

جامعة وادي النيل كلية الهندسة والتقنية قسم الهندسة الميكانيكية



دراسة المشاكل في خطوط الأنابيب البترولية في السودان بحث مقدم للإستيفاء الجزئي للحصول على درجة بكالوريوس الشرف في الهندسة الميكانيكية

Study of Problems in Petroleum Pipelines in Sudan Research Submitted for Partial Fulfillment of the Degree of Bachelor in Mechanical Engineering

إعداد الطلاب: أحمد علي مصطفي محمد أحمد محمد علي محمد محمد المجتبى عمادالدين محمد صالح

إشراف الدكتور / أسامة محمد المرضي سليمان خيال يناير 2024 م



الآية

قال تعالي:

" وفي الأرض عايت للموقنين *

وفي أنفسكم أفلا تبصرون * وفي

السماء رزقكم وما توغدون "

سورة الذاريات

إمداء

DEDICATION

إلى التي علمتني كيف يكون الإبحار ضد تيار الزمن ونصب أشرعة الصبر في قارب اليقين وعلمتني كيف يكون الصمود على المبادئ لنيل الأماني ... إلى ذلك الطود الشامخ وذلك البحر العباب الذي علمني كيف أعشق العمل وأصله وكيف يكون العلم سلاح لا يقاوم على مر الزمان ...

إلى من هم أعز على من نفسي ... إخواني الأعزاء

إلى من رحلوا عن دنيانا الفانية وكانوا سندا في هذه الرحلة الجميلة طيب الله ثراه الفقيد الباشمهندس/ أسامة أحمد فضل ... المعلم والأب الجليل طيب الله ثراه الفقيد باشمهندس/ منصور نواوي ... إلى روح الشهيد البطل/ عثمان مكاوي وجميع شهداء جيشنا البواسل الذين علمونا معني الثبات والمرابطين للدفاع عن العرض والوطن ... نسأل الله تعالي أن ينصرهم وأن يثبت أقدامهم

إلى الشهداء والمرابطين في أكناف بيت المقدس ضد العدو المحتل ... يقاتلون ليل نهار لتحقيق وعد الله في الأرض ... نسأل الله تعالي أن يقاتلون ليل نهار لتحرهم وأن يثبت أقدامهم.

شكر وتقدير

Acknowledgement

الشكر لذوي الممم محال ...

ولا يسعنا إلا التعبير البسيط ...

الشكر لبياري العلم التي ترفرف في كل مجال أسري أساتخة قسم المندسة الشكر لبياري العلم التي الميكانيكية ...

إلى بدر العلم الغائض بجودة الدكتور المشرف على البحث

الدكتور الباهممندس / أسامة محمد المرضي سليمان حيال ...

إلي الشركة السودانية لخطوط أنابيب البترول — قطلع عُطبرة "قِسم السلامة"

إلى وزارة النهط والغاز " جسم السلامة والبيئة"

وإلي كل من أعطانا معلومة ساعدتنا في إنجاز هذا العمل ...

والله الشكر من قبل ومن بعد ...

فهرس المحتويات

Table of Contents

رقم	وضوع	الم_	
الصفحة			
ii	الآيــــــــــــــــــــــــــــــــــــ		
iii	إهــــــداء		
iv	شكر وتقديــــر		
V	فهرس المحتويات		
ix	قائمة الأشكال		
х	قائمة الجداول		
хi	مستخلص الدراسة		
xiii	Study Abstract in English		
مودان	الفصل الأول: مقدمة في دراسة المشاكل في خطوط الأنابيب البترولية في السودان		
1	مقدمة	1.1	
1	أهمية الدراسة	1.2	
1	أهداف الدراسة	1.3	
2	تسلسل الدراسة	1.4	
	الفصل الثاني: خلفية تاريخية للدراسة		
3	تاريخ نقل وإستخلاص البترول	2.1	
5	نقل البترول	2.2	
6	خطوط الأنابيب	2.2.1	
6	السكك الحديدية	2.2.2	
6	النقل البري بالشاحنات	2.2.3	

7	النقل البحري بالسفن (ناقلات النفط)	2.2.4
9	النفط في السودان	2.3
10	خارطة السودان النفطية	2.4
11	الإحتياطيات المؤكدة وتطوير الحقول النفطية	2.4.1
11	خطوط نقل الخام في السودان	2.4.2
12	خطوط نقل المنتجات النفطية في السودان	2.4.3
	الفصل الثالث: خطوط الأنابيب البترولية	
15	خط الأنابيب	3.1
15	أنظمة نقل خطوط الأنابيب البترولية السائلة	3.2
15	الأنبوب الفعلي	3.2.1
16	محطات قياس التدفق	3.2.2
16	أنظمة الكشط	3.2.3
17	محطات تعزيز الضغط	3.2.4
17	أنظمة كشف التسرب	3.2.5
18	مرافق التخزين ومحطات الإستلام	3.2.6
18	أنظمة إدارة السلامة	3.2.7
18	نظام الصيانة الوقائية	3.2.8
19	نظام إدارة المخاطر	3.2.9
19	أنواع خطوط الأنابيب البترولية	3.3
19	تصميم وتشغيل خطوط الأنابيب	3.4
19	قطر خط الأنابيب	3.4.1
20	سمك جدار خط الأنابيب	3.4.2
20	نوع مادة خط الأنابيب	3.4.3
21	الطلاء الخارجي للأنابيب	3.4.4

21	مسار خط الأنابيب وعامل التصميم	3.4.5	
الفصل الرابع: مشاكل خطوط الأنابيب البترولية في السودان			
22	فشل خطوط الأنابيب	4.1	
23	حصر مشاكل خطوط الأنابيب البترولية	4.2	
23	المشاكل الميكانيكية	4.2.1	
25	المشاكل التشغيلية	4.2.2	
26	المشاكل الطبيعية	4.2.3	
26	المشاكل بسبب العوامل الخارجية "ضرر الطرف الثالث"	4.2.4	
28	التقييم الكيفي للمخاطر	4.3	
	الفصل الخامس: مناقشة الدراسة		
32	تأثير مشاكل خطوط الأنابيب على تكلفة إنشاء وتشغيل	5.1	
	الخط		
32	تحديد مسار خط الأنابيب	5.2	
34	حماية خط الأنابيب	5.3	
34	تغليف خطوط الأنابيب	5.4	
35	التغليف بأساس من قطران الفحم	5.4.1	
36	التغليف الشريطي	5.4.2	
36	الأغلفة البلاستيكية القابلة للتقلص حراريا	5.4.3	
36	أغلفة البولي إيثلين	5.4.4	
37	أغلفة الإيبوكسي الملصقة بالصهر	5.4.5	
37	الحماية من التآكل	5.5	
38	الحماية الكاثودية	5.6	
40	نظافة وفحص خطوط الأنابيب ونظام الكشط	5.7	
41	فرشاة التدفق المغناطيسي	5.7.1	

42	فرشاة الموجات فوق الصوتية	5.7.2
43	نظام الإشراف والمراقبة وجمع البيانات والتحكم بها	5.8
	(إسكادا)	
45	صيانة خطوط الأنابيب البترولية	5.9
46	تكاليف صيانة خطوط الأنابيب البترولية	5.10
	الفصل السادس: الإستناجات والتوصيات	
47	الإستناجات	6.1
47	التوصيات	6.2
الكتب والمراجع		
49	الكتب والمراجع العربية	
50	الكتب والمراجع الإنجليزية	

قائمة الأشكال

رقم	عنوان الشكل	رقم
الصفحة		الشكل
2	خوارزمية تسلسل الدراسة	1.1
7	متوسط التكلفة لنقل برميل واحد لمسافة ميل واحد	2.1
8	متوسط الوفيات في السنة بسبب الإنسكابات	2.2
9	عدد البراميل المنسكبة لكل مليون طن يتحرك مسافة ميل	2.3
10	خارطة السودان النفطية	2.4
16	الكاشطة	3.1
22	فشل خط الأنابيب	4.1
28	الإنسكابات بسبب المشاكل (برميل في السنة)	4.2
29	مفهوم مصفوفة التقييم الكيفي للمخاطر	4.3
31	مصفوفة التقييم الكيفي للمخاطر (المستنتجة)	4.4
33	ممر مسار خط الأنابيب	5.1
34	حماية خط الأنابيب من الصدمات	5.2
35	طرق التغليف النموذجية للأنابيب	5.3
39	العناصر الأساسية للتآكل	5.4
39	مناطق الكاثود والانود	5.5
42	فرشاة التدفق المغناطيسي	5.6
43	فرشاة الموجات فوق الصوتية	5.7
45	الرسم التخطيطي الهيكلي لنظام (SCADA)	5.8

قائمة الجداول

رقم	عنوان الجدول	رقم
الصفحة		الجدول
13	خطوط أنابيب نقل المنتجات البترولية الداخلية في السودان	2.1
30	تقييم المخاطر المتعلقة بمشاكل خطوط الأنابيب البترولية حسب	4.1
	مجال الخطر وإحتمالية حدوثها	
37	التكلفة النسبية لطرق التغليف المختلفة	5.1

مستخلص الدراسة

(Study Abstract)

يتميز البترول عن غيره من مصادر الطاقة الأخرى بمشتقاته التي تتواجد في حالة صلبة أو سائلة أو غازية مما يزيد من المخاطر الصحية والبيئية ويمكن أن يسبب تلوث الماء والتربة أثناء عملية نقله كما يتميز نقل البترول ومنتجاته بواسطة خطوط الأنابيب عن غيرها من طرق النقل في أنها الطريقة الأكثر كفاءة.

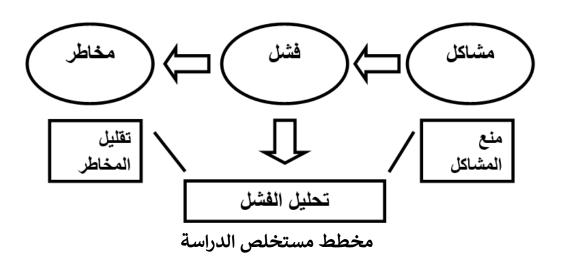
دراسة المشاكل في خطوط الأنابيب البترولية في السودان حيث أن عملية النقل بواسطة خطوط الأنابيب البترولية و بالرغم من كونها الطريقة الأكثر كفاءة لنقل البترول و مشتقاته إلا أنها تتعرض لكثير من المشاكل التي تسبب ما يسمي برفشل خطو الأنابيب البترولية) إذ أن الفشل أمر أساسي في الهندسة و بدوره يسبب الكثير من المخاطر في شتي المجالات (بيئية ، إقتصادية) و قد تسبب حرائق و إنفجارات تؤدي إلي إصابات و خسائر بشرية و علي مستوي الممتلكات و تكمن مشكلة البحث في كيفية تحليل هذا الفشل لمنع حدوث المشاكل أو تقليل مخاطرها .

تمت الإحاطة بالمشاكل في خطوط الأنابيب البترولية في السودان عبر المراجع التي تناولنا منها البيانات بالمشاكل و الطرق المستخدمة للتعامل معها و الأنظمة الخاصة بها و أيضا ما شكل قاعدة ثابتة تستند عليها دراستنا هي الزيارات الميدانية التي أجرتها مجموعتنا وكانت وجهتنا إلي (الشركة السودانية لخطوط أنابيب البترول – قطاع عطبرة) " قسم السلامة " و أيضا توجهنا إلي (وزارة النفط و الغاز) "قسم السلامة و البيئة " ، و تعرفنا علي المشاكل التي تحدث في خطوط الأنابيب البترولية و طبيعتها و النظم المتبعة من قبل الشركات المشغلة لخطوط أنابيب البترول لمواجهة هذه التحديات .

و من خلال تحليل البيانات و النتائج توصلنا إلى طريقة تمكننا من تصنيف مشاكل خطوط الأنابيب و المخاطر المتعلقة بها ، من ثم أجرينا تقييم كيفي لهذه المخاطر ووضعنا النتائج في مصفوفة تحليل كيفي خاصة بهذه الدراسة تساعد في ترتيب مهام الصيانة حسب الأولوية ، أما من خلال معرفة الأنظمة المتبعة من قبل الشركات المشغلة لخطوط الأنابيب في محارية

المشاكل و تدارك الفشل و مميزات كل طريقة أجرينا مناقشة لتحديد جدوي لهذه الطرق من ناحية تأثير إستخدام الطرق المختلفة في مواجهة المشاكل على تكلفة الصيانة.

وجدنا أنه من الضروري الحرص علي تقييم المخاطر بطريقة كمية لتحري الدقة في النتائج، كما يجب إستخدام أحدث أنظمة المراقبة و الإشراف في مراقبة عمل خطوط الأنابيب البترولية وذلك للتسريع من عملية كشف المشكلة و الخطر لأن المخاطر البيئية لتسرب البترول أو المنتج المنقول يمكن أن تسبب أضرار كارثية مع مرور الزمن و أيضا وضع خطط سلامة و إجراء صيانة مناسبة لتفادي هذه المخاطر.



Study Abstract in English

Petroleum is distinguished from other energy sources by its derivatives that exist in a solid, liquid or gaseous state, which increases health and environmental risks and can cause air, water and soil pollution during its transportation process. Transporting petroleum and its products by pipelines is also distinguished from other methods of transportation in that it is the most efficient method.

Study of the problems in petroleum pipelines in Sudan, as the process of transportation by petroleum pipelines, although it is the most efficient way to transport petroleum and its derivatives, is exposed to many problems that cause what is called (petroleum pipeline failure), as failure is essential in Engineering, in turn, causes many risks in various fields (environmental, economic) and may cause fires and explosions that lead to human and property injuries and losses. The research problem lies in how to analyze this failure to prevent the occurrence of problems or reduce their risks.

The problems in petroleum pipelines in Sudan were covered through references from which data were collected on the problems, the methods used to deal with them, and their regulations. Also, what formed a firm base on which our study was based were the field visits conducted by our group, and our destination was the Sudanese Petroleum Pipeline Company - Atbara Sector (Safety Department). Other survey visits were made to the Ministry of Oil and Gas (Safety and Environment Department), and learned about the problems that occur in petroleum

pipelines, their nature, and the systems followed by companies operating petroleum pipelines to confront these challenges.

Through analyzing the data and results, we reached to a method that enables us to classify pipeline problems and the risks related to them. We then conducted a qualitative assessment of these risks and placed the results in a qualitative analysis matrix specific to this study that helps in arranging maintenance tasks according to priority. As for knowing the systems, a discussion was conducted to determine the feasibility of these methods in terms of the impact of using different methods to confront problems on the cost of maintenance.

