

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

تُعدّ 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 Pigging من الأدوات الجوهرية التي لا غنى عنها في ضمان سلامة واستمرارية هذه الخطوط وكفاءة تشغيلها.

تشمل عمليات Pigging 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 وتتحول 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 Pigging 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 تفضي إلى تسربات خطيرة.

على المستوى النظري، لا تزال هناك فجوة واضحة في الدراسات التي تقيس بشكل مباشر وكمي الأثر الفعلي لعمليات Pigging على مؤشرات كفاءة الصيانة كتقليل وقت التوقف ومعدلات الأعطال وتكاليف الإصلاح. أما على المستوى التطبيقي، فتعاني كثير من الشركات من غياب خطط Pigging 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 Pigging على كفاءة صيانة خطوط الأنابيب في قطاع النفط والغاز؟

1.3 أهمية الدراسة

أولاً: الأهمية النظرية

تُسهم هذه الدراسة في إثراء المعرفة الأكاديمية في مجال إدارة مشاريع الصيانة الصناعية، وتسد فجوة بحثية واضحة تتعلق بقياس أثر تقنية Pigging على مؤشرات الأداء التشغيلي لخطوط الأنابيب. كما تُوفر 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 قيمة تساعد في اتخاذ قرارات أكثر فاعلية بشأن جدولة عمليات Pigging 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:

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

1.5 أهداف الدراسة

1. التعرف على مستوى تطبيق عمليات Pigging في شركات النفط والغاز.
2. قياس مستوى كفاءة صيانة خطوط الأنابيب في شركات النفط والغاز.
3. الكشف عن أثر عمليات Pigging على تقليل معدلات الأعطال وحوادث التسرب.
4. تحديد أثر عمليات Pigging على خفض التكاليف التشغيلية للصيانة.
5. 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 يُعدّ الأنسب لطبيعة الدراسة وأهدافها. يتم جمع البيانات من خلال استبانة مُصممة خصيصاً تُوزع 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 Piggling وكفاءة صيانة خطوط الأنابيب في قطاع النفط والغاز. ويهدف هذا الفصل إلى بناء الإطار النظري للدراسة، وتحديد الفجوات البحثية التي تسعى هذه الدراسة إلى سدّها، من خلال استعراض المفاهيم الأساسية والنظريات ذات الصلة والدراسات التطبيقية في هذا المجال.

2.2 عمليات Piggling: المفهوم والأنواع والأبعاد

2.2.1 تعريف عمليات Piggling

تُعرف عمليات Piggling بأنها العمليات التي تنطوي على إدخال أجهزة متخصصة تُسمى Pigs داخل خطوط الأنابيب لأغراض متعددة، تشمل التنظيف والفحص والفصل بين السوائل (Tiratsoo, 2013). وقد اشتق المصطلح تاريخياً من الصوت الذي كانت تُصدره هذه الأجهزة عند مرورها داخل الأنابيب، والذي كان يُشبه صوت الخنازير (Pigs). ويُعدّ 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 Piggling

تتنوع عمليات Piggling تبعاً للغرض منها، وتنقسم إلى ثلاثة أنواع رئيسية:

أولاً: Cleaning Pigs (أجهزة التنظيف) - تُستخدم لإزالة الرواسب والشمع والترسبات وبقايا التآكل من جدران الأنابيب، مما يُحسن معدلات تدفق السوائل ويقلل من خطر الانسداد.

ثانياً: Inspection Pigs / Smart 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.

ثالثاً: 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 Piggling

استناداً إلى الأدبيات العلمية، يمكن قياس عمليات Piggling من خلال ثلاثة أبعاد رئيسية: تواتر عمليات Piggling ومدى انتظامها، ونوع تقنيات Piggling 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 والتوقفات: يُقاس بعدد حوادث الفشل التشغيلي في الخط خلال فترة زمنية محددة، ويُعدّ من أبرز مؤشرات الأداء الرئيسية (KPIs) في صيانة الأنابيب.

