الجامعة السورية الخاصة
SYRIAN PRIVATE UNIVERSITY
كلية هندسة البترول
Faculty of petroleum engineering

# التسربات في الأنابيب النفطية

**مشروع تخرج لنيل الإجازة في الهندسة البترولية**

**إعداد**

**ميلاد طالب الغزالي  اليسار خلف المفتاح  عبدو عزت أبراهيم**

**إشراف**

**الأستاذ الدكتور ماهر سعادة**

العام الجامعي
٢٠١٦ / ٢٠١٧

# كلمة شكر

أساتذتنا رواد سفينة التعليم وساروا بها في بحار العلم وعلمونا كيف نصطاد جواهر

المعرفة لنختزنها كنوزاً أبدية فلهم من الشكر والتقدير

ونخص بالشكر أستاذنا الفاضل **الدكتور ماهر سعادة**

الذي غمرنا بخلقه الكريم قبل علمه الواسع وأشرفا على عملنا

# الإهــداء

**احمد الله واشكره على فضله وكرمه ودوام نعمته علي**

**اهدي ثمرة جهدي في نهاية المرحلة الجامعية الى والدي الذي تعب وافنى سنين عمره ليقدم لي كل ما احتاج اطال الله في عمره.**

**والى وادتي التي غمرتني دوما بحبها وحنانها ودعواتها لي حفظها الله .**

**والى من ساندوني دوما وقدمو لي الكثير .....اخوتي**

**والى من عوضني غياب والدتي وكان الى جانبي ..... اخواتي**

**والى حبيبتي وشريكة حياتي التي كانت معي في كل شيء**

**والى رفاقي واصدقائي المخلصين .**

**والى كل من ساعدني وتمنى لي الخير وغفلت عن ذكرهم .**

# فهرس المحتويات


| الموضوع | رقم الصفحة |
|---|---|
| **الفصل الأول** : معلومات عامة عن النفط | ٨ |
| ١- لمحة عن النفط الخام وتركيبه الكيميائي: | ٨ |
| ١-١ التصنيف الكيميائي للهيدروكربونات: | ٨ |
| ١-١-١البارافينات Paraffins: | ٩ |
| ١-١-٢ النافثينات Naphthenes : | ١٠ |
| ١-١-٣ الهيدروكربونات الأليفاتية غير المشبعة أو الأوليفينات( Olefins): | ١٠ |
| ١-١-٤ الهيدروكربونات الأروماتية ( AROMATIC HYDROCARBONS): | ١١ |
| ١-١-٥ المكونات غير الهيدروكربونية: | ١١ |
| ١-١-٦ المحتويات الفلزية: | ١٢ |
| ١-٢ أشكال تواجد الغاز الطبيعي: | ١٢ |
| ١- ٣ خصائص النفط الخام: | ١٣ |
| ١-٤ سلوكية الخامات النفطية: | ١٨ |
| **الفصل الثاني** : نقل النفط ومشتقاته عبر الأنابيب | ٢٠ |
| ٢-١ مقدمة: | ٢٠ |
| ٢-٢- من أجل المباشرة بالحسابات التكنولوجية لأنابيب النفط يجب توفر ما يلي: | ٢١ |
| ٢-٢- من أجل المباشرة بالحسابات التكنولوجية لأنابيب النفط يجب توفر ما يلي: | ٢١ |
| ٢-٢-١ مبادئ تصميم خط أنابيب النفط (Principles of pipeline design): | ٢١ |
| ٢-٣ التأثير على البيئة (Effect on the invironment): | ٢٢ |
| ٢-٣-١- الإعتبارات البيئية للأنابيب غير الشاطئية : | ٢٢ |
| ٢-٣-٢- الإعتبارات البيئية للأنابيب الشاطئية: | ٢٣ |
| ٢-٣-٣- مسار خط الأنابيب (Routing of pipeline): | ٢٣ |
| ٢-٣-٣-١- مواقع خط الأنابيب (pipeline locations): | ٢٦ |
| **الفصل الثالث** | ٣٠ |
| دراسة الكشف عن التسربات في أنابيب النفط | ٣٠ |
| ٣.١ تصنيف الأنظمة : | ٣٠ |
| ٣.١.١ خطوط الأنابيب: | ٣١ |
| ٣.١.٢ تشكيل خطوط الأنابيب: | ٣١ |
| ٣.١.٣ خصائص السوائل في الأنابيب: | ٣١ |
| 3.1.4الخصائص الميكانيكية لخط الأنابيب | ٣٢ |
| 3.1.5 أنماط التسرب وتقنيات الكشف المطبقة: | ٣٢ |
| ٣.١.٦ قائمة طرق الكشف عن التسرب: | ٣٥ |
| ٣.٢ توصيف طرق كشف تسرب: | ٣٦ |

| | |
|---|---|
| ٣.٢.١ توازن الكتلة: | ٣٦ |
| ٣.٢.٢ أنظمة معدلات التغير: | ٣٧ |
| ٣.٢.٣ تحليل نقاط الضغط Pressure point analysis (PPA): | ٣٨ |
| ٣.٢.٤ أنظمة موجة الإنذار: | ٣٩ |
| ٣.٢.٥ نظم SCADA : | ٤١ |
| ٣.٢.٥.١ انحرافات الضغط: | ٤٢ |
| ٣.٢.٥.٢ انحراف التدفق: | ٤٢ |
| ٣.٢.٥.٣ مخططات التصويت: | ٤٢ |
| ٣.٢.٥.٤ موقع التسرب | ٤٣ |
| ٣.٢.٦ الإنبعاثات الصوتية : | ٤٥ |
| ٣.٢.٧ الطرق ذات الأساس الكيميائي: | ٤٧ |
| ٣.٢.٧.١ المستشعرات الكيميائية المنفصلة: | ٤٧ |
| ٣.٢.٧.٢ المستشعرات الكيميائية الموزعة: | ٤٧ |
| ٣.٢.٨ منحني درجة الحرارة: | ٥٠ |
| ٣.٢.٩ تكنولوجيات الاستشعار بالألياف الضوئية: | ٥٢ |
| ٣.٢.١٠ تقنيات متعقب الإشعاع: | ٥٤ |
| ٣.٢.١١ Intelligent pigging: | ٥٤ |
| ٣.٣ الحساسية والاستجابة: | ٥٥ |
| ٣.٤ العوامل المؤثرة على الأداء: | ٥٥ |
| ٣.٥ الحدود النظرية لإمكانية كشف التسرب: | ٥٦ |
| ٣.٦ التجهيزات اللازمة لنمذجة خط الأنابيب اللحظي (نموذج الوقت الحقيقي): | ٥٩ |
| ٣.٦.٢ أداء التجهيزات: | ٦٠ |
| ٣.٦.٢.١ الدقة: | ٦٢ |
| ٣.٦.٢.٢ التكرارية: | ٦٢ |
| ٣.٦.٢.٣ النطاق الميت وأخطاء اختيار العينات: | ٦٢ |
| ٣.٦.٢.٤ أخطاء معالجة البيانات: | ٦٣ |
| ٣.٧ تقييم الأداء: | ٦٣ |
| ٣.٧.١ استطلاع المقارنة: | ٦٣ |
| ٣.٧.٢ نقاط القوة والضعف في تقنيات النماذج: | ٦٦ |
| ٣.٧.٢.١ طريقة توازن الحجم: | ٦٦ |
| ٣.٧.٢.٢ تحليل نقاط الضغط: | ٦٧ |
| ٣.٧.٢.٣ النماذج المؤقتة: | ٦٨ |

| | |
|---|---|
| ٣.٧.٣ الخلاصة: | ٦٩ |
| ٣-٨ الأنظمة والتشريعات والمسؤوليات: | ٧٠ |
| ٣-٨-١ مسؤوليات الأداء: | ٧٢ |
| ٣-٨-٢ الاحتياجات المقترحة في المستقبل: | ٧٣ |
| ٣-٨-٣ الجوانب التكنولوجية في المستقبل: | ٧٤ |
| ٣-٨-٤ *جوانب السلامة:* | *٧٥* |
| ٣-٩ التكنولوجيات الناشئة: | ٧٥ |
| ٣-٩-١ توجهات التكنولوجيا الناشئة: | ٧٦ |
| ٣-١٠ مناقشة النتائج: | ٧٩ |
| **الفصل الرابع** : معالجة التسربات | ٨٣ |
| محطة للتدريب | ٩١ |
| المراجع : References | ٩٤ |

# مقدمة

أدت الحاجة لنقل النفط ومنتجاته من نقطة الإنتاج إلى مكان الاستخدام النهائي إلى زيادة سريعة في عدد خطوط الأنابيب التي يجري تصميمها و بناؤها.

والعديد من هذه السوائل تعتبر من المواد الخطيرة ،التي تنقل في كثير من الأحيان على مقربة من المراكز السكانية أو من خلال مناطق عالية الحساسية بيئياً، والحاجة لحماية هذه الأنابيب على طول الخط أصبحت روتينية و في بعض الحالات الإشراف عليها إلزامي على مدار ( ٢٤ ) ساعة ، ولذلك تزداد الحاجة إلى أنظمة تحكم وقياس سريعة و موثوقة إضافة إلى طرق المعالجة السريعة .

تتراوح أنظمة الكشف عن التسرب من الملاحظة البصرية البسيطة والدقيقة إلى ترتيبات معقدة من الأدوات و البرمجيات حيث لا توجد طريقة واحدة قابلة للتطبيق عالمياً فمتطلبات التشغيل تملي الطريقة الأكثر فعالية من حيث التكلفة.

في هذا المشروع سوف نعرض موجزاً لأسباب التسريبات و الآثار المترتبة على عدم كشفها . بالإضافة إلى أهم التقنيات الأساسية المستخدمة حالياً لكشف هذه التسربات حيث تُناقش المزايا و العيوب لكل طريقة وبعض المؤشرات سارية المفعول بالمجمل إضافة إلى عرض لبعض التقنيات المستخدمة في معالجة التسربات .

# الفصل الأول
# معلومات عامة عن النفط

**٢- لمحة عن النفط الخام وتركيبه الكيميائي:**

يتداخل عنصرا الكربون والهيدروجين في تكوين جميع المكونات العضوية البترولية، وباتحاد هذين العنصرين تتكون مجموعة ضخمة من المركبات العضوية، تسمى بالهيدروكربونات التي تمثل أكثر من ثلاثة أرباع المكونات البترولية، لذلك فإن الخواص الطبيعية والكيميائية للهيدروكربونات تسود على صفات المكونات الأخرى وخصائصها، والتي تعد أيضاً مشتقات هيدروكربونية لعناصر الأكسيجين والكبريت والنيتروجين. ولا يزال البترول المنبع الأساسي للهيدروكربونات.

**١-١ التصنيف الكيميائي للهيدروكربونات:**

هناك نوعان أساسيان هما الهيدروكربونات المشبعة (SaturatedHydrocarbons)، التي تتميز بترابط الكربون فيها عن طريق الروابط الأحادية من نوع (Sigma Bond)

والهيدروكربونات غير المشبعة(Unsaturated Hydrocarbons)، التي توجد بها الروابط المضاعفة من نوع باي {π(Pi)Bond} كالروابط الثنائية والثلاثية. وطبقاً للشكل الجزيئي تصنف الهيدروكربونات إلى أليفاتية (Aliphatic)، وهذه بدورها إما أن تكون مشبعة أو غير مشبعة، وأروماتية (Aromatic)، وهي التي تحتوي على الأقل على حلقة سداسية ذات ثلاث روابط ثنائية متبادلة، أو حلقات خماسية أو سداسية تحتوي كل منها على ستة إلكترونات ثنائية الرابطة من نوع باي {π(Pi)_ELECTRONS} وبوجه عام يعنى العاملون في مجال البترول بتقسيم المكونات الهيدروكربونية إلى ثلاث مجموعات رئيسية وهي البارافينات، والنافثينات، والأروماتيات. ويصنف البترول اقتصادياً من ناحية إنتاجه للغازولين إلى خفيف ومتوسط وثقيل وفق نسب المقطرات الهيدروكربونية الخفيفة. كذلك تحدد نسب المجموعات الهيدروكربونية المختلفة أغلب مواصفات جودة المنتجات البترولية وقياساتها، ويتناقص المحتوى البارافيني العام مع ازدياد الوزن الجزيئي للمنتجات البترولية، إذ ترتفع نسبة البارافينات في الغازولين إلى ٨٠% وتنخفض إلى أقل من

٣٠% في زيوت التزييت، وأحيانا تنتج بعض الخامات الأسفلتية زيوت تزييت خالية تماماً من الشموع البارافينية.

**١-١-١ البارافينات Paraffins:**

تشمل هذه المجموعة الهيدروكربونات ذات السلسلة المستقيمة، والتي تسمى بالألكانات أو البارافينات العادية. وعندما تحتوي السلسلة على أكثر من (١٨) ذرة كربون، يطلق عليها اسم الشموع البارافينية (المعدنية). وقد تحتوي السلسلة المستقيمة على مجموعة ميثيلية ($CH_3$) مرتبطة بذرة الكربون الثانية، وتسمى بالأيزوبارافينات (Iso-Paraffins). وقد تشمل السلسلة الهيدروكربونية مجموعة أو أكثر من المجموعات الألكيلية، المتماثلة أو المختلفة، موزعة على أماكن متفرقة من السلسلة وتسمى بالبارافينات المتفرعة. وهذه المجموعة من الهيدروكربونات تتخذ الصيغة الجزيئية( $C_nH_{2n+2}$). وتتواجد البارافينات العادية في معظم الخامات البترولية، حتى الإسفلتية منها ولو بنسب صغيرة، وحتى في المخلفات (Residues). وتتناقص نسبة البارافينات العادية كلما ازداد مدى غليان المنتجات البترولية.

كذلك تقل نسبة البارافينات المتفرعة مع ازدياد الوزن الجزئيي للمنتجات البترولية، وتزداد نسبة الأيزوبارافينات على نسبة المتفرعات الأخرى من السلسلة الخطية.

**١-١-٢ النافثينات Naphthenes :**

هي الهيدروكربونات المشبعة المكونة بفعل ارتباط مجموعات المثيلين في حلقة أو أكثر، وتحوي الحلقة الواحدة(٣ – ٩) ذرات كربون، وتتدرج هذه الهيدروكربونات ضمن الهيدروكربونات الأليفاتية الحلقية، والصيغة الجزيئية العامة للنافثينات البسيطة هي ($C_nH_{2n}$) أي أن نسبة الهيدروجين إلى الكربون تعادل(١:٢) أما في النافثينات متعددة الحلقات فإن الهيدروجين يقل بما يعادل ذرتين منه لكل حلقة مضافة إلى الحلقة الأصلية، والصيغة الجزيئية العامة للنافثينات متعددة الحلقات هي ($C_nH_{2n-2x}$) حيث (n) تمثل عدد ذرات الكربون، (X) تمثل عدد الحلقات المضافة إلى الحلقة النافثينية الأصلية). وتسمى النافثينات بإضافة المقطع (Cyclo) إلى الألكان مستقيم السلسلة المماثل في عدد ذرات الكربون مثل السيكلوبوتان والبترول لا يحتوي إلا على النافثينات التي تشمل خمس أو ست ذرات من الكربون، وتوجد النافثينات في الخامات البترولية بنسب متفاوتة حسب نوع الخام ومصدر إنتاجه، كما توجد في جميع المقطرات والمخلفات البترولية بكميات معقولة.

**١-١-٣ الهيدروكربونات الأليفاتية غير المشبعة أو الأوليفينات( Olefins):**

تتخذ الصيغة الجزئية العامة ($C_nH_{2n}$)، وتسمى مركباتها بإضافة المقطع (ene) إلى المقطع الدال على عدد ذرات البرافين المماثل أو إلى المجموعة الألكيلية. وتوجد الهيدروكربونات غير المشبعة في بعض الخامات البترولية بنسب قد تصل إلى(٣%) من وزن الخام ، كما توجد بنسب بسيطة في بعض المنتجات البترولية نتيجة للتكسير الحراري في أثناء عملية التقطير. وتتماثل الأوليفينات في خواصها الطبيعية مع البارافينات والنافثينات المماثلة في الوزن الجزئي والشكل التركيبي، وتزداد درجة الغليان بحوالي (٢٠–٣٠) درجة مئوية لكل إضافة من مجموعات الميثيلين، وكذلك تقل درجة الحرارة بالزيادة في درجة التفرع، كما تتميز الأوليفينات بأرقام أوكتينية عالية نسبياً عن البارافينات. وبسبب الأكسجين الجوي تتعرض الأوليفينات إلى البلمرة الأوكسجينية، وتنتج بلمرات راتنجية تعطي للمنتجات البترولية المحتوية على الأوليفينات لونا أصفر عند تعرضها للهواء في أثناء التخزين، لذلك تجري هدرجة الغازولين وزيوت التزييت لرفع معدل ثباتها ضد الأكسدة أثناء التداول والتخزين.

**١-١-٤ الهيدروكربونات الأروماتية ( AROMATIC HYDROCARBONS):**

لها دور أساسي في تقويم جودة المنتجات البترولية، وتعرف بأنها الهيدروكربونات المحتوية على حلقة أو أكثر من حلقات البنزين. وتتميز هذه الحلقة بتماثلها وثباتها الحراري والكيميائي. وتنقسم الهيدروكربونات الأروماتية إلى البنزين ومشتقاته الألكيلية، وإلى الأروماتيات المتكافئة مثل النافثالين، والأنثراسين والبيرين (Pyrene )، ثم إلى الأروماتيات عالية التكثيف. وتندرج الحلقات الأروماتية تحت الصيغة الجزيئية العامة ($C_nH_{n-2x}$) حيث تمثل (n) عدد ذرات الكربون، وتمثل (x) عدد الحلقات المضافة إلى الحلقة الأصلية).

وتسمى المشتقات الأروماتية بمشتقات البنزين، وكما يمثل البنزين أبسط الحلقات الأروماتية فإن التولوين (Toluene) هو أبسط المشتقات الألكيلية. وقد تلتحم الحلقات الأروماتية عبر ذرتين من الكربون مكونة الأروماتيات المتكاثفة التي تبدأ بالنافثالين ذي الصيغة الجزيئية ($C_{10}H_8$) ثم الأنثراسين ( $C_{14}H_{10}$)، فالبيرين ( $C_{16}H_{10}$).

وتوجد الأروماتيات بنسب متفاوتة في الخامات البترولية، وتتراوح بين (١٠%) فأقل في الخامات البارافينية، وحتى (٥٠%) فأكثر في الخامات الأسفلتية، وفي الغالب يتزايد المحتوى الأروماتي في المنتجات البترولية بزيادة مدى غليان هذه المنتجات، وعادة توجد الأروماتيات البسيطة التي لا تحتوي على سلاسل بارافينية أو حلقات نافثينية بصورة متزايدة في المقطرات الخفيفة، بينما تتركز الأروماتيات المتكاثفة في المخلفات البترولية الأسفلتية، وتزداد نسبة الأروماتيات المحتوية على حلقات نافثينية في زيوت التزييت، ويتميز البنزين بارتفاع درجة تجمده، وانخفاض درجة غليانه عن التولوين.

**١-١-٥ المكونات غير الهيدروكربونية:**

كالكبريت والنيتروجين والأوكسجين والتي توجد بكميات تختلف باختلاف مصادر الإنتاج، كما تحتوي الخامات البترولية على كميات صغيرة من المركبات العضوية الفلزية الذائبة والأملاح غير العضوية المعلقة. وتوجد المكونات غير الهيدروكربونية حسب مدى غليانها في كل المقطرات البترولية، وتتركز في المنتجات البترولية الثقيلة.

ومن الضروري التخلص من هذه المكونات التي تؤثر على جودة المنتجات البترولية، نتيجة تأثير حامض الهيدروكلوريك الناتج عن التحلل الحراري للكلوريدات غير العضوية في تآكل المنشآت المعدنية، وكذا المركبات الكبريتية الحامضية. وتسبب المركبات الكبريتية والنيتروجينية والمشتقات المعدنية وخاصة مشتقات النيكل والفاناديوم تسمم الوسائط (Catalyst Poisoning) في أثناء عمليات التكرير والتصنيع، كما تتعرض معظم المركبات الكبريتية والنيتروجينية للأكسدة في أثناء النقل والتخزين، مثلما تساعد على أكسدة وبلمرة بعض الهيدروكربونات، فتؤدي إلى إنتاج الراتنجات في المقطرات الخفيفة، ما يخفض كفاءة تشغيل هذه المنتجات وأداءها.

**١-١-٦ المحتويات الفلزية:**

توجد آثار من الفلزات في الخامات البترولية وتتركز في المخلفات الثقيلة، وتأخذ صورة مشتقات عضوية فلزية ذائبة أو أملاح صابونية أو معلقات ، ولها تأثير ضار على الوسائط في صناعة البترول. ومن أهم هذه الفلزات النحاس والكالسيوم والمغنيزيوم والزنك والألومينوم والسيليكون والنيكل والحديد والفاناديوم .

**١-٢ أشكال تواجد الغاز الطبيعي:**

١- **الغاز الحر** : ويدعى أحياناً بالغاز الطبيعي ويكون هذا الغاز على نوعين:

غاز جاف: حيث يحوي على الميتان مع كميات قليلة من الإيتان.

غاز رطب: يحتوي على كميات كبيرة من الفحوم الهيدروجينية الأعلى من الميتان

_ ويقسم الغاز الحر بدوره إلى:

أ- الغاز الحر الطبيعي: وهو عبارة عن فحوم هيدروجينية خفيفة (C1 - C3).

ب- غازات القبعة الغازية: يتواجد فوق النفط على شكل قبعة.

٢- **غاز الكوندنسات** (المتكثفات):عبارة عن مزيج من الغازات حيث يتواجد البروبان بنسبة عالية (% 85-94).

**٣- الغاز المرافق:**

يكون هذا الغاز منحلاً في النفط في الشروط الطبقية، وعند خروج المزيج (نفط – غاز) إلى سطح الأرض ونتيجة لانخفاض الضغط تحت ضغط الإشباع ينفصل هذا

الغاز عن النفط. ويتكون هذا الغاز عادة من هيدروكربونات ضمن المجال ( C1 – C7 ) وتتراوح وجود نسب كل منها حسب صفات النفط المنتج.

**١ – ٣ خصائص النفط الخام:**

يختلف النفط الخام من مكان لآخر في المظهر واللزوجة ويمكن تحديد نوعية النفط من خلال إجراء الإختبارات التالية:

١. الكثافة، الكثافة النسبية، والوزن النوعي. (API).

2. اللزوجة (viscosity ).

