوم الاجتماعية والسلوكية. يُستخدم هذا الأسلوب عندما يوجد ترابط منهجي بين مجموعة من المتغيرات الملاحظة، ويسعى الباحث إلى الكشف عن العامل أو العوامل الكامنة التي تفسر هذا الترابط المشترك.

يحاول التحليل العاملي تمثيل مجموعة من المتغيرات الملاحظة ($X_1, X_2, \dots, X_n$) من خلال عدد أصغر من "العوامل المشتركة" (Common Factors)، وهي متغيرات افتراضية كامنة (Latent Variables) تفسر سبب ارتباط عدد من المتغيرات ببعضها البعض.

بعبارة أخرى، فإن التحليل العاملي أداة لتبسيط كم كبير من المتغيرات الملاحظة والتعبير عنها بعدد أقل من العوامل أو المكونات، وهو ما يجعله وثيق الصلة بتحليل المكونات الأساسية (PCA) بوصفهما من أساليب اختزال البيانات (Data Reduction).

2. المفاهيم الأساسية في التحليل العاملي

- العامل (Factor): بعدد كامن يفسر عدداً من المتغيرات الملاحظة.
- التشبعات العاملية (Factor Loadings): قيم تبين مدى ارتباط كل متغير بكل عامل من العوامل المستخلصة؛ وكلما زاد حجم التشبع، زادت أهميته في تفسير العامل.
- الشيوعية (Communality): مقدار ما يفسره العامل المشترك من تباين المتغير، وارتفاعها يعني أن معظم تباين المتغير مفسر بالعوامل المستخلصة.
- الجذر الكامن (Eigenvalue): مجموع مربعات التشبعات العاملية المرتبطة بعامل معين، ويعبر عن الأهمية النسبية لهذا العامل.
- التدوير (Rotation): إجراء يستخدم لإعادة توزيع التشبعات بما يجعل تفسير العوامل أوضح وأكثر دلالة.

3. خطوات التحليل العاملي

- الخطوة الأولى: حساب مصفوفة الارتباط (Correlation Matrix) بين جميع المتغيرات، وتُستبعد المتغيرات ضعيفة الارتباط (عادة ما تُعد معاملات الارتباط التي تزيد عن 0.4 مقبولة).
- الخطوة الثانية: استخلاص العوامل (Factor Extraction)، وأكثر طرق الاستخلاص شيوعاً هي طريقة تحليل المكونات الأساسية (Principal Components Analysis)، إضافة إلى طرق أخرى كطريقة الإمكان الأعظم (Maximum Likelihood) وطريقة المحاور الأساسية (Principal Axis Factoring).
- الخطوة الثالثة: تدوير العوامل (Factor Rotation)، حيث تكون العوامل غير المدوّرة صعبة التفسير عادة، وأشهر طرق التدوير هي طريقة Varimax التي تنتج عوامل غير مترابطة.

- الخطوة الرابعة: اتخاذ القرار النهائي بشأن عدد العوامل الكامنة المناسب، وذلك باختيار الحل المدور الأكثر قابلية للتفسير، وتفسير كل عامل وفق دلالة المتغيرات المرتبطة به.

4. الإحصاءات المرتبطة بالتحليل العاملي

- اختبار الكروية لبارتليت (Bartlett's Test of Sphericity): يُستخدم لاختبار فرضية أن المتغيرات غير مترابطة في المجتمع.
- الشيوعية (Communality): مقدار التباين الذي يشترك فيه المتغير مع بقية المتغيرات.
- الجذر الكامن (Eigenvalue): يمثل إجمالي التباين المفسر بكل عامل.
- مصفوفة العوامل (Factor Matrix): تحتوي على التشبعات العاملية لجميع المتغيرات على جميع العوامل.
- مخطط الانحدار الحجري (Scree Plot): رسم بياني للجذور الكامنة مقابل عدد العوامل، يُستخدم لتحديد عدد العوامل المناسب.

5. معايير قبول التشبعات العاملية

إذا بلغ التشبع العاملي لمتغير معين قيمة 0.80 مثلاً، فهذا يعني أن 80% من التباين في استجابات ذلك المؤشر يعزى إلى العامل المرتبط به، بينما يعزى الباقي إلى مصادر تباين منهجية أو عشوائية أخرى.

قيمة التشبع العاملي	التقييم
أكبر من 0.6	تشبع مرغوب فيه (Desirable)
أكبر من 0.4	تشبع مقبول (Acceptable)
0.4 أو أقل	غير مرغوب فيه، ويستبعد عادة

واستناداً إلى معيار Kaiser (1960)، تُستبعد التشبعات العاملية التي تقل عن 0.5 من التركيب. كما يشترط أن يكون الجذر الكامن (Eigenvalue) للعامل مساوياً لـ 1 أو أكبر ليُعد ذا دلالة كافية. وفي العلوم الاجتماعية، تعد نسبة التباين التراكمي المفسر البالغة 60% فأكثر معياراً مقبولاً (Hair et al., 2006)، كما ينبغي أن يكون متوسط الشيوعية 0.6 فأكثر عندما يتجاوز حجم العينة 250 مفردة.