It is found that, it is necessary to be careful to evaluate risks in a quantitative manner to ensure accuracy in the results. The latest monitoring and supervision systems must also be used to monitor the operation of petroleum pipelines in order to speed up the process of detecting the problem and danger because the environmental risks of oil leakage or the transported product can cause catastrophic damage. Over time, safety plans must be developed and appropriate maintenance carried out to avoid these risks.

الفصل الأول

مقدمة في دراسة المشاكل في خطوط الأنابيب البترولية في السودان

(Introduction to Studying Problems in Petroleum Pipelines in Sudan)

1.1 مقدمة: (Introduction)

تعتمد الكثير من البلدان إقتصاديا على البترول بإعتباره أهم مادة خام على وجع الأرض حاليا و يشكل نقل الخام و منتجاته أهمية كبيرة ، لذلك فإن التشغيل السلس و الخالي من المشاكل لخطوط الأنابيب البترولية التي تعتبر أكبر وسيلة لنقل الخام و المنتجات البترولية و أكثرها كفاءة ذو أولوية في الأهمية ، وتؤدي المشاكل في خطوط الأنابيب البترولية إلى خسائر مالية كبيرة و أيضا قد تؤدي إلى كوارث و إنفجارات و خسائر بشرية ، غير التلف في الأجزاء المكونة لها الذي ينتج عن الإهمال أو قد يكون عن طريق الضغوط العالية و العمل المستمر أو الكلال .

1.2 أهمية الدراسة: (The Importance of the Study)

تتناول هذه الدراسة بشكل عام المشاكل التي تحدث في خطوط الأنابيب البترولية و بالأخص في السودان و تتطرق إلى دراسة الحلول الخاصة بها و تقنيات كشف و إحتواء المخاطر التي تسببها هذه المشاكل ومعرفة النظم المتبعة من قبل شركات البترول لمواجهة هذه التحديات و كنتيجة لهذه المعرفة زيادة الوعى الطبيعى بمشاكل خطوط الأنابيب البترولية.

1.3 أهداف الدراسة: (Objectives of the Study)

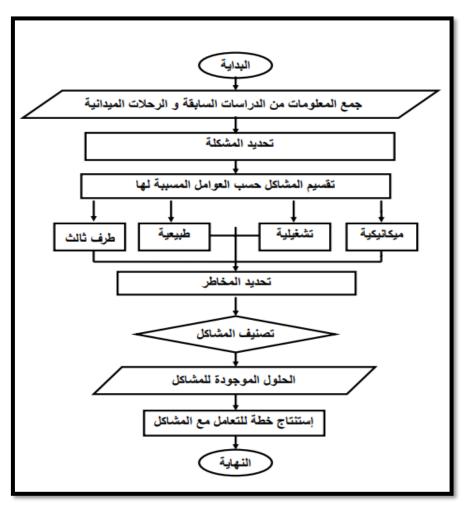
- 1. حصر المشاكل التي تحدث في الخطوط البترولية والمخاطر التي تعرقل سير عملية النقل بصورة طبيعية.
- 2. البحث عن حلول للمشاكل بعد وقوعها للعمل على تطوير أساليب حل المشكلة عبر تحليل الفشل المتعلق بالمشاكل.

البحث عن طرق للوقاية وتفادي المشاكل وتداركها قبل وقوعها و دراسة طرق الكشف و الفحص و تأثير الطرق المستخدمة في محاربة المشاكل على تكاليف الشركات المشغلة.

1.4 تسلسل الدراسة: (Study Sequence)

- 1. جمع المعلومات عن المشاكل من الدراسات السابقة والرحلات الميدانية.
- 2. حصر المشاكل في الخطوط البترولية وتصنيفها حسب مجال الخطر والتعرف على طرق الفحص للكشف عنها.
 - 3. تحديد المخاطر المترتبة على المشاكل والحلول المتوفرة للحد من المشاكل.
 - 4. إستنتاج خطط للتعامل من هذه المشاكل.

جميع هذه الخطوات في تسلسل الدراسة موضحة فيما أسميناه خوارزمية تسلسل الدراسة كما في الشكل 1.1 أدناه.



شكل 1.1 خوارزمية تسلسل الدراسة

الفصل الثاني

خلفية تاريخية للدراسة

(Historical Background of the Study)

2.1 تاریخ نقل واستخلاص البترول: History of Petroleum Transportation and (Extraction)

عرف الإنسان استعمال البترول منذ آلاف السنين فقد استعمله قدماء المصريين في دهان المومياوات لحفظها كما استعمله ملك بابل حوالي 600 قبل الميلاد في أعمال البناء ورصف الطرق، أما في أمريكا فقد قام الهنود الحمر باستعمال النفط كوقود كما استعملوه أيضا في علاج الأمراض وذلك قبل دخول المستعمرين البيض بمئات السنين.

وفي عام 1750م وجد المستعمرون البيض في أمريكا العديد من التسريبات السطحية للنفط في نيويورك وبنسلفانيا وفرجينيا، كما أن كثيراً من الآبار الضحلة التي حفرت في ذلك الوقت بغرض إنتاج الملح كانت تنتج النفط، إلا أن منتجي الملح حينئذ لم يعيروا النفط أي اهتمام باعتباره مادة لا استعمال لها.

قد ازداد استعمال النفط بصورة كبيرة في الأربعينات من القرن الماضي عندما قام جيولوجي كندي يدعى (أبراهام جسنر) باكتشاف الكيروسين الذي يمكن الحصول عليه بتقطير الفحم أو النفط، وقد أدى استخدام الكيروسين في الإضاءة إلي ارتفاع قيمة النفط بسرعة مذهلة غير أن معظم المؤرخين يعتبرون أن صناعة البترول بدأت تبرز كإحدى الصناعات الهامة.

بحلول 1859م عندما قام مواطن أمريكي يدعى إدوين دريك بحفر أول بئر منتجة للنفط بالقرب من تيتوسيفل بولاية بنسلفانيا بالولايات المتحدة وبعد أن بدأت بئر دريك في إنتاج النفط تبعه كثيرون في حفر المزيد من الآبار في نفس المنطقة، وخلال ثلاث سنوات ازداد إنتاج النفطي تلك المنطقة بصورة كبيرة لدرجة أن سعر البرميل النفط انخفض من دولارين إلى عشرة سنتات. وبسرعة توالت اكتشافات النفط في كثير من لولايات الأمريكية مثل تكساس، وأوهايو، وكنتاكي،

وانديانا. بعد ذلك بدأ الإنتاج التجاري للنفط في شى بقاع الأرض فبدأت ايطاليا في إنتاج النفط سنة 1860، ثم تبعتها بعد ذلك كندا، بولندا، بيرو، ألمانيا، روسيا، فنزويلا، الهند، اندونيسيا، اليابان، ترينيداد، المكسيك، والأرجنتين، أما في منطقة الشرق الأوسط فكان أول الاكتشافات الهامة لنفط في إيران سنة 1908، ثم العراق سنة 1927، ثم في المملكة العربية السعودية سنة 1938، بعدها توالت الاكتشافات البترولية في دول الخليج العربي حيث اكتشف الكثير من الحقول النفطية الكبيرة بتلك الدول.

وقد ظل الكيروسين المنتج البترولي الرئيسي حتى بداية القرن العشرين، فحوالي سنة 1900 اكتشفت الإضاءة الكهربائية وكذلك السيارات التي تعمل بالجازولين (البنزين)، وبالتالي انخفض الطلب على الكيروسين، وبدا استعمال البنزين على نطاق واسع ليحل محل الكيروسين كمنتج بترولي رئيسي، و في ذلك الوقت كان كل 100 برميل من النفط تنتج 11 برميلا من الجازولين و ذلك قاد معامل التكرير إلى العمل على زيادة إنتاج الجازولين بكل الوسائل الممكنة.

وبحلول عام 1913 ظهرت عملية التكسير الحراري التي ساعدت علي زيادة إنتاج الجازولين ، فخلال خمس سنوات تمكنت معامل التكرير من مضاعفة كمية الجازولين التي تنتج من كل برميل من النفط إلى تشغيل المعدات المستخدمة في الزراعة مما ساعد على زيادة الإنتاج الزراعي وأثناء الحرب العالمية الثانية (1939م-1945م) أثبتت صناعة البترول مقدرتها على زيادة إنتاج الوقود وزيوت التزليق ، وكذلك على تطوير المنتجات البترولية وابتكار منتجات جديدة فخلال سنوات الحرب ظهرت عمليات جديدة لتكرير البترول مثل التكسير في وجود العامل المساعد ما ساعد على إنتاج الجازولين ذي الرقم الأوكتاني العالي الذي يستخدم كوقود للطائرات وخلال نفس الفترة قامت معامل التكرير الأمريكية بإنتاج مواد جديدة مثل البيوتادين المستعمل في إنتاج المطاط الصناعي والطولوين المستعمل في إنتاج المتفجرات ، و بعض المواد الأخرى التي تحتاجها الزيوت الطبية التي استعملت في علاج الجرحى بالإضافة إلى بعض المواد الأخرى التي تحتاجها الجيوش.

وبعد الحرب العالمية الثانية ازداد الطلب على المنتجات البترولية أكثر مما كان في سنوات الحرب وبمرور الزمن أخذ الطلب على المنتجات البترولية يزداد باستمرار نتيجة للتطور الصناعي وزيادة عدد سكان الكرة ونظراً لإنخفاض سعر الوقود الصناعي وزيادة عدد سكان الكرة الأرضية. ونظراً لإنخفاض سعر الوقود البترولي مقارنة بالأنواع الأخرى من الوقود أصبح البترول المصدر الرئيسي للطاقة في العالم.

2.2 نقل البترول: (Oil Transportation)

في عام 1879 تم النجاح في بناء أول خط أنابيب معدني في أمريكيا الشمالية من (برادفورد إلى آلنتون) بنسلفانيا بطول يبلغ 175 كلم و قطر 6 بوصات ، و تم بصورة كبيرة إستغلال الفولاذ الملحوم في إنشاء أنابيب نقل النفط أواخر عشرينيات القرن الماضي ، قبل هذه القفزة الكبيرة في مجال نقل البترول كانت الأنابيب عبارة عن قنوات خشبية على شكل (قناة مثلثة) تنقل البترول الخام لمسافات قصيرة .

إن وضع المدن القديمة و نمو السكان الذي أدى إلى الإبتعاد عن مصادر المياه قد يكون المشكلة التي جعلت الفنيين و المهندسين يبدؤون بالتفكير في طريقة لنقل الماء لمسافات بعيدة، و مع ظهور النفط تغير المائع فقط لتصبح عملية نقل النفط الخام و المنتجات من أكبر المشاكل في هذا المجال فتطورت عملية النقل من كونها قنوات محفورة في الصخور إلى أنابيب فولاذية ملحومة و مدفونة تقطع مسافات كبيرة بسعات تصميمية كبيرة و أيضا حاويات كبيرة تسير بالبر أو البحر.

لأهمية عملية نقل البترول كان لا بد من الحرص على تفاصيل عملية النقل التي يمكن أن تؤدى بالعديد من الطرق، فمثلا في (الولايات المتحدة الأمريكية) وهي الدولة الرائدة في مجال النفط فإن خطوط الأنابيب والسكك الحديدية والقوارب والشاحنات هي الأنماط الأربعة الأساسية لنقل للنفط والغاز في الولايات المتحدة.

نحن ننظر إلى الأثر الاقتصادي، وسجل السلامة، والأثر البيئي لوسائل نقل النفط البرية لمعرفة أي من الأنماط ينقل النفط والغاز للعملاء بفعالية أكثر من حيث التكلفة.

2.2.1 خطوط الأنابيب: (Pipelines)

هي الوسيلة التي ينقل بها أكثر من 70% من كل المنتجات البترولية المنتجة في الولايات المتحدة، يوجد فيها الآن (2.4 مليون) ميل من أنابيب الغاز الطبيعي و190ألف ميل من أنابيب البترول المسال.

2.2.2 السكك الحديدية: (Railways)

النقل بالسكك الحديدية هو الخيار الأكثر شيوعًا بعد النقل عبر خطوط الأنابيب وبعد استخدام السكك الحديدية لنقل النفط الخام توسع مجال النفط والغاز الطبيعي بشكل كبير منذ طفرة النفط المحلية في منتصف العقد الأول من القرن الحادي والعشرين نقلت السكك الحديدية 7 مليون برميل من النفط في عام 2008 وبحلول عام 2013 ارتفع الرقم إلى 262 مليون برميل.

على الرغم من أن هذا الرقم قد انخفض بشكل طفيف في السنوات الأخيرة فإن السكك الحديدية تنافس خطوط الأنابيب ومن مزاياها وصولها إلى المناطق النائية ومن المرجع أن تجعل هذه الميزة النقل عبر خطوط السكك الحديدية على هذا القدر الحالي من الأهمية في وضع قابل للتطبيق لسنوات عديدة قادمة.

2.2.3 النقل البرى بالشاحنات: (Land Transportation by Truck)

بالرغم من استخدام خطوط الأنابيب والسكك الحديدية على نطاق واسع لنقل النفط والغاز عبر مسافات شاسعة إلا أن النقل بالشاحنات كذلك كثيرا ما يستخدم لتوصيل كميات أقل من النفط والغاز لمسافات أقصر و سعة تخزين محدودة لكن تساعد الشاحنات في حركة النفط والغاز من مواقع الإنتاج إلى خطوط الأنابيب وغيرها من البنية التحتية للنقل لمسافات طويلة وكذلك من خلال المواقع حيث لا وجود لخط أنابيب أو بنية تحتية للسكك الحديدية يمكن لشاحنة نموذجية تخزين ما يقرب من 200 برميل من النفط وهو ما يمثل حوالي ثلث سعة القطار و تساهم جميع وسائل النقل الثلاثة في الحركة الفعالة للنفط والغاز ولكن لكل منهما مجموعته الخاصة من المقايضات من حيث التكلفة .

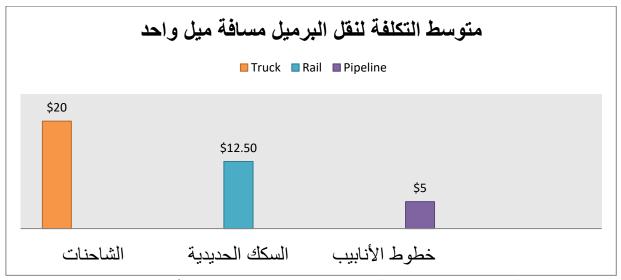
2.2.4 النقل البحري بالسفن (ناقلات النفط): Sea Transport by Ship (Oil) (ناقلات النفط): Tankers))

عادة ما يتم إستخدام ناقلات النفط في عمليتي الإستيراد والتصدير وتنقل النفط بين موانئ الدول، وذلك لتكلفة تشغيلها ومحدودية مساراتها ولا تعتبر وسيلة داخلية لنقل النفط.