3. الضغط البخاري (Vapor Pressure).

4. نقطة الوميض (Flash Point) ونقطة الحريق( Fire Point) .

5. نقطة الضباب (Cloud Point) ونقطة الإنصباب ( Pour Point) .

6. محتوى الكبريت (Sulfur Content).

7. الرواسب والماء( Basic Sediments & water),(BS&W ).

8. متبقي الكربون (Carbon Residue).

ترتبط الخواص الفيزيائية للخامات النفطية بتركيبها الكيميائي ومحتواها من البرافينات والمركبات العطرية والصموغ والاسفلتين والمركبات الكبريتية، وفيما يلي أهم هذه الخواص :

**١-٣-١ الكثافة :**

تُعرف الكثافة بأنها كتلة واحدة الحجم ويرمز لها بالرمز "ρ" :

$$\rho = \frac{M}{V} \quad \text{.....(١-١)}$$

**حيث أن :** M – الكتلة ( g , Kg ) ...

V – الحجم ( $cm^3$ , $m^3$ ) ...

وتُعتبر الكثافة من أهم الخواص تعبيراً عن النفط الخام وإحدى أهم الدلائل الأساسية لجودته، وهي ترتبط بالتركيب الكيميائي للنفط الخام فتزداد بازدياد نسبة الفحوم الهيدروجينية الثقيلة وخاصةً الصموغ أو الراتنجات والإسفلتين وبالعكس، كما أنها تختلف باختلاف درجة الحرارة، حيث تتناقص بارتفاع درجة الحرارة وتزداد

بانخفاضها، وتُعطى كثافة النفط الخام عند درجة الحرارة (t) معبراً عنها بواحدات القياس المطلقة بالعلاقة :

$$\rho_t = \rho_{20} - \zeta(t-20) \quad \text{.....} \quad (2-1)$$

**حيث أن :** $\rho_t$ – الكثافة عند درجة الحرارة ( t ) .

$\zeta$ – عامل التصحيح الحراري، وقيمته تُحسب من العلاقة التالية :

$$\zeta = 1.825 - \rho_{20} . (0.001351)$$

حيث أن : $\rho_{20}$ – كثافة النفط الخام عند درجة الحرارة$^{\circ}$(20C), ($kg/m^3$).

وتتراوح قيم كثافة النفط الخام عند درجة الحرارة ($20C^0$) ، وعند الضغط الجوي الاعتيادي، عادةً ضمن المجال ($0.7 - 1.07\ g/\ cm^3$)،و بشكل عام فإن النفط ذو الكثافة الأكبر من ($1g/cm^3$) نادر الوجود.

**١-٣-٢ الكثافة النسبية للنفط ودرجات ( API ):**

للتعبير عن كثافة النفط غالباً ما يُستخدم في الممارسة التطبيقية مفهوم الكثافة النسبية ($\rho_r$) وهي نسبة كتلة حجم معين من السائل ( النفط الخام ) عند درجة حرارة معينة (t) إلى كتلة نفس الحجم من الماء عند درجة الحرارة ($^{\circ}$4C) ويرمز لها بالرمز ($\rho_{r\,4C}^{t}$) وتعني الكثافة النسبية للنفط عند درجة الحرارة (t,C°) بالنسبة للماء عند درجة الحرارة(4C° ). وقد ابتكر الأخصائيون في مجال الصناعة النفطية في معهد البترول الأمريكي (American Petroleum Institute) طريقة أكثر شمولاً للتعبير عن كثافة النفط الخام وذلك باستعمال ما يُسمى بدرجات الكثافة وفق المعهد المذكور وتُدعى اختصاراً ( API ) ، وفق العلاقة التالية التي تربط بين الكثافة النسبية المعينة بواسطة أجهزة القياس المخبرية ، ودرجات الـ (API) بالمعادلة التالية على أن تحدد الكثافة النسبية للسائل وللماء عند الدرجة (60F) والتي تعادل 5.6 (١C°):

$$API = \frac{141.5}{\rho_{r\,60F}^{60F}} - 131.5 \qquad (3-1)$$

حيث: $\rho_{r\,60F}^{60F}$ – الكثافة النسبية للنفط بالنسبة للماء عند الحرارة (60F)

في الكثير من المراجع يعبَر عن الكثافة النسبية في المعادلة السابقة بتعبير الجاذبية النوعية (SG): (Specific Gravity) وتؤول المعادلة السابقة إلى الشكل:

$$API = \frac{141.5}{S.G} - 131.5$$

واعتماداً على درجات الـ( API ) فإن النفط يقسم إلى:

API > 40 : نفط خفيف جداً.

30<API<40 : نفط خفيف.

23<API<30 : نفط متوسط.

10<API<23 : نفط ثقيل.

API <10 : نفط ثقيل جداً .

**١-٣-٣ اللزوجة:**

اللزوجة هي الخاصية الفيزيائية المميزة للسوائل الحقيقة بأنها تقاوم تغير شكلها، وتُعرف بأنها عكس السيولة، ويقال عن سائل بأنه لزج عندما يكون غليظ القوام وقليل الحركة (لا ينسكب بسهولة)، وتعتبر أهم خاصية فيزيائية للنفط و تُعبر عن سلوكيته وحركيته أثناء ارتشاحه في الطبقات المنتجة، وانتقاله ضمن مواسير الإنتاج أثناء رفعه إلى السطح، وأثناء تدفقه عبر الأنابيب عند نقله على السطح بواسطة خطوط الأنابيب.

تقاس اللزوجة التحريكية (الديناميكية) (Dynamic Viscosity) في الجملة الدولية (SI) بواحدة (باسكال.ثانية Pa.s) وتسمى اصطلاحاً (ديكابواز Deca poise)، وعملياً تقاس اللزوجة بواحدة البواز (P) حيث ($1\ Poise = 10^{-1}\ pa.s$) .

ويُقسم البواز إلى مائة جزء يُدعى كل جزءٍ منها سنتي بواز (CP) وبذلك فإن:

($1CP = 10^{-2}\ P = 10^{-3}\ pa.s$)

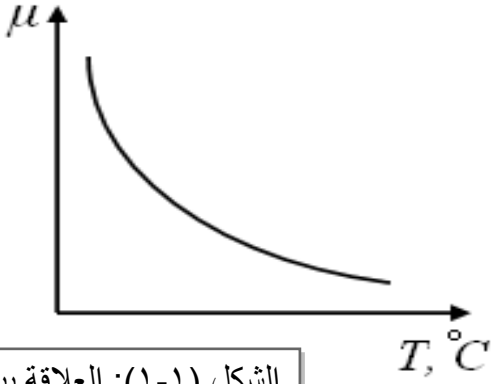
وفي أغلب الحالات تُميز لزوجة السائل أثناء الحسابات الهيدروليكية بمعامل اللزوجة الحركية ( الكينماتيكية ) (Kinematic Viscosity)، والتي يرمز لها بالرمز ($\nu$) وهي عبارة عن النسبة بين اللزوجة الديناميكية للسائل ($\eta$) وكثافته أي :

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \qquad (4-1)$$

واحدة قياس اللزوجة ($\nu$) في الجملة الدولية هي ($m^2 / s$)، وفي الحياة العملية تقاس اللزوجة الحركية بواحدة تُدعى الـ(ستوكس) نسبةً إلى مكتشفها، ويُرمز لها بـ (st)، حيث أن ($1\frac{m^2}{s} = 10^4 st$) ، ويقسم الستوكس إلى مائة سنتي ستوكس (cst) وبالتالي فإن : ( $1cts = 10^{-2} st = 10^{-6} m^2/s$ )

**١-٣-٣-١ تأثير درجة الحرارة على لزوجة النفط:**

تتعلق اللزوجة إلى حد كبير بدرجة الحرارة (t)، والعلاقة بين لزوجة النفط الخام ودرجة الحرارة هي علاقة عكسية كما هو موضح في الشكل رقم (١-١) .




الشكل (١-١): العلاقة بين اللزوجة ودرجة الحرارة

لذلك عادةً ما يُسخن النفط اللزج أثناء الضخ بهدف تخفيض لزوجته وتعتبر هذه الطريقة من الطرق الفعالة جداً لنقل السوائل غير النيوتونية بشكل عام لكنها مكلفة جداً، وكثيراً ما يتطلب العمل في الصناعة النفطية حساب لزوجة النفط الخام أو مشتقاته عند درجات حرارة مختلفة على غرار ما يحدث عند إجراء الحسابات التكنولوجية لتصميم خطوط أنابيب النقل.ولذلك اقترحت أكثر من معادلة "علاقة اللزوجة بدرجة الحرارة " وأهمها معادلة رينولدز – فيلونوفا التالية:

$$\nu_t = \nu_* . e^{-u(t-t_*)} \qquad (5-1)$$

حيث أن :

$\nu_t$ : اللزوجة الكينماتيكية المراد معرفتها عند درجة الحرارة ( t ) .

$\nu_*$ : اللزوجة الكينماتيكية عند درجة الحرارة ($t_*$) وتكون معلومة .

u : معامل الميل لمنحني اللزوجة وواحدته ($1/C^\circ$)، ويحسب من العلاقة الآتية :

$$u = \frac{1}{t_1 - t_*} . \ln \frac{\nu_*}{\nu_1}$$

**حيث أن :** $\nu_t$ – اللزوجة الكينماتيكية عند الدرجة $t_1$، وتكون معلومة .

**١-٣-٥ الانضغاطية ومعامل المرونة الحجمي:**

تعبّر الانضغاطية عن قابلية السائل للانضغاط أي خاصية تغير حجمه عند تغير الضغط المطبق عليه، ويسمى العدد الذي يعبر عن التغير النسبي في حجم السائل والناتج عن تغير الضغط بمقدار ضغط جوي واحد عند ثبات درجة الحرارة ، معامل الانضغاط الايزوترمي الحجمي($B_v$) وواحدة قياسيه هي ( $pa^{-1}$ ):

$$B_v = -\frac{1}{V_1}\left(\frac{\Delta V}{\Delta p}\right)_{t=const} \qquad (6-1)$$

**حيث أن :**

($\Delta V = V_1 - V_2$) تغير حجم السائل عند تغير الضغط بمقدار ($\Delta p = p_2 - p_1$). وتدل إشارة السالب في المعادلة السابقة إلى تناقص الحجم عند ازدياد الضغط. ويسمى مقلوب معامل الانضغاطية الحجمي ، معامل المرونة الحجمية ($E_f$) وواحدته هي واحدة الضغط ( pa) .

$$E_F = \frac{1}{B_V} \qquad (7-1)$$

ويُعتبر هذا الأخير أحد الصفات المرنة للسائل، ويظهر تأثيره بشكل واضح أثناء جريان السوائل وخاصةً في حالة السوائل غير النيوتونية (كالنفط الثقيل) .

**١-٣-٦ الكهربة:**

ينتج عن احتكاك مادتين مختلفتين بصفاتهما الفيزيائية والكيميائية شحنات كهربائية تُدعى بالكهرباء الساكنة، وهذا يُفسر تشكل الكهرباء الساكنة في كثير من حالات نقل وتخزين النفط الخام ومنتجاته المكررة، وذلك نتيجة لحركة السائل في الأنابيب أو عند تعبئة الصهاريج أو خزانات الناقلات النفطية المختلفة، أو خزانات التخزين. فإذا كان كمون الأنابيب المعدنية المعزولة أو الخزانات المليئة بالنفط كبيراً بالنسبة للأرض فإن أي عملية تماس خارجية ما بين هذه الشحنات والأرض تؤدي إلى تشكل شرارة كهربائية قد تؤدي إلى حريق أو انفجار في المواد البترولية. ولمكافحة هذه

الظـاهرة يجـب تـأريض كـل المنشـآت الصـناعية النفطيـة، وكـذلك شـبكات خطـوط الأنابيب ووسائط النقل الأخرى المستخدمة لنقل النفط الخام ومنتجاته المكررة ومن هنا جاءت فكرة وضع سلسلة معدنية تتدلى من الناحية الخلفية لصهريج نقل المواد النفطية وتتلامس مع الأرض.

## ١-٤ سلوكية الخامات النفطية:

**تصنيف السوائل: (Classification of fluids)**

تقسم السوائل إلى مجموعتين طبقاً لسلوك تدفقها (Flow behavior):

**سوائل نيوتونيـة** (Newtonian fluids): تكون لزوجتها تابعة فقط لدرجة الحرارة وغيـر تابعـة لمعدل القص (shear rate) أو للـزمن وهـي تحقـق قـانون نيوتـون للزوجة:

$$\tau = \mu \cdot \frac{du}{dn} = \mu \ \dot{\gamma} \qquad (1-3)$$

**حيث :**

$\dot{\gamma} = \frac{du}{dn}$ : معدل القص (shear rate) $(1/s)$.

$\tau$ : إجهاد القص shear stress، $(N/m^2)$ .

$\mu$ : معامل اللزوجة التحريكية (Dynamic Viscosity) Pa.s

وكأمثلة عن هذه السوائل يذكر الماء، زيوت التزليق الخفيفة والنفط الخفيف.

**سوائل غير نيوتونيـة** (Non-Newtonian fluids): تكون لزوجتها ليست تابعة لدرجـة الحـرارة فقـط وإنمـا لمعدل القص وللـزمن أيضـاً. وطبقـاً لكيفيـة تغيـر اللزوجـة بالعلاقة مع الزمن فإن سلوكية تدفق هذه السوائل تصنف إلى:

١- سوائل غير نيوتونية متعلقة بالزمن.

٢-سوائل غير نيوتونية مستقلة عن الزمن.

وهي تحقق قانون بنغهام (Bingham's Law):

$$\tau = \tau_o + \eta \cdot \dot{\gamma} \qquad (2-3)$$

**حيث :**

$\tau$ : إجهاد القص ، $(pa \ \text{or} \ \frac{Dyne}{cm^2})$.

$\tau_o$: إجهاد القص الأولي للجريان أو إجهاد الخضوع (Pa).

$\dot{\gamma}$: معدل القص (shear rate) $(1/s)$

**أولاً: سوائل غير نيوتونية متعلقة بالزمن :**

وتصنف هذه السوائل إلى:

**تكسوتروبية (Thixotropic time thinning)**: تترقق مثل هذه السوائل مع الزمن عند سرعة ثابتة بسبب تحطم بنيتها الداخلية وبمعنى آخر تتناقص لزوجتها مع الزمن مع ثبات السرعة وينطوي تحت هذا التصنيف سوائل الحفر، الطلاء وبعض النفوط.

**ريوبكتيكية (Rheopectic time thickening)**: تثخن مثل هذه السوائل مع الزمن عند سرعة ثابتة وبمعنى آخر تتزايد لزوجتها مع الزمن مع ثبات السرعة وينطوي تحت هذا التصنيف محلول الجبس المركز.

**ثانياً: سوائل غير نيوتونية مستقلة عن الزمن:**

وتصنف هذه السوائل الى :

**-سوائل تترقق بالعلاقة مع معدل القص:**

**(shear thinning or pseudo plastic)**

حيث تتناقص لزوجة هذه السوائل بزيادة معدل القص كالشامبو وبعض النفوط و مركز عصير الفاكهة وغيرها و تدعى سوائل بيزوبلاستسكية.

**-سوائل تثخن بالعلاقة مع معدل القص**

**(shear thickening fluids or dilatants)**: حيث تزداد لزوجة هذه السوائل بزيادة معدل القص كالرمل الرطب و المحاليل النشوية المركزة ومحلول الجبس.

**-سوائل بلاستيكية (plastic fluids)**: حيث تتصف بما يسمى الإجهاد الأولي للجريان أو إجهاد الخضوع ($\tau_o$) وبمعنى آخر فإنه يجب تطبيق إجهاد أولي معين قبل أن يبدأ السائل بالحركة مثل الشحوم

# الفصل الثاني

# نقل النفط ومشتقاته عبر الأنابيب

## ٢-١ مقدمة:

تعددت طرق نقل النفط ومشتقاته، من أماكن إنتاجها إلى أماكن إستهلاكها أو تصنيعها أو تصديرها، غير أن الدراسات والتجارب العملية قد أثبتت أن طريقة النقل عبر الأنابيب هي الأكثر اقتصادية خصوصاً عند نقل كميات كبيرة من السوائل.

إن الحساب التكنولوجي لأنابيب النفط يقتضي حل المسائل الرئيسة التالية:

١- اختيار ومعالجة المعطيات الأولية: تحديد مواصفات السائل وتحديد ظروف الضخ إضافة إلى تحديد مسار الأنبوب.

٢- تحديد العوامل الأكثر اقتصادية لأنابيب النفط: قطر الأنابيب، سماكة جدران الأنابيب، نوع المضخات أو محطات الضخ، الضغط المتزايد أمام محطات الضخ، عدد محطات الضخ، طول الوصلات الموازية، عدد الأقسام المستثمر.

٣- توزع محطات الضخ على طول مسار الأنابيب.

٤- حساب أنظمة العمل عند الإدخال التدريجي للأنابيب في العمل.

٥- تدقيق سماكة الأنابيب لكل قسم من أقسام الأنابيب.

٦_ حساب أنابيب سحب المضخات المساعدة لمحطات الضخ.

تعتبر الطرق الخاصة في الحسابات التكنولوجية معقدة للغاية بسبب صعوبة عملياتها من جهة وبسبب ضرورة القيام بحسابات عديدة إضافية من جهة أخرى مثل: تشكيل مزيج وتحديد أبعاده، والعدد الأعظمي لمراحل الضخ على التسلسل في حالة المنتجات البيضاء، درجة حرارة التسخين العظمى للنفط الثقيل وعدد نقاط التسخين وخصائص أنظمة استثمار أنابيب النفط المسخن وغيرها . . .

إن تحديد العوامل الأكثر اقتصادية لأنابيب النفط يتم من خلال المقارنة بين كلفة نقل طن واحد من النفط الخام لمسافة كيلومتر واحد وذلك لعدة أقطار مختارة وبحيث تكون الكلفة محسوبة على أساس البيانات الرسمية للأسعار في فترة التنفيذ.

**٢-٢- من أجل المباشرة بالحسابات التكنولوجية لأنابيب النفط يجب توفر ما يلي:**

- برنامج نقل النفط. (الكمية المراد نقلها معبراً عنها m3/ year أو Ton/year).
- الصفات الفيزيائية للنفط المنقول ( كثافة ، لزوجة ، ضغط أبخرة الإشباع . .).
- التغير السنوي لدرجة الحرارة في العمق الذي سيوضع فيه الأنابيب.
- المعطيات التكنولوجية للأنابيب والمضخات.
- المعطيات التكنولوجية اللازمة لبناء واستثمار الأنابيب والمضخات.
- مخطط مصغر عن بروفيل أنابيب النفط.

**٢-٢-١ مبادئ تصميم خط أنابيب النفط ( Principles of pipeline design):**

هناك عدداً من المراحل الهامة في دورة حياة أي أنبوب نفطي :

_ مواصفات المنتج (product characterization).

_ اختيار مسار الأنابيب (Route selection).

_ اختيار المواد (Materials selection).

_ التصميم (Design).

_ البناء (Constraction).

_ التشغيل (Operation ).

_ الصيانة (Maintenance).

وإن أي عملية تصميم لابد أن تأخذ بعين الاعتبار العوامل التالية :

- التأثير على البيئة (The effect on the environment).
- عملية إختيار وتنفيذ مسار الأنبوب (The pipeline routing process).
- الموافقات والإعتبارات القانونية( Approval and legal considerations).

هناك عدة معايير تقدم التعليمات الإرشادية لتصميم الأنابيب وتراعي الاعتبارات البيئية والتصميمية وكذلك التشغيلية والصيانة. أهم تلك المعايير مبينة بالجدول (2-١) .

| | |
|---|---|
| أنابيب السطحية (Onshore)<br>ASME B31.4<br>ASME B31.8<br>IGE/TD/1<br>PD 8010<br>AS 2885 | Oil pipelines<br>Gas pipelines<br>Gas pipelines<br>Oil and gas pipelines<br>Oil and gas pipelines |
| الأنابيب الشاطئية Offshore | |
| ASME B31.4<br>ASME B31.8<br>DNV Recommended practice<br>API RP 1111<br>PD 8010 | Oil pipelines<br>Gas pipelines<br>Oil and gas pipelines<br>Oil pipelines<br>Oil and gas pipelines |

الجدول (٢-١) الاعتبارات التصميمية

## ٢-٣ التأثير على البيئة (Effect on the invironment):

عند تصميم الأنابيب هناك مجموعة من الإعتبارات البيئية التي لا بد من العناية بها:

**٢-٣-١- الإعتبارات البيئية للأنابيب غير الشاطئية :**

- ✓ التأثير على الحياة البرية (Effect on local wildlife).
- ✓ التأثير على السكان المحليين (Effect on local population).
- ✓ تغيير المنظر الطبيعي (Change of landscape).
- ✓ التأثير على المناطق التاريخية (Effect on historical areas).
- ✓ إفساد بنية التربة المحيطة (disturbance of the surrounding soil structure).

**٢-٣-٢- الإعتبارات البيئية للأنابيب الشاطئية:**

- التأثير على الحياة البحرية المحلية (Influence on local marine wildlife).
- التأثير على صناعة الصيد البحري المحلية .(Influence on local fishing industry)
- خطر التلوث وتأثيراته الناجمة بسبب التسرب Risk of pollution and its effect) caused by leakage).
- التأثير على المناطق ذات الإهتمام العلمي الخاص Effect) on areas of special scientific interest).