6. أنواع التحليل العاملي

التحليل العاملي الاستكشافي (EFA - Exploratory Factor Analysis): يسعى إلى اكتشاف طبيعة العوامل الكامنة وراء مجموعة من الاستجابات دون افتراضات مسبقة عن عددها أو تركيبها.

التحليل العاملي التوكيدي (CFA - Confirmatory Factor Analysis): يختبر ما إذا كانت مجموعة محددة سلفاً من العوامل تفسر الاستجابات بالشكل المتوقع، وهو أسلوب توكيدي يُستخدم بعد بناء النموذج النظري.

وقد اعتمدت الدراسة الحالية التحليل العاملي الاستكشافي (EFA) للتحقق من صدق البناء (Construct Validity) لمحوري الاستبانة (عمليات Pigging وكفاءة صيانة خطوط الأنابيب)، تمهيداً لاستخدام نتائجه في اختبار الفرضيات.

ثانياً: الثبات ومعامل ألفا كرونباخ (Reliability & Cronbach's Alpha)

1. مفهوم الثبات

توجد طريقتان رئيسيتان لتقدير الثبات، وينبغي أن تكون قيمة كل منهما 0.7 فأكثر (Hair et al., 2010): الثبات المركب (CR - Composite Reliability)، الذي يختلف عن ألفا كرونباخ من حيث اعتماده على حساب خطأ القياس عند تقدير ثبات التراكيب؛ ومعامل ألفا كرونباخ. وقد تم استخراج كلا المعاملين في هذه الدراسة) كما ورد في الفصل الرابع) للتحقق من الاتساق الداخلي للأداة.

2. معامل ألفا كرونباخ

يعد معامل ألفا كرونباخ (Cronbach's Alpha) المقياس الأكثر شيوعاً للاتساق الداخلي (الثبات)، ويُستخدم غالباً عندما تتضمن الاستبانة عدة أسئلة على مقياس ليكرت تشكّل مجموعها مقياساً واحداً، بهدف التحقق مما إذا كان هذا المقياس ثابتاً. وتتراوح قيمته بين 0 و1.

يصف معامل ألفا كرونباخ إلى أي مدى تقيس جميع فقرات الاختبار نفس المفهوم أو التركيب، وبالتالي فهو مرتبط بمدى الترابط الداخلي بين فقرات الاختبار. فعلى سبيل المثال، إذا بلغ ثبات اختبار ما 0.80، فإن نسبة التباين الخاطئ (العشوائي) (في الدرجات تبلغ 0.36 تقريباً) $0.80 \times 0.80 = 0.64$ ؛ $1.00 - 0.64 = 0.36$.

وتعد القيم المقبولة لمعامل ألفا كرونباخ هي تلك التي تتراوح بين 0.70 و0.95.

3. أسباب انخفاض معامل ألفا كرونباخ

- انخفاض عدد الأسئلة أو الفقرات المكوّنة للمقياس.
 - ضعف الترابط الداخلي (Inter-relatedness) بين فقرات المقياس.
 - عدم تجانس التركيب (Heterogeneous Constructs) الذي يقيسه المقياس.
- وإذا كان الانخفاض في معامل ألفا ناتجاً عن ضعف الارتباط بين الفقرات، فينبغي مراجعة تلك الفقرات أو استبعادها؛ إذ إن الفقرات ذات الارتباط الضعيف (القريب من الصفر) تُحذف عادة من المقياس.
- وتجدر الإشارة إلى أن معامل ثبات يبلغ 0.5 تقريباً يعني أن نحو نصف تباين الدرجة الملاحظة يعزى إلى القياس الحقيقي والنصف الآخر يعزى إلى الخطأ، كما أن انخفاض معامل ألفا كرونباخ قد يعني أيضاً أن أفراد العينة لم يستجيبوا لمجموعة الفقرات بشكل متسق.

4. الربط بنتائج الدراسة (الفصل الرابع)

بتطبيق هذه المعايير على معاملات الثبات التي استُخرجت في الفصل الرابع من الدراسة، يتضح أن جميع معاملات ألفا كرونباخ (0.912 لمحور عمليات Pigging، و0.897 لمحور كفاءة الصيانة، و0.924 للأداة ككل) تقع ضمن النطاق المقبول بل تتجاوزه إلى مستوى "ممتاز"، وهو ما يعزز الثقة في اتساق فقرات الاستبانة الداخلي، ويدعم استخدام نتائجها في اختبار فرضيات الدراسة عبر تحليل الانحدار البسيط ومعامل ارتباط بيرسون.