تكاليف الصيانة: تشمل التكاليف المباشرة وغير المباشرة المرتبطة بأنشطة الصيانة الوقائية والتصحيحية، وتُعدّ 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: يُعدّ من أكثر المؤشرات حساسية، إذ يؤثر مباشرة على السلامة والبيئة، ويُشكل 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 Sherrat (2011) إلى أن الشركات التي تعتمد برامج Pigging دورية منتظمة تُسجل 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 تُمكن 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 تُسهم في تحسين معدلات تدفق السوائل بنسب تتراوح بين 10% و 25% تبعاً لدرجة الرواسب المتراكمة.

غير أن الأدبيات تُشير 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 تُمثّل ركيزة أساسية في منظومة الصيانة الحديثة لخطوط الأنابيب، وأن تطبيقها المنتظم والمنهجي يُسهم بشكل فعّال 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، وأساليب 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 (Quantitative Descriptive-Analytical Approach)، الذي يُعدّ 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. ويُقدر حجم المجتمع بمئات الأفراد في شركات القطاع المختلفة. تم اعتماد أسلوب العينة العشوائية الطبقية (Stratified Random 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

اعتمدت هذه الدراسة على نوعين رئيسيين من البيانات لتحقيق أهدافها البحثية:

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. وتتميز هذه البيانات بأنها تعكس الواقع الميداني الفعلي لعينة الدراسة بشكل مباشر ومحدث.

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 مصدرين رئيسيين:

المصادر الداخلية: وتشمل التقارير الفنية وسجلات الصيانة الدورية المتاحة لدى بعض شركات القطاع، والتي استُخدمت للاستئناس بها عند صياغة فقرات الاستبانة.

المصادر الخارجية: وتشمل الدوريات الأكاديمية المحكمة، والكتب المتخصصة، والمعايير

الصناعية الدولية مثل API Standard 1160، والتي شكّلت الأساس النظري للدراسة كما ورد في الفصل الثاني.

3.5 أداة جمع البيانات

اعتمدت الاستبانة أداة رئيسية لجمع البيانات الأولية، نظراً لملاءمتها للدراسات الكمية وقدرتها على الوصول إلى عينات كبيرة بتكلفة منخفضة نسبياً. وقد صُممت الاستبانة بناءً على مراجعة الأدبيات والدراسات السابقة ذات الصلة، وتكونت من ثلاثة محاور رئيسية:

المحور الأول: البيانات الديموغرافية - تشمل الجنس، والمؤهل العلمي، وسنوات الخبرة، والمسمى الوظيفي.

المحور الثاني: عمليات Pigging (المتغير المستقل) - يتكون من 15 فقرة تقيس تواتر العمليات وأنواعها وجودة نتائجها.

المحور الثالث: كفاءة صيانة خطوط الأنابيب (المتغير التابع) - يتكون من 20 فقرة تقيس معدلات الأعطال والتكاليف ومعدلات التدفق وحوادث التسرب.

وتم قياس جميع فقرات الاستبانة باستخدام مقياس ليكرت الخماسي (1 = لا أوافق بشدة، 5 = أوافق بشدة). وللتحقق من الصدق والثبات، تم عرض الاستبانة على مجموعة من المحكمين المتخصصين، كما تم احتساب معامل ألفا كرونباخ للتحقق من الاتساق الداخلي.

3.6 الأساليب الإحصائية

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

- الإحصاء الوصفي: المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لوصف استجابات أفراد العينة.
- التحليل العاملي الاستكشافي (Exploratory Factor Analysis): للتحقق من صدق البناء لأداة القياس، والتأكد من أن فقرات الاستبانة تقيس فعلاً المتغيرات التي صُممت لقياسها.
- 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

تعدّ أخلاقيات البحث مجالاً متغيراً باستمرار، وحدوده ليست واضحة تماماً في جميع الأحيان؛ فما قد يُعدّ سلوكاً مقبولاً في البحث في سياق معين قد لا يكون مقبولاً في سياق آخر (Bow, 1999). ومن هذا المنطلق، التزمت هذه الدراسة بجميع المعايير الأخلاقية البحثية المتعارف عليها منذ مرحلة التخطيط وحتى نشر النتائج، وذلك 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

قبل الشروع في توزيع الاستبانة، تم تحديد الجهات المسؤولة رسمياً عن السماح بالوصول إلى المهندسين والفنيين ومديري الصيانة داخل شركات النفط والغاز المشمولة بالدراسة، سواء