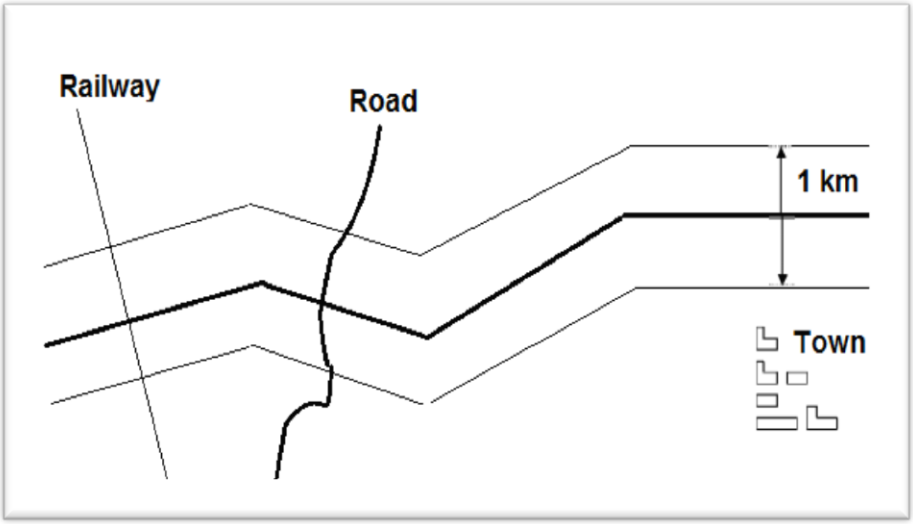
**٢-٣-٣- مسار خط الأنابيب (Routing of pipeline):**

هو الطريق الذي سيسلكه خط الأنابيب وعملية اختياره عامل هام في أية عملية تصميم للأنابيب كونها تحدد المناطق التي يمكن أو لا يمكن أن يعبرها. فإذا كان المطلوب تصميم خط من النقطة (A) إلى النقطة (B) فإنه من المثالي أن يتم اختيار أقصر مسار للأنبوب (الخط المستقيم الواصل بين النقطتين)غير أن ذلك غير ممكن دوماً لذلك لابد من عملية اختيار مناسبة لمسار الأنبوب بحيث تأخذ بعين **الاعتبار ما يلي:**

A. المناطق الحساسة (sensitive areas) كالحدائق العامة والغابات البيئة.
B. اعتبارات جغرافية: مناطق صخرية (Rocky areas)، خطوط الفوالق ومناطق التعرية (erosion areas).
C. المعابر(التقاطعات) Crossings: طرقات ، أنهار ، سكك حديدية .....
D. المناطق السكانية (Areas of population).
E. مواقع محطات الضخ (location of pump stations).
F. مواقع التجهيزات السطحية (location of above-ground installations)

إضافة إلى ذلك يجب تفادي مرور الأنابيب بالتوازي مع خطوط نقل الطاقة الكهربائية والطرقات عالية الكثافة المرورية وأنابيب غاز أو نفط أخرى. وإذا كان لا بد من التقاطع فيجب أن يكون عبور الأنابيب عمودياً على مسارات الأنهار والطرقات والسكك الحديدية أو أنابيب أخرى. ،إذا قضت الضرورة مرور الأنابيب بالقرب من طريق فيجب ألا تقل المسافة عن (٣٠) متراً.

– تبدأ عملية إختيار مسار الأنبوب بإجراء تصوير جوي يمسح كامل المنطقة من خزانات النفط الخام المعالج والجاهز للنقل في الحقول وحتى مكان تصديره أو إستهلاكه بشكل أن يتوضح في المصوَّر الجوي كافة المناطق ومكوناتها وطبيعة الأراضي ثم بعد ذلك ومع الأخذ بعين الإعتبار كافة الإعتبارات التصميمية و البيئية والقانونية يتم إختيار مسار خط الأنابيب.




الشكل(٢-١): مسار خط الأنابيب

بعد اعتماد مسار خط الأنابيب بشكله النهائي، تقوم دائرة الطبوغرافيا بعملية مسح طبوغرافي لكامل المسار بحيث يبين ارتفاع كل نقطة منه عن سطح البحر مع توضيح طبيعة كل منطقة وبيان مكان تموضع الآبار والجبال والأنهار والسكك الحديدية وغيرها ويتم رسم مخطط طبوغرافي مصغر بمقياس مناسب.

تتطلب عملية تتبع مسار خط الأنابيب حني الأنبوب في بعض النقاط وهذا الانحناء يجب أن يخضع للتعليمات القياسية التي تأخذ بعين الاعتبار تغير مقاومة الخضوع الأصغرية والمحددة (Specified minimum yield strength،SMYS) بنتيجة حني الأنبوب إضافة إلى عدم إعاقة مرور الكواشط والفواصل وبشكل عام فإن التعليمات الإرشادية في هذا المجال تسمح بتغير في مقاومة الخضوع بمعدل لا يزيد

عن (١٠%) وعليه يحدد وتر حني الأنبوب على البارد ودرجة الإنحناء بالعلاقة مع القطر الاسمي للأنبوب بحسب الجدول (٢-٢).

| قطر الأنبوب الاسمي | طول وتر الإنحناء الأصغري | درجة انحناء الأنبوب الأعظمية |
|---|---|---|
| NPS4 | 18m | 40° |
| NPS6 | 18m | 35° |
| NPS8 | 18m | 35° |
| NPS10 | 18m | 30° |
| NPS12 | 18m | 30° |
| NPS16 | 23m | 30° |
| NPS18 | 23m | 25° |
| NPS20 | 23m | 25° |
| NPS24 | 23m | 20° |
| NPS30 | 23m | 20° |
| NPS36 | 23m | 25° |
| NPS42 and larger | 23m | 12° |

الجدول(٢-٢): علاقة درجة انحناء الأنبوب مع الأقطار

*Note: NPS= Nominal pipe size, for example NPS 24 is a pipe with diameter of 24 inches.*

- من أجل مرور الكاشط يجب مراعاة ألا يكون أي انحناء في نهاية الأنبوب على طول (4xD or 2 meters) حيث أن (D) يمثل القطر الاسمي ويجب ألا يتعدى الإنحناء (1.5) درجة لكل (1D) من طول الأنبوب.

– يجب أن يكون الأنبوب بعد عملية الحني خالياً من الطعجات والنتوءات ويجب ألا يتعدى تغير القطر (2.5%) من القطر الاسمي.

– عند عمليات اللحام وجمع الأنابيب يراعى أن يقع اللحام الطولي للأنبوب في النصف العلوي منه.

– الطول الكلي للجزء الواحد للأنابيب الملحومة يجب أن لا يزيد عن (750 km).

**٢-٣-٣-١- مواقع خط الأنابيب (pipeline locations):**

يتم تحديد فئات مسار خط الأنابيب اعتماداً على عدد البنايات (buildings) والوحدات السكنية (dwelling units) وعلى أماكن التجمعات السكانية والصناعية الموجودة في المناطق القريبة من مسار خط الأنابيب.

وحدة موقع المسار (Class location unit): وهي بالتعريف المنطقة التي تمتد على مسافة ($200-1000m$) على جانبي مركز خط الأنابيب على طول خط الأنابيب.

تصنف مواقع مسار خط الأنابيب إلى الأقسام التالية:

**(١)- موقع الفئة الأولى :**

(a)- وهي أي منطقة صحراوية أو ريفية مأهولة قليلاً وبعيدة عن الشاطئ

(b)- أيّ منطقة من موقع المسار التي تحتوي (١٠) وحدات سكنية أو أقل.

**(٢)- موقع الفئة الثانية :**

أيّ منطقة من موقع المسار والتي تحوي أكثر من (١٠) وحدات سكنية ولكن أقل من (٤٦) وحدة سكنية. كما أن المناطق التي تحوي واحد أو أكثر مما يلي يمكن تصنيفها في هذا الموقع :

(a)- البناية التي يسكنها (٢٠) شخص أو أكثر.

(b)- المنطقة الواضحة المعالم، الصغيرة والواقعة خارج المنطقة التي يسكنها (٢٠) شخص أو أكثر مثل ساحة لعب (playground)، منطقة استجمام (recreation area)، مسرح في الهواء الطلق (outdoor theatre)، أَو مكان آخر في التجمعات السكنية .

(c)- التجمعات الصناعية (industrial installation)، مثل الوحدات الكيميائية أو مناطق تخزين المواد الخطرة (hazardous substance)، حيث أن تسرب الموائع المنقولة في خط الأنابيب يمكن أن يسبب لهذه التجمعات الصناعية أخطاراً كبيرة.

**(٣) - موقع الفئة الثالثة :**

(a)- أيّ وحدة لموقع المسار والتي تحوي (٤٦) وحدة سكنية أَو أكثر.

(b)- أي منطقة تحتوي على مؤسسات (institutions) يصعب فيها تحقيق عملية الإخلاء بشكل سريع، مثل المستشفيات أو المدارس الداخلية.

**(٤)- موقع الفئة الرابعة :**

وهي البنايات أو الوحدات السكنية المخصصة للسكن والمؤلفة من (٤) طوابق أو أكثر فوق سطح الأرض. ونظراً لاختلاف أهمية هذه المناطق من حيث الخطورة حيث أن المناطق المأهولة تعتبر أكثر خطورة وأهمية من المناطق غير المأهولة، فقد أتفق أن تكون الشروط التصميمية أكثر صرامة في المناطق المأهولة وخاصة بالنسبة لأنابيب الغاز وبالتالي فإن الفئة الرابعة على مسار خط الأنابيب هي الأكثر أهمية وخطورة ومن هذا المنطلق يراعى أن يكون عامل التصميم (F) الجدول (٢-٣ ) في معادلة التصميم أقل ما يمكن مع العلم أن هذا العامل يحدد النسبة المئوية المستخدمة من مقاومة الخضوع الأصغرية والمحددة ($\sigma_y$) لمعدن الأنبوب للحصول على الإجهاد المسموح به (Allowable stress value) (S):

$S = F . E . \sigma_y$ حيث (E) معامل لحام الأنبوب

ما يعني أنه من أجل نوع معين من المعدن بمواصفات قياسية محددة فإن انخفاض قيمة معامل التصميم عند ضغط تصميمي ثابت تعني بالضرورة زيادة في السماكة.

| مواصفات المنطقة | Design factor (F) عامل تصميم الأنابيب | ضغط الاختبار (التصميم | تصنيف المنطقة Class Location |
|---|---|---|---|
| مناطق ريفية قليلة السكان أوصحراوية | ٠.٧٢ | %١٢٥ | 1 |
| مأهولة قليلاً | ٠.٧٢ | % ١٢٥ | 2 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| مدن صغيرة | ٠.٧٢ | % ١٢٥ | 3 |
| مدن فيها أبنية متعددة الطوابق | ٠.٧٢ | %125 | 4 |

**الجدول (٢-٣): قيم عامل التصميم F بحسب ASME:31.4**

| تصنيف المائع | A and B | C and D (Note 1) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| المواصفة المعتمدة | B31.4 أنابيب السوائل | B31.8 أنابيب الغاز | | | |
| تصنيف الموقع | 1, 2, 3 and 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Pipelines | 0.72 | 0.72 | 0.60 | 0.50 | 0.40 |
| Crossings | | | | | |
| Private roads | 0.72 | 0.72 | 0.60 | 0.50 | 0.40 |
| Unimproved public roads | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 0.50 | 0.40 |
| Roads, highways, streets and railways | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 0.50 | 0.40 |
| Rivers, dunes and beaches | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 0.50 | 0.40 |
| Private roads | 0.72 | 0.72 | 0.60 | 0.50 | 0.40 |
| Unimproved public roads | 0.72 | 0.60 | 0.60 | 0.50 | 0.40 |
| Roads, highways, streets and railways | 0.72 | 0.60 | 0.60 | 0.50 | 0.40 |
| Fabricated assemblies | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 0.50 | 0.40 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Pipelines on bridges | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 0.50 | 0.40 |
| **Near concentration of people** | 0.72 | 0.50 | 0.50 (Note 6) | 0.50 | 0.40 |
| Pipelines, within plant fences, block valve stations and pig trap stations | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 0.50 | 0.5 |

الجدول (٢-٤): قيم معامل تصميم الأنابيب في المناطق غير الشاطئية بحسب المواصفتين: ASME :B31.4 و ASME :B31.8

# الفصل الثالث

## دراسة الكشف عن التسربات في أنابيب النفط

إن خصائص الأنظمة التجارية المختلفة للكشف عن تسربات الأنابيب تختبر أولاً وتناقش حساسيتها النسبية، عند تطبيقها في تحديد مناطق التسرب، من حيث تحديد حجم التسرب وكيفية اكتشافه. وعلى الرغم من الكم الهائل من الدراسات حول هذا الموضوع، إلا أن الخبرة التشغيلية العامة لا تؤيد بشكل موحد تقنية واحدة بعينها، وفي الواقع يوجد عدد قليل جداً من التجارب القابلة للمقارنة في مجال خطوط الأنابيب.

الهدف النهائي من هذا العمل هو تحديد تصور عن أفضل التطبيقات الممكنة في مجال أنظمة الكشف عن تسرب خط الأنابيب (LDS) [ Leak Detection Systems] والأساليب و التقنيات التي سيكون من المفيد إجراء المزيد من البحث والتطوير عليها.

والحافز الأساسي لتحديد هذا التصور يتمثل في الكشف السريع عن التسريبات ذات الطبيعة الخطرة والضارة بالبيئة في كل من خطوط الأنابيب البرية والبحرية.

تتضمن المهام الفرعية والرئيسية لتقييم جميع التقنيات المواضيع التالية :

- ❖ الحساسية.
- ❖ الدقة.
- ❖ الموثوقية.
- ❖ التطبيق العملي.
- ❖ ميزات الرصد المستمر.
- ❖ القيود الكامنة في مختلف المهمات والبيئات.

### ٣.١ تصنيف الأنظمة :

تصنف طرق الكشف عن التسرب إلى طرق رقابة داخلية وطرق رقابة خارجية فالطرق الداخلية تشمل قياسات لمراقبة حالة السوائل داخل الأنبوب بينما تتناول الطرق الخارجية مراقبة الظروف البيئية للأنبوب.

### ٣.١.١ خطوط الأنابيب:

تتم هندسة وتصميم خطوط الأنابيب لتشغل عمليات الحمولة الكاملة، وبافتراض ثبات ظروف التدفق فإن المؤشرات التشغيلية تتراوح بين MAOP (الحد الأقصى لضغط التشغيل المسموح به Maximum Allowable Operation Pressure) في ظروف تشغيل استثنائية إلى حالة انفصال الغاز أو حالة انخفاض الضغط الموافقة لحالة عدم التدفق. ولذلك فإن الأنظمة الداخلية للكشف عن التسرب تعمل ضمن مجال واسع من الظروف التشغيلية، والبعض منها قد تظهر سمات أو خصائص أنماط التسرب.

الحالة المستقرة يمكن أن تتحقق لكثير من عمليات خطوط الأنابيب، ويفترض بصفة عامة أن معظم خطوط الأنابيب تتحمل التغيرات الطفيفة باستمرار، بما في ذلك الضجيج الهيدروليكي وضجيج المعدات والتجهيزات الذي يعتبر سمة من سمات العملية العادية، ويشكل قاعدة خلفية لعتبة تمييز أي حدث غير عادي. لكن المشكلة الأساسية تكمن في التمييز بين عمليات التشغيل العادية وظروف وقوع عملية غير طبيعية والتي من شأنها أن تشير إلى وجود تسرب.

هذه الدراسة معنية بالتدفق وحيد الطور، في المقام الأول النفط أو الغاز.

### ٣.١.٢ تشكيل خطوط الأنابيب:

إن طرق كشف التسرب تأخذ بعين الاعتبار خطوط الأنابيب الرئيسية سواء في البر أو في البحر والتي لها نقطة إرسال وحيدة ومحطة نهائية. فشبكات الأنابيب الشعاعية أو تكوينات الخطوط الرئيسية مع الوصلات تحتوي على عدد من الفروع التي لا يمكن قياسها كعناصر معزولة. إن تطبيق نظام لرصد التسرب في خط أنابيب محدد يعتمد على القضايا البيئية، المقتضيات التنظيمية و سياسة الشركة التشغيلية لحجم و مواصفات الأنابيب.

### ٣.١.٣ خصائص السوائل في الأنابيب:

هذه الخصائص تشير إلى مواصفات السوائل التي تؤثر على طرق الكشف الداخلي.

<u>اللزوجة:</u>

تعتمد اللزوجة على درجة الحرارة وتحدد العلاقة بين معدل التدفق وضياع الضغط بالاحتكاك. إن السوائل أكثر لزوجة من الغازات وتتحكم اعتبارات اللزوجة ودرجة الحرارة بمقاومة الاحتكاك في تطبيقات تدفق السائل أكثر منها في تطبيقات التدفق في الغاز. تعتبر خشونة خط الأنابيب مؤشر أكثر أهمية عند نقل الغاز وذلك بسبب اختلاف أعداد رينولدز بين السوائل والغازات في أثناء التشغيل النموذجي.

الانضغاطية:

تقيس الانضغاطية انحراف سلوك الغاز الحقيقي عن سلوك الغاز المثالي فيما يخص القوى بين الجزيئية، والمرونة والحجم الذي يشغله. وتحدد الانضغاطية المعدل الذي تنتشر فيه اضطرابات الضغط في الغاز والسوائل. وتكون سرعة انتشار الموجة في السوائل أكبر بـ ٥ مرات من تلك الموجودة في الغاز.

**٣.١.٤ الخصائص الميكانيكية لخط الأنابيب:**

إن أداء أنظمة الكشف الداخلي عن التسرب يتأثر بشكل كبير بالبارامترات الميكانيكية التالية:

- ❖ _ خشونة الأنابيب الداخلية.
- ❖ _ قطر وطول الأنابيب.
- ❖ _ تغيرات قطر الأنابيب.
- ❖ _ القيود والتضيقات في الأنابيب (الصمامات مثلاً).
- ❖ _ تغيرات درجة الحرارة المحيطة، وتماسك التربة، ومعابر الأنهار.
- ❖ _ انحناءات الأنابيب وتقوسها.

**3.1.5 أنماط التسرب وتقنيات الكشف المطبقة:**

لتوضيح العلاقة بين حجم التسرب وقطر الأنبوب، تعطى بعض الأرقام النموذجية في الجدول (٣.١).

| | قطر الأنابيب | | | | الضغط |
|---|---|---|---|---|---|
| | ½" | ١" | ٢" | ٣" | (Bar) |
| إيتيلين | ٢٥ | ٧٠ | ٢٦٠ | ٦٢٠ | 80 |
| NGL | ١٤ | ٤٠ | ١٤٠ | ٣٣٠ | 65 |
| نفط خام | ١٨ | ٤٨ | ١٨٠ | ٤٣٠ | 25 |
| ماء | ١٥ | ٤٠ | ١٥٠ | ٣٦٠ | 15 |
| غاز | ٥ | ٢٥ | ٩٠ | ٢٠٠ | 70 |

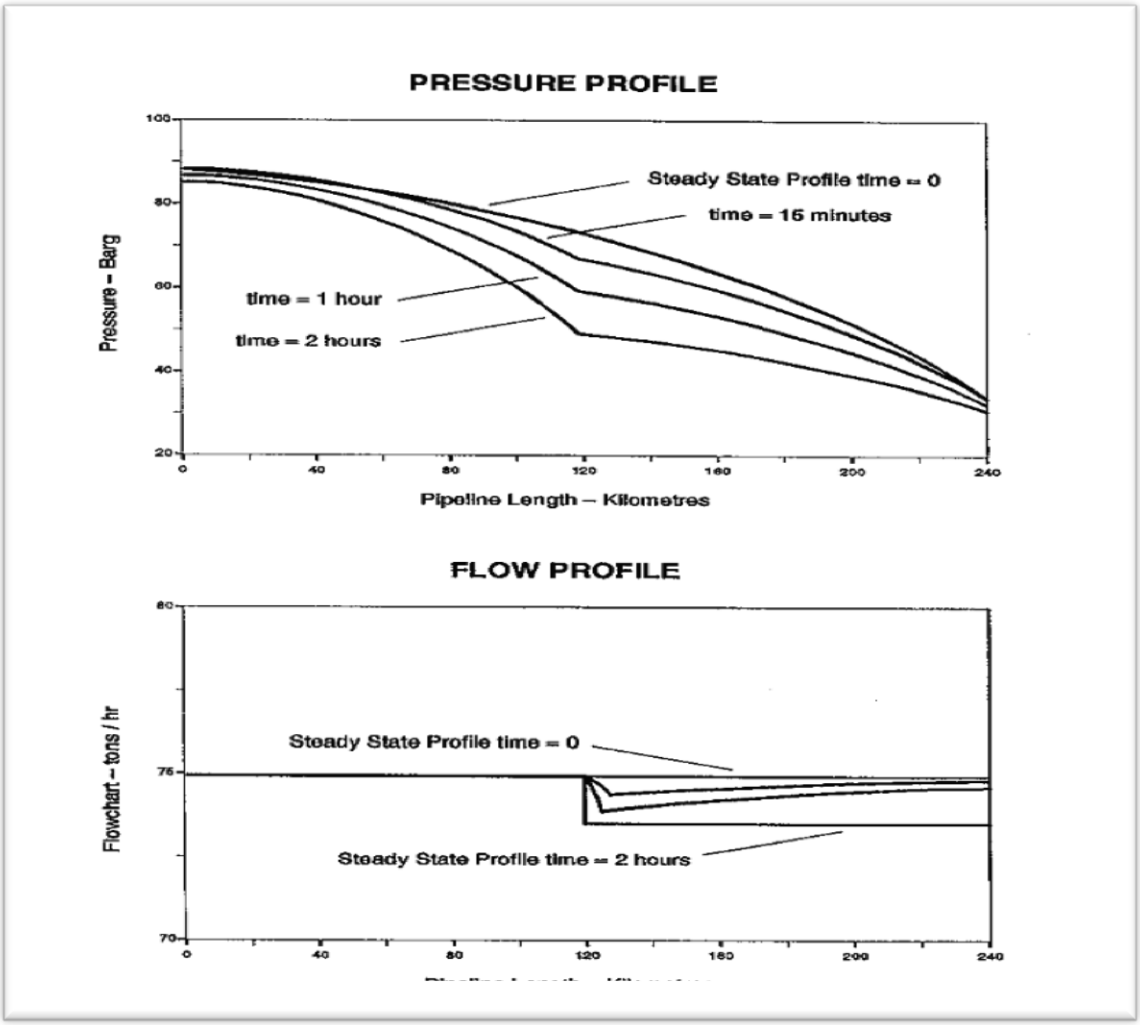
الجدول ٣.١: معدلات التسرب (طن/ساعة) وضياع الضغط بالاحتكاك بالعلاقة مع قطر الأنابيب

من سمات التسرب في الأنابيب هو أن منحني الضغط في خط الأنابيب يصبح مشوهاً ومنحني معدل التدفق المرسوم مع المسافة يبدي خطوة انقطاع.

الشكل (٣.١) يبين منحنيات الضغط والتدفق وكما هو مبين فإن الاختلافات في الضغط والتدفق يمكن أن تشير إلى أن حدثاً هاماً قد وقع، وتتوقف كفاءة أنظمة كشف التسرب في التعرف على التسرب، وتحديد مكانه وتقدير **حجمه على عدة عوامل مثل:**

- موقع الحساسات.
- دقة الحساسات.
- حجم التسرب.

يتطور التسرب في منحني الضغط ومنحني التدفق في فترات زمنية متعاقبة حيث أنه




في أي نقطة على طول خط الأنابيب يتناقص الضغط كما في الشكل (٣.١).