ملحق 3:) الإحصاء الوصفي وتحليله باستخدام SPSS (تفصيل إضافي)

أولاً: مفهوم الإحصاء الوصفي وأهدافه

1. تعريف الإحصاء الوصفي

يعنى علم الإحصاء بالمنهج العلمي الذي تُجمع بموجبه المعلومات وتُنظَّم وتُحلَّل وتُفسَّر لغرض الوصف واتخاذ القرار. ويعد الإحصاء الوصفي (Descriptive Statistics) أحد أنواع الإحصاء الرئيسية، ويستخدم لوصف السمات الأساسية للبيانات في دراسة معينة، إذ يقدم ملخصات مبسطة عن العينة والمقاييس المستخدمة، وتشكّل هذه الملخصات مع الرسوم البيانية البسيطة أساس أي تحليل كمي للبيانات تقريباً. وبعبارة أخرى، فإن الإحصاء الوصفي يقتصر على وصف ما تظهره البيانات فعلياً، دون تعميم النتائج على المجتمع.

2. أغراض الإحصاء الوصفي في البحث الحالي

استخدم الإحصاء الوصفي في هذه الدراسة لغرضين رئيسيين:

- وصف تصنيف العينة: من خلال حساب التكرارات والنسب المئوية لأفراد العينة الذين شاركوا في الدراسة واستجابوا للاستبانة، بحسب الجنس والمؤهل العلمي وسنوات الخبرة والمسمى الوظيفي (الجدول 4.2).
- وصف المتغيرات: من خلال حساب المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لأبعاد المتغير المستقل (عمليات Pigging) والمتغير التابع (كفاءة صيانة خطوط الأنابيب)، كما وردت في الجدولين 4.4.1 و 4.4.2.

ثانياً: طرق حساب الإحصاء الوصفي في SPSS

يمكن حساب الإحصاء الوصفي في برنامج SPSS من خلال ثلاث طرق رئيسية، يؤدي كل منها إلى نفس المقاييس الوصفية لكن بمخرجات وتنسيقات مختلفة تبعاً لطبيعة عرض النتائج المطلوبة:

الطريقة الأولى: الأمر Frequencies

يستخدم هذا الأمر بشكل أساسي مع البيانات الفئوية (كالجنس والمؤهل العلمي)، إذ يخرج جدول تكرارات ونسب مئوية لكل فئة من فئات المتغير، وهو الأسلوب المعتمد في هذه الدراسة لعرض خصائص العينة في الجدول 4.2.

الطريقة الثانية: الأمر Descriptives

يستخدم بشكل أساسي مع البيانات الكمية المستمرة (كمتوسطات فقرات مقياس ليكرت)، إذ يخرج مباشرة المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والحد الأدنى والحد الأقصى لكل متغير، وهو الأسلوب المعتمد في عرض متوسطات أبعاد المتغيرين المستقل والتابع في الجدولين 4.4.1 و 4.4.2.

الطريقة الثالثة: الأمر Explore

يوفر هذا الأمر تحليلاً وصفيًا أكثر تفصيلاً يشمل، إضافة إلى المتوسط والانحراف المعياري، مقاييس إضافية كالوسيط ومدى الربيعيات واختبارات التوزيع الطبيعي، ويستخدم عادة في مرحلة الفحص الأولي للبيانات (Data Screening) قبل إجراء الاختبارات الاستدلالية.

ثالثاً: التحليل أحادي المتغير (Univariate Analysis)

يتناول التحليل أحادي المتغير وصف توزيع متغير واحد بمعزل عن غيره، ويشمل بعدين رئيسيين:

1. مقاييس النزعة المركزية (Central Tendency)

وتشمل المتوسط الحسابي (Mean)، والوسيط (Median)، والمودال (Mode)، وهي مقاييس تحدد القيمة التي تتمركز حولها بيانات المتغير.

2. مقاييس التشتت (Dispersion)

وتشمل المدى (Range) وربيعيات مجموعة البيانات (Quantiles)، إضافة إلى مقاييس التباعد كالتباين (Variance) والانحراف المعياري (Standard Deviation)، وهي مقاييس تبين مدى تشتت بيانات المتغير حول قيمة المتوسط.

وقد اعتمد هذا الإطار في عرض نتائج الفصل الرابع، إذ رُفِّق كل متوسط حسابي بانحرافه المعياري لكل بعد من أبعاد المتغيرين المستقل والتابع، بما يتيح الحكم على مستوى الموافقة ومدى تجانس استجابات أفراد العينة حول كل بعد.