يمكننا أن نستخلص أن خطوط الأنابيب هي مشاريع كبيرة نحصل بها على الكثير من المال مقدمًا غالبًا ما تستغرق التراخيص وقتا طويلاً وتكلف الكثير من المال فكانت تكاليف بناء خطوط الأنابيب من المتوقع أن يكون 6.57 مليون دولار لكل ميل في عام 2013 وفقًا لمجلة النفط والغاز.

وقد تكون صيانة خطوط الأنابيب مكلفة حتى بعد بنائها لكنها تتطلب أيدي عاملة أقل بكثير من النموذجين الآخرين لإتمام عملية النقل وأكثر كفاءة في نقل البضائع لمسافات طويلة.

الشكل 2.1 أدناه يوضح متوسط التكلفة لنقل برميل واحد لمسافة ميل واحد.

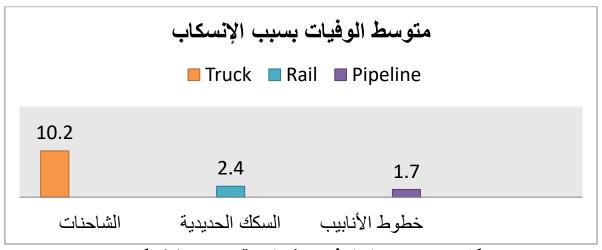


شكل 2.1 متوسط التكلفة لنقل برميل واحد لمسافة ميل واحد

غالبًا ما تكون خطوط الأنابيب أقل تكلفة من السكك الحديدية أو الشاحنات لنقل النفط والغاز وتبلغ تكلفة الغاز عبر خط الأنابيب ما يقرب من 5 دولارات للبرميل في المتوسط مقارنة ب 15 دولارًا للبرميل بالشاحنة ، من ناحية أخرى فإن هذه الخيارات لها مجموعتها الخاصة من الفوائد تنقل السكك الحديدية النفط والغاز لمسافات

طويلة أسرع من خطوط الأنابيب يمكن للسكك الحديدية توصيل الزيت من منطقة حقل (باكين) النائية في ولاية نورث داكوتا إلى ساحل الخليج في غضون خمسة إلى سبعة أيام لكن يستغرق عبور خط الأنابيب ما يقرب من أربعين يوما لتغطية نفس المسافة .

الشكل 2.2 أدناه يوضح متوسط الوفيات في السنة بسبب الإنسكابات.

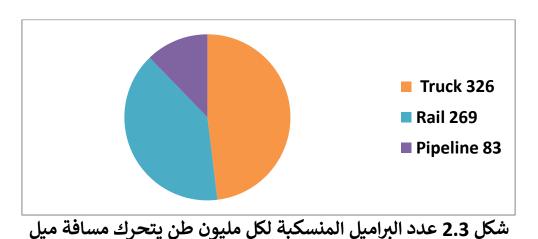


شكل 2.2 متوسط الوفيات في السنة بسبب الإنسكابات

تدور العديد من نظريات رفض خطوط الأنابيب حول المخاطر المحتملة على صحة الإنسان و السلامة و حوادث خطوط الأنابيب المعلن عنها مثل انفجار خط أنابيب الغاز الطبيعي عام 2010 في سان برونو / كاليفورنيا التي تسببت في (وفاة) ثمانية أشخاص تسبب قلقًا عامًا بشأن بناء خطوط الأنابيب في المستقبل ومع ذلك فإن النقل عبر خطوط الأنابيب هو أسلم وسيلة لنقل النفط والغاز عند مقارنتها بكل من النقل بالسكك الحديدية والشاحنات في الولايات المتحدة ، النقل عبر خطوط أنابيب النفط والغاز أدى إلى 1.7 حالة وفاة سنويًا بين المشغلين والموظفين وعامة الناس النقل عبر السكة الحديدية تسبب بوفاة 2.4 شخص سنويا لكن النقل بالشاحنات تسبب بوفاة 2.0 شخصا سنويا ، في كل عام تبلغ وزارة النقل الأمريكية عن ما يقرب من280حالة انسكاب رئيسية في خطوط الأنابيب يتسبب الانسكاب الكبير عند حدوثه بوفاة أو إصابة تستدعي دخول المستشفى ، و يتسبب الانسكاب في أضرار تزيد عن 50000 دولار وانسكاب سائل شديد التقلب لا يقل عن (5براميل) و تسريات سائلة أخرى بمقدار (50 درواميل) أو أكثر ، أو انبعاث سائل ينتج عنه حريق غير مقصود أو انفجار ، وفقًا لإدارة معلومات

الطاقة الأمريكية سريت خطوط الأنابيب حوالي (7 مليون) برميل من المنتجات القابلة للتكرير يوميًا في عام 2013 مقابل كل مليون طن يتم نقلها لكل ميل و في نفس العام تسريت خطوط الأنابيب بمتوسط 269 برميلً و الغالبية العظمي من خطوط الأنابيب يحدث بها تسريب ، من ناحية أخرى هناك تسريب يحدث داخل منشأة وليس في خط الأنابيب و المقياس الذي تستخدمه إدارة خطوط الأنابيب والمواد الخطرة أكد سهولة تنظيف المواد المنسكبة لأن هذه المرافق الجيدة مجهزة لإدارة الانسكابات بسرعة لكن في المتوسط قد يكون 40% فقط من كل النفط المنسكب يتسرب عبر الأنابيب يعتبر نقل النفط والغاز بالشاحنات أسوأ وسيلة نقل من حيث البراميل المنسكبة ، كل سنة يتسرب النفط و الغاز من الشاحنات أكثر من السكك الحديدية وخطوط الأنابيب مجتمعة بالمتوسط يتم فقد (326 برميلًا) لكل مليون طن عبر ميل بالمقابل يمكن الوصول إلى النقل البري بسهولة أكبر لكن تمر خطوط الأنابيب والقطارات عادة عبر المناطق الريفية و النائية و كثيرًا ما يسافر الأشخاص وشاحنات النفط عبر مناطق مكتظة بالسكان حيث تتسبب (الإنسكابات) فتشكل الحوادث في النقل البري بالشاحنات خطرا أكبر يتمثل في وفاة أو إصابة البشر ، يمكن أن تحدث تسريات في خطوط الأنابيب لكنها غير شائعة مقارنة بكمية البترول الهائلة التي ينقلها الخط كل عام عندما يتم أخذ هذا الأمر في الإعتبار ، تقل احتمالية تسبب النقل عبر خطوط الأنابيب بمقدار 4.5 مرات في حدوث انسكاب من النقل بالسكك الحديدية.



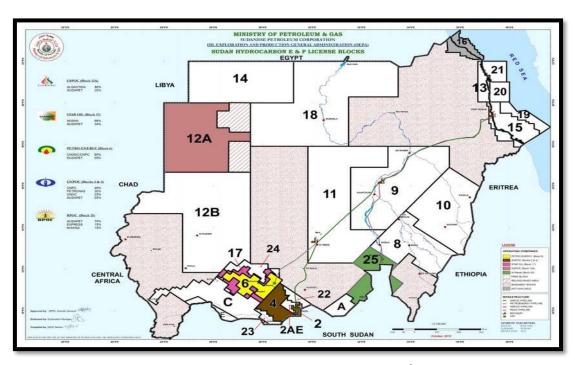


2.3 النفط في السودان: (Oil in Sudan)

بدأ البحث والتنقيب عن البترول في السودان عام 1974 بعد الاتفاق مع شركة شيفرون الأميركية تلتها اتفاقية أخرى مع ذات الشركة عام 1979 بعد النتائج الإيجابية التي أحرزتها في اكتشافاتها، أعقب ذلك توقيع اتفاق مع شركة توتال الفرنسية وصن أويل الأميركية عامي (1980 و2012) م، وحالت بعض الظروف الخاصة بالحرب والتحولات السياسية دون تمكن تلك الشركات من عملها رغم الاستكشافات الكبيرة التي قامت بها.

2.4 خارطة السودان النفطية: (Sudan Oil Map)

توضح خارطة السودان الجيولوجية أن اكثر من 40 % من مساحة السودان تزخر بالنفط من خلال وجود 12 حوض رسوبي منتشرة بمناطق السودان المختلفة منها حوض المجلد، حوض ملوط، حوض البحر الأحمر، حوض النيل الأزرق وحوض الخرطوم، وقد قسمت وزارة النفط تلك الأحواض وفقاً لتوفر البيانات والمعلومات إلى اكثر من 20 مربع وتم الترويج لها مما أسفر عن توقيع إتفاقيات قسمة الإنتاج بين الحكومة السودانية ممثلة في وزارة النفط والشركات المستثمرة من مختلف الدول مثل الصين و ماليزيا ونيجيريا وكذلك الدول العربية مثل السعودية و الكويت و اليمن ومصر كما هو موضح في الشكل 2.4 أدناه الذي يوضح خارطة السودان النفطية.



شكل 2.4 خارطة السودان النفطية

2.4.1 الإحتياطيات المؤكدة وتطوير الحقول النفطية: Proven Reserves and) Development of Oil Fields)

يعتبر قطاع النفط من أكثر القطاعات تأثراً بإنفصال جنوب السودان وذلك لإرتباطه الجغرافي والجيولوجي والفني الخاص بالأحواض النفطية التي تمتد بين الشمال والجنوب بمساحات واسعة فيما يخص حقول إنتاج النفط الأمر الذي أدى الى تغيير خارطة المكامن الحاوية للإحتياطيات النفطية المؤكدة والمتوقعة ونهج تطويرها وفق إستراتيجية جديدة تبلغ إحتياطيات السودان من النفط حوالى 5 مليار برميل بمعامل إستخلاص يبلغ 23 % وذلك في المربعات التي تمت فيها عمليات الإستكشاف والحفر وفي إطار تطوير وزيادة الإحتياطي النفطي إنتهجت وزارة النفط بعض الآليات الحديثة في زيادة نسبة الإستخلاص حيث تجري الآن دراسات فنية مثل دراسة (إستعادة الزيوت المحسنة)لزيادة معامل الإستخلاص النفطي بواسطة حقن المكمن النفطي بالمياه أوالغاز وهي دراسات طويلة المدى ويتم إجراءها أثناء النضوب الطبيعي للحقول النفطية وتم أختبار حقول مربعات كنموذج لهذه الدراسة والتي تتم في مراحل متفاوتة وكانت نتائج المرحلة الاولي مبشرة جداً لهذه الحقول ومنها علي سبيل المثال إمكانية زيادة الاحتياطي النفطي لحقل هجليج من 232 مليون برميل الي 376 مليون برميل وإمكانية زيادة معامل الإستخلاص في المتوسط من 1641 الى 1642 مما يشير إلى أن هنالك مجال كبير لزيادة الانتاج بتحسين معامل الإستخلاص .

2.4.2 خطوط نقل الخام في السودان: (Crude Transportation Lines in Sudan)

(1) خط أنابيب صادر الخام (هجليج – بشائر): - Crude Export Pipeline (Heglig) (Bashaer))

تم إنشاء ميناء بشائر لتصدير النفط الخام في عام 1999 م وتبلغ الطاقة التصميمية للخط 200 ألف برميل / اليوم. ويمتد الخط بطول 1610 كلم وقطر 8 بوصة من حقول هجليج والوحدة حتى ساحل البحر الأحمر عند ميناء بشائر (1) (18 كلم جنوب بورتسودان)، يمر الخط بمصفاتى الأبيض والخرطوم لتزويدهما بإحتياجاتهما من الخام، تمت ايلولة هذا الخط كلياً

لحكومة السودان في الأول من سبتمبر من العام 2013م وسوف يتم تشغيله بواسطة العمالة السودانية التي حصلت على خبرات واسعة في مجال الصناعة النفطية تمكنها من إدارة هذا القطاع بجودة وفعالية تامة.

(2) خط أنبوب (الفولة –الخرطوم): (Pipeline (Foula - Khartoum))

تم تشييده في العام 2003م بطول 720 كلم وقطر 24 بوصة، تبلغ الطاقة التصميمية للخط 200 ألف برميل / اليوم لنقل الخام المنتج من مربع 6 وتوصيله إلى مصفاة الخرطوم، وقد تم تشييد الخط بواسطة الشركة الصينية الهندسية لخطوط أنابيب النفط.

(3) خط أنبوب (عداريل – بشائر): (Pipeline (Adaril - Bashaer))

تشييده في العام 2006م بطول 1400 كلم وقطر 32 بوصة و تبلغ طاقته التصميمية حوالى 500 ألف برميل / اليوم لنقل مزيج دار المستخرج بواسطة شركة بترودار من مربعي 3 و 7 إلى ميناء بشائر (2) لتصدير النفط على البحر الأحمر، وبعد إنفصال جنوب السودان أصبحت مربعات 3 و 7 تتبع الورقة القطرية لجمهورية السودان لحكومة جنوب السودان بينما يتبع الخط إلى حكومة السودان وعليه تم وضع إتفاقيات تحكم العلاقة بين الدولتين فيما يلى تعرفة ورسوم نقل خام حكومة الجنوب والشركات العاملة بها.

2.4.3 خطوط نقل المنتجات النفطية في السودان: Petroleum Products in Sudan)

(1) خط أنبوب منتجات النفط (بورتسودان – الخرطوم): Oil Products Pipeline) (Port Sudan - Khartoum))

تم إنشاء الخط في عام 1976م لنقل المنتجات النفطية الرئيسية بطول 5 كيلومتر وبقطر (8) بوصات، الخط مزود بخمسة محطات ضخ رئيسية تضم هيا - الروجل - عطبرة - الشجرة – الجيلي، بالإضافة لمحطة إستلام ببورتسودان، تم تأهيل الخط في عام 1996م وزيادة طاقته ليصل إلى 600 ألف طن في العام وتم تشغيله ليعمل في إتجاهين صادر ووارد، كما تم إعداد

دراسة مؤخراً لتطوير الخط بإضافة محطات جديدة وتطوير المحطات الموجودة لتصل عته الى 3 مليون طن في العام لمقابلة زيادة الطلب المحلى على منتج الجاز أويل.

(2) خط أنبوب صادر البنزين: (Gasoline Export Pipeline)

يمتد خط صادر البنزين بطول 741 كلم وبقطر (12) بوصة بين الرويان وميناء الخير ببورتسودان بطاقة تصميمية 1.5 مليون طن في العام لتصدير الفائض من منتج البنزين.

الجدول 2.1 أدناه يوضح خطوط أنابيب نقل المنتجات البترولية الداخلية في السودان.