الشكل (٣.١): تطور التسرب خلال الزمن

**إن وقوع التسرب في خط الأنابيب يصنف إلى فئتين واسعتين:**

- بطيئة (كالارتشاح):

والذي يحدث خلال فترة زمنية مرتبطة مع معدلات التآكل في نقاط اللحام والوصلات (مثل وصلات الأنابيب والصمامات والمصافي). ومن المتوقع أن ينمو معدل الارتشاح من الثقب خلال فترة من الزمن دون مظاهر ملحوظة في ظروف التدفق في الأنابيب ولكن هذا الخلل قد يسفر في نهاية المطاف تحت الجهد إلى خلق تمزق مفاجئ، كما يرافق الارتشاح تشويش صوتي أيضاً.

- مفاجئة (بدءاً من الثقوب إلى الصدع الكبير أو التمزق):

التسرب التقليدي يتميز بالتغيرات المفاجئة في شروط تدفق خط الأنابيب في موقع التسرب. إن كشف الموجة المفاجئة المتولدة في وسط السائل في لحظة التمزق يمكن أن تشير إلى أن تسرب ما قد حدث حيث أن هذه الموجة تنتشر (بشكل مؤقت) بسرعة الصوت ويعتمد حجم موجة الضغط على حجم التسرب. كما تنعكس موجة الضغط السالبة المنتقلة بعيداً عن موقع التسرب عند نهاية الأنبوب. ومعظم التسريبات تحدث نتيجة التشغيل الآني في مناطق تحتوي نقاط ضعيفة (متآكلة مثلاً) من الأنابيب وتقع في منطقة الموجة.

**٣.١.٦ قائمة طرق الكشف عن التسرب:**

تصنف طرق الكشف عن التسرب على النحو التالي:

- توازن المادة (Mass Balance).
- معدل التغير (Rate of change).
- تحليل نقطة الضغط (Pressure Point Analysis).
- موجة التنبيه (Wave Alert).
- منظومة SCADA (منظومة جمع البيانات و التحكم التوجيهي الموزع) وتشمل :
  - _ ديناميكية توازن الحجم (نموذج مؤقت).
  - _ انحرافات منحنى الضغط/التدفق (نموذج مؤقت).
- أنظمة الانبعاثات الصوتية.
- أنظمة مستندة على المبادئ الكيميائية وتشمل:

_ أجهزة الاستشعار الكيميائية المنفصلة.

_ أجهزة الاستشعار الكيميائية الموزعة.

_ أنبوب الاستشعار الكيميائي (Chemical sensor tube based).

- بروفايل درجات الحرارة.
- تكنولوجيات الاستشعار بالألياف البصرية.
- الشبكات العصبية.
- تعقب الإشعاع.
- المسح الذكي (Intelligent Pigging).
- طرق متنوعة.

هناك تشابه بين بعض من هذه الأساليب، على سبيل المثال طريقة تحليل الضغط في نقطة ما وطريقة موجة التنبيه تعتمد تقنيات موجة الضغط السلبي وتختلف بشكل أساسي في تطبيق تقنيات الاستشعار. وبالمثل، فإن تقنية بروفايل درجة الحرارة هي في الوقت الراهن تقنية ألياف بصرية حيث تستشعر التغيرات في درجات الحرارة للسطح الخارجي لخط الأنابيب مباشرة بواسطة كابل الألياف البصرية. والتطويرات الأخرى للطرق التي تنطوي على أجهزة استشعار متعددة على سبيل المثال كواشف الغاز الموزعة على طول خط الأنابيب يمكن اعتبارها كطرق منافسة على أساس الكلفة.

## ٣.٢ توصيف طرق كشف تسرب:

### ٣.٢.١ توازن الكتلة:

توازن الكتلة (توازن الحجم)، تعتمد على مبدأ صون الكتلة لكل قسم من الأنابيب أي أن السائل الذي يدخل قسم الأنابيب إما لا يزال فيه أو يكون قد ترك هذا القسم.ومن أجل خط أنابيب اسطواني عادي فإنه يمكن قياس التدفق الداخل والخارج من الأنابيب. يمكن تقدير كتلة السائل في قسم الأنابيب من خلال أبعاد الأنابيب وقياس متغيرات الحالة مثل الضغط ودرجة الحرارة.

-يتم التعرف على تسرب السوائل عندما تقل كمية السائل الخارج من الأنابيب عما هو متوقع من قياسات الكمية الداخلة وتقديرات محتويات الأنابيب.

-التقنية بسيطة نسبياً وربما هي الطريقة الأكثر انتشاراً والمستخدمة حالياً.ويمكن تعميم الوصف السابق على شبكات الأنابيب أو الأنابيب الخطية.

**الحساسات (أجهزة الاستشعار):**

أجهزة الاستشعار اللازمة لهذه التقنية هي بهدف استشعار التدفق والضغط ودرجة الحرارة. ويطلب قياس التدفق في جميع مداخل ومخارج خط الأنابيب، حيث أن قياس التدفق ضروري للسائل المار من مجال مشغل إلى آخر، ومن الناحية المثالية ينبغي أن توزع أجهزة الاستشعار على طول الأنبوب. بالإضافة إلى ذلك، يجب أن تكون كثافة السائل معروفة بدقة من أجل الحسابات.

**<u>الأداء</u>:**

تعتمد حساسية تقنية توازن الكتلة على دقة تقدير محتويات الأنابيب. والدقة يمكن أن تزداد عند الأخذ بعين الاعتبار التدفق الداخل والخارج من خط الأنابيب خلال فترة زمنية طويلة بشكلٍ كاف، بحيث تكون كتلة السائل المتدفقة إلى داخل الأنبوب والخارجة منه أكبر بكثير بالمقارنة مع كتلة السائل الموجودة داخل خط الأنابيب. وعند ذلك فإن دقة الطريقة ستكون مرتبطة بدقة أجهزة قياس التدفق.

عموماً، يمكن لهذه الطريقة الكشف عن التسريبات الصغيرة (على مدى فترة زمنية طويلة) بافتراض ثبات ظروف حالة خط الأنابيب. وهناك مجموعة واسعة من تغيرات التدفق التي يمكن استيعابها دون أن تزيف عملية الكشف عن التسرب أو أن تعطي مؤشراً وهمياً عن وقوع تسرب ويتم تصفية مؤشرات خط الأنابيب عادة على المدى الطويل باستخدام المعدلات الوسطية. وبرغم ذلك فإن العيب الرئيسي في جميع مخططات توازن الكتلة، هو عدم القدرة على تحديد موقع التسرب. فعندما يشير المخطط إلى وجود تسرب تكون هناك حاجة إلى إتباع أساليب أخرى لتحديد موقعه.

**٣.٢.٢ أنظمة معدلات التغير:**

وفي هذا النظام يتم وضع أجهزة ميكانيكية أو إلكترونية حساسة لتغير معدلات الضغط أو التغيرات المفاجئة في معدل التدفق في نهاية الأنبوب. تم تصميم النظام للكشف عن التغيير المفاجئ في الضغط و/أو معدل التدفق الذي قد ينشأ في حالات تمزق الأنبوب.

فعالية هذه الأنظمة يعتمد على طول الخط، وبشكل حاسم على المكان حيث يحدث التسرب (الحد الأقصى للاستجابة والحساسية يكون عندما يحدث التسرب في نهاية خط الأنابيب على مقربة من الشاشة). أنظمة معدل التغير تحتاج إلى ضبط من حيث الحساسية.

حيث يمكن أن يقدر حجم التسرب ولكن لا يمكن أن يحدد موقع التسرب بسبب عدم كفاية إشارة المعلومات من جهاز عرض واحد فقط .

_ العيب الرئيسي في جميع هذه الأنظمة هو فقدان التعرف على الإشارة بسبب الضوضاء والأحداث المحيطة. (نظام موجة التنبيه يوفر حلاً جزئياً لهذه المشكلة).

_ المشكلة الرئيسية في الطريقة هي في معدلات الإنذار الكاذب.

### ٣.٢.٣ تحليل نقاط الضغط Pressure point analysis (PPA):

وتعتمد هذه الطريقة على مراقبة ضغط خط الأنابيب عند نقطة واحدة على طول الخط ومقارنتها مع القيم الإحصائية التشغيلية المسجلة من قياسات الضغط السابقة أو قياسات السرعة في خط الأنابيب عند نقطة واحدة كون هذه القياسات تكون مختلفة قبل وبعد حدوث التسرب. ومن ثم تطبق مجموعة من عمليات التصفية الانتقائية وبرامج العتبات الحدية ليتم معرفة ما إذا كان سلوك القياسات المتتالية يحتوي أي دليل على وجود تسرب.

– عادة يكون هناك حاجة إلى عدة أشواط تشغيلية لنموذج الإشارة من أجل ضبط نظام (PPA) للكشف عن التسرب لمختلف الأحجام وتشخيصها في خط الأنابيب.

**<u>الأداء:</u>**

تعتمد الآلية على ضبط إشارة الضغط وذلك لإنتاج مقاييس إحصائية لقيم ضغط متعددة عند نقطة معينة ويتم تطبيق العديد من الفلاتر والعتبات الحدية التمييزية للمعطيات الخارجة من واحد أو أكثر من هذه المرشحات. ولكنها لن تعمل عند وجود الإشارات المؤقتة غير المتوقعة أثناء التشغيل، وتستند على تقنيات التصفية الإحصائية المستخدمة وبالتالي فإن هذه الطريقة عرضة للإنذارات الكاذبة. ولكنها

من ناحية أخرى أقل من غيرها من طرق الكشف الأخرى تجهيزاً حيث يتم تحديد مكان التسرب حسب تحليل نقطة أو نقاط الضغط بعينها.

### ٣.٢.٤ أنظمة موجة الإنذار:

تم تصميم هذا النظام للكشف عن موجة الضغط السلبي الناتج عن التمزق في الأنبوب، موجة الضغط تنتقل بعيداً عن مكان التسرب في كلا الاتجاهين وبسرعة الصوت، ويتحدد وقت استجابة النظام من خلال سرعة الموجة والمسافة بين محطات الكواشف. عندما يقع التسرب تصل الموجة إلى كل محطة والتي ترتبط عبر خطوط أرضية(أسلاك الهاتف أو أنظمة القياس الأخرى) يقوم النظام بحساب موقع التسرب باستخدام السرعة المعروفة للصوت في السوائل المتدفقة في خط الأنابيب والتي تقاس بشكل مستمر من قبل النظام نفسه. يمكن تقدير حجم التسرب من خلال سعة موجة الضغط الواردة مع الأخذ بالاعتبار خصائص التخامد المعروفة لخط الأنابيب.

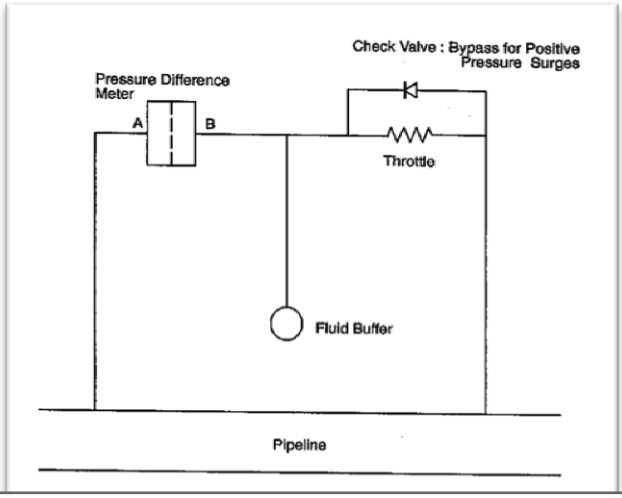
الأمر الذي يميز نظام موجة الإنذار من أجهزة مراقبة الضغط الأخرى هو القدرة على جعل النظام "موجَّه". فمحطات الكواشف عند نهايتي خط الأنابيب حساسة فقط لموجات الضغط السلبي التي تنشأ في طول خط الأنابيب بين المحطات. وهذا ما يسمى بالطول "المحمي" من خط الأنابيب. موجات الضغط السلبي التي تنتج عن التغييرات التشغيلية العادية، (مثل بدء تشغيل المضخة وإيقاف تشغيلها، عمليات الصمامات، والتغيرات في التدفق، وصمامات الإغاثة، الخ ..) تصل في محطة الكاشف من خارج الطول "المحمي" من خط الأنابيب، أي في "عكس" الاتجاه، ويتم تجاهلها.

يستخدم نظام موجة الإنذار محولات الضغط الديناميكية التي ليست حساسة للتغيرات البطيئة في ضغط ثابت. يجب أن يحدث التسرب سريعاً (عادة أكثر من ثواني قليلة) ليتم الكشف عنها. وأجهزة الاستشعار سوف تكشف التسرب فقط في الوقت الذي كان يحدث، ولن تكشف على سبيل المثال عن تسرب في الحالة الثابتة المستقرة. هذا النظام حساس فقط لمعدل تغير الضغط .

وبما أن سعة موجة إشارة الضغط تتناقص بشكل كبير مع المسافة، فإن حساسية الكشف تعتمد على المسافة وضغط خط الأنابيب. فبالنسبة لخطوط الأنابيب الطويلة على الأرض، يمكن وضع محطات كواشف على مسافات على طول خط أنابيب (على سبيل المثال في محطات الصمامات) لتحقيق الحساسية المطلوبة على الطول كله.

ويظهر الشكل (٣.٢) رسم تخطيطي لنموذج تركيب موجة تنبيه مبسط. في نظام 'موجه' اثنين من محولات الضغط الديناميكي على مسافة متباعدة، ومع الإشارة من المحول "A" يتأخر كهربائياً بوقت يساوي تماماً زمن انتقال موجات الضغط بين المحول A والمحول B. إشارة المحول B وتأخير إشارة المحول A تُطرح من بعضها البعض مما يعني وصول إشارة الضغط من خارج الجزء المحمي من خط الأنابيب ويتم إلغاء جميع الإشارات المماثلة في منظومة الطرح. النظام يكون حساس لأي "تسرب" ناتج سوف يصل للمحول B أولاً وينتج فوراً من منظومة الطرح تنبيه بحدوث "تسرب" إذا كان هذا الناتج هو فوق قيمة عتبة محددة مسبقاً.

نظرياً، يجب أن يحقق هذا النظام حساسية أفضل من تقنيات مراقبة الضغط البسيطة لأن خاصية التوجيه في طريقة الكشف هذه تسمح باستخدام قيمة عتبة حدية دنيا، بغض النظر عن مقدار الزيادة في معدل الإنذارات الكاذبة.




الشكل (٣.٢) جهاز تحسس موجة الضغط السالبة

هذا النظام يمكن تطبيقه لكل من خطوط نقل الغاز والسوائل على حد سواء، بشرط ألا تحدث حالة التدفق ثنائي الطور التي يمكن أن تسبب سدادة من السوائل وتمنع مرور موجات الضغط عبر خط الأنابيب بحكم الانعكاسات من سطوح الـ غاز/سائل. يوفر النظام استجابة سريعة بعد وقوع تسرب، والتي تحدد من خلال زمن الرحلة على طول خط الأنابيب، هذا النظام قادر على التعبير عن حجم التسرب وموقعه ونقل التنبيه إلى مشغل خطوط الأنابيب فوراً، لتمكينه من اتخاذ الإجراءات المناسبة.

### ٣.٢.٥ نظم SCADA :

أنظمة التحكم والإشراف والحصول على البيانات {The Supervisory Controls And Data Acquisition (SCADA)} ترصد خط الأنابيب في كل موقع صمام وتجمع بيانات خط الأنابيب على طول الخط بالكامل، بما في ذلك محطات القياس. البيانات تعطي المشغل بشكل لحظي نظرة عامة على شروط خط أنابيب. ويمكن أيضاً استخدام البيانات التي تم جمعها للكشف عن التسرب، وعادة من خلال كمبيوتر مخصص متصلاً بكمبيوتر (SCADA).

تسعى هذه الطريقة لنموذج رياضي ذو سلوك هيدروليكي ببعد واحد من خط الأنابيب. رياضياً، هناك مشكلة القيمة الحدية الأولية والتي يتم تعريفها تماماً من الشروط الحدية المأخوذة من قياسات عينات لضغط خط الأنابيب، والتدفق ودرجة الحرارة. وإن إعطاء قيم الضغط والتدفق في مدخل خط الأنابيب سيمكننا من معرفة الضغط والتدفق عند مخرج الخط، ويتم تحديد التسريبات على أي تناقضات بين القيم المتوقعة وقياساتها.

وتستند المعادلات الهيدروليكية على قوانين حفظ الكتلة، العزم والطاقة بالإضافة إلى معادلة الحالة المتعلقة بكثافة السائل عند قيم الضغط ودرجة الحرارة.

يتم حل هذه المعادلات من قبل مجموعة متنوعة من التقنيات الحاسوبية. الطرق البديلة المستخدمة حالياً في حزم البرمجيات التجارية وتشمل:

- الاختلاف المتناهي (Finite Difference).
- العناصر المتناهية (Finite Element).
- طريقة الخصائص (Method of Characteristics).

### ٣.٢.٥.١ انحرافات الضغط:

يستند هذا النظام على المقارنة بين الضغط النموذجي المحسوب والضغوط المقاسة في نهاية المصب من قطاع خط الأنابيب. عندما يتم ضبط قيمة الضغط النموذجي كقيمة للمقارنة يجب أن لا يكون هناك فرق بين الضغط النموذج والضغط المقاس، وعند حدوث تسرب فإنه سيؤدي لانخفاض أكبر في الضغط بعد مكان التسرب على طول الخط ولكن قبل نقطة التسرب لا يزال التدفق كما في الحالة النموذجية تاركاً تدرج الضغط دون تغيير. وبالنتيجة فإنه سيؤدي إلى انحراف الضغط المقاس عن الضغط النموذج في نهاية المصب من خط الأنابيب، وعندما يتجاوز هذا الانحراف قيمة عتبة حدية معينة يتم التنبيه عن حدوث تسرب، انحرافات الضغط هذه يصعب تفسيرها حيث أن حجم التفاوت في الضغط يعتمد على حجم التسرب، وطول جزء خط الأنابيب الذي تتم مراقبته، وظروف التدفق في خط الأنابيب وموقع التسرب (التسريبات التي تحدث أقرب إلى نهاية الخط ستنتج إشارات أصغر بالطبع)، لذلك فإن إشارة إنذار الانحراف لوحدها عادةً لا تسمح بالإعلان عن تسرب. يتم توليد التنبيه فقط عندما يحدث الانحراف بالتزامن مع بعض إنذارات الانحراف الأخرى.

### ٣.٢.٥.٢ انحراف التدفق:

التسرب سيؤدي إلى انحراف التدفق في نهاية الأنابيب عن القيمة النموذجية أو المخططة ومع تطور التسرب، فإن قياس التدفق سيعطي فرقاً أكبر. عندما تحدث إشارة سببها التسرب فإنها تنتشر بشكل كامل إلى نهاية خط الأنابيب، الفرق يكون هو حجم التسرب ويتم الإعلان عن التسرب ، عندما يكون الفرق بين التدفقات النموذجية والمقاسة يتجاوز عتبة حدية معينة.

### ٣.٢.٥.٣ مخططات التصويت:

إن حدوث التسرب يجب أن يسبب العديد من إنذارات الانحراف. ففي جزء أنابيب بسيط، يجب أن يسبب إشارة تنبيه الضغط في بداية الجزء وإشارة تنبيه التدفق في نهاية الجزء. وتبعاً للمكان الذي يحدث فيه التسرب وزمن حدوثه، نحصل على إنذارات انحراف التسرب أو لا. ويتم وضع خطط بحيث أنه في كل إعلان تسرب يَصدُر "أصوات" لإعلان إنذار تسرب للمشغّل، ويخرج الإنذار كلما تم جمع عدد كافٍ من

الأصوات. قد تكون مخططات التصويت بسيطة أو معقدة، وتستخدم لإزالة الإنذارات الكاذبة.

**٣.٢.٥.٤ موقع التسرب:**

جميع النماذج في الوقت الحقيقي تستخدم قياسات (SCADA) لتحديث معلومات خطوط الأنابيب، والانحرافات في معادلة توازن الكتلة لا تزال تستخدم كمصدر أولي أو ثانوي من مؤشرات التسرب. كما هو الحال مع إجراءات توازن الكتلة التقليدية حيث لا توفر هذه الحسابات أي معلومات بهدف تحديد موقع التسرب.

تظهر الاختلافات بين الشركات المصنعة لنماذج الكشف الفوري في مجال موقع التسرب أن ثلاثة خوارزميات أساسية هي الأكثر انتشاراً:

- طريقة المربعات الصغرى لبروفايل الضغط :

عند حدوث تسرب إما عن طريق اختلاف واضح في التدفق أو الانحرافات فوق عتبات توازن الكتلة، عندها يبدأ البحث عن مواقع التسرب في نموذج منفصل. حيث يفرض وجود تسرب في هذا النموذج ويتم فحص بروفايل الضغوط مقابل قياسات SCADA. يتم استخدام طريقة المربعات باعتبارها النهج الأكثر ملاءمةً لتحديد موقع التسرب.

- تقاطع التَّدرجات:

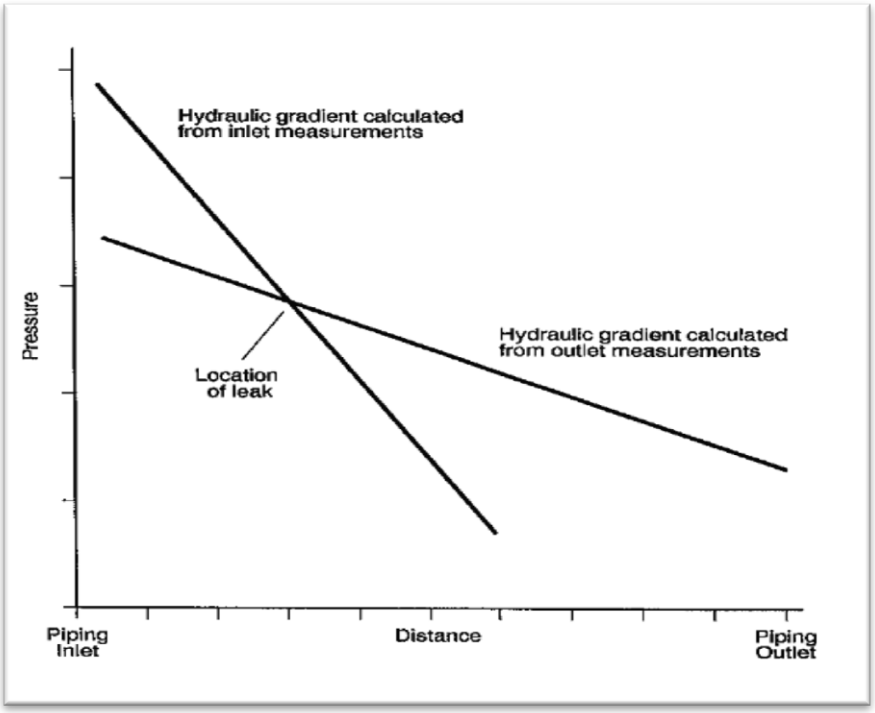
عندما تتم الإشارة إلى التسرب يتم احتساب بروفايل الحالة شبه الثابتة في الاتجاه الأمامي باستخدام ظروف مدخل خط الأنابيب وأيضاً في الاتجاه المعاكس باستخدام ظروف مخرج الأنابيب. يقع تسرب عند تقاطع خطوط التدرج الهيدروليكي، ويعتمد هذا الأسلوب بشكل خاص على التوقع بأن اضطراب التسرب يظهر في النهاية بشكل وضعية جديدة للحالة الثابتة. شكل (٣.٣) .