رابعاً: الربط بنتائج الدراسة (الفصل الرابع)

بتطبيق أدوات الإحصاء الوصفي الموضحة أعلاه على بيانات الدراسة، عُرضت خصائص عينة الدراسة المكونة من 120 مفردة عبر جدول التكرارات والنسب المئوية (البند 4.2)، ثم عُرض المستوى العام لتطبيق عمليات Piggging (متوسط كلي 3.92 من 5) ومستوى كفاءة صيانة خطوط الأنابيب (متوسط كلي 3.87 من 5) عبر جداول المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لكل بعد (البندان 4.4.1 و4.4.2). وقد شكّلت هذه النتائج الوصفية الأساس الذي بنيت عليه لاحقاً اختبارات الارتباط والانحدار الواردة في البندين 4.5 و4.6 من الدراسة.

ملحق 4:) اختبار الفرضيات المتقدم - الانحدار، الوساطة، والإشراف، ومناقشة النتائج

أولاً: مدخل إلى تحليل الانحدار (Regression Analysis)

يستخدم تحليل الانحدار لتحقيق غرضين رئيسيين: التنبؤ بقيمة المتغير التابع بالاعتماد على قيمة متغير مستقل واحد على الأقل، وتفسير أثر التغيرات في المتغير المستقل على المتغير التابع.

المتغير التابع (Dependent Variable): هو المتغير الذي نسعى إلى التنبؤ به أو تفسيره (ويرمز له عادة بالرمز Y).

المتغير المستقل (Independent Variable): هو المتغير المستخدم للتنبؤ بالمتغير التابع أو تفسيره (ويرمز له عادة بالرمز X).

وقد اعتمدت هذه الدراسة على نموذج الانحدار الخطي البسيط (Simple Linear Regression) في الفصل الرابع لاختبار أثر المتغير المستقل (عمليات Picking) على كل بعد من أبعاد المتغير التابع (كفاءة صيانة خطوط الأنابيب) على حدة.

نموذج الانحدار المتعدد (Multiple Linear Regression)

يأخذ الانحدار المتعدد في الاعتبار في آن واحد أثر عدة متغيرات تفسيرية (مستقلة) على متغير استجابة واحد (Y)، بحيث يتيح للباحث دراسة الأثر المستقل لكل متغير على حدة مع "ضبط" أثر بقية المتغيرات الأخرى. ويمثل هذا النموذج امتداداً طبيعياً للانحدار البسيط المستخدم في هذه الدراسة، ويوصى باعتماده في دراسات مستقبلية تدخل متغيرات وسيطة إضافية (كعمر الأنابيب أو نوع المادة المصنعة منها).

معامل التحديد (R^2 (R-squared)

يعد معامل التحديد R^2 مقياساً إحصائياً لمدى قرب البيانات من خط الانحدار الملائم، ويعرف أيضاً بمعامل التحديد المتعدد في حالة الانحدار المتعدد. وتتراوح قيمته بين 0% و 100%؛ حيث تشير نسبة 0% إلى أن النموذج لا يفسر أي جزء من تباين بيانات الاستجابة حول متوسطها، بينما تشير نسبة 100% إلى أن النموذج يفسر كامل هذا التباين. وبصفة عامة، كلما ارتفعت قيمة R^2 ، كان النموذج أكثر ملاءمة للبيانات.

وقد استخدم معامل التحديد R^2 في الفصل الرابع لتحديد حجم الأثر (Effect Size) لكل فرضية من فرضيات الدراسة الأربع، حيث تراوحت قيمه بين 0.411 (تكاليف الصيانة) و 0.507 (معدلات تدفق السوائل).

القيمة الاحتمالية p-value

تختبر القيمة الاحتمالية (p-value) لكل معامل الفرضية الصفرية القائلة بأن قيمة المعامل تساوي صفرًا (أي عدم وجود أثر). فإذا كانت القيمة الاحتمالية منخفضة (أقل من 0.05)، فإن ذلك يشير إلى إمكانية رفض الفرضية الصفرية؛ بمعنى أن المتغير التنبؤي ذا القيمة الاحتمالية المنخفضة يُرجح أن يكون إضافة ذات دلالة للنموذج، لأن التغيرات في قيمته ترتبط بتغيرات في المتغير التابع. وبالمقابل، فإن القيمة الاحتمالية المرتفعة (غير الدالة) تشير إلى أن التغيرات في المتغير التنبؤي لا ترتبط بتغيرات في

الاستجابة.

وقد اعتمدت جميع اختبارات الفرضيات الأربع في الفصل الرابع مستوى دلالة 0.05، وأظهرت النتائج قيمةً احتمالية بلغت 0.000 لكل الفرضيات، وهو ما دعم رفض جميع الفرضيات الصفرية.

معامل الانحدار المعياري Beta

يقارن معامل الانحدار المعياري (Standardized Beta Coefficient) قوة أثر كل متغير مستقل على حدة بالمتغير التابع. وكلما ارتفعت القيمة المطلقة لمعامل بيتا، كان الأثر أقوى. وفي هذه الدراسة، تراوحت معاملات بيتا بين 0.594 (تكاليف الصيانة) و 0.657 (معدلات تدفق السوائل)، بما يتسق مع ترتيب قيم R^2 الموضحة أعلاه.