جدول 2.1 خطوط أنابيب نقل المنتجات البترولية الداخلية في السودان

<u> </u>	- 1-33 +	<u> </u>
طول الخط	إسم الخط	متسلسل
(کلم)		
200	الخرطوم – مدني	1
220	مدني – سنار – ريك	2
205	مدني – القضارف	3
278	ريك – الأبيض	4
390	المجلد – نيالا – الفشر	5
234	عطبرة – مروي - دنقلا	6
234	هيا - كسلا	7
228	الأبيض - المجلد	8
125	الجيلي - مطار الخرطوم الجديد	9

(3) النقل عبر السكك الحديدية: (Rail Transport)

تنقل المنتجات النفطية عن طريق السكك الحديدية في عربات تتراوح سعتها بين 22 و43 طناً ومجهزة بإمكانات تتناسب مع نوع الوقود ومواصفاته.

(4) النقل النهري: (River Transport)

تبلغ الطاقة الكلية للصنادل 9000 طن موزعة على 31 صندل الجرارات مملوكة لهيئة النقل النهري والشركة السودانية للنقل النهري.

(5) النقل البري في مجال النفط والسوائل: Land Transportation in the Field of Oil and Liquids)

ظهر النقل البري في مطلع ثمانينات القرن الماضي إثر تزايد معدلات إستهلاك المواد النفطية مقابل الطاقة المحدودة للناقل الأساسي في ذلك الوقت وهو السكة حديد وأصبح النقل البري من أهم وأكبر وسائل نقل المواد النفطية في السودان حيث يمثل حوالي 90% من طرق نقل النفط والسوائل عدا تلك المنقولة عبر خطوط الأنابيب بين مدن السودان المختلفة.

الفصل الثالث

خطوط الأنابيب البترولية

(Petroleum Pipelines)

3.1 خط أنابيب البترول: (Petroleum Pipeline)

يقصد به خط أنابيب يستخدم لنقل المواد الهيدروكربونية عن طريق الأنابيب وهو مصمم حسب المواصفات التي تضعها المؤسسة أو توافق عليها ويشمل ذلك تحديد مسار الخط وتنقل خطوط الأنابيب البترولية في السودان النفط الخام والسوائل الهيدروكربونية والغاز الطبيعي من مناطق الإنتاج إلى المصافي أو الى الميناء للتصدير و من الميناء إلى الخزانات كوارد للبلاد.

تشمل المنتجات السائلة أنواع الوقود مثل البنزين ووقود الطائرات والديزل وزيت التدفئة، كذلك لعناصر الأخرى مثل المذيبات ومواد التشحيم والمواد الخام المستخدمة في الصناعات البتروكيماوية كما أنها تنقل عدة دفعات أو درجات من السوائل الهيدروكربونية في وقت واحد وتستخدم أنظمة ميكانيكية أو إلكترونية لتقسيم الدفعات لنقلها إلى وحات التخزين و من ثم إلى المصافي لبدء عملية التكرير.

3.2 أنظمة نقل خطوط الأنابيب السائلة: Liquid Pipeline Transportation) (Systems

3.2.1 الأنبوب الفعلي: (The Actual Tube)

هو الوعاء الذي تنتقل عبره المواد الهيدروكربونية السائلة من موقع إلى موقع آخر ويشار إليه بهذا الإسم وهو عادة الجزء الأكثر أهمية في نظام خطوط الأنابيب، لذلك فإنه يجب التعامل مع المخاطر المؤثرة على خط الأنابيب الرئيسي بشكل فعال وفقا للوائح والمعايير والممارسات

الصحيحة ذات الصلة، وذلك لأهميته الكبرى بالنسبة لسير عملية النقل بصورة سلسة، ونظرا لأنه يمتد عبر مسافة كبيرة فإنه يحتاج إلى قدر كبير من العناية.

3.2.2 محطات قياس التدفق: (Flow Measuring Stations)

و هي نقاط تحتوي على مقياس تدفق مناسب للسائل التي يتم ضخه عبر الخط و هي عادة محطات تكون عند بقع معينة أو بالقرب من المضخات الرئيسية في المصدر و محطات القياس تمكن مشغل خط الأنابيب و عملائه من تحديد كمية السوائل التي يتم نقلها و من ثم القيام بموازنة السائل لتحديد ما إذا كان قد حدث تسرب في خط الأنابيب، يمكن أن تتسبب محطات القياس بفقدان الضغط لذا يجب أخذ هذا الأمر في الإعتبار أثناء عملية التصميم.

3.2.3 أنظمة الكشط: (Scraping Systems

لأهمية السلامة و تجنب الفشل في عملية نقل البترول عبر الأنابيب فإن فحص الأنابيب و يعد صيانتها بالشكل الصحيح من الأبجديات التي إرتبطت بأنظمة نقل خطوط الأنابيب و يعد الكشط من أهم الأساليب التي يجب إستخدامها للحرص على تجنب الفشل ، و أكثرها شيوعا نظام الكشط الذكي و تعد إحدى الطرق الرئيسية لتحديد المناطق المتعرضة للتآكل و يتلخص عملها من خلال دفع أداة للكشط تسمى الكاشطة و تعمل بواسطة دفع السائل لها حيث توضع في الإتجاه الذي يسير به المنتوج في الأنبوب و ترسل أثناء حركتها الأمواج فوق الصوتية حيث تقوم برصد تضاريس الأنبوب الداخلي بشكل تصويري .



شكل 3.1 الكاشطة

3.2.4 محطات تعزيز الضغط : (Pressure Boosting Stations)

كان من مهم في عملية نقل السائل في الأنابيب من المضخة و حتى الخزانات وجود تدج في الضغط داخل خط الأنابيب لدفع لسآئل داخل الأنابيب ، وأيضا لوجود فقدان للضغط بسبب الإحتكاك بين السآئل و جدران الأنابيب ، بالإضافة إلى عناصر فقدان الضغط لأخرى مثل الصمامات و الأكواع و التركيبات ، لذلك فإن الضغط في بداية المسار (المصدر) يجب أن يكون أكبر من الضغط عند نهايته في (الوجهة) بالإضافة إلى الضغط المفقود عبر الإحتكاك في الأنابيب ، و بسبب سمك الجدار الإضافي المطلوب عند بداية المسار (المصدر) و حجم الضغط الإبتدآئي قد لا يكون رفع الضغط عند (المصدر) ممكنا من الناحية (التلقآئية أو الإقتصادية) بالنسبة للأنابيب الطويلة ، لذلك فقد كان الخيار الآخر هو إستخدام محطات التعزيز الضغط على طول خط الأنابيب عندما ينخفض إلى ما دون المستوى الحرج ، و هذا لتعزيز الضغط على طول خط الأنابيب عندما ينخفض إلى ما دون المستوى الحرج ، و هذا المصدر).

إن تحديد وقت إستخدام محطات تعزيز الضغط و العدد المطلوب منها على طول خط الأنابيب هو قرار يتأثر بعدد من العوامل، و منها:

- 1. تكلفة العملية مقابل تكلفة رأس المال لخطوط الأنابيب البترولية .
 - 2. معدل الضغط المطلوب على طول الخطوط.

3.2.5 أنظمة كشف التسرب:

هي أنظمة تقنية للكشف عن التسرب في الخطوط البترولية و إبلاغ مشغلي الخطوط بأماكن التسرب، و يعد إكتشاف التسرب جزئا مهما من أنظمة خطوط الأنابيب لأنها تتيح للمشغل الإستجابة بسرعة لحالات الإنسكاب و منع حدوث الأحداث الاحقة للإنسكاب، إعتمادا على نوع السآئل في خط الأنابيب و حجم التسرب، و توجد أساليب عديدة لإكتشاف التسرب تمارسها هذه الأنظمة و تبدآء الأساليب من إجراءآت بسيطة لموازنة المواد لأنظمة أكثر تعقيدا.

على الرغم من بساطة خطوط الأنابيب قد تكون أنظمة كشف التسرب معقدة إلى حد ما و تتطلب جهدا كبيرا للتشغيل و الصيانة ، لكنها غير ناجحة للغاية دآئما ، وفقا لدراسات أجريت في الولايات المتحدة فإن فاعلية أنظمة كشف التسرب تبغ 20 % فقط .

من ناحية أخرى فإن أنظمة كشف التسرب لا تزال مفيدة في إكتشاف بعض التسريبات و قد يكون من المفيد استعمالها من وجهى نظر إدارة المخاطر.

3.2.6 مرافق التخزين و محطات الإستلام : Storage Facilities and Receiving) (Stations

تكون مرافق التخزين في وجهة التسليم أو في أماكن أخرى على طول مسار خط الأنابيب بسبب الحاجة لضمان التشغيل السلس و عدم إنقطاع التوريد .

بالإضافة إلى المرونة في أنشطة االتشغيل و الصيانة يجب أن تكون محطة الإستلام في منشأة التخزين و القدرة على التحكم في عملها تقسم فيها الأدوار بين العميل و المشغل.

3.2.7 أنظمة إدارة السلامة : (Safety Management Systems

يعد الحفاظ على سلامة خطوط الأنابيب أمرا بالغ الأهمية لإدارة المخاظر و الحفاظ على استمرارية التوريد، لذا فالهدف الأساسي من وجود أنظمة إدارة السلامة هو منع فشل خط الأنابيب و أحد المكونات الأساسية لهذا النظام يسمى بنظام إدار التآكل خطوط الأنابيب مصنوعة من المعادن (معظمها من الصلب) وهي عرضة للتآكل من كل البيئة المحيطة (خاصة إذا كان خط الأنابيب تحت الأرض) وأيضا المواد المنقولة بواسطة خط الأنابيب فيمكن للتآكل أن يقلل من سمك جدار الأنابيب و خلق تسريبات مميا يعرض خط الأنابيب للخطر و يؤثر على سلامته ، و هذا ما يجعل التحكم في التآكل جزئا مهما من نظام تشغيل خط الأنابيب.

3.2.8 نظام الصيانة الوقائية : (Preventive Maintenance System)

تشير الصيانة الوقائية إلى الإجراءات التي يتم تنفيذها للحفاظ على مكونات و أنظمة خط الأنابيب وفقا لجدول زمنى محدد مسبقا ، و هذا من أجل تحديد نقاط الضعف و تصحيحها

قبل أن تتسبب في الفشل ، قد يستلزم ذلك إصلاح المناطق التي يكون فيها سمك الجدار صغيرا بسبب التآكل قبل التسرب أو إستبدال الصمام المكسور أو إستبدال المضخة، فلذلك يكون نظام الصيانة الوقائية بالنسبة لخطوط الأنابيب أمرا بالغ الأهمية لضمان إستمرارية النقل و الحفاظ على خطوط الأنابيب.

3.2.9 نظام إدارة المخاطر: (Risk Management System)

تتطلب إدارة المخاطر تتبع نهج دورة الحياة الخاص بخطوط الأنابيب و هذا يعني أنه يجب مراعاة السلامة و الحد من المخاطر في جميع أنحاء دورة حياة خط الأنابيب من مرحلة التصميم و حتى إيقاف التشغيل بما في ذلك الإنشاء و الصيانة ، و يجب تنفيذ جميع العمليات وفقا للمواصفات المعتمدة ومراعاة أفضل الممارسات الصناعية و اللوائح التنظيمية خلال كل مرحلة من المراحل المختلفة .

3.3 أنواع خطوط الأنابيب البترولية: (Types of Petroleum Pipelines)

هناك نوعان من أنابيب نقل السوآئل قسمت حسب عدد المنتجات التي تنقلها:

- 1. خطوط أنابيب تنقل منتج واحد.
- 2. خطوط أنابيب تنقل العديد من المنتجات في شكل دفعات يتم الفصل بينها وفقا لآلية معينة .

أما من وجهة النظر التنظيمية أو (المكانية) تنقسم إلى :

- 1. خطوط أنابيب بحرية .
- 2. خطوط أنابيب أرضية .

3.4 تصميم و تشغيل خطوط الأنابيب: (Design and Operation of Pipelines)

3.4.1 قطر خط الأنابيب: (Pipeline Diameter)

إن كمية المواد التي سيتم نقلها عبر خط الأنابيب هي المحدد الأساسي لقطر خط الأنابيب "معدل التدفق" ، كلما زاد قطر خط الأنابيب زاد معدل التدفق لكل من الغازات و المواد السآئلة توضع معايير مناسبة لمعدلات التدفق المسموح بها لكل منطقة مقطعية معينة في خط لأنابيب و يقصد بالمعايير مثلا (السرعة) .

3.4.2 سمك جدار خط الأنابيب: (Pipeline Wall Thickness)

يتم تحديد سمك جدار خط الأنابيب مع أخذ الإعتبارات الآتية :

- 1. ضغط التشغيل.
 - 2. درجة الحرارة.
 - 3. معدل التآكل.
- 4. عامل التصميم.
- 5. نوع المادة المستخدمة في صناعة خط الأنابيب.

أيضا يتم تحديد سمك جدار خط الأنابيب بواسطة المعايير العالمية و يتم التصنيع بإستخدام أفضل الممارسات الصناعية .

3.4.3 نوع مادة خط الأنابيب: (Pipeline Material Type)

تشمل العناصر التصميمية التي تؤثر على إختيار نوع المادة المستخدمة في صناعة خط الأنابيب الآتى :

- 1. الضغط.
- 2. درجة الحرارة .
- 3. و مقاومة التآكل اللازمة .
 - 4. التكلفة .

منظمات المقاييس و الأنظمة العالمية تعطي معايير و مواصفات شاملة للإختيار بناءا على العوامل السابقة .

3.4.4 الطلاء الخارجي للأنابيب: (External Coating of Pipes)

إن الطلآء الخارجي للأنابيب يحميها من التآكل الخارجي و هو أمر مهم بشكل خاص عندما يكون خط الأنابيب من النوع المدفون تحت الأرض فيحميه من التآكل الخارجي بإعتباره مصدر قلق كبير، تختلف قدرة الطلاءآت المختلفة في حماية الأنابيب من التآكل أو تقليل تأثيره، كما تؤثر العديد من العوامل على نوع الطلآء و أهم تلك العوامل خصآئص التربة المحيطة بالأنبوب عند عملية التغطية، و أيضا نوع الإستراتيجية الشاملة في التحكم بالتآكل في النظام.

