

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

تعدّ 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 تعرف 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 ظلّ 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 تفضي إلى 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

تُسهّم 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 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 Pigging وتخصيص الموارد اللازمة لها. كما تُقدّم 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 Piggging 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 تصدره 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

تنوع 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 تُعيق 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 وتحسّن مؤشرات كفاءة الصيانة. فقد خلصت دراسة Palmer و Sherrat (2011) إلى أن الشركات التي تعتمد برامج Pigging دورية منتظمة تُسجّل 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 يُوفّر 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 المُحكمة.

قائمة المراجع

- 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 (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. ويُقدّر 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 أداة جمع البيانات

اعتمدت الاستبانة أداة رئيسية لجمع البيانات الأولية، نظراً لملاءمتها للدراسات الكمية وقدرتها على الوصول إلى عينات كبيرة بتكلفة منخفضة نسبياً. وقد صُمّمت 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 المحكّمين المتخصصين، كما تم احتساب معامل ألفا كرونباخ للتحقق من الاتساق الداخلي.

3.5 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.
- 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.