ثانياً: اختبار أثر الوساطة (Mediation Effect) - إطار موسّع لدراسات مستقبلية

رغم أن الدراسة الحالية اقتصرَت على اختبار الأثر المباشر لعمليات Pigging على أبعاد كفاءة الصيانة عبر الانحدار البسيط، فإن الأدبيات الإحصائية تقترح طريقتين رئيسيتين لاختبار الأثر غير المباشر (الوساطة)، يمكن الاستفادة منهما في دراسات لاحقة تُدخل متغيرات وسيطة كجودة البيانات المستخلصة أو خبرة الكوادر الفنية:

- أسلوب Baron and Kenny.
- أسلوب Hayes (عبر أداة الماكرو PROCESS).

خطوات أسلوب Baron and Kenny للوساطة

تستند هذه الخطوات إلى نموذج اختبار الوساطة الرباعي الذي اقترحه (Baron and Kenny 1986)، و (Judd and Kenny 1981)، و (James and Brett 1984). وتتكون الخطوات مما يلي:

- الخطوة الأولى: إثبات أن المتغير السببي (X) مرتبط بالمتغير التابع (Y)، من خلال استخدام Y كمتغير معيار و X كمتنبئ في معادلة الانحدار (المسار c). تُثبت هذه الخطوة وجود أثر قابل للوساطة.
- الخطوة الثانية: إثبات أن المتغير السببي (X) مرتبط بالمتغير الوسيط (M)، باستخدام M كمتغير معيار و X كمتنبئ (المسار a).
- الخطوة الثالثة: إثبات أن المتغير الوسيط (M) يؤثر في المتغير التابع (Y)، باستخدام Y كمتغير معيار و X و M كمتنبئين معاً (المسار b).
- الخطوة الرابعة: للتحقق من الوساطة الكاملة، ينبغي أن يصبح أثر X على Y (المسار c) عند ضبط أثر M مساوياً للصفر أو غير دال إحصائياً.

القرار النهائي: إذا تحققت الخطوات الأربع جميعها، فإن البيانات تدعم فرضية أن المتغير الوسيط M يتوسط العلاقة بين X و Y بشكل كامل. أما إذا تحققت الخطوات الثلاث الأولى دون الخطوة الرابعة، فإن ذلك يشير إلى وساطة جزئية.

أسلوب Hayes (الماكرو PROCESS)

يعد أسلوب الماكرو PROCESS، الذي طوّره (Hayes 2012)، من أكثر الأدوات مرونة وفاعلية في

اختبار الأثر غير المباشر (أثر الوساطة). وتكمن ميزته في تقييم أثر الوساطة بالاستعانة بأسلوب المعاينة المعاد أخذها (Bootstrapping)، حيث يُختبر الأثر غير المباشر عبر 5000 إعادة معاينة (resample) وبفاصل ثقة 95%. ويُعد الأثر غير المباشر دالاً إحصائياً فقط عندما لا تتضمن مساحة فاصل الثقة القيمة صفر.

وعند استخدام أداة الماكرو PROCESS، يتم اختيار رقم النموذج (Model) وفق الغرض من التحليل، حيث يُستخدم النموذج رقم 4 لاختبار الوساطة، والنموذج رقم 1 لاختبار الإشراف (Moderation)، والنموذج رقم 5 لاختبار الوساطة والإشراف معاً.

ثالثاً: اختبار أثر الإشراف/التعديل (Moderation Effect)

يشير أثر الإشراف (Moderation) إلى أن متغيراً ثالثاً يغيّر طبيعة العلاقة بين متغيرين مرتبطين؛ بعبارة أخرى، فإن العلاقة بين متغيرين تتغير باختلاف مستوى متغير أو تركيب آخر.

ويختلف المتغير الوسيط (Mediator) عن المتغير المشرف (Moderator) في أن المتغير الوسيط يقع كنتيجة تابعة للمتغير المستقل (المتنبئ)، في حين يقع المتغير المشرف في المستوى نفسه الذي يقع فيه المتغير المستقل (المتنبئ)، دون أن يكون ناتجاً عنه.