- تفاوت توزع التدفق:

إن قياسات الضغط (SCADA) على طول الأنبوب تؤمن باستمرار وبشكل منتظم النموذج اللحظي لمنحني ضغط الأنابيب، ووجود تسرب سيؤدي إلى توليد انحرافات في التدفق عن التدفق

النموذجي. توزيع التباينات في التدفق الناتجة في قسم الأنابيب يدل على وجود

تسرب. يمكن أن تستمد تقديرات حجم التسرب من حجم التفاوت في التدفق.




الشكل (٣.٣) استخدام التدرج الهيدروليكي في تحديد موقع التسرب

**الحساسات (أجهزة الاستشعار):**

إن النماذج الفورية تتطلب توفر نفس القياسات كما في طريقة توازن الكتلة:

- التدفق في جميع مداخل ومخارج الخط.
- المتغيرات الخارجية (الضغوط ودرجة الحرارة) على جميع مداخل ومخارج الخط.

إن قياسات خط الأنابيب التي لا يتم استخدامها في حل المعادلات الهيدروليكية تشكل مجموعة زائدة عن الحاجة والتي يمكن استخدامها لتحديد ورفض القراءات الخاطئة للأجهزة. وعلاوة على ذلك فإن العديد من النماذج تستخدم "عوامل تقدير الحالة" في محاولة لزيادة إشارة الأداة أو الجهاز نسبةً للضجيج.

**<u>الأداء:</u>**

حساسية الكشف عن التسرب يمكن أن تكون أفضل بعدة مرات في هذه الطريقة من طريقة توازن الكتلة ولكن لتحديد مكان التسرب من غير المرجح أن تكون أفضل لأكثر من (٥٪) من طول خط الأنابيب.

**٣.٢.٦ الإنبعاثات الصوتية :**

فيزيائياً سبب استثارة الصوت هو تقلبات السرعة المضطربة، فإذا كان السائل يهرب من خلال ثقب في جدار الأنابيب فإنه يخلق سمات اضطراب تختلف عن الظروف المحيطة، والصوت المقابل المتولد يمكن استخدامه كوسيلة لكشف التسرب وموقعه.

تكون شدة الصوت المنبعث متناسبة مع القوة الثامنة لسرعة التدفق المضطرب (أي قيمة السرعة مرفوعة للأس ٨) وتزداد بشدة مع زيادة الضغط. العلاقة بين الصوت المنبعث والضغط ليست بسيطة وهناك عدة علاقات تجريبية مختلفة في هذا المجال.

بالنسبة لخطوط أنابيب النفط والغاز تحت سطح البحر فإن التدفق في جميع الأنظمة التشغيلية يكون مضطربا للغاية. وللكشف عن التسربات في خطوط أنابيب الغاز عالية الضغط تحت سطح البحر يمكن بسهولة افتراض أن التسرب سيتصرف كما لو كان مصدراً للصوت. ولكن بالنسبة لخطوط النفط الثقيل فمن الممكن أن لا يكون كذلك.

ويتجلى وجود التسرب من خلال زيادة مستوى الضجيج. هناك العديد من الأسباب المحتملة لزيادة مستوى الضجيج و سيكون مطلوباً مزيداً من التمييز قبل أن يتم الإعلان عن وجود تسرب. لهذا السبب لا يمكن لطريقة الإنبعاثات الصوتية أن تعتبر

عالميةً لجميع تطبيقات خط الأنابيب. ومع ذلك، يمكنها أن تقدم دليلاً جيداً لدعم تأكيد إنذارات التسريبات التي اقترحتها غيرها من التقنيات. وعلاوة على ذلك يمكن لطريقة الإنبعاثات الصوتية توفير مستوى عال من القدرة على تحديد الموقع بدقة.

**الحساسات (أجهزة الاستشعار):**

في البر استخدمت هذه الطريقة في العديد من تطبيقات الكشف عن تسرب،ومع ذلك لا يوجد سوى عدد قليل من تطبيقاتها لعمليات خط أنابيب ينقل الغاز ولم يتم ذكر وجود أي تطبيقات بحرية، والضوضاء الناتجة عن التسرب تكون عريضة النطاق عموماً تتراوح من (حوالي ١ ميغا هرتز إلى أقل من ١ كيلو هرتز). غالباً ما ينتشر الضجيج بتخامد أقل في جدار الأنابيب مما هو عليه في محتويات الخط، وفقاً لذلك فإن أجهزة الاستشعار عادةً ما تكون مثبتة على جدار الأنابيب. وعادةً تعمل أجهزة الاستشعار في نطاق (١٠ ميغا هرتز إلى ٤٠٠ كيلو هرتز).

**<u>الأداء:</u>**

على الرغم من أن هذه التقنية توفر أداءً جيداً جداً فيما يتعلق بالحد الأدنى للتسرب القابل للكشف إلا أن هناك عدداً من العوامل العملية تحد من تطبيقها، وأداء طريقة الإنبعاثات الصوتية في تطبيقات كشف التسرب الحرجة هو من مرتبة( $10^{-6}$ $m^3.s^{-1}$ ) للسائل و($10^{-5}$ $m^3.s^{-1}$ للغاز). ويمكن تحقيق هذا الأداء مع مسافات صغيرة نسبياً بين أجهزة الاستشعار وموقع التسرب. المسافة بين أجهزة الاستشعار تقتصر على عدة مئات من الأمتار.

طلاء خط الأنابيب اللازم لتأمين الحماية من التآكل يمكن أن يساعد في تخفيف الضوضاء فيما يتعلق بخط الأنابيب البرية. وإذا كانت طريقة الإنبعاثات الصوتية هي التي يتم استخدامها عندها ينبغي التحقيق في آثار التخامد بسبب الطلاء.

على عكس ظاهرة الموجة السلبية، طريقة الإنبعاثات الصوتية تستمر بأدائها كلما كان تدفق السوائل عبر الخط مضطرباً، وفقاً لذلك إذا لم يتم تشغيل أجهزة استشعار الإنبعاثات الصوتية في وقت حدوث التسرب فإنه لا يزال من الممكن فيما بعد تحديد موقع التسرب.

### ٣.٢.٧ الطرق ذات الأساس الكيميائي:

الطرق الكيميائية لكشف التسرب الموصوفة هنا تقتصر على تقنيات الاستجابة السريعة وصممت للمراقبة المستمرة التي تنتشر فيها أجهزة الاستشعار على طول خط الأنابيب.

#### ٣.٢.٧.١ المستشعرات الكيميائية المنفصلة:

يتكون هذا النظام من مجموعة من الكواشف الكيميائية الموزعة على طول خط الأنابيب لذلك فإن أي تسرب للموائع من خط الأنابيب سوف يتم استشعارها من مستشعر واحد أو أكثر. وتستخدم خطوط الطاقة والاتصالات لربط كل كاشف مع موقع المراقبة المركزية. _ البارامترات الحرجة التي تؤثر على الحساسية ووقت الاستجابة هي تباعد الكواشف وتفاعل الكواشف مع المائع المتدفق في خط الأنابيب. فللمواد الهيدروكربونية تكون الحساسية المطلوبة هي (١٠٠) جزءاً في المليون ( 100 PPM).

_ في تطبيقات خطوط الأنابيب تحت سطح البحر، هناك حاجة إلى أجهزة الاستشعار التي تغطي مسافات من (١٠ إلى أكثر من ١٠٠ كم)، وبالتالي فإن طرق انتقال الإشارة المستخدمة يجب أن توظف خطوط الاتصال العامة.

#### ٣.٢.٧.٢ المستشعرات الكيميائية الموزعة:

أنظمة الكشف عن التسرب القائمة على المستشعرات الموزعة حساسة للمواد الكيميائية على طول المستشعر بأكمله. إن مميزات المستشعرات الكيميائية الموزعة تشمل (الحساسية العامة، وخطوط نقل الإشارة، التغطية الكاملة لخط الأنابيب، بساطة التركيب مقارنة مع تركيب ومد الأسلاك في حالة المستشعرات المنفصلة، والقدرة على تحديد موقع التسرب)، وتقسم أنظمة المستشعرات الكيميائية الموزعة إلى نوعين:

**A: المستشعرات الكيميائية الموزعة ذات الألياف البصرية :**

أجهزة الاستشعار الموزعة ذات الألياف البصرية تستجيب لتغيرات درجة الحرارة وهي في الوقت الحاضر متاحة تجارياً. كما يمكن نشرها في مسافات طويلة نسبياً (٢٠ كم). بالدرجة الأولى تم تصميمها بشكل يسمح لضياعات الضوء الناتجة بسبب الانحناءات الدقيقة أن تستخدم لقياس درجة الحرارة على طول الألياف: تتطلب هذه التقنية عناصر استشعار ثنائية المعدن صغيرة تطبق على الألياف لتُحدث الانحناءات

الميكروية الدقيقة في الألياف عند تغير درجة حرارة الألياف. هذه الانحناءات الدقيقة تخلق ضياعات في الضوء من نواة الألياف التي يمكن الكشف عنها بشكل انتقال مخفف للضوء.

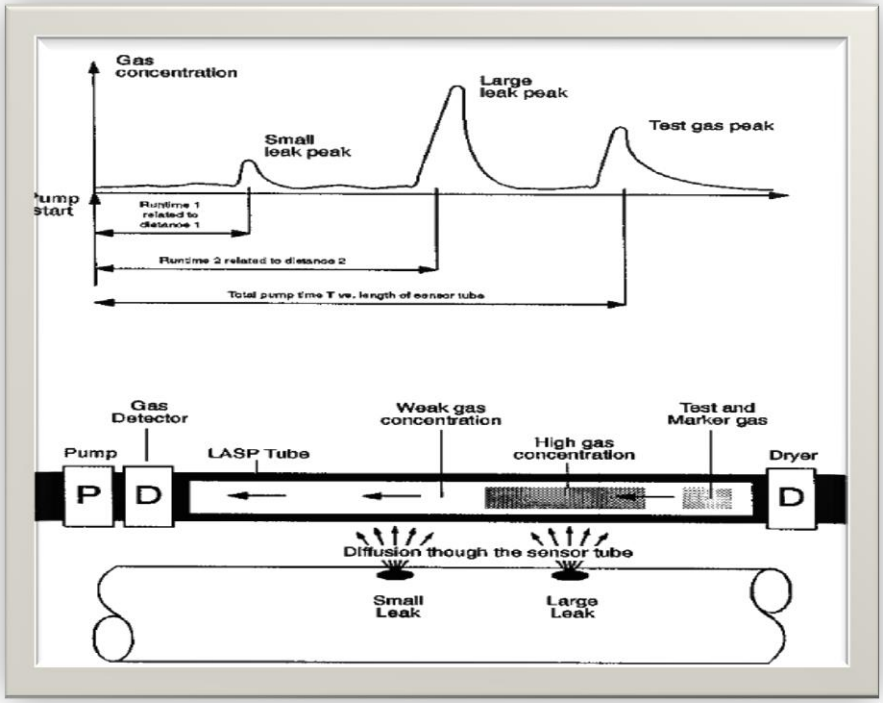
وبشكل مشابه يمكننا تصور التقنية بحيث تحدث انحناءات الألياف الملفوفة بمواد تنتفخ عند الاتصال مع النفط وبعض المواد الكيميائية.

النظام يشبه من حيث المفهوم الأنظمة التي تتأثر فيها الخواص الكهربائية للأسلاك الملفوفة بمواد خاصة نتيجة وجود المواد الكيميائية. مثل هذا النظام هو عبارة عن موصلات كهربائية مغطاة بمادة التفلون (Teflon) الخاصة المضادة للماء والتي تمتص المواد الهيدروكربونية، فعند التعرض للمواد الهيدروكربونية يتم الكشف عن تغيير في السعة من خلال تحديد توقيت انعكاس الإشارات الكهربائية . بالإضافة إلى الكشف عن التسرب، فإنه يمكن تحديد موقعه على طول الكابل(ما يصل إلى ٤٠٠٠ قدم) بدقة.

**B: المستشعرات الكيميائية الموزعة التي تستخدم الأنبوب المستشعر :**

إن الطرق الكيميائية للكشف عن التسرب التي استخدمت في خطوط الأنابيب البرية لعدد من السنوات تستند إلى الكشف عن وجود التسرب باستخدام أنبوب استشعار نصف نفوذ موضوع قرب خط الأنابيب. أنبوب الاستشعار هذا يحتوي على مادة جدارية تسمح بنشر الأبخرة الهيدروكربونية في الهواء داخل الأنبوب. يتم تفريغ الأنبوب بشكل دوري وفي الأنبوب يمر الهواء من خلال المستشعر الذي يكشف عن وجود الأبخرة الهيدروكربونية في مجرى الهواء.

هذه الأنظمة يطلق عليها عادة LASP (أنظمة إنذار التسرب بالملوثات) ( Leak Alarm System for Pollutants). ويستطيع هذا النظام تحديد حجم تسرب من خلال ارتفاع ذروة الموجة التي سجلها الكاشف. وموقع التسرب يمكن تحديده من




الشكل (٣.٤) رسم بياني لأنبوب الاستشعار (LASP)

خلال زمن وصول الموجة إلى الكاشف مقارنة مع زمن وصول غاز الاختبار المحقون في النهاية البعيدة من أنبوب الاستشعار عند بدء عملية أخذ العينات.

– هذه الطريقة يمكن استخدامها لخطوط التدفق ثنائية الأطوار لأنه يمكن الكشف عن وجود المنتجات سواء كانت بخار أو سائل. وبمجرد تثبيت أنبوب الاستشعار بالقرب من خط الأنابيب فهو لا يتطلب أي صيانة روتينية.

_ أظهر الاختبار على حساسية اكتشاف التسرب أن النظام قادراً على كشف (٢ غرام) من الإثيلين وضعت في الأرض بالقرب من خط أنابيب لمحاكاة تسرب صغير،ويمكن لنظام (LASP) آخر يُثبَّت في نفق بطول نصف ميل مع مجموعة متنوعة من أنابيب النفط والغاز أن يرصد أي كمية سائل ربما تتجمع في أسفل النفق.

– تتفاوت نظم LASP من (٣٠٠ قدم إلى ١٠ ميل ) في الطول والمواد المستَشعرة من قبل الكاشفات تشمل: الإثيلين والبنزين ووقود الطائرات والبنتان وزيت الوقود، وأكسيد الإثيلين والغازولين والديزل وH2S، والغاز المسال (LPG). حتى الآن لم يتم استخدام هذه الطريقة للكشف عن التسرب في تطبيقات لأنابيب تحت سطح البحر.

**زمن الاستجابة لنظام كشف التسرب:**

يتم تحديد الحد الأدنى لزمن الاستجابة للتسرب من خلال وتيرة ضخ الهواء في الأنبوب من خلال الكاشف، ويتم عادة ضخ النظام كل (١٢) ساعة، ومن أجل أطوال أكبر لأنبوب الاستشعار، يمكن لوقت الضخ اللازم لتنظيف أنبوب الاستشعار بالكامل أن يكون عدة ساعات. هذا النظام تم تصميمه بشكل واضح بهدف الكشف عن المستوى المنخفض للتسرب وليس الاستجابة السريعة لتسرب كبير، كما يمكن تركيب أنبوب الاستشعار الثاني ويستمر الضخ من أجل الحصول على أسرع استجابة للتسرب الأكبر.

**حساسية الكشف عن التسرب:**

إن مستوى التسرب القابل للكشف يعتمد على: التركيب والمائع المتدفق في خط الأنابيب و حساسية الكاشف. وادعى ""تيليدين جيوتك Teledyne Geotech [المرجع ٦]"" بأن التسرب بأقل من (٠.٠٠٤ غالون/ساعة) من الغارولين يمكن اكتشافه.

**٣.٢.٨ منحني درجة الحرارة:**

في هذه الطريقة التأثير المادي الذي يجري رصده هو مسار درجة حرارة البيئة المحيطة بالجزء الخارجي من خط الأنابيب. في كثير من الحالات يسبب التسرب في خط الأنابيب اضطراب درجة الحرارة في البيئة المحيطة بالأنابيب. وفي حالات التسرب في خطوط نقل الغاز المضغوط فإن الغاز الهارب سيسبب منطقة باردة في البيئة المحيطة بالأنابيب وذلك بسبب معامل الإنفلات معامل (جول، تومسون).

وبالنسبة لخطوط الأنابيب التي تحمل النفط الخام الثقيل فإن النفط غالباً ما ينتقل في درجات حرارة أعلى بكثير من درجة حرارة البيئة المحيطة وذلك من أجل الحفاظ على لزوجة مقبولة. ولذلك فإن حدوث تسرب في خط الأنابيب سيؤدي لارتفاع درجة الحرارة المحلية في البيئة المحيطة خط الأنابيب.

**أجهزة الاستشعار:**

تقنية منحني درجة الحرارة تتطلب أجهزة استشعار موزعة لدرجة الحرارة، وهناك نوعين من التقنيات الرئيسية المنافسة في مجال الاستشعار عن درجة حرارة:

- الكابلات الكهربائية متعددة الاستشعار.
- توقيت انعكاس الإشارات الكهربائية الضوئية (OTDR) باستخدام كبل ألياف ضوئية.

وأجريت التجارب في وقت مبكر على تقنية منحني درجة الحرارة لخط أنابيب الغاز البرية في ألمانيا. واستخدمت التجارب الكابلات الكهربائية متعددة النوى المتطورة جداً مع ما يصل إلى (١,٠٢٤) جهاز استشعار منفصل لدرجة الحرارة لكل كيلومتر. أثمرت التجارب نتائج تقنية جيدة ولكن اعتُبرت تكلفة الكابل مرتفعة جداً للاستخدام الواسع في العمليات. أما في المملكة المتحدة طورت شركة مصنعة لأجهزة الاستشعار بالألياف البصرية نظام لتحسس درجة الحرارة يتضمن أجهزة استشعار موزعة لدرجة الحرارة. في هذه الحالة المستشعر هو كابل الألياف البصرية نفسه. وهذا له عدد من الميزات:

- السلامة في البيئات الخطرة (لا يُستخدم التيار الكهربائي في مناطق المراقبة والرصد).
- الحصانة للتداخل الكهرومغناطيسي.
- سهولة وضع جميع أجهزة الاستشعار في مناطق يتعذر الوصول إليها.
- ويمكن أيضا استخدام عنصر الاستشعار كوسيلة اتصال ذات نطاق ترددي عريض.

**مبادئ نظام تحسس درجة الحرارة OTDR:**

في نظام تحسس درجة الحرارة OTDR النموذجي، يتم إطلاق نبضة من الضوء في ألياف الاستشعار من خلال وصلة ثنائية الاتجاه، تنتشر نبضة الضوء في الألياف، نسبة من الضوء المنتشر يوجَّه مرة أخرى نحو المصدر، والإشارة العائدة يتم توجيهها إلى مستقبل مناسب عن طريق الوصلة ثنائية الاتجاه، فإذا كانت الألياف موحّدة ومتجانسة عند درجات حرارة واحدة فإن شدة الضوء الراجع ستتضاءل بشكل أُسي مع مرور الوقت. الاختلافات في التركيب والكثافة ودرجة الحرارة للألياف تسبب انحرافات

عن المنحنى الأُسي المثالي. تعالج الإشارات وتحول الإشارات الواردة إلى التشكيل الجانبي لدرجة الحرارة. والأجهزة الإلكترونية التي تعالج الإشارة تقوم بتحويل الإشارة الواردة إلى منحني درجة الحرارة.

**الأداء:**

في الوقت الحاضر هذه التكنولوجيا محدودة بمسافة (20 KM) أو أقل، وعادة أجهزة الاستشعار الموزعة سوف يتم وضعها على ظهر خط الأنابيب ليتم رصدها. ومن أجل زيادة الموثوقية بالنسبة للأنابيب كبيرة القطر يتم تعليق أربعة من كابلات الاستشعار على الأنبوب ويتم تخديم هذه الكابلات بالأجهزة الالكترونية ذاتها التي تعالج الإشارة. ويبين الجدول (٣.٢) خصائص هذه الأنظمة من حيث الموقع والوقت.

| المجال (متر) | دقة المكان (متر) | وقت القياس (ثانية) | دقة درجة الحرارة (كلفن) |
|---|---|---|---|
| ٥٠٠ | ١ | ٥ | ±١ |
| ١٠٠٠ | ١ | ٥ | ±١ |
| ٤٠٠٠ | ١ | ١٠ | ±١ |
| ١٠٠٠٠ | ١ | ٦٠ | ±٢.٥ |
| ٢٠٠٠٠ | ١٠ | ٦٠ | ±٢.٥ |

### ٣.٢.٩ تكنولوجيات الاستشعار بالألياف الضوئية:

الخصائص الضوئية للألياف تتغير مع التغيرات في درجات الحرارة، والإجهادات الميكانيكية والطلاء السطحي، وهناك أربعة أنواع شائعة من أساليب التركيب لأنظمة الاستشعار بالألياف الضوئية:

_ أنظمة الاستشعار المنفصلة.

_ أنظمة الاستشعار متفاوتة المسافات.

_ أنظمة الاستشعار المنفصلة الموزعة.

_ أنظمة الاستشعار المستمرة الموزعة.