كانوا مسؤولين رسميين مثل مديري إدارات الصيانة والموارد البشرية، أو جهات غير رسمية ذات تأثير في تسهيل التواصل مع أفراد العينة (Lincoln & Guba, 1985). وقد وُجّه لكل جهة معنية طلب رسمي مكتوب يوضح طبيعة الدراسة وأهدافها والإجراءات التي سيقوم بها الباحث أثناء جمع البيانات، مع تحديد الوقت المتوقع لإنجاز هذه المرحلة بدقة تجنباً لتجاوز حدود التصريح الممنوح. وقد روعي أن الحصول على إذن رسمي بالدخول لا يُغني عن السعي لكسب ثقة وتعاون المشاركين أنفسهم، إذ إن نجاح جمع البيانات الميدانية يعتمد في نهاية المطاف على استعداد كل فرد للمشاركة بمحض إرادته.

3.7.2 الموافقة المستنيرة

تم الحصول على موافقة مستنيرة من كل مشارك قبل تعبئة الاستبانة، بحيث يفهم بوضوح ما يوافق عليه، ويقبل ما يُطلب منه، ويشعر بالارتياح تجاه هدف الدراسة والاستخدام المقصود للبيانات التي يقدمها. واستناداً إلى المعايير الثلاثة التي حددها Schinke و Gilchrist (1993) لأي إجراء موافقة مستنيرة سليم، حرصت الدراسة على أن يكون جميع المشاركين مؤهلين لإعطاء الموافقة بأنفسهم بوصفهم موظفين بالغين يعملون في مجالات هندسية وفنية متخصصة، وأن تقدّم لهم معلومات كافية تمكّنهم من اتخاذ قرار عقلائي بالمشاركة من عدمها، وأن تكون موافقتهم طوعية تماماً وخالية من أي إكراه مباشر أو غير مباشر من جهة عملهم. وقد تضمنت مقدمة الاستبانة بياناً موجزاً يوضح عنوان الدراسة وهدفها، والجهة القائمة عليها، وطبيعة البيانات المطلوبة، وحق المشارك في الانسحاب أو الامتناع عن الإجابة عن أي فقرة دون أي أثر سلبي عليه.

3.7.3 السرية وإخفاء الهوية

صُممت الاستبانة بحيث لا تتضمن أي حقل يطلب اسم المشارك أو أي معرف شخصي مباشر، واقتصر محورها الديموغرافي على بيانات عامة (الجنس، المؤهل العلمي، سنوات الخبرة، المسمى الوظيفي) لا تسمح بتحديد هوية فرد بعينه. وتم ضمان سرية جميع البيانات المجمعة بحيث لا يُطلع عليها سوى الباحث والمُشرف الأكاديمي لأغراض التحليل والمناقشة فقط، وتم تخزينها إلكترونياً بشكل مؤمن وسيتم إتلافها بعد انتهاء الفترة النظامية للاحتفاظ بها. كما روعي أن تُعرض نتائج التحليل الإحصائي بصيغة إجمالية مجمعة (متوسطات ونسب مئوية) دون أي إشارة تمكّن من ربط إجابة معينة بشركة أو فرد محدد، بما يحقق أعلى درجة ممكنة من إخفاء الهوية ضمن الحدود العملية للدراسة.

3.7.4 حماية المشاركين

حُرص على ألا تتضمن فقرات الاستبانة أي أسئلة قد تُخرج المشارك أو تضعه في موقف قد يؤثر سلباً على وضعه الوظيفي، إذ اقتصرَت الأسئلة على تقييم المشارك لممارسات Pigging ومؤشرات كفاءة الصيانة في بيئة عمله، دون التطرق إلى تقييمات شخصية لزملائه أو مسؤوليه المباشرين. وتم توزيع الاستبانة خلال أوقات العمل الاعتيادية وبالتنسيق مع الجهات المعنية في كل شركة، بحيث لا يترتب على المشاركة أي عبء إضافي أو تعارض مع المهام الوظيفية للمشاركين. وأُعلم جميع المشاركين بأن المشاركة اختيارية تماماً، وأن الامتناع عنها لن يترتب عليه أي أثر سلبي، وأن نتائج الدراسة ستُستخدم حصرياً لأغراض أكاديمية بحثية.