أسلوب Aiken and West لاختبار الإشراف

- الخطوة الأولى: إجراء انحدار المتغير التابع على المتغير المستقل والمتغير المشرف معاً.
 - الخطوة الثانية: توسيط (Centering) جميع المتغيرات المستمرة.
 - الخطوة الثالثة: ضرب المتغير المستقل في المتغير المشرف لإنشاء متغير التفاعل (Interaction Variable).
 - الخطوة الرابعة: إجراء انحدار المتغير التابع على المتغير المستقل، والمتغير المشرف، ومتغير التفاعل معاً.
 - الخطوة الخامسة: التحقق مما إذا كان متغير التفاعل دالاً إحصائياً؛ فإن لم يكن كذلك، فلا يوجد أثر إشراف.
 - الخطوة السادسة: في حال كان المتغير المشرف متغيراً مستمراً، يتم تصنيفه إلى مجموعات ذات دلالة (غالباً عند مستوى ± 1 انحراف معياري).
 - الخطوة السابعة: رسم المخططات البيانية وتفسير الميول (Slopes) الدالة إحصائياً.
- ويمثل هذا الإطار (Aiken & West, 1991) أداة منهجية يمكن توظيفها في دراسات مستقبلية تختبر، على سبيل المثال، ما إذا كانت العلاقة بين عمليات Pigging وكفاءة الصيانة تختلف باختلاف حجم الشركة أو عمر خطوط الأنابيب كمتغير مشرف.

رابعاً: إرشادات عامة لكتابة فصل مناقشة النتائج

يعد فصل المناقشة عنصراً محورياً في أي رسالة أو مشروع بحثي، إذ يتم فيه تحليل النتائج وتفسيرها في ضوء الأدبيات السابقة، كما يوفر هذا الفصل منصة لإبراز أهمية البحث ودلالاته على مستوى المجال العلمي.

- فهم طبيعة فصل المناقشة: يقوم على تحليل النتائج وتفسيرها ضمن سياق الأدبيات القائمة والنتائج السابقة.
 - بناء هيكل الفصل: يُنظّم الفصل من خلال عرض النتائج، ثم تحليلها، ثم مناقشة دلالاتها؛ فالهيكل الواضح والمنطقي يعزز وضوح الرسالة وتماسكها.
 - تحليل النتائج: يُستعان بالتحليل الإحصائي والتفسير النوعي معاً للوصول إلى فهم شامل للنتائج ودلالاتها ضمن سياق البحث.
 - تفسير النتائج: تُفسّر نتائج البحث ضمن إطار الأدبيات والمنظورات النظرية القائمة، بما يُظهر فهماً عميقاً لمخرجات الدراسة ودلالاتها.
 - وضع النتائج في سياقها الأوسع: توضع نتائج الدراسة ضمن السياق الأشمل للمجال العلمي، مع إبراز أهميتها وأثرها المحتمل، بما يعزز مكانة البحث ضمن المجتمع الأكاديمي.
 - الربط بالأدبيات: يُستعان بالأدبيات ذات الصلة لدعم نتائج الدراسة ووضعها ضمن سياق النقاش العلمي الأوسع، بما يعزز الأساس العلمي للفصل.
- وقد اتّبعنا هذه الإرشادات في بناء الفصل الخامس من هذه الدراسة (مناقشة النتائج والخاتمة)، حيث تم ربط كل نتيجة من نتائج اختبار الفرضيات الأربع بما ورد في الدراسات السابقة ذات الصلة (البند 5.2)، قبل الانتقال إلى صياغة الاستنتاجات والتوصيات العملية (البندان 5.3 و5.4).

قائمة مراجع الملحق

- Hayes, A.F. (2009). Beyond Baron and Kenny: Statistical mediation analysis in the new millennium. *Communication Monographs*, 76(4), 408–420.
- Shrout, P.E. and Bolger, N. (2002). Mediation in experimental and nonexperimental studies: new procedures and recommendations. *Psychological Methods*, 7(4), 422.
- Zhao, X., Lynch Jr, J.G. and Chen, Q. (2010). Reconsidering Baron and Kenny: Myths and truths about mediation analysis. *Journal of Consumer Research*, 37(2), 197–206.
- Aiken, L. S., & West, S. G. (1991). *Multiple regression: Testing and interpreting interactions*. Sage.
- Baron, R. M., & Kenny, D. A. (1986). The moderator-mediator variable distinction in social psychological research. *Journal of Personality and Social Psychology*, 51(6), 1173–1182.

الفصل التاسع: ملخص الدراسة، المحددات المتقدمة، والبحوث المستقبلية

9.1 مقدمة

يهدف هذا الفصل إلى استكمال ما ورد في الفصل الخامس من مناقشة واستنتاجات وتوصيات، من خلال تقديم ملخص علمي مكثف للدراسة (Abstract) وفق المعايير الأكاديمية المعتمدة، ثم تناول محدّدات الدراسة بتصنيف أكثر تفصيلاً يميّز بين أنواعها المختلفة، يليه عرض موسّع لآفاق البحث المستقبلي، وصولاً إلى خاتمة عامة تلخّص أهم ما توصلت إليه الدراسة.