**أنظمة الاستشعار المنفصلة** تستخدم مستشعر واحد من الألياف الضوئية في مكان واحد. يستخدم النظام خصائص الألياف (العازلية، وارتفاع عرض النطاق الترددي، الخ) للاستشعار. ولم يذكر حتى الآن أن طريقة المستشعر الواحد قد تم تطبيقها للكشف عن التسرب في خطوط الأنابيب. أما منهج **أنظمة الاستشعار متفاوتة المسافات** فيستخدم عدد من المستشعرات الفردية التي تربط إلى عقدة واحدة، تقوم عقدة الاستشعار بإجراء جرد واستفتاء لإشارات المستشعرات وترسل الأوامر إلى المعالج المركزي عن طريق كابل نقل البيانات، والعقد المتعددة يمكن أن تكون مرتبطة معاً بشكل سلسلة عبر خط نقل البيانات. وبالتالي فإن العقد يمكن أن تكون موصولة طرفاً إلى طرف للحصول على الطول المطلوب لخط نقل البيانات. كما يمكن وضع مستشعرات الألياف الضوئية عند فواصل زمنية على طول الألياف الضوئية. فعند استخدام الألياف نفسها باعتبارها عنصر الاستشعار عن بعد ووسيلة الاتصالات أيضاً فهذه هي **أنظمة الاستشعار المستمرة الموزعة**. هذا النظام يستخدم ألياف خاصة حساسة للتغيير عندما تتعرض لتغيرات درجة الحرارة أو للإجهادات الدقيقة. وتجدر الإشارة إلى أن ألياف النقل في هذا النظام هي أيضاً المستشعر. هذا النوع من أنظمة المستشعرات يستخدم عادةً نظام توقيت انعكاس الإشارات الكهربائية الضوئي (OTDR) لتحديد مكان التسرب.

- **هناك ثلاث طرائق لاستفتاء المستشعرات وهي:**

١- تحسس وقياس التخامد الكلي في المستشعر.

٢- توقيت انعكاس الإشارات الكهربائية الضوئية (OTDR).

٣- توقيت انتقال (بث)الإشارات الكهربائية الضوئية.

**التخامد أو الضياع في المستشعر** يمكن أن يحدد بإدخال ضوء في المستشعر وقياس ضياع الضوء. والمعلومات المتعلقة بمواقع خسارة الضوء بسبب الإجهاد أو الكسور يتوقف على موضع المستشعر. على سبيل المثال، يمكن أن يكون المستشعر عبارة عن ألياف ضوئية مثبتة على جدار خط أنابيب، والضغط الزائد في الجدار يسبب كسر في الألياف حيث يتم الكشف عن الكسر بإرسال ضوء من أحد طرفي الألياف وتلقيه عند الطرف الآخر.

يعمل نظام **توقيت إرسال الإشارات الكهربائية الضوئية (OTDT)** على إحداث تغييرات في الخصائص الضوئية بشكل مماثل لـ (OTDR). يتم إطلاق نبضات في الألياف وتخرج عند المستقبل في نهاية الألياف. إن تغيُّر شكل النبضة يقوم على عكس معامل الانكسار في مواقع الاستشعار. هذا العملية هي عكس العملية التي تحدث لأنظمة (OTDR). والميزة الرئيسية لـ (OTDT) هو أن الضوء ينتقل بحد أقصى عبر طول نظام واحد مقارنةً مع اثنين من أطوال النظام المطلوبة في (OTDR).وكلا النظامين يستخدمان الأجهزة نفسها، وبالتالي يشتركان بالتكلفة ومشاكل أجهزة التدريب والدعم.

**٣.٢.١٠ تقنيات متعقب الإشعاع:**

يستخدم تعقب الإشعاع بفترات متقطعة عند الاشتباه بوجود تسرب أو للتأكد من سلامة الأنابيب بعد الصيانة والإصلاح، والحساسية التي يمكن أن تتحقق مع اختبارات الدليل المشع (متعقب الإشعاع) من مرتبة (٠.١٪) من إجمالي معدل تدفق باستخدام تقنيات الكشف عن الإشعاع الخارجي و (٠.٠٠٠١٪) من إجمالي التدفق باستخدام تقنيات تحليل العينة. وثمة موجز لمقارنة الحساسيات لعدد من التقنيات ذات الصلة بالدليل المشع في الجدول F.٣ (القسم ٣.٠ الحساسيات والاستجابة).

تنقسم أساليب الكشف عن التسرب باستخدام الإشعاع إلى ثلاث فئات أساسية:

- قياس معدل التدفق.
- قياس زمن الاحتفاظ بالمادة (زمن البقاء).
- طرق التتبع المباشر.

_ في خطوط الأنابيب الطويلة حيث لا يمكن استخدام طرق الكشف الخارجي بشكل مناسب يتم استخدام طرق الكشف الداخلية مثل instrumented pigs.

**٣.٢.١١ السبر الذكي : Intelligent pigging:**

تُنتِج التسريبات الصغيرة إشارات فوق صوتية والتي يمكن الكشف عنها بواسطة / Pig / يدفع إلى الأمام عن طريق تدفق النفط، وتستخدم العلامات الصوتية من أجل تحديد مكان التسرب بدقة. بواسطة هذه الطريقة يمكن الكشف عن التسربات الصغيرة جداً، ومن سيئاتها كونها تتطلب إرسال الـ "Pigs" بشكل متكرر.

### ٣.٣ الحساسية والاستجابة:

يتم تعريف حساسية نظام كشف التسرب من حيث الحد الأدنى لمعدل التسرب الذي يمكن كشفه والوقت المستغرق للكشف عن التسرب (زمن استجابة النظام)،وتتم الإشارة إلى التسرب الممكن من خلال الانحرافات فوق قيمة عتبة معينة (وهي عبارة عن الحدود الدنيا لحساسية النظام والتي لا يمكن كشف التسريبات الواقعة تحتها)، مع الإشارة إلى أنه يجب إجراء العديد من القياسات المتكررة أو رفع إعدادات العتبة لإخفاء الإشارات المؤقتة (تقليل الإنذارات الكاذبة) والتي تحد من موثوقية الحساسية.

– ومن الضروري وجود شكل من أشكال المحاكاة لخط الأنابيب لتقييم قابلية تطبيق طريقة الكشف، ولكن في حالات التعديل أو الاستبدال يسمح المشغّلين على الخط إما بتسجيل سلوك خط الأنابيب أو بإجراء التجارب التي تساعد على توصيفه.

وبكافة الأحوال فإن مبدأ الوصول إلى خط أنابيب ديناميكي ( حقيقي أو نموذج) هو أمر أساسي لدراسة الحساسية حيث تتناول هذه الدراسة عادةً تكوين خط الأنابيب وخصائص السوائل وبعض ظروف التشغيل.

موقع وحجم التسرب أيضاً من نواتج نظام كشف التسرب، والتي تتمتع بمستوى من **الأداء وتتوقف على:**

- ☒ الكشف عن الحد الأدنى لحجم التسرب.
- ☒ الوقت اللازم للكشف عن تسرب (زمن الاستجابة).
- ☒ حجم حسابات التسرب.
- ☒ دقة قياس معدل التسرب.

### ٣.٤ العوامل المؤثرة على الأداء:

#### ١" معايير الأداء:

إن أداء نظام كشف التسرب من حيث المتطلبات التعاقدية، هي على النحو التالي:

- الحد الأدنى لمعدل التسرب الذي يمكن كشفه.
- الوقت اللازم للكشف عن أدنى نسبة تسرب.
- دقة تقدير موقع ومعدل التسرب.

٢" العوامل المحددة:

_ عوامل القياس:

- دقة جهاز القياس، إمكانية التكرار والتباطؤ.
- انحراف الجهاز.
- تأثيرات درجة الحرارة على دقة المحول.

_ عوامل نقل البيانات:

- دقة المحولات A/D. (تحويل التيار من متناوب إلى مستمر)
- فلترة وتصفية الضجيج.
- معدل الاستفتاءات.

_ نموذج البرنامج:

- عدد ومواقع نقاط SCADA.
- الارتياب في حسابات خواص السوائل.
- الارتياب في الخواص الحرارية الأرضية.
- تقنيات تمييز الضجيج.

**٣.٥ الحدود النظرية لإمكانية كشف التسرب:**

يصبح اكتشاف التسرب ممكناً عندما يتجاوز معدل التسرب الحجمي مجموع الارتيابات في قياس التدفق وتعبئة الخط. فإذا كان:

$Q_O$ : معدل التدفق من المصدر.

K : نسبة الارتياب في قياس معدل التدفق.

$Q_S$ : تدل على الارتياب في تعبئة الخط بسبب قياسات النظام.

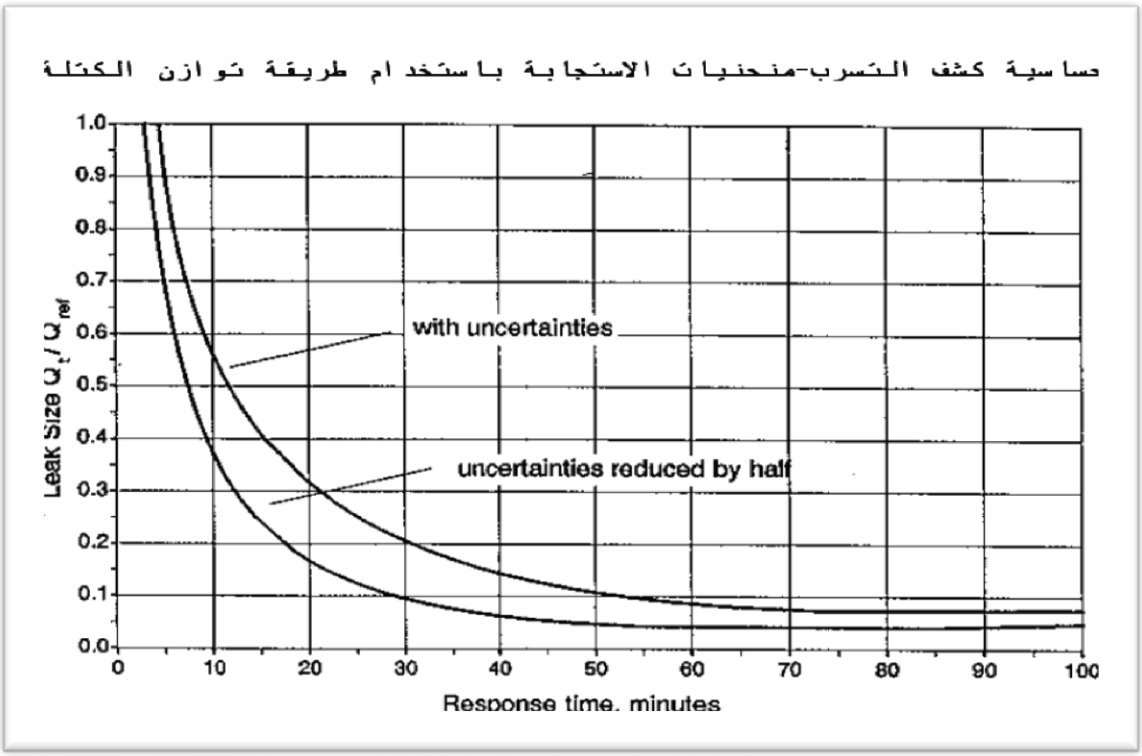
$Q_T$ : تدل على الارتياب في تعبئة الخط.

$Q_L$ : معدل التسرب.

عندها تكون المعادلة الأولى من هذا القسم ما يلي:

$$Q_L > 2K Q_O + Q_S + Q_T$$

كلما ازداد الوقت المخصص لإجراء الفحص والحسابات، فإن الارتيابات في خط الأنابيب (من أي نوع كانت) تنخفض، ويصبح الكشف عن التسرب وظيفة من وظائف



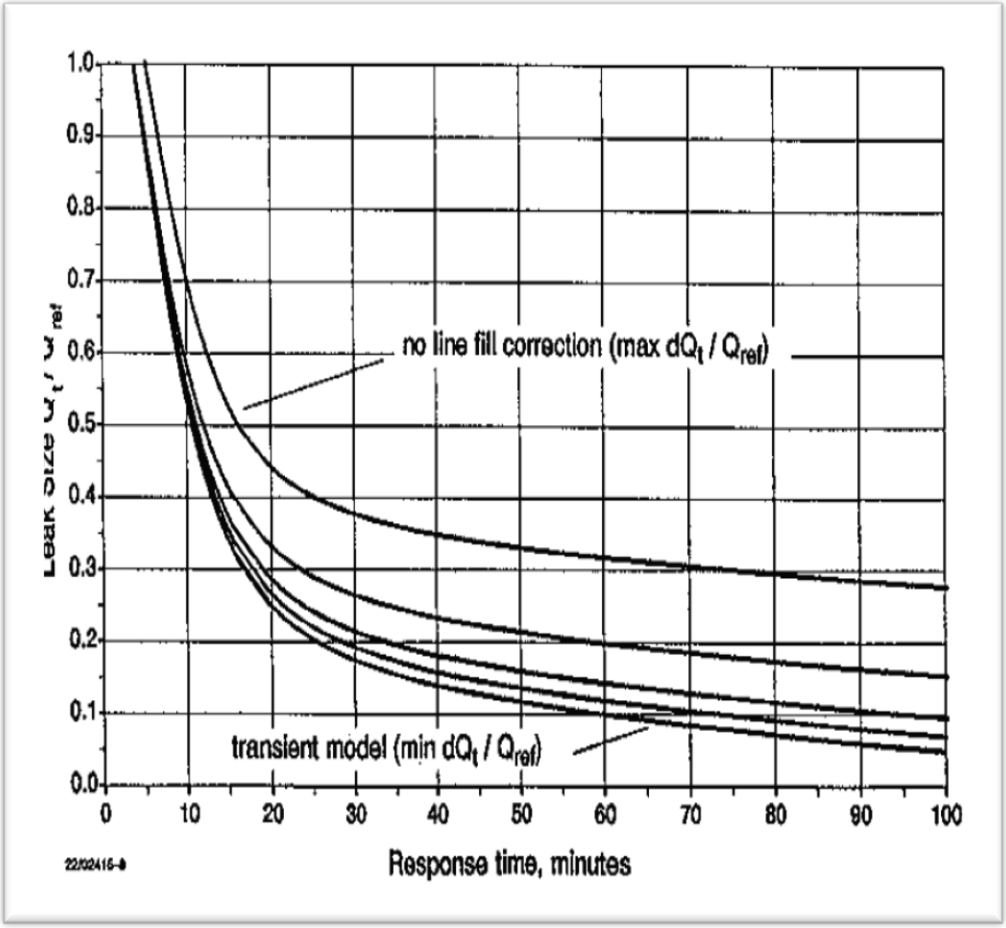

الشكل (٣.٥) تأثير الارتياب في القياس على زمن الاستجابة

قياس معدل التدفق.. الحدود النظرية معطاة في الشكل (٣.٥) وتوضّح أنه في طريقة توازن الكتلة وعند وقوع تسرب بنسبة
(١٠٪) فيمكن تحديده فقط إذا كانت دقة القياس أفضل من (١٠٪) وكذلك الارتيابات الأخرى مثل تعبئة الخط هي فعلياً تساوي الصفر.

ويتم تحويل معادلات خط الأنابيب من أجل الوصول لمعادلات هيدروليكية قياسية تسمح بحساب الخاصية (الصفة) كسرعة الموجة على طول الخط في كل الاتجاهات. وهذا يسمح لأي نظام يقوم على تحليل الأمواج العابرة أن يُعاد النظر فيه من حيث سرعة الموجة والتخامد . مع فلترة الإنذارات الوهمية وعدم تسجيل الضجيج. يوضح الشكل (٣.٦) منحنى الحد النظري التقريبي للإشارة.

عندما يتعلق الأمر بنمذجة الإشارة، التي تعتمد على الاختلافات الملاحظة بين سلوك خط الأنابيب الحقيقي والسلوك قبل التسرب، عندها فإن الحد الأدنى النظري في الشكل

(٣.٦) لا يطبق. بل أن عملية حسابية متكاملة لملء الخط يتم استبدالها بالفروقات اللحظية بين سلوك خط الأنابيب قبل وبعد التسرب.




**الشكل (٣.٦) تأثير تغيُر تعبئة الخط على الاستجابة**

**(باستخدام طريقة توازن الكتلة)**

**_عتبات التسرب الحدية:**

(كنسبة مئوية من التدفق، وكمجموع براميل النفط الخام المهدورة):

| السرعة الأساسية | موقع التسرب | حجم التسرب | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | *TD = 3 Min | | TD = 30 Min | |
| 4.3 ft/sec (نصف الحمولة) | في الوسط | 26 $B^+$ | 3.9 % | 97 B | 1.5 % |
| | في المدخل | 16 B | 2.4 % | 75 B | 1.1 % |
| 2.15 ft/sec (كل الحمولة) | في الوسط | 46 B | 6.9 % | 101 B | 1.5 % |
| | في المدخل | 24 B | 3.7 % | 64 B | 1.0 % |

(*TD= time to detect leak . $B^+$= Barrels)

النتائج الهامة من هذه الدراسة هي الاختلافات في أوقات الكشف عن التسربات في وسط خط أنابيب مقابل التسريبات في مدخل الخط.

**٣.٦ التجهيزات اللازمة لنمذجة خط الأنابيب اللحظي (نموذج الوقت الحقيقي):**

٣.٦.١ مقدمة:

عند استخدام برامج محاكاة خط أنابيب الوقت الحقيقي سيتطلب ذلك وجود تقارير عالية الجودة عن بارامترات تدفق خط الأنابيب. يصف هذا الجزء تجهيزات خط الأنابيب الموصى بها للاستخدام ويناقش الدقة المرتبطة بها، وإمكانية التكرار وحساسية الأجهزة والبيانات الناتجة من خلال نظام (SCADA).

يتكون نموذج تدفق خط الأنابيب من مجموعة من المعادلات التفاضلية التي تفضي إلى حلول تصف تغيرات الوقت والمسافة بالنسبة لضغط السائل ودرجة الحرارة والكثافة والسرعة في خط الأنابيب. ويشار إلى هذه المعادلات على أنها معادلات الاستمرارية، والزخم (كمية الحركة) والطاقة والحالة.

تُنتِج نماذج خط الأنابيب معلومات مفصلة في أي نقطة من خط الأنابيب، ويمكن استخدام هذه المعلومات لوصف السلوك الفيزيائي للسوائل في الخط في النقاط التي لا تتوفر فيها القياسات. في نموذج خط الأنابيب اللحظي فإن القياسات الحقيقية توفر مدخلاً لمعادلات خط الأنابيب والتي من خلالها يمكن الاستدلال على القياسات الإضافية واستنتاجها، حيث أن النموذج يستخدم معادلات للضغط ودرجة الحرارة

والكثافة والتدفق (أربع معادلات بأربعة مجاهيل) فإن قيمة أي من هذه المتغيرات عند نقطة النهاية يجب أن تستخدم كشروط حدية /*boundary condition*/.

التطبيق الطبيعي لخط الأنابيب هو إجراء هذه القياسات في جميع نقاط النهايات، وهناك تركيبات مختلفة للقيم المقاسة والتي يمكن قبولها كعتبات حدية مميزة. وأحد هذه التركيبات للظروف الحدية هي:

(Fu Tu Pu) القيم عند البداية، و(Fd) القيم عند النهاية.

وبدلاً من ذلك، فإنه سيكون من المقبول اعتبار:

(Fu Pu Tu) القيم عند البداية، و(Pd) القيم عند النهاية بدلاً من (Fd).

(حيث تشير الرموز: F –T–P على التسلسل إلى قيم الضغط ودرجة الحرارة والتدفق)

وبالطبع فإن تركيبات أخرى أيضاً ممكن أن تُستخدم، على سبيل المثال، في صياغة نموذجين مستقلين، كل منها يمكن أن يقدم تحذيرات عن حدوث تسرب، وبعض مجموعات القياسات عند بداية الخط ونهايته تكون مطلوبة كقيم حدية مميزة، أما القيم الباقية فتكون قابلة للاستخدام أيضاً في ضبط النموذج (بارامترات التعريف) والكشف عن التسرب وكذلك في تطبيقات أخرى.

**٣.٦.٢ أداء التجهيزات:**

المتطلبات الدنيا للتجهيزات للكشف عن التسرب عادة ما تكون:

• قياس قيم معدلات التدفق في جميع مداخل ومخارج الخط.

• محولات (حساسات) الضغط ودرجة الحرارة على جميع مداخل ومخارج الخط ونقاط الوصل.

_ يمكن افتراض قيم مقبولة لكثافة وتركيب المائع المتدفق في الخط بدون الوقوع بأخطاء كبيرة عندما يكون هذا المائع هو الغاز الطبيعي الجاف، أو النفط الخام أو مشتقاته (البنزين والوقود، الخ).

_ وإن وجود تجهيزات إضافية من أجل توفير قياسات إضافية للضغط والحرارة عند مسافات منفصلة على طول خط الأنابيب يمكن أن يدعم أداء نظام الكشف عن التسرب، على الرغم من أنه يحتمل أن يكون هناك مستوى من التكرار للإشارات عند

حوادث التسرب الكبيرة. بالإضافة إلى ذلك، هناك حاجة لمقياس كثافة أو قياس كروماتوغرافيا عندما تكون قيم الكثافة أو التركيب غامضة.

_ تتميز جودة القياس من خلال:

- ✓ الدقة.
- ✓ قابلية التكرار.
- ✓ النطاق الميت وأخطاء أخذ العينات.
- ✓ أخطاء معالجة البيانات.

ويقدم الجدول (٣.٣) الخصائص النموذجية للأجهزة لبعض عناصر القياس والإرسال.

| أداة القياس | الدقة | التكرارية | الحساسية |
|---|---|---|---|
| 1- Rosemount DP Transmitter Model 1151 DP | ± 0.2 % من مجال قياس الأداة | 0.5 % من مجال قياس الأداة | 0.001% |
| 2- Rosemount Pressure Transmitter Model 1141 GP | ± 0.25 % من مجال قياس الأداة | يفترض أن الإضافة صغيرة | غير معطاة |
| 3- Rosemount temperature Transmitter Model 78, 88,183 | ±0.39°C at 50°C | مضمنة في حالة الدقة | غير معطاة |
| 4- Daniel 'PT' Turbine Meter (Liquid Service) | ± 0.25 % من مجال قياس الأداة | 0.02% من مجال قياس الأداة | كما ذكر الإضافة صغيرة جدا |
| 5- Daniel Gas Turbine Meters | ± 1 % من مجال قياس الأداة | مضمنة في حالة الدقة | غير معطاة |
| 6- Quantum QD Turbine Flowmeter | ±0.1 % من القراءة | 0.01% من مجال قياس الأداة | 0.005% |
| 7- Gas Specific Gravity Detector (UGC Gravitometer) | ± 0.25 % من مجال قياس الأداة | مضمنة في حالة الدقة | غير معطاة |
| 8- Liquid Densitometers (Displacement Type) | ± 0. 5 % من مجال قياس الأداة | مضمنة في حالة الدقة | غير معطاة |

الجدول ٣-٣ الخصائص النموذجية لأداة القياس

**٣.٦.٢.١ الدقة:**

القيمة التي يتم قياسها عبارة عن قيمة أصلية، وتقوم الأجهزة والأدوات بتحويلها لتصبح قيمة مفيدة على مجال محدود من هذه القيم والذي يعرف بمجال (سعة قياس)الأداة.