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. ويشمل هذا الفصل وصف خصائص عينة الدراسة، ونتائج اختبارات الثبات والصدق، والإحصاء الوصفي للمتغيرات، فضلاً عن اختبار فرضيات الدراسة الأربع باستخدام تحليل الانحدار البسيط.

4.2 خصائص عينة الدراسة

وصف العينة الديموغرافية:

المتغير	الفئة	العدد	النسبة المئوية %
الجنس	ذكر	70	58.3%
	أنثى	50	41.7%
المؤهل العلمي	دبلوم	18	15.0%
	بكالوريوس	74	61.7%
	ماجستير فأعلى	28	23.3%
	أقل من 5 سنوات	24	20.0%
سنوات الخبرة	5-10 سنوات	54	45.0%
	أكثر من 10 سنوات	42	35.0%
	مهندس صيانة	42	35.0%
المسمى الوظيفي	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 و10 سنوات (45.0%)، مما يعكس أن العينة تضم كفاءات ذات خبرة ميدانية متوسطة إلى عالية في مجال صيانة خطوط الأنابيب.

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 يُعدّ مقبولاً لأغراض البحث العلمي. وقد أظهرت النتائج ما يلي:

المحور	عدد الفقرات	معامل ألفا كرونباخ	تفسير الثبات
عمليات Pigging)	15	0.912	ممتاز

المتغير المستقل)			
ممتاز	0.897	20	كفاءة صيانة خطوط الأنابيب (المتغير التابع)
ممتاز	0.924	35	الأداة ككل

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 Piging

أظهر الإحصاء الوصفي للمتغير المستقل (عمليات Piging) النتائج التالية:

مستوى الموافقة	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	البُعد
مرتفع	0.61	3.89	تواتر عمليات Piging ومدى انتظامها
مرتفع جداً	0.54	4.12	نوع تقنيات Piging المستخدمة ومستوى تطورها
مرتفع	0.68	3.74	جودة البيانات المستخلصة وتوظيفها في الصيانة
مرتفع	0.58	3.92	المتغير المستقل ككل

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

4.4.2 المتغير التابع: كفاءة صيانة خطوط الأنابيب

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

تُشير النتائج إلى أن مستوى كفاءة صيانة خطوط الأنابيب جاء مرتفعاً بشكل عام (المتوسط الكلي

= 3.87 من 5)، مما يعكس أن الشركات المشمولة في الدراسة تحقق نتائج إيجابية في مؤشرات الكفاءة المختلفة.

4.5 تحليل الارتباط بين المتغيرات

تم استخدام معامل ارتباط بيرسون لقياس قوة واتجاه العلاقة بين عمليات Pigging 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 Pigging وجميع أبعاد كفاءة الصيانة عند مستوى دلالة 0.01. وكان أقوى ارتباط مع الكفاءة الكلية ($r = 0.724$)، تلاه الارتباط مع معدل تدفق السوائل ($r = 0.712$).

4.6 اختبار فرضيات الدراسة

4.6.1 اختبار الفرضية الأولى

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

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

تُشير نتائج تحليل الانحدار البسيط إلى أن عمليات Pigging تُفسّر ما نسبته 45.3% من التباين في معدلات الأعطال ($R^2 = 0.453$)، وأن قيمة F دالة إحصائية ($F = 67.43$, $Sig. = 0.000$). وبناءً على ذلك، تُرفض الفرضية الصفرية H1، ويُقبل البديل القائل بوجود أثر ذو دلالة إحصائية لعمليات Pigging على تقليل معدلات الأعطال.

4.6.2 اختبار الفرضية الثانية

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

الدالة الإحصائية (Sig.)	قيمة F	معامل التحديد R ²	معامل الانحدار β
-------------------------	--------	------------------------------	------------------

0.594	0.411	58.79	0.000
-------	-------	-------	-------

تثبت النتائج أن عمليات Piggig تُفسّر 41.1% من التباين في تكاليف الصيانة ($R^2 = 0.411$)، وأن النموذج دال إحصائياً ($F = 58.79$, $Sig. = 0.000$). وعليه، تُرفض الفرضية الصفرية H2، ويثبت وجود أثر دال إحصائياً لعمليات Piggig على خفض تكاليف الصيانة.