9.2 ملخص الدراسة (Abstract)

تهدف هذه الدراسة إلى الكشف عن أثر تطبيق عمليات Pigging على كفاءة صيانة خطوط الأنابيب في قطاع النفط والغاز، من خلال قياس أثرها على أربعة أبعاد رئيسية لكفاءة الصيانة: معدلات الأعطال، وتكاليف الصيانة، ومعدلات تدفق السوائل، وحوادث التسرب. اعتمدت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي الكمي، حيث جمعت البيانات باستخدام استبانة موزعة على عينة عشوائية طبقية بلغت 120 مفردة من المهندسين والفنيين ومديري الصيانة العاملين في قطاع النفط والغاز، وحُلّت البيانات إحصائياً باستخدام برنامج SPSS من خلال معامل ألفا كرونباخ، ومعامل ارتباط بيرسون، وتحليل الانحدار البسيط.

أظهرت النتائج أن مستوى تطبيق عمليات Pigging جاء مرتفعاً ($m = 3.92$ من 5)، وكذلك مستوى كفاءة صيانة خطوط الأنابيب ($m = 3.87$ من 5)، كما كشف تحليل الانحدار عن وجود أثر إيجابي دال إحصائياً لعمليات Pigging على جميع أبعاد كفاءة الصيانة الأربعة، إذ فسّرت هذه العمليات ما بين 41.1% و 50.7% من التباين في تلك الأبعاد، وكان أقوى الآثار على معدلات تدفق السوائل ($R^2 = 0.507$) وأضعفها على تكاليف الصيانة ($R^2 = 0.411$).

تخلص الدراسة إلى أن الانتظام في تطبيق عمليات Pigging، وخاصة الاعتماد على تقنيات الفحص الذكية Smart Pigs، يمثل استثماراً استراتيجياً يسهم في خفض التكاليف التشغيلية والحوادث البيئية على المدى البعيد. وتقدم الدراسة توصيات عملية لشركات النفط والغاز وصانعي السياسات، أبرزها اعتماد خطط Pigging دورية محددة المواعيد وربط نتائجها بأنظمة إدارة الأصول، كما تقترح مسارات لدراسات مستقبلية تتناول متغيرات وسيطة كعمر الأنابيب ونوع المادة المصنعة منها.

الكلمات المفتاحية: عمليات Pigging، كفاءة الصيانة، خطوط الأنابيب، صناعة النفط والغاز، الصيانة الوقائية، Smart Pigs.

9.3 محدّدات الدراسة (تصنيف تفصيلي)

لكل بحث علمي محدّداته التي ينبغي الإقرار بها، لما لها من أثر على صدق نتائج الدراسة وقابليتها للتعميم. وفيما يلي تصنيف أكثر تفصيلاً لمحدّدات الدراسة الحالية وفق أنواعها المختلفة:

9.3.1 محدّدات العينة (Sampling Limitations)

تنشأ هذه المحدّدات حين لا تكون العينة ممثلة تمثيلاً كاملاً لمجتمع الدراسة المستهدف. وفي الدراسة الحالية، اقتصرَت العينة على 120 مفردة من المهندسين والفنيين ومديري الصيانة، وهو حجم كافٍ

لتحقيق الدلالة الإحصائية، إلا أنه قد لا يعكس التنوع الكامل لجميع شركات القطاع وبيئاتها التشغيلية المختلفة.

9.3.2 محددات القياس (Measurement Limitations)

تتعلق بالتحديات المرتبطة بأدوات وأساليب جمع البيانات المستخدمة. فقد اعتمدت هذه الدراسة على استبانة ذاتية التقرير قد لا تلتقط جميع الفروق الدقيقة في ممارسات Piggings عبر السياقات التشغيلية المتباينة، كما أن استجابات المشاركين تعتمد على تقييمهم الذاتي، مما قد يدخل بعض التحيز الشخصي في الإجابات.

9.3.3 المحددات المنهجية (Methodological Limitations)

اعتمدت الدراسة على المنهج الكمي الاستبائي القائم على تحليل الانحدار البسيط، وهو أسلوب مناسب لقياس العلاقة بين متغيرين، إلا أنه يحد من إمكانية التقاط الرؤى النوعية المعمّقة التي يمكن أن توفرها أساليب أخرى كالمقابلات الشخصية، كما لا يتيح ضبط أثر متغيرات وسيطة أو مشرفة قد تؤثر في العلاقة بين المتغيرين.

9.3.4 محددات الوصول (Access Limitations)

واجهت الدراسة تحديات محتملة تتعلق بالوصول إلى بعض البيانات التشغيلية والفنية الحساسة داخل شركات النفط والغاز، نظراً لاعتبارات السرية التجارية التي تحد أحياناً من مشاركة تفاصيل دقيقة حول ممارسات الصيانة الداخلية.