وعادة تكون استجابة الأداة (جهاز القياس) خطية ضمن هذا المجال، ولكن إذا لم تكن كذلك، عندها يتم اتخاذ اللا خطية بالاعتبار في معايرة القياس.

**٣.٦.٢.٢ التكرارية:**

لإنشاء التكرارية يتم قياس مؤشر ما مراراً وتكراراً، وتكون كل عملية قياس مستقلة. وإن أخذ العينات المتكررة من كمية ثابتة خلال عملية القياس نفسها ينتج مجموعة من نقاط البيانات التي تتبع عادة التوزيع الطبيعي. متوسط هذا التوزيع يقترب من القيمة الحقيقية وتتعلق دقة القياس بانحراف هذا المتوسط عن القيمة الحقيقية، وانتشار هذا التوزيع هو مقياس لتكرار القياس.

**٣.٦.٢.٣ النطاق الميت وأخطاء اختيار العينات:**

النطاق الميت(عتبة القياس) في الأداة هو الحد الأدنى للتغيير الذي يجب أن يحدث في الإشارة ليكون نظام القياس قادراً على الكشف والإبلاغ عن التغيير المقابل في قاعدة البيانات.

إن عملية أخذ العينات يؤثر على المعلومات ذات التردد العالي، بوصفها مرشح تمرير منخفض التردد. وكذلك التوقيت غير الدقيق في أخذ العينات يضاف أيضاً إلى الارتياب في التوقيت بين القياسات التي ترتبط مع بعضا عبر خوارزمية، ويجب أن تضبط عملية التوقيت في نمذجة خط الأنابيب العادي بحيث تؤخذ عينة واحدة خلال فاصل زمني عادةً يكون +١٥ ثانية، وبحيث يؤخذ هذا التوقيت بعين الاعتبار عندما يتم فحص العينات.

### ٣.٦.٢.٤ أخطاء معالجة البيانات:

وتشمل الخطية و التبليغات الاستثنائية.

- الخطية (Linearization) :

إن العديد من قياسات التدفق تتطلب النموذج الخطي فيما يتعلق بمعالجة الجذر التربيعي (square root treatment) وعادة ما يتم توفير هذا ضمن برنامج (RTU). وبالتالي فإنَّ مقاييس التدفق لا تعمل بدقة عند قيمة منخفضة من نطاقها، ونظام كشف التسرب يمكن أن يعاني تدهور كبير في هذه الحالة.

• تقارير حد الاستثناء (Exception Limit Reporting):

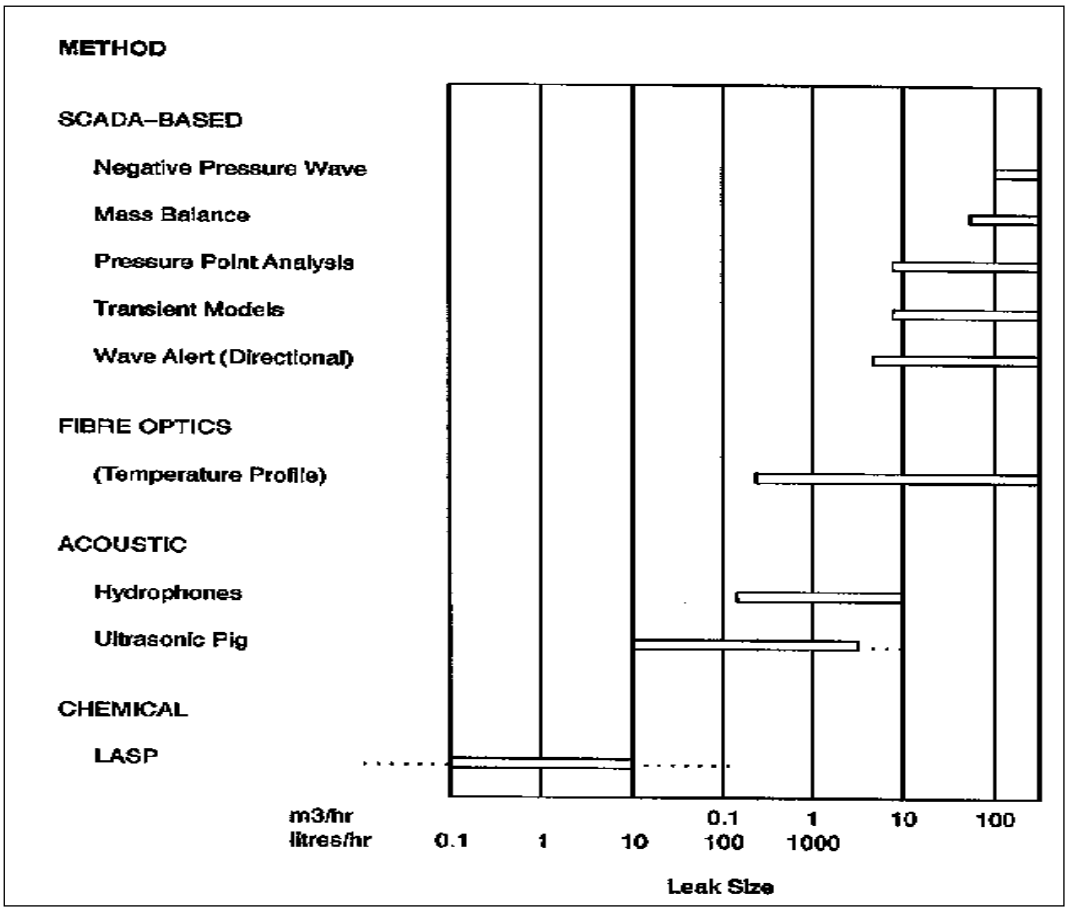
من أجل خفض التحميل من برنامج (RTU) على محطة الاتصالات الرئيسية، فإن أنواع مختلفة من الإشارات التماثلية، (على سبيل المثال قيم التدفق، درجة الحرارة، الضغط) يمكن أن يتم التبليغ عنها في بعض الأحيان على أساس "حد استثناء".

الإشارة التماثلية بشكل طبيعي تتفاوت باستمرار، وإن معدل مسح يساوي ثانية واحدة يمكن أن ينتج (٣٠) رسالة للنقل خلال دورة استطلاع واحدة، ومع العديد من الإشارات التماثلية التي يتم مسحها ضوئياً بواسطة (RTUs) فإن وصلات الاتصالات والمحطات الرئيسية قد تصبح فوق طاقتها. وبالتالي فإن أي اختلافات طفيفة يتم تصفيتها باستخدام تقنية *report-by-exception*. وينعكس حجم حدود الاستثناء (غالبا ٢٪) مباشرة فيظهر بشكل ضجيج مرافق للقياس.

## ٣.٧ تقييم الأداء:

### ٣.٧.١ استطلاع المقارنة:

يمكن تصنيف أساليب اكتشاف التسرب من حيث الحساسية واستجابة المجموعة التكنولوجية. ويلخص الشكل (٣.٧) المقارنة في الوقت الراهن.




الشكل(٣.٧) قدرة طرق الكشف عن التسرب بالعلاقة مع حجم

وهناك أيضا تصور بأن خبرة المشغل في رصد سلوك خط أنابيب على مدى عدد من السنوات يمكن أن تضاف إلى أداء نظام كشف التسرب. وهذا يمكن أن ينطبق، على سبيل المثال، في أنظمة (SCADA). وبصفة عامة هناك عامل عدم إمكانية تنبؤ الإنسان في فعالية طرق الكشف عن التسرب الأخرى والتي لا يمكن تقييمها بمقابل موثوقية نظم الأجهزة المصممة للمهام الروتينية والمتكررة.

– أنظمة (SCADA) تغطي كل التسريبات الكبيرة وصولاً إلى حوالي ($m^3$/hr 10). هذه الأنظمة نشطة باستمرار وأدائها يعتمد بالدرجة الأولى على نوعية البيانات التشغيلية الواردة لنموذج الكمبيوتر من مقاييس التدفق المخصصة على طرفي الأنبوب وقياسات الضغط ودرجات الحرارة في ما بين طرفي الأنبوب. ولموقع حدوث التسرب وموقع نقاط القياس أيضاً التأثير الأول على الأداء.

عند تسرب أقل من ($m^3$/hr 10) تطبق تقنيات المراقبة بالموجات الصوتية والضغط السالب، وأداء هذه الأنظمة يعتمد على الخصائص التشغيلية لخطوط الأنابيب ومستوى التصفية الذي يمكن تطبيقه على الضجيج المرافق. موجة الضغط السالب والاضطرابات الصوتية تخفف بسرعة كبيرة من مستويات الضجيج وإن الفعالية الكلية لهذه الأنظمة سوف تعتمد على عدد نقاط المراقبة وتباعدها النسبي. وفي التطبيقات العملية، يتأثر أداء هذه الأنظمة بشكل ملحوظ بتأثيرات أُخرى مثل مرونة الأنابيب، ومستويات الضغط وسرعات النقل.أما خصائص السوائل مثل اللزوجة فلا يكون لها تأثير كبير على عتبات الكشف عن التسرب.

_ الطرق الأكثر حساسية هي طرق الألياف البصرية والكيميائية إذ يحتمل أن تكون طريقة الألياف البصرية تمتلك استجابة عالية السرعة للكشف عن تسرب، ولكن تقتصر هذه الميزة على أقسام قصيرة من الخط حوالي (٢٠ ميلاً). إن تطبيق هذه الطريقة على خطوط أنابيب تحت سطح البحر محدود. كما أن تقنيات أخذ العينات الكيميائية تقتصر على خطوط أقصر بكثير و أنظمة تشغيلها ليست نشطة باستمرار لذلك لا تتعلق الحساسية بزمن الاستجابة.

بالنسبة لخطوط الأنابيب الطويلة (١٠٠–٢٠٠) كيلومتر وأكثر، فإن أنظمة (SCADA) هي التكنولوجيا الوحيدة المتاحة مع إمكانات كافية للكشف عن التسرب، وتوفر بنفس الوقت إمكانية مراقبة سلامة خط الأنابيب مثل الكشف عن الأضرار ومراقبة التآكل، وتستخدم أنظمة (SCADA) أيضاً كنماذج مؤقتة لمحاكاة شاملة لعملية تدفق خط الأنابيب حتى أن مؤشرات التسرب يمكن تمييزها عن الإشارات الوهمية العادية لخط الأنابيب. وأكبر عيوب هذه الأنظمة هو قابليتها لإعطاء إنذارات كاذبة عند حدوث الإشارات الوهمية في خط الأنابيب بشكل فجائي، ويحتمل

أن يحد مستوى الشك في دقة أجهزة القياس من حساسية هذه الأنظمة. في الممارسة العملية، يتم تعيين عتبات حساسية فوق دقة أجهزة القياس، ويحدث تأخر الاستجابة لحالة التسرب من أجل تنفيذ اختبارات التمييز.

**٣.٧.٢ نقاط القوة والضعف في تقنيات النماذج:**

يقوم توازن خط الأنابيب في هذه التقنيات على مبدأ الحفظ الشامل وتستخدم دقة قياسات التدفق في كلا الطرفين من خط الأنابيب من أجل المقارنة بين الحجم المتدفق إلى داخل خط الأنابيب وحجم التدفق الخارج منه، وعدم تحقق هذا التوازن يدل على وجود تسرب، وإن حساسية تقنيات توازن الخط تعتمد كلياً على الخصائص التشغيلية الخاصة بكل خط أنابيب معين. في الواقع إن الحساسية تقتصر بشكل فعال عند حدوث التسريبات التي تشكل (١-٥ ٪) من معدل التدفق التصميمي.

إن مقاييس التدفق الالكترونية يمكنها أن تحد من الأثر الناتج عن عدم دقة مقاييس التدفق العادية وذلك بتكرار عنصر محول لذلك فإنَّ العامل الحاسم في حساسية تقنية توازن خط الأنابيب هو التغيرات التي تطرأ على الكتلة المتدفقة في الخط. تقنيات توازن الخط تخفف من آثار الإشارات الوهمية التشغيلية، والتغيرات التركيبية، والتقلبات في الضغط ودرجة الحرارة والتدفق يجب أن تستمر على مدى فترة طويلة من الوقت ما يكفي للتخلص من آثار الضجيج المرافق للتسرب، وهذا يؤخر من الاستجابة الفعالة للنظام عادة لساعتين في أحسن الأحوال لخطوط الأنابيب القصيرة وقد تصل إلى (٢٤) ساعة لخطوط أطول، وهذه التقنية يمكنها تقدير حجم التسرب ولكن لا يمكنها تحديد موقعه. وتقوم كل التطورات اللاحقة في هذا الميدان على الحد من الشك في حسابات حمولة الخط. ويسلط الضوء أدناه على بعض نقاط القوة والضعف الأساسية في التقنيات المطبقة عادة (توازن الحجم، وتحليل نقاط الضغط، والنماذج اللحظية "التوقيت الحقيقي").

**٣.٧.٢.١ طريقة توازن الحجم:**

في هذه الطريقة يحسب التوازن بين حجم التدفق الداخل والخارج من خط الأنابيب. ويتم احتساب حمولة الخط باستخدام متوسط كثافة السوائل على طول الخط بالعلاقة مع منحنى الضغط المقاس في مدخل ومخرج الأنابيب.

نقاط الضعف هي:

- الحساسية للإنذارات الكاذبة الناتجة عن افتراض ظروف الحالة المستقرة في الأنابيب.
- عدم القدرة على تحديد مكان التسرب.
- لا تطبق هذه الطريقة على خطوط نقل الغاز حيث تكون التغييرات كبيرة في حمولة الخط أو عند نقل السوائل على التسلسل حيث يعتمد متوسط الكثافة على موقع الدفعة التي تتحرك في خط الأنابيب.
- لا تقدم هذه الطريقة تفسيراً للإشارات الوهمية أثناء التشغيل.

أما نقاط القوة هي:

- يمكن تحديث زيادات الحجم (زيادة الحمولة) على خطوات زمنية كبيرة بحيث يميل الوقت لتصفية الإشارات الوهمية عالية التردد، وهذا يحسن من الحساسية العامة للنظام وفي وقت استجابة (عادة ١٢ – ٢٤ ساعة).

**٣.٧.٢.٢ تحليل نقاط الضغط:**

هذه الطريقة تستشعر التغير في مستوى الضغط ومعدل هذا التغير عند نقطة في خط الأنابيب، ويتم استخدام الحزم الإحصائية لاختبار أهمية التغيير بين القياسات الجديدة والقديمة، ويعتمد تطبيق هذه الطريقة على افتراض أن ضغط خط الأنابيب سينخفض نتيجة حدوث التسرب، وللحد من الإنذارات الكاذبة يعتمد النظام على تثبيط حسابات كشف التسرب عندما تكون الإشارات الوهمية المعروفة موجودة في خط الأنابيب، ويجب التنبؤ بهذه الإشارات وإخطار نظام كشف التسرب، و تستأنف حسابات حدوث التسرب عند عودة خط الأنابيب للحالة المستقرة.

نقاط الضعف هي:

- انخفاض ضغط خط الأنابيب لا يحدث فقط في حالة حدوث تسرب وبالتالي هناك احتمال كبير لتوليد إنذار كاذب عندما تحدث الإشارات الوهمية غير المرئية (غير المعروفة).
- ليس هناك ما يشير على موقع التسرب أو درجة القرب عن نقطة الاستشعار عن بعد.

نقاط القوة هي:

- هو تطبيق بسيط مع مستوى منخفض من التجهيزات وتكاليف تركيبه منخفضة.
- أن الجمع بين تطبيقي PPA ونظام توازن الحجم سيكون متكاملاً.

**٣.٧.٢.٣ النماذج المؤقتة:**

في هذه الطريقة يجري زيادة حساسية الكشف عن التسرب من خلال محاكاة واستنساخ إشارات خط الأنابيب التشغيلية بحيث يمكن تمييز آثار التسرب.
تحتاج هذه الطريقة لوصف كامل لخط الأنابيب (الخصائص الميكانيكية بالإضافة إلى ظروف عملية التدفق والتجهيزات) ويتم ضبط النموذج الرياضي المستنسخ لمطابقة شروط خط الأنابيب الفعلي في نقاط قياس التدفق. وهناك نوعان رئيسيان للتطبيق في هذا المجال: تحليل الانحراف وتوازن الحجم المعوّض:

- نموذج الانحراف:

يتم تطبيق قياسات التدفق والضغط ودرجة الحرارة على معادلات تدفق النموذج غير الثابت كقيم حدية. ثم يحسب النموذج القيم الهيدروليكية في الوقت الحقيقي (بشكل لحظي) وتتم المقارنة مع قياسات لم تستخدم كقيم حدية. يطبق النموذج على كل جزء من أقسام الأنابيب بين نقاط قياس الضغط المتجاورة، وبالتالي تكون انحرافات التدفق المحسوبة عند التقاء نماذج أقسام الأنابيب المتجاورة تشير إلى حدوث تسرب.
نقاط الضعف هي:

- تعتمد الطريقة على الضبط والتوليف وبالتالي فهي عرضة لأخطاء الأجهزة وانحرافات خصائص السوائل.
- هذه الطريقة تتطلب مستوى عال من الأجهزة (بما في ذلك درجة الحرارة).

نقاط القوة هي:

- تعمل الطريقة حسب الظروف المؤقتة. التسريبات الكبيرة يمكن الكشف عنها خلال دقيقة والتسريبات الصغيرة خلال ساعة.

- نموذج توازن الحجم المعوّض:

هذا النهج يحسب توازن الحجم بين التدفق عند المدخل والمخرج و التغيرات في معدل تدفق الخط. وتكون قياسات الضغط ودرجة الحرارة على طول الخط مطلوبة

لإجراء العمليات الحسابية على حمولة الخط. تعتمد هذه الطريقة على اكتشاف الخلل في مسار منحني الضغط لخط الأنابيب.

نقاط الضعف هي:

- طريقة حساسة للإنذارات الكاذبة عندما يتم تعيين عتبات كشف التسرب منخفضة جداً.

نقاط القوة هي:

- الدقة ليست حساسة للضبط (المعايرة) مع خط الأنابيب.
- سريعة الاستجابة في الكشف عن التسرب مع وجود الإشارات الوهمية المؤقتة (تحتاج دقائق فقط للكشف عن التسربات الكبيرة).

**٣.٧.٣ الخلاصة:**

الأهداف المقبولة التي يتعين تحقيقها للكشف عن تسرب هي:

| | حجم التسرب | الزمن اللازم للكشف عن التسرب (Min) |
|---|---|---|
| غاز | %١٠ | ١٢٠ |
| سائل | %٢ | ٢٠ |
| إيتيلين | %٤ | ٦٠ |

هذه الأرقام يمكن أن يُشكِّك بها المشغلين أو البائعين. ومع ذلك، تجدر الإشارة إلى أنه في خطوط أنابيب الغاز من النادر كشف أي تسرب مباشرةً.

بالنسبة للكشف عن تسرب كل من السائل (النفط الخام) والإثيلين قد يكون الأداء أفضل من الأرقام المذكورة أعلاه، لاسيما عندما يتم تصميم صيانة الأجهزة خصيصاً لمتطلبات الكشف عن التسرب.

النتائج أعلاه لا تتعلق بطول خط الأنابيب.

**٣-٨ الأنظمة والتشريعات والمسؤوليات:**

تتطور اللوائح التنظيمية في البلدان لتتناسب أكثر مع التشريعات. فالولايات المتحدة مثلاً تهتم بشكل خاص بخطوط الأنابيب باعتبارها وسيلة من وسائل النقل شبيهة من حيث التنظيم بالطرق أو النقل بواسطة السكك الحديدية، بينما فرنسا والدانمارك وغيرها ليس لديها متطلبات تنظيمية محددة لفرض أو تشجيع مراقبة السلامة. وفيما يلي مسح للمراجع القانونية والتنظيمية الملائمة. بالإضافة إلى ذلك فإنه من المفيد النظر في المسؤوليات العملية لبائعي أنظمة كشف التسرب.

**١- الولايات المتحدة الأمريكية:**

المراجع التنظيمية الرئيسية التي تُطبق لمراقبة سلامة خطوط الأنابيب هي:

- قانون إنتاج النفط OPA (Oil Production Act).
- قانون سلامة خطوط الأنابيب PSA (Pipeline Safety Act).
- دائرة النقل- مكتب سلامة خطوط الأنابيب DOT.
- (Department of Transport Office of Pipeline Safety).
- هذا ويذكرأن الشركات الأميركية يجب أن يكون لديها مسؤوليات محددة في أي مكان قد يحدث فيه تلوث الماء والزيت والهواء والمناطق المكتظة بالسكان وما إلى ذلك. وهناك وكالات أخرى تشارك في العملية التنظيمية مثل وكالة حماية البيئة وهيئة السلامة الوطنية (تكون صلاحيات هذه الهيئة محدودة بشكل خاص بالتحقيقات في الحوادث). وهناك ولايات بمفردها لديها تشريعات خاصة بها، ويفهم من ذلك أن بعض الولايات تتطلب مستوى كشف عن التسرب يصل إلى دقة (١%).

**٢- النرويج:**

وضعت اللوائح والمبادئ التوجيهية بشأن حماية خطوط الأنابيب والكشف عن تسرب من قبل مديرية البترول النرويجية (NPD). وتنص اللوائح على أن خطوط الأنابيب يجب أن تكون مجهزة بنظام كشف عن التسرب موثوق به ولكن مع ذلك لا تقدم أية تفاصيل أو توصيات لأنظمة الكشف عن التسرب أو دقة القياس.

**٣- ألمانيا:**

لا يوجد حاليا في ألمانيا أي تشريع خاص بطرق الكشف عن التسرب أو بدقة القياس ليتم تطبيقها. ومع ذلك، يجب تجهيز خطوط الأنابيب بأنظمة الكشف عن التسرب. تقوم وكالة مراقبة السلامة الألمانية (TUV) بجمع الخبرات وتعمل على اللوائح والمتطلبات الرسمية. وكلا من المشغلين والمالكين يحددون طريقة الكشف التي سيتم استخدامها للكشف عن التسرب ومميزاتها.