3.4.5 مسار خط الأنابيب و عامل التصميم: (Pipeline Path and Design Factor)

إختيار مسار خط الأنابيب المناسب يتم لتفادي مشاكل السلامة و أيضا حفاظا على رأس المال من ناحية أخرى ، فيجب إختيار مسار خط الأنابيب ليكون قصيرا قدر الإمكان من أجل توفير المال المطلوب للإنشاء ، و مع ذلك يجب مراعاة السلامة إذ أنه قد لا يكون أقصر مسار دآئما هو الأفضل إذ أنه قد يزيد الخطر على البشر أو البيئة إذا كان الخط ينتقل عبر مجتمع عام رئيسي و يمكن أن يكون تعديل عامل التصميم لزيادة سمك الجدار واحد من أكثر الطرق المناسبة للقيام بذلك .

الفصل الرابع

مشاكل خطوط الأنابيب البترولية في السودان

(Oil Pipeline Problems in Sudan)

4.1 فشل خطوط الأنابيب: (Pipeline Failure)

يتم تعريف مصطلح "الفشل" في سياق خطوط الأنابيب بشكل مختلف في مختلف البلدان و المنظمات ، على سبيل المثال في أوروبا الغربية يعتبر أي فقد في النفط (إنسكاب) أو الغاز (تسريب) فشلا ، و لكن في الولايات المتحدة لا يعتبر الحدث فشلا إلا إذا كان ينطوي على خسارة السلع أو وفاة أو إصابة أو ضرر يزيد عن 50000 \$ ، أما في الهند أي خسارة للسلعة مهما كانت صغيرة غير مقصودة تعتبر فشلا لخط الأنابيب الذي ينقل المنتج .

تم تعريف الفشل في خط أنابيب البترول في إصدار القانون السوداني للثروة النفطية 1998 بأنه أي فقد في النفط أو الغاز ينتج عنه أضرار بشرية أو بيئية أو مادية أو على مستوى الممتلكات أو المعدات أي أن السودان يتعامل مع الفشل و يعرفه بطريقة شاملة و يربط الفشل بالضرر المادي و البشري معا .



شكل 4.1 فشل خط الأنابيب

يتمتع المهندسون الآن بسنوات عديدة من المعرفة التشغيلية التي جعلت من خطوط الأنابيب طريقة آمنة لنقل النفط الخام و منتجاته ، مع معدلات فشل أقل بكثير من خطوط السكك الحديدية و الشاحنات مع ذلك فإن الحوادث تقع و نتائجها تكون كارثية ، و يعد فشل خط الأنابيب حدثا غير شائع ، و لكن من المحتمل أن يتسبب حدوثه في أضرار جسيمة في الممتلكات و ربما وفاة أشخاص يتم معرفة سلامة خطوط الأنابيب ليس فقط من خلال الممتلكات و ربما وفاة أشخاص معرفة أن تيجة لذلك يجب معرفة أن تصميمها و تشغيلها و لكن أيضا من خلال صيانتها و إدارتها ، نتيجة لذلك يجب معرفة أن خطوط الأنابيب آمنة و غير خطرة بطبيعتها ، و لكن سوء الصيانة و التشغيل أو التصميم يؤدي إلى تغيير هذه الحقيقة ، لقد فشلت خطوط الأنابيب كثيرا ، إلا أن المهندسين إستخدموا البيانات المستخرجة من تحليل هذه الفشل و المشاكل لتحسين طرق لتفاديها مستقبلا و أيضا طرق كشفها و تصميم أنظمة بمعايير جديدة أفضل ، علاوة على ذلك كثيرا ما تنتج الكوارث بسبب خطوط الأنابيب من خلال خرق قوانين السلامة أو الإجرآئات الحكومية .

4.2 حصر مشاكل خطوط الأنابيب البترولية : Identify the Problems of) (Petroleum Pipelines

يمكن أن يكون سبب مشاكل خطوط الأنابيب البترولية و فشلها نتاج مجموعة عوامل متنوعة ، و فيما يلى قائمة بالمشاكل:

(Mechanical Problems) : المشاكل الميكانيكية 4.2.1

تتعرض خطوط الأنابيب البترولية في السودان لعدة مشاكل ميكانيكية:

1. تآكل خطوط الأنابيب: (Corrosion of Pipelines)

يحدث تآكل الأنابيب البترولية نتيجة لتأثير العمر و البيئة المحيطة و يمكن أن يؤدي التآكل إلى تسرب النفط أو التلف الدآئم في خط الأنابيب، و هو عبارة عن تدهور تدريجي في حالة الأنابيب نتيجة لتفاعلها مع العوامل البيئية و الكيميائية و الفيزيائية المتعددة يمكن أن يكون التآكل

بشكل عام بسبب تأثير الرطوبة أو الأملاح و الغازات الهابطة التي يحتوي عليها خام البترول أو منتجاته الهيدروكربونية .

يمكننا تقسيم التآكل في خطوط الأنابيب البترولية حسب مسبباته إلى:

- 1. تآکل کیمیائی (Chemical Corrosion)
- 2. تآکل کهربائی (Electrical Corrosion)
 - 3. تآکل حراري (Thermal Corrosion)
 - 4. تآکل شحنی (Charge Corrosion)
 - 5. تآکل کلالی (Fatigue Corrosion)

2. تشققات و كسور الأنابيب: (Pipe Cracks and Fractures)

تنشأ التشققات و الكسور في خطوط الأنابيب نتيجة للتأثيرات الميكانيكية التي تحدث داخل أو خارج الأنبوب مثل:

أ. ضغط السائل: (Liquid Pressure)

فالضغوط التي يتعرض لها السآئل داخل الأنبوب قد تتسبب بمرور الزمن في إجهاد كلالي يحدث التشققات أو الكسر.

ب. الإجهادات الحرارية : (Thermal Stresses)

تؤثر الحرارة على المعادن التي تصنع منها الأنابيب تأثير طبيعي و يؤدي مع مرور الزمن إلى تشققات في الأنبوب و يتسبب التلف الناتج عنها في التسرب و توقف عملية النقل.

ج. تلوث الأنابيب: (Pipe Contamination)

قد تتلوث الأنابيب بالرواسب الشمعية أو الشوآئب الميكانيكية مثل الطين و الأتربة أثناء عملية النقل و بمرور الزمن يتسبب هذا التلوث بإنسداد على مستوى الأنبوب أو الصمامات و تشكل الإنسدادات عآئق لعملية النقل و قد تتسبب أيضا في تلف الصمامات أو المضخات.

د. تغيرات شد الأنابيب بسبب تغير الحرارة : Pipe Tension Changes due to . Temperature Change)

تحدث تغيرات في حجم و شكل الأنابيب بسبب التمدد و الإنكماش الناتج عن إختلاف درجات الحرارة و إذا لم يتم التخطيط الصحيح لهذه التغيرات فقد يؤي ذلك إلى تلف الأنابيب و تسرب النفط أو المنتج.

4.2.2 المشاكل التشغيلية : (Operational Problems

هي التي تحدث بسبب أخطاء آلية أو أخطاء بشرية أو ضغط المفرط على خط الأنابيب ، قد يكفي أحد هذه العوامل في التسبب بالمشكلة التشغيلية و بالتالي الفشل ، و قد تجتمع كل هذه العوامل كمسببات لبعضها الآخر و المشاكل التشغيلية قسمت إلى قسمين :

1. المشاكل التشغيلية التقنية (الآلية): Technical Operational Problems) (Mechanism))

لمراقبة سير عملية النقل في الأنابيب بدون أخطاء تم إضافة العديد من الحساسات و الصمامات الالية ذات الإعتمادية العالية وظيفتها قراءة الحالة العامة للنقل و التحكم به و تكون متصلة عبر وحدة مركزية مخصصة لمراقبة عملها في بعض الحالت قد تكون أعطالها التقنية مثل تأثير الإهتزازات أو الأعطال الكهربئية ذات تأثير كبير و تتسبب بفشل عملية النقل.

2. المشاكل التشغيلية بسبب العوامل المتغيرة : Operational Problems due to . (Variable Factors)

أ. التغير في درجات الحرارة : (Change in Temperature)

إذا كان خط الأنابيب سيعمل ضمن درجات حرارة عالية جدا أو منخفضة جدا عندئذ ستتغير خصائص المواد الإنشائية للخط و يجب أخذ هذا بعين الإعتبار منذ مراحل التصميم الأولي و لكن في بعض الأحيان قد تخرج الحالة المحيطة بخط الأنابيب عن المألوف و هذا قد يؤدي إل حدوث مشاكل في الأنبوب مثل التشققات و الكسور التي تتسبب في الفشل.

ب. التغيير المفاجئ في الضغط: (Sudden Change in Pressure)

تتعرض الأنابيب لخطر الزيادة أو في الضغط بسبب مسار خط الأنابيب الذي يمكن أن يكون منخفضا في مرحلة معينة أو مرتفعا في أخري أو بسبب الإرتفاع و الإنخفاض في درجة الحرارة و يمثل خطرا عل الصمامات أو الأنبوب نفسه و يهدد بفشل عملية نقل البترول.

4.2.3 المشاكل الطبيعية : (Natural Problems

1. الزلازل و التصدعات الأرضية: (Earthquakes and Ground Fissures)

يمكن أن تسبب الزلازل و التصدعات الأرضية تشوها في خطوط الأنابيب و بالتالي تزيد من خطر حدوث تسرب و قد تحدث تلفيات في الأنابيب نتيجة لحركات الأرض القوية و التغيرات في هياكل التربة.

2. الفيضانات: (Floods)

تتعرض خطوط الأنابيب لخطر الفيضانات الناتجة عن الأمطار الغزيرة أو الإرتفاع في المنسوب النهري و قد يؤدي إلى غمر جزء من الأنابيب و إتلافها مما يسبب نقص في إمداد النفط.

3. الترية غير المستقرة : (Unstable Soil)

قد يواجه خط الأنابيب مشاكل في التربة غير المستقرة و غير القوية تتمثل في الإنجرافات و الإنزلاقات و نظرا إل أن الخط يجب ان يكون ذو مسار ثابت فيمكن أن يتسبب الإنزلاق في كسر كامل في خط الأنابيب و يتسبب في فشل عملية النقل.

4.2.4 المشاكل بسبب العوامل الخارجية "ضرر الطرف الثالث" : Problems due to (Problems due to المشاكل بسبب العوامل الخارجية "ضرر الطرف الثالث" : External Factors "Third Party Damage")

هو الضرر المقصود أو الغير مقصود الذي يتسبب بع الأشخاص أو المركبات المحيطة بخط الأنابيب و الذي يكون لا علاقة له بالإدارة و يعد هذا النوع من الفشل من ضمن الأنواع الأكثر شيوعا و يمكن ان تحدث الكثير من المشاكل نتيجة لتدخل الطرف الثالث و هي :

1. الإضرار بالأنابيب و المرافق: (Damage to Pipes and Facilities)

قد يقوم طرف ثالث بالتلاعب بأنابيب النفط أو المرافق المرتبطة بها و إتلافها مما يمكن أن يتسبب بفشل كامل أو جزئي لعملية نقل البترول و هذا يقود إلي مشاكل إقتصادية ذات بعدين الأول يتمثل في الخسئر التي يسببها الفشل في النقل للشركة الناقلة والثاني يتمثل في تكلفة صيانة وإعداد الخط للعمل بصورة طبيعية.

2. التلاعب بالخطوط بقصد السرقة: Manipulating Lines with the Intention of) Stealing)

تعتبر سرقة النفط أو المنتج النفطي جريمة قد تؤدي إلي خسارة كبيرة للشركة المالكة للأنابيب و إنخفاض في الإمداد الخاص بالخط .

3. الحوادث: (Accidents)

قد يسبب حادث عرضي مجاور لخطوط الأنابيب أضرارا بالغة بالأنابيب و يتسبب في تسرب النفط أو المنتج مما يؤدي إلى تلوث كبير قد يضر بصحة التربة و الحيوانات و النباتات المحيطة بالمنطقة .

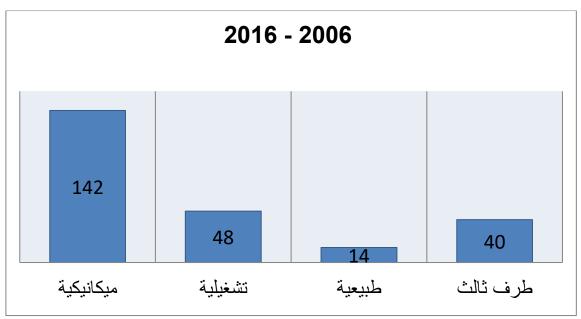
4. الإضرار الشخصى بالخط: (Personal Damage to the Line)

قد يفضي تدخل الطرف الثالث غير القانوني إلى وقوع حوادث و إصابات شخصية ، سواءا بسبب تقطع الخطوط أو إنفجارها أو التسرب الذي يحدث بسبب التلاعب.

تم إحصاء إحتمالية الفشل في الفترة ما بين 2006 – 2016 من قبل الشركة السودانية لخطوط أنابيب البترول ووجد أن المشاكل الميكانيكية تحتل المرتبة الأولي من ناحية إحتمالية الفشل و تتسبب في متوسط 142 برميل منسكب في السنة في هذه الفترة مما يعني أنها من أكثر المشاكل حدوثا تأتي بعدها المشاكل التشغيلية بمتوسط 48 برميل منسكب ثم المشاكل التي تحدث بسبب الطرف الثالث بمتوسط 40 برميل منسكب ثم أخيرا تأتي المشاكل الطبيعية و هي قليلة

الحدوث و يمثل العامل الزمني فيها عاملا أساسيا و أيضا يصعب السيطرة عليها و قد تسببت في متوسط إنسكاب 14 برميل في السنة .

الشكل 4.2 أدناه يبين الإنسكابات بسبب المشاكل (برميل في السنة).



شكل 4.2 الإنسكابات بسبب المشاكل (برميل في السنة) 4.3 التقييم الكيفي للمخاطر : (Qualitative Risk Assessment)

هي مقاربة لتقييم المخاطر لا ترتكز عل حسابات رقمية بل إنها تعتمد علي منظومة تصنيف لكل من إحتمالية الفشل و عواقب الفشل.

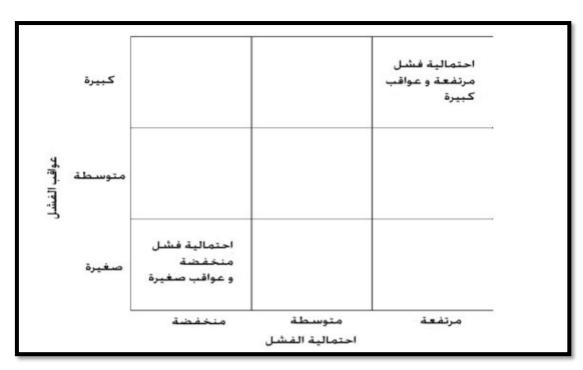
في مصفوفة المخاطر يتم تمثيل الخطر من خلال إحتمالية الفشل و عواقب الفشل .