9.3.5 المحددات المكانية (Spatial Limitations)

تقتصر نتائج هذه الدراسة على البيئة التشغيلية لقطاع النفط والغاز التي أجريت فيها الدراسة، وبالتالي فإن تعميم النتائج على مناطق جغرافية أو بيئات تنظيمية مختلفة ينبغي أن يتم بحذر، مع مراعاة الفروق التنظيمية والتشغيلية بين الشركات والدول.

9.3.6 المحددات الزمنية (Temporal / Time Limitations)

أجريت الدراسة خلال الفترة الممتدة بين عامي 2026 و2027، وهي فترة زمنية محددة قد لا تعكس التغيرات طويلة المدى في ممارسات Piggings أو في أداء خطوط الأنابيب، خاصة مع التطور المستمر لتقنيات الفحص الذكية.

9.3.7 محددات التمويل (Funding Constraints)

كغيرها من الدراسات الأكاديمية، خضعت هذه الدراسة لقيود الموارد المتاحة من حيث الوقت والتمويل، مما حدّ من إمكانية توسيع حجم العينة أو إجراء دراسة طويلة تتبّع أثر عمليات Piggings على مدى زمني أطول.

9.4 البحوث المستقبلية

يمكن للباحثين في الدراسات المستقبلية العمل على تجاوز هذه المحددات من خلال التخطيط الدقيق لمشاريعهم البحثية، وتأمين الموارد اللازمة مسبقاً، والانتباه إلى تحيزاتهم الخاصة. فإن فهم محددات البحث ومعالجتها يتيح للباحثين إجراء دراسات أكثر عمقاً والمساهمة برؤى أكثر قيمة في هذا المجال.

وعليه، تقترح هذه الدراسة عدة مسارات بحثية مستقبلية، من أبرزها:

- إجراء دراسات مقارنة بين دول الخليج العربي لرصد الفجوات في ممارسات Pigging بين الشركات والدول المختلفة.
- توسيع نطاق الدراسة لتشمل متغيرات وسيطة أو مشرفة، كعمر خطوط الأنابيب وحجم الشركة ونوع المادة المصنعة منها.
- إجراء دراسات طويلة (Longitudinal Studies) تتابع أثر برامج Pigging على مدى زمني يتراوح بين 3 و5 سنوات.
- إجراء تحليل الأثر الاقتصادي التفصيلي (Cost-Benefit Analysis) لمختلف أنواع Pigging لتحديد جدواها الاقتصادية بدقة.
- الاستعانة بأساليب إحصائية متقدمة كاختبار الوساطة (Mediation) عبر أسلوب Baron and Kenny أو أداة الماكرو Hayes J PROCESS، واختبار الإشراف (Moderation) وفق أسلوب Aiken and West، لفهم أعمق للآليات التي من خلالها تؤثر عمليات Pigging في كفاءة الصيانة.

9.5 التوصيات العامة

انسجاماً مع نتائج الدراسة ومناقشتها، توصي الدراسة في مجملها بما يلي:

- اعتماد خطط Pigging دورية ومنهجية محددة المواعيد، مع الاستثمار المستمر في تحديث تقنيات الفحص الذكية.
- دمج نتائج عمليات Pigging ضمن أنظمة إدارة الأصول واتخاذ القرار التشغيلي.
- إصدار لوائح تنظيمية وطنية تعزز الالتزام بمعايير الصناعة الدولية مثل API Standard 1160.
- تشجيع الشراكات البحثية بين القطاع الصناعي والجامعات لتطوير حلول Pigging محلية مبتكرة.

9.6 الخاتمة العامة

تؤكد هذه الدراسة، بما قدمته من أدلة إحصائية دالة عبر فرضياتها الأربع، أن عمليات Pigging ليست مجرد إجراء تقني روتيني، بل ركيزة استراتيجية في منظومة إدارة سلامة وكفاءة خطوط الأنابيب في قطاع النفط والغاز. وقد نجحت الدراسة في سد جزء من الفجوة البحثية القائمة عبر تقديم قياس كمي دقيق لأثر هذه العمليات على أبعاد كفاءة الصيانة الأربعة.

وفي ضوء ما تم عرضه من محددات ومقترحات بحثية مستقبلية، تبقى هذه الدراسة نقطة انطلاق يمكن البناء عليها لتعميق الفهم النظري والتطبيقي لعمليات Pigging، بما يخدم في نهاية المطاف تعزيز السلامة التشغيلية والاستدامة الاقتصادية والبيئية لقطاع النفط والغاز.

قائمة مراجع الفصل التاسع

Aiken, L. S., & West, S. G. (1991). Multiple regression: Testing and interpreting interactions. Sage.

Baron, R. M., & Kenny, D. A. (1986). The moderator-mediator variable distinction in social psychological research. *Journal of Personality and Social Psychology*, 51(6), 1173–1182.

Hayes, A.F. (2009). Beyond Baron and Kenny: Statistical mediation analysis in the new millennium. *Communication Monographs*, 76(4), 408–420.