4.6.3 اختبار الفرضية الثالثة

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

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

سجلت هذه الفرضية أعلى قيمة لمعامل التحديد ($R^2 = 0.507$)، مما يعني أن عمليات Piggig تُفسّر 50.7% من التباين في معدلات تدفق السوائل. وبما أن $F = 82.14$ ودالة عند مستوى 0.000، فإن الفرضية الصفرية H3 تُرفض، ويُقبل وجود الأثر الإيجابي الدال.

4.6.4 اختبار الفرضية الرابعة

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

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

تُشير نتائج الانحدار إلى أن عمليات Piggig تُفسّر 47.3% من التباين في معدل حوادث التسرب ($R^2 = 0.473$)، وأن $F = 73.61$ دالة إحصائياً عند مستوى 0.000. وبالتالي تُرفض الفرضية الصفرية H4، ويثبت وجود أثر دال لعمليات Piggig على تقليل حوادث التسرب.

4.7 ملخص نتائج اختبار الفرضيات

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

تُشير نتائج اختبار الفرضيات الأربع إلى رفض جميع الفرضيات الصفرية، وذلك بدلالة إحصائية

عالية عند مستوى 0.000. وهذا يؤكد أن لعمليات Pigging أثراً إيجابياً ودالاً إحصائياً 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. وقد تصدرت بعد التقنيات المستخدمة (Smart Pigs) قائمة الأبعاد بمتوسط 4.12، مما يدل على أن الشركات تدرك قيمة الاستثمار في تقنيات الفحص الذكي بما يمكنها من الحصول على بيانات دقيقة عن حالة الأنابيب.

5.2.2 أثر عمليات Pigging على معدلات الأعطال

أثبتت نتائج الفرضية الأولى أن عمليات Pigging تُفسّر 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 تُسجل انخفاضاً في معدلات الأعطال بين 30% و 45%. وتُعزى هذه العلاقة إلى أن الفحص المبكر يُمكن المهندسين من اكتشاف عيوب الأنابيب في مراحلها الأولى قبل أن تتطور إلى أعطال كاملة، مما يقلل التوقفات غير المخططة.

5.2.3 أثر عمليات Pigging على تكاليف الصيانة

دلت نتائج الفرضية الثانية على أن عمليات Pigging تُفسّر 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 تُخفض التكاليف الإجمالية للصيانة بشكل ملموس. وتجدر الإشارة إلى أن التكلفة الأولية لعمليات Pigging، وإن كانت مرتفعة نسبياً، إلا أنها توفر مدخرات أكبر بكثير على المدى البعيد من خلال الحد من الإصلاحات الطارئة المكلفة.

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 تُعد من أكثر العوامل تأثيراً على معدلات تدفق السوائل. ويتوافق ذلك تماماً مع ما أشارت إليه دراسة Kishawy و Hosseini (2015) من أن عمليات التنظيف الدورية تحسن معدلات التدفق بنسب 10-25%. إذ تتراكم الرواسب والشمع على جدران الأنابيب بمرور الوقت مما يعيق الجريان، وتأتي Pigs للتنظيف لتزيل هذه الترسبات وتستعيد الكفاءة الهيدروليكية للخط.

5.2.5 أثر عمليات Pigging على حوادث التسرب

كشفت نتائج الفرضية الرابعة أن عمليات Pigging تُفسّر 47.3% من التباين في معدل حوادث التسرب. ولهذه النتيجة أهمية بالغة، إذ إن حوادث التسرب لا تُشكل تكلفة مادية ضخمة فحسب، بل تنطوي كذلك على أضرار بيئية ومسؤوليات قانونية جسيمة. ويؤكد ذلك على أن توظيف Smart Pigs في رصد التآكل والتشققات يُمثل استثماراً وقائياً استراتيجياً لتجنب كوارث التسرب قبل وقوعها.