يمكن أن تستخدم هذه المصفوفة لمقارنة خطوط الأنابيب المختلفة مما يفيد في تحديد أكثر اليات الفشل إحتمالا .

تشكل هذه المقاربة الأساس الي تقوم عليه عمليات التحري عن مشاكل خطوط الأنابيب البترولية.

و تعتبر طريقة فعالة لجعل تكاليف السلامة بين مشغلي خطوط الأنابيب عل مستوي العالم مثالية و متساوية .

الشكل 4.3 أدناه يبين مفهوم مصفوفة التقييم الكيفي للمخاطر.



شكل 4.3 مفهوم مصفوفة التقييم الكيفي للمخاطر تتمثل الخطوات الرئيسية في تكوين المصفوفة في الاتي:

1/ تحديد اليات الفشل.

2/ إجرء تقييم للمخاطر عل حسب مجالات الخطر لتحديد عواقب الفشل.

تم إجراء تقييم أولي للمخاطر مستندا إلي المعلومات التي تحصلنا عليها من رحلات ميدانية تمت فيها زيارة موقع (الشركة السودانية لخطوط أنابيب البترول – قطاع عطبرة).

و بالإستناد أيضا إلى تعريف مصطلح الفشل في خطوط الأنابيب البترولية الموجود في القانون السوداني للنفط و الغاز . الذي يقدم الأثر البشري أو الأضرار التي تحدث للبشر من إصابة أو في حالة الوفاة عل الأثر البيئي و الأثر البيئي عل الإقتصادي و كل من هذه الاثار موضع أهمية لكن لترتيب الأولويات.

الجدول 4.1 أدناه يبين تقييم المخاطر المتعلقة بمشاكل خطوط الأنابيب البترولية حسب مجال الخطر و إحتمالية حدوثها.

جدول 4.1 تقييم المخاطر المتعلقة بمشاكل خطوط الأنابيب البترولية حسب مجال الخطر و إحتمالية حدوثها

مجالات الخطر	وصف المخاطر	اليات الفشل
بيئي	كل الأنابيب حدوث إنسكاب	
إقتصادي	تلف دائم في الخط	
بيئي	حدوث إنسكاب	التشققات و
إقتصادي	توقف عملية النقل	الكسور
إقتصادي	تغير درجات يؤدي إل حدوث التشققات و	
	الكسور بمرور الزمن	الحرارة
إقتصادي	فشل عملية النقل أو توقفها	التغير المفاجئ في
	مؤقتا	الضغط
إقتصادي	فشل عملية النقل أو توقفها	المشاكل التشغيلية
	مؤقتا	التقنية
بيئي	تلف الأنابيب و حدوث الإنسكاب	الزلازل و
إقتصادي		التصدعات الأرضية
بيئي	الفيضانات حدوث إنسكاب	
إقتصادي	نقص في إمداد النفط	
بيئي	كسر كامل لأنبوب في الخط	التربة غير المستقرة
إقتصادي	يسبب إنسكاب	
بيئي	إتلاف الأنابيب و المرافق و	الإضرار بالأنابيب و
إقتصادي	حدوث إنسكاب	المرافق
إقتصادي	ب بالخطوط نقص إمداد النفط	
		بقصد السرقة

بيئي	تلوث كبير يسبب أضرار للبيئة و	الحوادث
بشري	البشر	
بيئي	وقوع حوادث و إصابات و	الإضرار المقصود
إقتصادي	إنفجارات بسبب قطع الخطوط	بالخط
بشري		

بناءا على الجدول 4.1 الموضح أعلاه يمكن إستخلاص مصفوفة التقييم الكيفي للمخاطر واضعين في الإعتبار تقسيم عواقب الفشل حسب تعريف الفشل في خطوط الأنابيب البترولية إلى ثلاث مستويات من الخطورة:

1/ كبيرة .

2/ متوسطة .

3/ صغيرة .

و إعتمادا على تسلسل التعريف الذي يعطى الأولوية للبشر و البيئة على التأثير الإقتصادي و جدول تقييم المخاطر 4.1 و الرسم البياني في شكل 4.2 يتم إستنتاج مصفوفة التقييم الكيفي:

كبيرة	الإضرار الشخصي بالخط	الإضرار بالأنابيب و المرافق	التآكل الحوادث
عو اقع عهماعيه	جميع المشاكل الطبيعية	التغير المفاجئ في الضغط	الحوادث التشققات و الكسور
صغيرة		التلاعب بالخطوط بقصد السرقة	تغير درجات الحرارة
,	منخفضة	متوسطة احتمالية الفشل	مرت <u>فع</u> ة

شكل 4.4 مصفوفة التقييم الكيفي للمخاطر (المستنتجة)

الفصل الخامس

مناقشة الدراسة

(Study Discussion)

The Impact of: تأثير مشاكل خطوط الأنابيب علي تكلفة إنشاء و تشغيل الخط: The Impact of: 5.1

Pipeline Problems on the Cost of Constructing and Operating the

Pipeline)

بعد التعرف علي مشاكل خطوط الأنابيب البترولية في السودان و إجراء التقييم الكيفي للمخاطر التي تحيط بها في الفصل السابق لابد لنا أن نتعرض إلي الأساليب المتبعة في التعامل معها و التي شهدت تطورا في الاونة الأخيرة و تعد هذه الإدخالات بالإضافة إلي الطرق الحديثة في إنشاء و فحص و تشغيل خطوط الأنابيب البترولية عاملا حاسما في الحد من المشاكل التي تحدث فيها أو تقليل أثرها أو كشفها قبل وقوعها أيضا تكون بمثابة تقليل في التكلفة لأن العمليات التي تتم بعد حدوث المشكلة مكلفة للغاية و أيضا لا يمكن التنبؤ بالخسائر التي سوف تحدثها و لذلك فمن الأفضل إجرء المعالجات و الإحترازات الخاصة بتفاديها و التي تسهل كشفها و إحتوئها إبتدئا من مرحلة التصميم وحتى الشروع في تشغيل الخط لنقل المنتجات.

5.2 تحديد مسار خط الأنابيب : (Determine the Pipeline Path

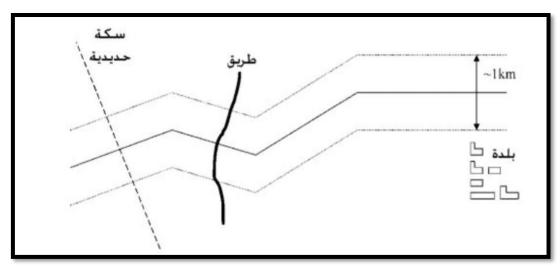
يشكل موضوع تحديد مسار خط الانابيب أو المسار عاملا هاما في عملية تصميم أي خط أنابيب و هو عبارة عن تحديد الأماكن التي يمكن للخط المرور عبرها و تلك التي لا يمكنه عبورها فمثلا لدي تصميم خط أنابيب متجه من النقطة (أ) إلي النقطة (ب) يكون من المناسب إتباع أقصر المسارات و هو الخط المستقيم الواصل بين النقطتين لتقليل تكلفة الإنشاء إلا أن هذا الأمر غير ممكن دائما اذ أنه لد توجيه خط الأنابيب البري يجب الأخذ في عين الإعتبار النواحي الاتبة:

(a) المناطق الحساسة (المنتزهات الوطنية، مناطق التجديد و تنشيط الغابات).

- (b) البيئة (الحياة البرية،المواقع الأثرية).
- (c) الجغرافيا (المناطق الوعرة ، خطوط الفوالق ، مناطق الحت و التعرية.
 - (d) مناطق التجمعات السكنية.
 - (e) مواقع محطات الضواغط.
 - (f) مواقع التجهيزات ما فوق الأرضية.

كما يتوجب أن يتجنب مسار خط الأنابيب الخطوط أو المسارات ذات الكثافة المرورية العالية أو يتم إجرء معالجات للمنطقة لجعل الأنبوب بعيد عن الضغط الذي تشكله الكثافة المرورية و أيضا تجنب خطوط نقل الطاقة الكهربائية و خطوط نقل النفط و الغاز الأخري و يجب أن يبتعد خط الأنابيب مسافة 1كلم عن جميع المنشئات الأخري و إذا كان من المفترض القيام بتقاطع ما بالإضافة للمعالجات للمنطقة يجب أن يكون المسار متعامدا عل الطريق أو السكة إضافة إلى ذلك يتم إجراء دراسة جدوي إقتصادية تأخذ العوامل أعلاه بعين الإعتبار لد تحديد المسار بين نقطة البداية و النهاية.

الشكل 5.1 أدناه يبين بوضوح الممر الأمثل لمسار خط الأنابيب.



شكل 5.1 ممر مسار خط الأنابيب

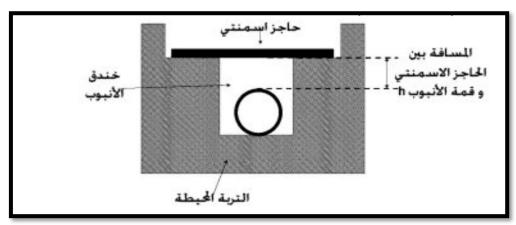
تحديد مسار خط الأنابيب يؤثر تأثيرا مباشرا علي التكلفة لان تحديد المسار من أولويات عملية الإنشاء و أيضا يجنب الشركة المالكة للخط الكثير من الكوارث أو المشاكل المستقبلية .

5.3 حماية خط الأنابيب: (Pipeline Protection)

تتمثل المناطق التي تتطلب وجود حماية بالنسبة للأنابيب البرية في المناطق التي يتقاطع خط الأنابيب فيها مع الطرق و السكك الحديدية أو مناطق حساسة أخري . تتضمن حماية خطوط الأنابيب إستخدام الطرق الأتية :

- التغليف بالبيتون .
- زبادة سماكة الجدار.
 - الدفن في التربة.
- وضع أغلفة حماية.
- وضع علامات تنبيه.
- إستخدام صفائح بيتونية واقية .

يتم إستخدام الكتل أو الضفائح البيتونية لحماية الأنابيب في التقاطعات من أثر الصدمات كما هو مبين في شكل 5.2 ، إضافة إلي أن الفراغ أو المسافة بين الحاجز الأسمني و قمة الأنبوب و الجدار البيوتني يجب أن تكون كبيرة كفاية بما يمنع إنتقال الصدمة عبر الهواء (تأثير مطرقة الضغط).



شكل 5.2 حماية خط الأنابيب من الصدمات

5.4 تغليف خطوط الأنابيب: (Pipeline Coating)

إن الطريقة الأساسية للحماية من التآكل هي تغليف الأنابيب التي يمكن تدعيمها أو تعزيزها من خلال استخدام منظومة حماية كاتودية فعالة. يحدث التآكل عادة في المناطق التي يكون فيها التغليف متضررا إلى سطح الأنبوب و حيث يمكن للرطوبة أن تنفذ بالتالي إذا لم تكن منظومة الحماية الكاتودية فعالة سيحدث التآكل و كما ذكرنا في الفصل السابق لإإن التكل يكون من أكثر المشاكل حدوثا في خطوط الأنابيب البترولية و الحد منه يعتبر مستحيلا لكن من الممكن أن السيطرة عليه إلى حد ما و ذلك عن طريق التغليف الذي يعتبر ذو تكلفة صغيرة جدا بالمقارنة مع تكلفة صيانة خط الأنابيب بعد التعرض للتآكل.



شكل 5.3 طرق التغليف النموذجية للأنابيب

من الأسباب الأخرى التي يمكن أن تبدأ التآكل تشكل فجوات بين طبقة الغلاف و الأنبوب و التي يمكن أن تحتجز الرطوبة بين سطح الأنبوب والغلاف . و يتوجب علي غلاف الأنبوب أن يتميز بالخصائص الأتية :

- الثبات الحراري.
- مقاومة لنفاذ الماء و الرطوبة عبره .
 - الثبات الكيميائي.
 - سهولة الإستخدام.
 - الإقتصادية.

5.4.1 التغليف بأساس من قطران الفحم: (Coating with a Coal Tar Base)

جرت العادة قديما علي إستخدام الأغلفة البيتومينية (القار أو الأسفلت) و الأساس المصنوع من قطران الفحم في تغليف خطوط الأنابيب عل مستوي العالم و يتم تطبيق الأغلفة من خلال لف نسيج مصنوع من الألياف الزجاجية حول محيط الأنبوب و من ثم إشباعه بخليط مصهور من البيتومين أو القطران الفحمي ، من مساوئ هذه الطريقة نذكر:

- حساسية الغلاف لدرجات الحرارة العالية و المنخفضة .
 - يكون عرضة للتكسر تحت تأثير ضغط التربة .
- يمكن أن يحدث إنفصال للغلاف عن الانبوب تحت تأثير الصدمات أو نتيجة للإعداد السيئ لسطح الأنبوب.

5.4.2 التغليف الشريطي : (Tape Coating)

تستخدم الأغلفة الشريطية عادة لإصلاح أقسام أو أجزاء الأنابيب التي تضرر غلافها، أكثر الأنواع انتشاراً هي تلك التي تطبق باستخدام الحرارة حيث يتم لف نوع من نسيج أو قماش مشبع بالقار حول محيط الأنبوب و من ثم يجري تسخينه ، و هناك أيضا الشرائط التي تطبق علي البارد و تكون مصنوعة من البولي إيثلين حيث توجد طبقة ذاتية الإلتصاق على الشريط و تعتبر طريقة رخيصة نسبيا إلا أنها لا تتمتع بالمرونة الكافية لتحمل درجات الحرارة العالية كما يمكن أن تتضرر تحت تأثير ضغوط و إجهادات التربة .

5.4.3 الأغلفة البلاستيكية القابلة للتقلص حراريا : (Heat Shrinkable Plastic Wrap

و هي تتكون أساسا من صفائح بلاستيكية حساسة للحرارة إذ أنه بعد وضعها عل محيط الأنبوب يجري تطبيق حرارة عليها من مشعل مناسب مما يتسبب بتقلصها أو إنكماشها لتضغط عل سطح الأنبوب تستخدم هذه الطريقة عموما للأنابيب ذات الأقطار الصغر و كذلك حول وصلات الأنابيب.

(Polyethylene Covers) : غلفة البولى إيثلين 5.4.4

تطبق أغلفة البولي إيثلين خلال مرحلة التصنيع إما من خلال لف شريط لاصق حول محيط الأنبوب أو من خلال رش البولي إيثلين كغلاف خارجي واحد ، خلال عملية رش البولي إيثلين يتم وضع أساس أولا علي محيط الأنبوب و من ثم طبقة من مادة لاصقة و أخيرا يتم رش طبقة أو طبقتين من البولي إيثلين ، لا تتميز طبقة الغلاف المتشكلة بتحملها لدرجات الحرارة كما هو الحال بالنسبة لأغلفة الإيبوكسي الملصقة بالصهر و ذلك لأن طبقة المادة اللاصقة تحد من هذه القدرة .

5.4.5 أغلفة الإيبوكسي الملصقة بالصهر: (Fusion Bonded Epoxy Coatings)

تعتبر أغلفة الإيبوكسي الملصقة بالصهر من أكثر طرق التغليف الموثوقة حاليا المعتمدة من قبل مشغلي خطوط الأنابيب، تطبق هذه الأغلفة خلال مرحلة التصنيع مع إمكانية تطبيقها في الموقع علي الأماكن المتضررة الغلاف مثل الوصلات في الحقول أو مواقع التركيب، يتم تطبيقها من خلال تحضير سطح الأنبوب أولا و تسخينه قبل تطبيق بودرة الإيبوكسي، و من ثم تبداء الحبيبات بالذوبان على محيط الأنبوب و تشكل إرتباطا قويا مع السطح لدي تصلبها، تتميز طبقة غلاف الإيبوكسي بمتانتها و مقاومتها لتشكل العيوب فيها إضافة إلى مقاومتها للإنفصال عن السطح بفعل درجات الحرارة المرتفعه لكن هذه الطريقة هي أكثر طرق التغليف تكلفة.

الجدول 5.1 أدناه يبين التكلفة النسبية لطرق التغليف المختلفة.

جدول 5.1 التكلفة النسبية لطرق التغليف المختلفة

الكلفة النسبية	طريقة التغليف	
مرتفعة	أغلفة الإيبوكسي ، البولي إيثلين	
متوسطة	البيتومين ، قار الفحم ، الإسفلت	
منخفضة	التغطية الشريطية	

5.5 الحماية من التآكل: (Corrosion Protection)

كما ذكرنا في السابق أن الطريقة الرئيسية لحماية خطوط الأنابيب من التآكل هي تغليفها و ثم استخدام منظومة حماية كاثودية مناسبة هذه الإجرائات تقلل من التكلفة التشغيلية و تكلفة الصيانة بالنسبة لخط الأنابيب إذ أنها تطيل من عمر خطوط الأنابيب و تجعله مقاوم لخطر التآكل و هذا يوفر الكثير جدا من تكاليف ما بعد التشغيل.

5.6 الحماية الكاثودية: (Cathodic Protection)

هناك طريقتين للحماية الكاثودية مستخدمة من قبل الشركات المشغلة لخطوط البترول:

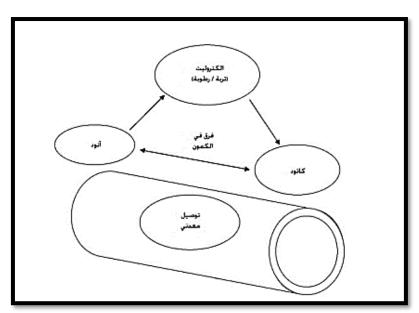
- (a) منظومات الحماية بتيار الإنحلال .
- (b) منظومات الحماية بالتيار الفعال .

إذ أن الية التآكل يتوجب فيها وجود منطقتين هما (الكاثود) و (الأنود) حيث يحدث فرق الكمون بينهما نتيجة لوجود الموصل المتمثل في (سطح الأنبوب) و المحلول الإلكتروليتي (التربة المحيطة) فتتوفر الظروف الملائمة لحدوث التآكل و ما إن تنشاء هذه الخلية حتى يمر تيار كهربائي من الأنود عبر الإلكتروليت متجها إلى الكاثود حيث يعود التيار إلى المعدن يحدث التآكل في منطقة الأنود فقط حيث يقوم الحديد بتشكيل شوارد معدنية تتفاعل مع الرطوبة المحيطة ليحدث الصداء ، يعتمد معدل أو سرعة التآكل على فرق الكمون بين الأنود و الكاثود و بإسقاط هذه الظاهرة على خطوط الأنابيب يبدو أن العوامل التي تقود إلى إحتمالية تشكيل خلايا التآكل تتمثل فيمايلي :

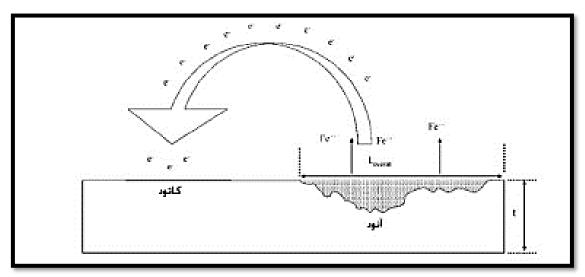
- (a) التغيرات في نوع التربة (التي تمثل الإلكتروليت)
- (b) ظروف التربة الهوائية و الغير هوائية (الترب الهوائية تميل إل تشكيل مناطق أنودية بينما اللا هوائية تشكل أماكن كاثودية).
- (c) تجانس أو تماثل بنية المعدن عل طول خط الأنابيب (يتوجب الرجوع إلى الكمونات الطبيعية للمعادن المختلفة في السلسلة الغلفانية) فإذا تم وصل معدنين مختلفين مباشرة بواسطة إلكتروليت عندئذ سيكون المعدن ذو الكمون الطبيعي الأقل هو الأميل

إلى التآكل ، على سبيل المثال إذا تم وصل أنبوب برونزي قديم مع أنبوب فولاذي جديد عندئذ سيكون تآكل أنبوب الفولاذ مفضلا و ذلك لأنع يمتلك كمونا طبيعيا أكبر و لكنه بالقيمة السالبة .

الشكل 5.4 أدناه يبين العناصر الأساسية للتآكل. أما الشكل 5.5 أدناه فيوضح مخططيا مناطق الكاثود و الأنود.



شكل 5.4 العناصر الأساسية للتآكل



شكل 5.5 مناطق الكاثود و الأنود

1. منظومات الحماية بتيار الإنحلال : (Ionizing Current Protection Systems)

تقوم منظومات الحماية بتيار الإنحلال على مبداء الكمون الطبيعي للمعادن ، إذ أنها تحقق الحماية من خلال توصيل معدن اخر إلي التربة (الإلكتروليت) بحيث يكون تآكله مفضلا مقارنة بمعدن الأنبوب بمعدن الأنبوب (أي إستخدام معدن ذو كهروسالبية أعلي) ، و بالتالي سيشكل هذا المعدن أنودا و يشار إليه بالأنود المنحل أو المضح به . من الأنودات الشائعة الإستخدام هناك قطع الماغنيزيوم التي توضع علي طول خط الأنابيب و تتآكل عوضا عن معدن الأنبوب ، يمكن إستخدام هذه الأنودات في التطبيقات التالية :

- خطوط الأنابيب البحرية.
- خطوط الأنابيب البرية ذات الأقسام الصغيرة .

2. منظومات الحماية بالتيار الفعال : (Active Current Protection Systems

تستخدم منظومات الحماية بالتيار الفعال لحماية خطوط الأنابيب العابرة للبلدان (الطويلة) و هي تعتمد عل مصادر الطاقة الكهربائية الرئيسية مع محولات لتطبيق تيار مستمر (بفولتية) محددة بين الكاثود و الأنود ، تستخدم الفولتية الخارجية لإحداث تيار الحماية و ضمان أن سطح الأنبوب يشكل الكاثود علي الدوام ، تتمثل القياسات الرئيسية المجراة في هذه المنظومات بكموني العمل و التوقف و المقاسين بالنسبة لإلكترود قياسي من سلفات النحاس ، من الضروري قدر الإمكان قياس الكومن علي سطح الأنبوب (كمون الإستقطاب) و من ثم أخذ قياسات كمونات التوقف ، و تدعي هذه العملية بالمقاطعة المتزامنة ، أما إذا لم يكن القيام بذلك ممكنا كما هو الحال بالنسبة للمنظومات القديمة فيتوجب عندئذ قياس الكمونات عل السطح و تدع هذه بكمونات العمل .

5.7 نظافة و فحص خطوط الأنابيب و نظام الكشط: Cleaning and Inspection of) (Pipelines and Scrabing System)

تتم عمليات النظافة و الفحص لخطوط الأنابيب بإرسال الفرش عبر مصائد مصممة خصيصا لهذا الغرض حيث يتم عزل مصائد الفرش بواسطة البلوفة و يتم فتح البوابة و إدخال الفرشاة و إعادة غلق البوابة حيث تنطلق الفرشاة عبر الأنبوب بواسطة قوة دفع النفط أو المنتج الذي يتم

ضخه عبر الخط ،و يتم إستقبال الفرشاة في مصيدة الإستقبال و يتم فتح البوابة و إستلام و إستخراج الفرشاة ، و في كل محطة يكون هناك مصيدتان واحدة لإرسال الفرش و الأخر للإستقبال .

يتم إرسال الفرش بأشكال مختلفة داخل خط أنابيب البترول للأغراض التالية:

- (a) نظافة خط الأنابيب من النفايات و المياه المترسبة .
- (b) إجراء عمليات التفتيش الداخلية (بإستخدام الفرش الذكية) .

و هناك عدة أنواع من الفرش المستخدمة في عمليات النظافة منها:

- (c) فرشاة مشتركة نمطية تشمل الفرشاة الكاشطة و فرشاة التنظيف .
- (d) فرشاة مع نسبة تمرير و تسريب عالية مع صمام مركزي للتسريب .
 - (e) فرشاة كاشطة نمطية ثنائية الإتجاه .
 - (f) فرشاة إسفنجية .

أيضا الفرش الذكية تتعدد أنواعها و المستخدم منها:

- (g) فرشاة التدفق المغناطيسي .
- (h) فرشاة الموجات فوق الصوتية .
- (i) فرشاة مزودة بوحدة الخرائط الداخلية .

بعد عمليات الفحص يتم تحميل البيانات و تحليلها ببرامج معينة و بتقنيات مخصصة تحدد من خلالها نوع المشاكل الداخلية أو الخارجية في الخط و يتم تحديد مواقعها و كيفية صيانتها حسب نوع و شكل المشكلة سواء كانت تآكل أو تشقق أو عيوب تصنيع .

بسبب التكلفة العالية لعمليات الكشط الذكي يتم إستخدامها مرة كل خمس سنوات و لكنها عملية مفيدة في فحص الأنابيب لتحديد أهداف الصيانة الدورية .

5.7.1 فرشاة التدفق المغناطيسي : (Magnetic Flux Brush)

يتم إستخدام فرشاة معينة مزودة يملفات لوضع فيض مغناطيسي عل جدار الأنبوب و مزودة بأجهزة إستشعار بين القطبين للكشف عن أي تسرب ناتج عن الضعف و الذي يعرف غالبا بإسم فقدان المعادن ، من الواضح أنه يجب إحداث كثافة تدفق كبيرة في جدار الأنبوب الأمر الذي يستلزم إستخدام مغناطيسات قوية جدا و عادة ما تكون ضخمة نوعا ما ، و وجد أن هذا قد يكون حجر عثرة في إستخدام هذه الطريقة مع الأنابيب الصغيرة و تم إنتاج مقاسات أصغر يتم إجرأء الفحص عبر الجهاز و تنتقل النتائج لاسلكيا إلي حاسوب مركزي يضع النتائج في صورة إحداثيات بالشقوق و الضعف المعدني في الغلاف .

الشكل 5.6 الموضح أدناه يبين صورة واضحة للمكونات الأساسية لفرشاة التدفق المغناطيسي المستخدمة في نظافة و فحص خطوط الأنابيب.



شكل 5.6 فرشاة التدفق المغناطيسي

5.7.2 فرشاة الموجات فوق الصوتية : (Ultrasound Brush)

يعمل الفحص بالموجات فوق الصوتية على مفهوم سهل للغاية يرسل محول الطاقة نبضة تنتقل بسرعة محددة سلفا لترسل النبضة إلى متلق أمامي ليرسل الصدا إلى متلقي محول الطاقة مرة أخر، عند وجود شرخ أو تآكل في الأنبوب يحدث تذبب في السرعة و يحلل هذه التذبذبات

حاسوب مركزي يعطي خريطة بالعيوب لتتم معالجتها و أيضا قد تؤدي فقاعات الغاز و التكتل الشمعى إلى حدوث هذه الذبذبات .

الشكل 5.7 أدناه يبين صورة لفرشاة الموجات فوق الصوتية.



شكل 5.7 فرشاة الموجات فوق الصوتية

إن أنظمة الكشط و الفحص الذي هي أنظمة مكلفة للغاية فلذلك يتم إستخدامها كل فترة طويلة للتحضير لإجراء صيانة دورية للخط و لحصر العيوب و المشاكل لهذا السبب فإن جدواها تزيد لأجل فوائدها العديدة و الحوجة الماسة إليها في ظل التطور الكبير و الضغوط التشغيلية العالية التي وصل عمل خطوط الأنابيب البترولية إليها.

5.8 نظام الإشراف و المراقبة و جمع البيانات و التحكم بها (إسكادا): (Supervision)

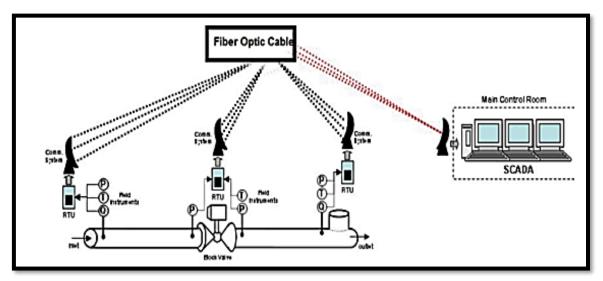
Monitoring, Data Collection and Control System (SCADA))

أنظمة التحكم الإشرافي وجمع البيانات يُطلَق عليها إسكادا، وكلمةُ إسكادا هي عبارة عن إختصار باللغة الإنجليزية للجملة التالية (SCADA: Supervisory Control and.

المقصود بجمع البيانات هو آلية الوصول لبيانات المحطات المراد التحكم فيها، ويتم ذلك بإستخدام أجهزة التحكم والقياس. من المهم هنا توضيح أن البيانات نُشير بها إلى المعلومات التناظرية والرقمية (analog and digital information) والتي يتم جمعها بواسطة أجهزة الاستشعار (Sensors) ، مثل مقاييس التدفق(flowmeters) ، ومقاييس التيار (Actuators) والمُرَحِّلات (Actuators) والمُرَحِّلات (Relays) وما إلى ذلك.