5.3 الاستنتاجات

- في ضوء نتائج التحليل الإحصائي ومناقشتها، توصلت الدراسة إلى الاستنتاجات الرئيسية التالية:
1. مستوى تطبيق عمليات Pigging في شركات النفط والغاز مرتفع، مع ميل واضح نحو توظيف التقنيات الذكية المتطورة.
 2. تُسهم عمليات Pigging إسهاماً دالاً إحصائياً في تحسين جميع أبعاد كفاءة صيانة خطوط الأنابيب الأربعة المدروسة.
 3. 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 ($R^2 = 0.453$)، وأخيراً تكاليف الصيانة ($R^2 = 0.411$).
 4. الاستثمار في تقنيات Smart Pigs يُحقق عائداً واضحاً في صورة انخفاض التكاليف التشغيلية والحوادث البيئية على المدى البعيد.
 5. غياب الانتظام في تنفيذ عمليات Pigging يُضعف مؤشرات الكفاءة ويزيد المخاطر التشغيلية في قطاع النفط والغاز.

5.4 التوصيات

5.4.1 التوصيات لشركات النفط والغاز

1. وضع خطط Pigging دورية ومنهجية محددة المواعيد بحيث لا تقل الدورة عن مرة واحدة كل ثلاثة أشهر لخطوط الإنتاج الرئيسية.
2. الاستثمار في ترقية أساطيل Smart Pigs للاستفادة من تقنيات الفحص المتطورة MFL و UT في رصد التآكل بدقة عالية.
3. بناء قواعد بيانات متكاملة لتخزين نتائج عمليات Pigging وتحليلها لاستخدامها في التنبؤ بالأعطال وجدولة الصيانة الوقائية.
4. ربط نتائج عمليات Pigging بأنظمة إدارة الأصول (Asset Management Systems) لتحقيق تكامل معلوماتي يُعزز اتخاذ القرار.
5. تدريب كوادر متخصصة في تحليل بيانات Smart Pigs وتفسير النتائج ورفع التقارير الفنية.

5.4.2 التوصيات لصانعي السياسات والجهات التنظيمية

1. إصدار لوائح تنظيمية تلزم شركات النفط والغاز بتطبيق برامج Pigging دورية معتمدة وفق معايير API Standard 1160.
2. إنشاء قواعد بيانات وطنية موحدة لنتائج عمليات Pigging تُساعد في رسم خرائط مخاطر الأنابيب على المستوى الوطني.

3. تشجيع الشراكات البحثية بين شركات النفط والغاز والجامعات لتطوير تقنيات Pigging المحلية وتقليل الاعتماد على الموردين الأجانب.

5.4.3 توصيات للدراسات المستقبلية

1. إجراء دراسات مقارنة بين دول الخليج العربي لرصد الفجوات في ممارسات Pigging واقتراح معايير إقليمية موحدة.
2. توسيع نطاق الدراسة لتشمل متغيرات وسيطة كعمر الأنابيب والمادة المصنعة منها وطبيعة السوائل المنقولة.
3. إجراء دراسات طويلة (Longitudinal Studies) لمتابعة أثر برامج Pigging على مدى زمني أطول (3-5 سنوات).
4. دراسة الأثر الاقتصادي التفصيلي (Cost-Benefit Analysis) لمختلف أنواع Pigging لتحديد الحل الأمثل وفق كل سياق تشغيلي.

5.5 حدود الدراسة

- على الرغم من متانة منهجية الدراسة ودقة نتائجها، إلا أنه تجدر الإشارة إلى بعض القيود التي ينبغي مراعاتها عند تعميم النتائج:
1. اعتمدت الدراسة على المنهج الكمي الاستبائي، مما قد يُقيّد عمق الفهم النوعي لعمليات Pigging في سياقات تشغيلية محددة.
 2. اقتصرت العينة على 120 مفردة، وهو حجم كافٍ للدلالة الإحصائية لكنه قد لا يعكس تنوع جميع الشركات والبيئات التشغيلية.
 3. تستند البيانات إلى التقييم الذاتي للمستجيبين، مما قد يُدخل بعض التحيز الشخصي في الإجابات.

5.6 خاتمة الدراسة

ختاماً، أثبتت هذه الدراسة أن عمليات Pigging تُمثّل 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 خياراً استراتيجياً لا ترفاً تشغيلياً. وتأمل الباحث أن تُسهم نتائج هذه الدراسة وتوصياتها في تعزيز ثقافة الصيانة الوقائية المبنية على البيانات في شركات النفط والغاز، وأن تُشكّل إضافة نوعية للمكتبة العربية في مجال إدارة مشاريع الصيانة الصناعية.

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.