تم إدخال أحدث الانظمة للتحكم في خطوط أنابيب البترول و هو نظام (الإسكادا) الذي يعتبر نظام متطور و يستخدم في مراقبة و التحكم بخطوط الأنابيب البترولية عن بعد دون الحاجة للمراقبة البشرية التي بدأت جميع الأنظمة بالتخلي عنها و إستبدالها بالأنظمة التكنولوجية لتوفير الوقت و المجهود و زيادة معدلات الإنتاجية و تقوم هذ الأنظمة بنقل البيانات إلى قلب النظام الذي هو عبارة عن حاسوب مركزي و متحكم رئيسي يتلق الأوامر و البيانات من عدد من الوحدات الطرفية البعيدة الموجودة في المحطات الخلوية و من خلال الحساسات و الأجهزة الطرفية تستطيع أيضا بالإضافة للمراقبة أن تتحكم بالوحدات التابعة كإغلاق و فح الأنابيب، يقوم نظام إسكادا بجمع معلومات الضغط و درجات الحرارة و معدل التدفق و إنسياب السائل في خط الأنابيب و حالات حدوث تسريب فمثلا عند حدوث تسرب في خط الأنابيب أو تغير درجة الحرارة أو الضغط عن قيم معينة يقوم النظام بإصدار إنذار و إرسال رسائل تبين حالة النظام و الأعطال التي يتعرض لها في هذه اللحظة فيقوم عندها العامل البشري بالتدخل و عمل الصيانة المباشرة عن طريق الإشارات التي وصلته و البيانات التي أمنتها له أنظمة الإسكادا لهذا الصم النظام بنظام الإشراف و المراقبة و جمع البيانات و التحكم بها .

الشكل 5.8 المبين أدناه يوضح بنية نظام إسكادا Schematic Diagram)



شكل 5.8 الرسم التخطيطي الهيكلي لنظام (SCADA) 5.9 صيانة خطوط الأنابيب البترولية: (Maintenance of Petroleum Pipelines)

صيانة الأنابيب النفطية تسمح بضمان السلامة لنقل النفط و لك من خلال التسيير الجيد لها و تبداء خطط الصيانة في مرحلة التصميم حيث ان التصميم الجيد يحتاج لأعمال صيانة أقل و يجب عل المهندسين العمل معا من أجل إعطاء نتائج جيدة .

و تقسم الصيانة حسب أدوارها إلى:

- الصيانة غير المخططة و تنفذ بدون تحديد أي معلومات عن نشاط الصيانة و تحدث عند ظهور عطل مفاجئ .
- الصيانة المخططة تعبر عن العمليات التي يتم توقع حدوثها و يعد لها المواد و الخطط التنفيذية اللازمة و الميزانيات المتوقعة لها .
- الصيانة التصحيحية و هي عبارة عن صيانة علاجية ناتجة عن فشل الصيانة المتكررة و يجب معالجتها بسرعة حال حدوثها لان هناك عطل مفاجئ يهدد بالخسارة .
- الصيانة الوقائية و هي نظام ذو خطوات منطقية متسلسلة يتم تطبيقها عل المعدات بمجرد بدء دخولها للخدمة خلال فترة محددة لتقليل فرص حدوث العطل و التوقفات .

يعني هذا أن الصيانة هي نظام متكامل من الأنشطة و العمليات و التصاميم التي يجب أخذها بعين الإعتبار للوصول إلى تخطيط جيد يسمح بمواجهة الأعطال و التوقفات.

5.10 تكاليف صيانة أنابيب الخطوط البترولية: Maintenance Costs for) (Petroleum Pipes in Pipelines

إرتفاع تكاليف الصيانة المرتبطة بخطوط الأنابيب البترولية يتطلب القيام بأنشطة للوصول إلي خطة صيانة منتظمة و فعالة لضمان الموثوقية و تقليل التكلفة و يتم تحسين تكاليف الصيانة من أجل الإمتثال لحد أدني مطلوب لمعايير الصيانة ، و تستخدم إستراتيجية الصيانة عل أساس المخاطر لنظام خط أنابيب النفط و يقترح الصيانة الوقائية المعتمدة عل حساب الفاصل الزمني للصيانة الأمثل لخطوط الأنابيب التي تهدف لتقليل التكلفة و الحد من المخاطر.

تتم عملية التحسين عن طريق إجراءات تقدير تكاليف الصيانة الاتية:

- (a) إحتمالية الفشل و تقديره .
 - (b) تحديد عواقب الفشل.
 - (c) تقدير خطر الفشل.
- (d) حساب الحد من المخاطر.
- (e) حساب مجموعة دالة التكاليف.
- (f) تحديد الفاصل الزمني بين عمليات التفتيش حيث تكون تكلفة عملية الصيانة المثالية في سياسة الصيانة الوقائية .

الفصل السادس

الإستناجات والتوصيات

(Conclusions and Recommendations)

6.1 الإستناجات: (Conclusions)

في ختام هذه الدراسة يمكننا أن نستعرض ما تم التوصل إليه:

- 1. تمت الإحاطة بالمشاكل في خطوط الأنابيب البترولية في السودان عبر المراجع التي تناولنا منها البيانات التي تشتمل علي المشاكل و الطرق المستخدمة للتعامل معها و الأنظمة الخاصة بها.
- 2. توصلنا إلي أن إضافة وسائل حديثة لفحص الأنابيب البترولية و مراقبتها يقلل من الأعطال المفاجئة التي تؤثر على المسار الإنتاجي وذلك لأن الإكتشاف المبكر للمشكلة يجعل من السهل جدا التعامل معها دون التأثير على خط الإنتاج.
- 3. الخطورة الحقيقية للتسرب النفطي تتمثل في التأثير عل البيئة و تعمل علي تلوث الهواء و المياه مما يؤدي إلى أضرار على الكائنات الحية و الموارد بمختلف أنواعها .
- 4. طبيعة العمليات التي يمر بها البترول خلال صناعته بالإضافة لتعقيدها تؤدي إلي مضاعفة مخاطر الفشل.
- 5. بالرغم من وجود أجهزة التحكم و الفحص ذات الإعتمادية العالية و التقنية المتقدمة إلا أن هذه الإعتمادية ليست مثالية و تترك هامشا صغيرا لأخطاء الأجهزة التي يمكن أن تقود إلى الفشل لذلك يجب التدقيق في النتائج بصورة كبيرة .
- 6. يجب علي جميع مشغلي خطوط الأنابيب البترولية وضع خطط للسلامة و ذلك من الناحية التصميمية لخطوط الأنابيب البترولية ووضع أنظمة إخماد للحرائق و أنظمة إحتواء للتسرب النفطى حتى وصول فريق الصيانة .

6.2 التوصيات: (Recommendations)

من خلال ما تم إستعراضه سيتم إقتراح التوصيات الآتية:

- 1. يجب أن يتم القيام بتحليل كمي للمخاطر الخاصة بفشل أنابيب نقل البترول يقوم علي إجراء حسابات تفصيلية لكل من المخاطر الفردية و المخاطر الجماعية ، يعرف الخطر المفرد علي أساس التوتر الذي يمكن أن يصاب وفقا له الأفراد نتيجة لحادث معين لتحري دقة نتائج التحليل الكيفي للمخاطر.
- 2. إستخدام نظام إسكادا في مراقبة عمل الحماية الكاثودية بما أنه أحدث نظام في أنظمة المراقبة و الإشراف و أكثرها دقة .
- 3. يجب إعتماد الصيانة المخططة من قبل الشركات المشغلة لخطوط أنابيب البترول لأن المخاطر المتعلقة بمشاكل خطوط الأنابيب البترولية مدمرة للبيئة و مسببة لخسائر كبيرة .

الكتب والمراجع

(Books and References)

الكتب والمراجع العربية (Arabic Books and References)

- [1] م. عبد العزيز مصباح ، المؤلف : أساسيات صناعة البترول ، دار لأمين للنشر و التوزيع 2005م .
- [2] جمهورية السودان ، وزارة النفط ، الورقة القطرية لجمهورية السودان ، للمشاركة في مؤتمر النفط العربي العاشر بدولة الإمارات العربية المتحدة ديسمبر 2014م .
 - [3] القانون السوداني للثروة النفطية 1998.
- [4] أ. العقيلي ، المؤلف: تقييمات المخاطر بين البلدان و إستراتيجيات التخفيف ، دار الخليج للنشر المحترف 2018م .
- [5] م. سليمان أمين ، وم. عثمان محمد ، دراسة الأثر البيئي و تقييم المخاطر لخط أنابيب المنتجات البترولية ، جامعة الخرطوم، 2022م .
- [6] م. إبراهيم خزيم ورقة علمية بعنوان تحديد الملامح التقنية لتصميم و إستثمار أنابيب النفط، عام 2017م.
 - [7] وزارة النفط و الغاز (قسم السلامة و البيئة) .
 - [8] الشركة السودانية لخطوط أنابيب البترول قطاع عطبرة (قسم السلامة) .
- [9] م. أحمد عابدين سليمان ، مقال بعنوان : نظافة و فحص خطوط الأنابيب ، إدارة العلاقات العامة و الإعلام بالشركة السودانية لخطوط أنابيب البترول ، الإصدار الرابع 2017 .
- [10] توفيق عبدالرحمن ،إدارة الصيانة و تشغيل المرافق ، منهج المهارات التخصصية ط 3 ، 2004 .

[11] بروفيسور/ محمود يس عثمان ودكتور/ أسامة محمد المرضي سليمان خيال، مارس ، Noor Publishing، (Mechanical Vibrations) ، ISBN: 978-613-9-43200-4 ، Germany

[12] دكتور/ أسامة محمد المرضي سليمان خيال، 2020 م. أقتصاديات الهندسة، Noor. [12] دكتور/ أسامة محمد المرضي سليمان خيال، 2020 م. أقتصاديات الهندسة، Noor.

[13] دكتور/ أسامة محمد المرضي سليمان خيال، 2020 م. تصميم العناصر والأنظمة في الهندسة الميكانيكية،ISBN: 978-620-0-78137-6 ،Germany ، Noor Publishing .

[14] دكتور/ أسامة محمد المرضي سليمان خيال، 2020 م. كتاب صيانة الآلات الميكانيكية، (SBN: 978-620-0 ، Noor Publishing .

[15] دكتور/ أسامة محمد المرضي سليمان خيال، 2020 م. مقاومة المواد الهندسية، Noor المامة محمد المرضي سليمان خيال، 2020 م. مقاومة المواد الهندسية، SBN: 978-620-0-78134-5

الكتب والمراجع الإنجليزية (English Books and References)

- [1] Hansen, ME & Dursterler, E. (2017), Pipelines, Rail & Trucks, Strata Publishing.
- [2] Kumar Dey, Decision support system for inspection and maintenance, 2004.
- [3] Fatima Mohammed Hussein, Dr. Asia Abu elgasim Elhassan, Dr. Osama Mohammed Elmardi Suleiman, (2019). Urban Upgrading of Deteriorating Residential Environment, Case Study of Alteleih Residential Area, Atbara, Sudan, Journal of Scientific and Engineering Research, ISSN: 2394-2630 CODEN(USA): JSERBR, 6(4): PP. 175 179.

- [4] Dr. Osama M. E. S. Khayal .2020. Mining Industry in SUDAN, Nile Valley University —Atbara SUDAN. Available At: https://www.researchgate.net/publication/346654803. THE MINISTRY OF INVESTMENTS AND INTERNATIONAL COOPERATION, The Minister's Office, Address: King Abdelaziz Street, 7th Street Intersection, Al Amarat, Khartoum SUDAN, THE NEW SUDAN, INVESTING FOR STABILITY | GROWTH | WEALTH, Proceedings of Paris Conference, 2021.
- [5] Dr. Osama Mohammed Elmardi Suleiman Khayal, INTRODUCTION AND LITERATURE REVIEW OF CORROSION AND BIOFOULING IN MARINE ENVIRONMENT, International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology, 2022. Vol. 7, Issue 8, ISSN No. 2455-2143, Pages 41-61.
- [6] Dr. Osama Mohammed Elmardi Suleiman Khayal, A REVIEW STUDY IN MINING INDUSTRY, international Journal of Engineering Applied Sciences and Technology, 2022. Vol. 7, Issue 6, ISSN No. 2455-2143, Pages 01-14.
- [7] Osama Mohammed Elmardi Suleiman May (2018). Questions and Answers in Mechanical Engineering Part One, www.ektab.com, Jordan.
- [8] Osama Mohammed Elmardi Suleiman May (2018). Questions and Answers in Mechanical Engineering Part Two, www.ektab.com, Jordan.
- [9] Osama Mohammed Elmardi Suleiman May (2018). Self-Development in Mechanical and Manufacturing Engineering Questions and Answers, www.ektab.com, Jordan.

- [10] Osama Mohammed Elmardi Suleiman, (2020). Fundamentals of Economics in Engineering Projects, LAP LAMBERT Academic Publishing, Member of Omni Scriptum Publishing Group, Germany, and ISBN: 978-620-2-673982-3.
- [11] Osama Mohammed Elmardi Suleiman Khayal, (2020). LITERATURE REVIEW ON RAIL TRANSPORT, LAP LAMBERT Academic Publishing, Member of Omni Scriptum Publishing Group, Germany, and ISBN: 978-620-2-68587-0.
- [12] Surag Mohammed Saeed Ali, and Osama Mohammed Elmardi Suleiman Khayal, (2021). Ships' Hull Corrosion Prevention Using ICCP System, LAP LAMBERT Academic Publishing, Member of Omni Scriptum Publishing Group, Germany, and ISBN: 978-620-3-85406-0.
- [13] Osama Mohammed Elmardi Suleiman Khayal, (2021). Corrosion and Biofouling, LAP LAMBERT Academic Publishing, Member of Omni Scriptum Publishing Group, Germany, and ISBN: 978-620-3-85737-5.
- [14] Osama Mohammed Elmardi Suleiman Khayal, (2021). Mechanical Engineering, LAP LAMBERT Academic Publishing, Member of Omni Scriptum Publishing Group, Germany, and ISBN: 978-620-3-86405-2.
- [15] Osama Mohammed Elmardi Suleiman Khayal, (2020). Solid Mechanics, LAP LAMBERT Academic Publishing, Member of Omni Scriptum Publishing Group, Germany, and ISBN: 978-620-2-67920-6.

[16] Osama Mohammed Elmardi Suleiman Khayal, (2020). Self-Development of Career in Mechanical and Manufacturing Engineering, Noor Academic Publishing, Member of Omni Scriptum Publishing Group, Germany, and ISBN: 978-620-0-77854-3.

[17] Osama Mohammed Elmardi Suleiman Khayal, (2020). Tribology in Vehicles, Noor Academic Publishing, Member of Omni Scriptum Publishing Group, Germany, and ISBN: 978-620-0-77981-6.