٤- فرنسا:

ليس هناك لائحة بشأن كشف التسرب. وخطوط الأنابيب تأتي تحت إشراف وزارة الصناعة(شعبة الخدمة الخاصة بمستودعات المحروقات) والتشريعات التي تحدد قواعد الأمان الخاصة بخطوط الأنابيب لا تقدم الالتزامات المفروضة على مراقبتها. ووكالة البيئة الفرنسية ليست جزءاً من الحكومة، لكن شركات مثل (Treppil) التي تعمل على خطوط أنابيب لشركة (Total) تستخدم طريقتي توازن الكتلة و *intelligent pigs* للكشف عن التسريبات، ولكن الدوافع هنا اقتصادية وليست تشريعية.

**٥- كندا:**

التوجيهات الموصى بها في ولاية ألبرتا الكندية تمثل المرجعية التشريعية الرئيسية، حيث أن التصميم الهندسي الجيد في هذا البلد يجب أن يأخذ في الاعتبار هذه التوجيهات. ويتم وضع المتطلبات والتوجيهات من حيث/الكتلة، التوازن، ودقة أجهزة القياس/ وتطبيقها على المواد البترولية السائلة فقط.

**٦- إيطاليا:**

لا توجد لوائح تنظيمية للكشف عن التسرب في خطوط الأنابيب في إيطاليا. ووزارة البيئة في روما هي الهيئة الرئيسية ذات الصلة. ويتطلب أي مشروع ضخم تقديم بيان الآثار البيئية لهذا المشروع.

منظمات المستخدمين الخاصة مثل CIG (Comitato Italiano Gas) لا تملك أية لوائح تنظم كشف التسرب، وتعتمد تطبيقات كشف التسربات في خطوط الأنابيب معايير المملكة المتحدة.

**٣-٨-١ مسؤوليات الأداء:**

في بلدان معينة يتم تسليم تشغيل خط الأنابيب بما في ذلك عمليات (SCADA) لطرف ثالث (المشغل) /غير المورد والمالك/ ويصبح المشغل بعد ذلك مسؤولاً عن مراقبة السلامة. ولكن في كثير من الحالات يتم توزيع المسؤوليات أو تغطيتها في عقود تناوب (back-to-back). ويتم تحديد أداء أنظمة الكشف عن التسرب (سواء المتوقع أو المحقق) بشكل كبير من قبل البائعين.

بعض الأسئلة التي قد تثار وهي:

- ما الذي يمكن توقعه من عقود LDS؟
- ماذا يمكن لمشغل خط الأنابيب القيام به لجعل LDS فعالة؟
- ما الذي يمكن توقعه من البائع فيما يتعلق بالاختبار في الموقع وفي المصنع؟
- في حالة حدوث المشاكل، فأين تقع المسؤوليات؟

الإجابات على الأسئلة أعلاه يجب أن تعالج الحالة المتطورة لكشف التسرب، وكيف يمكن استخلاص شروط الأداء (وفق العقود) وإجراءات قياس الأداء الفعلي واختبار الأداء حتى تعكس الحالة المتغيرة.

العملية المشتركة من أجهزة (SCADA) وأجهزة (LDS) قد لا تكون من مسؤولية مورد واحد. بينما فشل أي عنصر من الأجهزة (Hardware) أو البرامج (Software) يمكن أن يشمل بضمان فردي، أما تدهور أداء السلسلة بأكملها بشكل فعلي فهذا يعني فشل (LDS).

ومسؤولية الحفاظ على شروط الأداء في الحقل (التسريبات غير المتوقعة) هو من مسؤوليات المشغل/التجهيزات/ منظومة (SCADA/LDS) (بإهمال المسؤوليات الهندسية للمشروع). وفي هذه الحالة يصبح دور الاختبارات كبيراً.

وتجرى الاختبارات للأهداف التالية:

- مساعدة البائعين (في وضع العقود وتحديد العلاقة مع المتعهدين Sub-contractor).
- تعطي العملاء الثقة النهائية بأن النظام سيعمل بنجاح وسيعالج كل المشاكل.
- التأكد من الأداء والتحقق من صحة مراحل تسديد الثمن.

- دعم قدرة التحكيم وإصدار الحكم عند اكتشاف أن نظام كشف التسرب غير كامل.

يقوم الموّرد أحياناً بإجراء اختبار (باستخدام نظم أخرى)، واختبار الطرف الثالث هذا أي الموّرد لا يمثل مشكلة إذا كان هذا الاختبار مذكوراً في تقرير المواصفات (إشارات بائع نظام LDS لإمكانية إجراء الاختبار). والاختبار ينبغي أن يشمل أيضاً دراسة الناحية النظرية التي ترتكز عليها الطريقة (على سبيل المثال المعادلات المستخدمة)، ويجب أن يشمل المحاكاة الديناميكية للتسريبات الاصطناعية بحيث نتمكن بسهولة من تلبية استفسارات العميل. ولكن لا ينبغي أن يشمل الخوارزميات وتفاصيل البرامج...الخ.

ينبغي أن يكون من البديهي استقبال بيانات التهيئة والتكوين لخطوط الأنابيب في إصدارات محدّثة، وقد يكون من الضروري تكرار دراسات الحساسية (أو أجزاء منها) بناءً على البيانات الجديدة. وفي نفس الوقت شروط الأداء يجب أن تسمح بـ:

- إعطاء حجم التسرب كنسبة مئوية من الحد الأقصى للتدفق، وكقيمة تدفق محددة، وحجم الثقب.
- الضبط التلقائي، ورفض البيانات الناقصة.
- بيان معايير المطابقة للنموذج.
- دقة حسابات خصائص المائع المنقول وحسابات الحالة المستقرة.
- موقع التسرب والوقت اللازم للكشف.

**٣-٨-٢ الاحتياجات المقترحة في المستقبل:**

**_ المشغل:**

إجراءات تهدف إلى:

- الحفاظ على معايرة الأجهزة والقراءات المسجلة.
- توفير اختبارات التسرب بشكل دوري منتظم.
- تقديم ملاحظات عن كل اختبارات التسرب (المنتظمة وغير المتوقعة).
- أداء (LDS) من أجل تحديد معيار قياسي للسوائل.

**_ SCADA:**

- المسؤولية عن أداء (LDS).

• التحديث المنتظم لبيانات التهيئة والتكوين لخط الأنابيب.

• اختبارات المصنع مقابل بيانات اختبارات خارجية (إما من عملية تسجيل أو محاكاة).

**_ LDS:**

يجب توفر ما يلي:

- دراسات الحساسية.
- الأداء في وسط الضجيج المرافق.
- مسودة مشروع الأداء.
- الوقت اللازم للكشف عن حجم التسرب.
- تفاصيل المعادلات والطريقة الأساسية المستخدمة للكشف عن التسرب وموقعه.

**٣-٨-٣ الجوانب التكنولوجية في المستقبل:**

إن تقدماً كبيراً متوقعاً في المستقبل وهو انخفاض تكلفة القياس التي يمكن تحقيقها باستخدام عدد من التقنيات بما في ذلك تقنيات *lascars*.

وعندما تسمح قوة الكمبيوتر بالحصول على المزيد من النماذج الدقيقة ستظهر معادلات أحادية البعد لخط الأنابيب تعبر عن حدود دقة التجهيزات.

وفي حين أن معادلات النمذجة الأساسية لخط الأنابيب تبقى نفسها، مع ذلك فإن استخدام الإحصاءات، وخاصة فيما يتعلق بالتجهيزات، (مرشحات "كالمان" على سبيل المثال)، تساهم في الوصول لديناميكيات التشغيل ومن ثم المقدرة على تحديد الأهمية النسبية لقياسات خط الأنابيب وبالتالي تعزيز الأداء.

مرشحات "كالمان" توفر إمكانية لقياس الوزن الأمثل للإشارات، حتى في وجود والضجيج المرافق. ومن الممكن أيضاً الجمع بين البارامتر وتقدير الحالة استناداً إلى معادلات خط الأنابيب الأصلي وتركيبها على قياسات حقيقية. وفي حالة اكتشاف التسرب حيث يكون النظام غير خطي، يجب إجراء التقريب إلى الخطية الذي ينبغي أن تكون فعالة. ولكن الأهم من ذلك هو التمييز بين أدوات القياس الجيدة والأدوات الرديئة (التي ينبغي رفضها) بدلاً من تقسيم ترجيح أهمية القياس على جميع الأدوات.

### ٣-٨-٤ جوانب السلامة:

إن تحليل مخطط (شجرة) الأخطاء أو مخطط الأحداث ككل يجب أن يؤخذ بعين الاعتبار ليس فقط بوجود مكونات (SCADA) وإنما بوجود مكونات (LDS) أيضاً. وعند كشف حالة التسرب فإن إجراءات الإغلاق هي التي تحدد للمشغل البدء بالعمل وتحذير الكوادر المحلية في المنطقة وهذه الكوادر تبدأ بإجراءات الإصلاح. ويعتمد توقيت الاستجابة على زمن استجابة LDS والاستجابة العملية لخط الأنابيب.

تتطلب تحقيقات السلامة الوصول إلى بيانات (SCADA و LDS) المؤرشفة (مرجع OSHA للتحقيق في الحوادث) ويجب أن تكتمل البيانات في غضون (٢٤) ساعة.

كما أن المسؤوليات التعاقدية فيما يخص (LDS) والنظم المرتبطة بها يجب أن تكون وضعت بشكل واضح مسبقاً.

### ٣-٩ التكنولوجيات الناشئة:

لا توجد تطورات جديدة في أنظمة كشف التسرب بشكل كلي إنما في القدرة والتكلفة لأجهزة الاستشعار، والاتصالات الرقمية المتعددة ومعالجة الإشارات، والزيادة في قوة المعالجة المتاحة.

تعتمد منحنيات التطور المكافئة لزيادة قوة المعالجة على تكنولوجيا الليزر والألياف البصرية. لأن متطلبات المعالجة لا حدود لها، والتكنولوجيا في أي مستوى (في الخدمة، في الحصول على البيانات، ومعالجة البيانات) تعتمد فقط على فهم وإنتاج أي خوارزميات. فيما يتعلق بأجهزة الاستشعار فهناك نقص كبير في تكنولوجيات جديدة لهذا المجال (بعد تطوير مقياس الجهد وأجهزة الموجات فوق الصوتية). أما أجهزة قياس درجة الحرارة في صناعة أنصاف النواقل تقيس عادةً إلى دقة تصل حتى (٠.٥°C في ١٥٠٠°C). بالنسبة للدراسات البحرية فمن المعروف أن الأجهزة الذكية تتجاوز بكثير البيانات المتعلقة بالأجهزة التقليدية من ناحية الدقة والتكرارية.

### ٣-٩-١ توجهات التكنولوجيا الناشئة:

تكنولوجيا القياس التي يمكن اعتمادها تشمل ما يلي:

**الألياف البصرية:**

- دراسة تسرب المواد الكيميائية من خلال بطانة خط الأنابيب *cladding*، وبالتالي تحديد انتشار المواد الكيميائية المتحررة من خط الأنابيب إلى طريق الألياف البصرية السريع *hiway*. هذا الطريق السريع يمكن أن يكون من الخارج كما يمكن أن يكون على طول الأنبوب ولكن عند بعض المسافات يكون فوق سطح الأنابيب المدفونة.
- كما تمكن هذه التقنية من اكتشاف تغيرات التدرج الحراري على طول خط الأنابيب.
- تقييم التكلفة في المستقبل لزرع الألياف البصرية (بالاشتراك مع الأنابيب) ومضاعفة القدرة على نقل البيانات الرقمية عبر الشركات المصنعة.
- حتى الآن لم يتم استثمار الألياف البصرية بشكل مجدي كوسيلة لنقل الطاقة (على سبيل المثال ١٠ أو ١٠٠ ميغا واط).
- ينبغي النظر في تقنيات التقدير والتقدير الكلاسيكي للحالة والبارامترات النظرية كإدخال تحسينات على عملية التحقق من صحة الإشارات التي تجمع من الأجهزة. وبشكل أدق تقييم التكنولوجيات التي لا توفر فقط ترجيح أهمية الإشارات القادمة من أجهزة القياس على طول خط الأنابيب بل توفر أيضاً إمكانية إبطال الأجهزة التي تعتبر إشاراتها لا تمثل ظروف خط الأنابيب.
- تطوير معادلات الحساسية لمعادلات خط الأنابيب التقليدية في شكلها الخطي للوصول إلى قيم دقيقة للضغوط أو للتدفقات في أي موضع على طول خط الأنابيب بحيث تكون دالة على تغير البارامتر (عامل الاحتكاك، وخصائص السوائل).

**الاستشعار عن بعد:**

سيكون من المفيد متابعة التطورات في مجال الاستشعار عن بعد والتي تقودها جماعات الضغط البيئية حيث تشمل هذه التطورات الجهود الأوروبية الحثيثة لدعم وتعزيز صور القمر الصناعي وغيرها من الأجهزة لجمع البيانات عن بعد. بينما لا يعتقد البعض أن هذه التكنولوجيات يمكن أن تشير إلى التسريبات في خط الأنابيب في غضون ساعات وبالتالي يجب تتبع هذه التكنولوجيا.

**تتبع الغاز:**

إن طرق كشف اضطرابات الهواء المفاجئة بواسطة الليزر وكذلك كواشف ضغط الغاز تستحق تقييمها بشكل أوسع. قد يكون المدى الحالي محدود (عشرات من الأمتار فقط)، ولكن قد تقود توقعات التكلفة نحو إمكانية استخدام أجهزة متعددة على طول خط الأنابيب باعتباره خياراً مجدياً.

**نمذجة خط الأنابيب:**

لا يوجد تطور ملحوظ فيها، حيث أن المعادلات والفيزيائيات مفهومة تماماً. والنماذج الدقيقة من حيث قيم العتبات الحدية ومستويات الإنذار بحدوث التسرب ينبغي تطويرها ولكن الباعة في الوقت الحاضر يقدمون هذه المستويات كما يفضلها العميل فقط. لأن نماذج خطوط الأنابيب تكون تقريبية مما يعطي ميزة جيدة لإجراء التحقيقات والدراسات ليس فقط لنماذج تزداد تعقيداً وإنما على أبسط النماذج على اعتبار أن هذه النماذج البسيطة قد تكون مفيدة تماماً، وقد تكون مفيدة وتحقق ربحاً أكثر من النماذج المعقدة.

**الاختبارات الإحصائية:**

أثارت الاختبارات الإحصائية اهتماماً جديداً في مجال استخدام النماذج الخطية والديناميكية و"تقديرات باياز" (الاحتمالات الشرطية) لتوقعات الحساسية لـ LDS وصولا إلى (١٪) من معدل التدفق. وهذا يمثل تقدماً كبيراً في مجال تكنولوجيا PPA الحالية التي تعتمد على فرضيات وسائل إحصائية ثابتة في إطار زمني محدد.

"تقديرات بايز" هي من التكنولوجيات الناشئة التي تستند إلى أساس السلاسل الزمنية التي تستطيع بشكل ذاتي تصفية الضجيج المرافق للتشغيل والحد من مخاطر ارتفاع الإنذارات الكاذبة التي تنتج في معظم هذه النظم.

**الألوان:**

ظهرت مكافئات منخفضة التكلفة لتحليل الطيف والتي تتيح "بالمعنى المجرد" قياس اللون. وهذا قد يسمح برصد الكميات المتسربة.

**قياس التدفق:**

البحوث الراهنة في التقنيات التالية توفر تعزيز إمكانية النظم القائمة حالياً (المصدر: مجموعة التكنولوجيا البريطانية):

- مقاييس التدفق ذات الدوامات الضوئية: (Optical vortex flow meters)
- مقاييس التدفق متعددة العناصر: (Multi component flow meter)
- مقاييس تدفق الشحنة الثابتة (للتدفق ثنائي الطور):(Static Charge flowmeter for two phase flow)
- مقاييس التدفق على الخطوط الاحتياطية: (Bypass flowmeter)
- التصوير المقطعي للتدفق ثنائي المكونات:
(Tomography for tow-componentflows)

وبالإضافة إلى ذلك فإن المعايرة الذاتية لتقنية قياس التدفق هي ميدان الاهتمام الرئيسي حالياً. وبالنسبة للتدفق ثنائي الطور بشكل عام (مثل التدفق عند فوهات الآبار) فقد بدأت الكثير من الأبحاث في مجال النمذجة. ومع ذلك لا يتم تشجيع العلاقات العملية بشكل عام فيما بين المشغلين من كادر الإنتاج، حيث تبقى هذه التحقيقات مقيدة بشكل صارم وينظر إليها على أنها أكاديمية.

**SCADA:**

_ من الممكن إعادة تصميم أدوات ضغط تفاضلية لإعطاء استجابات بتردد (٢٠ كيلو هرتز). وبشكل طبيعي يتم تصفية اختلافات الضغط في هذه الاستجابات.

_ لم يتم استخدام طريقة فالة قياس التدفق على الرغم من اليقين بدقتها بشكل كبير في الكشف عن التسرب. حيث أنها تقتصر على خطوط الأنابيب ذات القطر أقل من (٣٦″) ولها خصائص ضعيفة من ناحية تخفيف الضجيج المرافق.

_ في تطبيقات كشف التسرب المعدلة فإن مقياس التدفق باستخدام الموجات فوق الصوتية له أهمية خاصة بالنسبة لأنظمة الكشف عن التسرب الصوتية.

و في نظام الربط المستخدم مؤخراً في شبكة توزيع المياه في مدن إيطاليا والذي يغطي (٣٤١) كيلومتر من الحديد المسبوك تم الكشف عن (١٦٣) حالة تسرب في

مدة ستة أشهر فقط، وهذه الحالات تختلف من حفرة بحجم الدبوس إلى التمزق الكامل.

## ٣-١٠ مناقشة النتائج:

٣-١٠-١ البيانات المنشورة:

أُخذت بيانات الأداء المنقولة في هذه الدراسة من حوالي (٣٠) منشور تقني. بالإضافة إلى ذلك، يتم استخدام عدد من الدراسات التي قامت بها شركات حساسية أنظمة الكشف عن التسرب في خطوط الأنابيب. وعلى الرغم من أنه لا توجد بيانات حقلية كافية تشكل أساساً طبيعياً وثابتاً للمقارنة بين طرق الكشف عن التسرب إلا أن البيانات المتوفرة توفر إمكانية تصنيف درجة الأداء. وإن النقص العام في البيانات لنظم نقل الغاز على وجه الخصوص يمثل مشكلة. وبالتالي نتائج الدراسات تكون نموذجية إلى حد كبير بالنسبة لنظم نقل النفط الخام مثلاً أو الإثيلين.

وهناك تصور بأن مصادر إضافية قد تساعد على تحسين النتائج ولكن لن تضيف كثيراً إلى الاستنتاجات التي تم استخلاصها، ويدعم هذا القول حقيقة أن حساسية الأنظمة الداخلية للكشف عن التسرب يتأثر بشدة بانضغاطية السوائل وتلك التقنيات التي تعتمد على توازن الخط أو مراقبة الأمواج المنتشرة تشير إلى تدهور الأداء بشكل متساو في تطبيقات نقل الغاز.

ويعتمد أداء جميع أنظمة كشف التسرب إلى حد كبير على دقة ومدى تغطية الأجهزة، وطول خط الأنابيب والعملية الفيزيائية التي تتم مراقبتها. هناك بالطبع اختلافات في منهجية البائعين ولكن لم تبذل أي محاولة لتقييم هذا بأي شكل من الأشكال التفضيلية. ومعظم الشركات الرائدة قد حددت الأسس المعروفة للجميع. والمشهد العام حالياً هو أن أنظمة كشف التسرب هي صناعة متنامية، والفرص المتاحة للمنتجات الجديدة أو التطورات في التكنولوجيا الحالية يقودها بشكل رئيسي البائعين ولا يتم تطبيق هذا التقدم بالضرورة بشكل موحد في السوق.

وتشير البيانات المنشورة إلى الانقسام الرئيسي في تقنيات التسرب ما بين:

- الكشف بالأمواج العابرة (سواء موجة الضغط السالب أو الأمواج الصوتية).
- الكشف باستخدام نماذج المحاكاة.

- أساليب أخرى (الألياف البصرية، تتبع الغاز، وتتبع الإشعاع).

**٣-١٠-٢ إحصائيات التسرب:**

لا يوجد سجل موحد في مختلف أنحاء العالم لتسربات خطوط الأنابيب بالرغم من وجود سجلات لوحدات التخزين وحوادث التسرب المرتبطة بخطوط الأنابيب كما أن وزارة النقل في الولايات المتحدة الأمريكية تقوم بتسجيل كافة حالات التسرب على مدى السنوات الخمس الماضية (بما في ذلك المسببات). وعادة تكون حوادث وتسربات الغاز أعلى نسبة في الميل الواحد من طول خط الأنابيب من حوادث خطوط نقل السائل.

ضمن شبكة الغاز البريطانية غالبية حوادث خطوط الغاز كانت ناتجة عن التسربات ويعود السبب للتآكل الخارجي، ولاسيما في الأنابيب الصغيرة ذات القطر الخارجي أقل من ("١٣). في حين أن حوادث الغاز الأكثر شيوعاً الآن لها تأثير أقل على البيئة من تسرب السائل وتعتبر أقل تكلفة. وتم تسجيل الأضرار اللاحقة بالممتلكات التي تسببها حادثة واحدة في خط أنابيب لنقل السائل على سبيل المثال عند حوالي (٤٠) مليون دولار أمريكي(بحوث وزارة النقل والبرامج الخاصة بإدارة حوادث خط الأنابيب ١٩٧٧).

وتشير التقديرات إلى أن(٠.٠٠٠٠٦٪) من إجمالي إنتاجية خطوط الأنابيب في الولايات المتحدة الأمريكية من حيث الحجم المفقودة من خلال التسريبات كل عام. ولا توجد أرقام مقارنة للمملكة المتحدة أو أوروبا.

**٣-١٠-٣ اكتشاف التسرب بمساعدة النموذج:**

هناك اهتماماً كبيراً بطرق مثل توازن الحجم البسيطة وطريقة معدلات التغير. وشكلت هذه الطرق دائماً خيارات منخفضة التكلفة ومناسبة لعمليات خطوط الأنابيب المستقرة ولكنها ضعيفة في التطبيقات حيث يمكن لحمولة الخط أن تتغير بشكل ملحوظ. وهناك أدلة تشير على سبيل المثال إلى أن الإنذارات الكاذبة الناجمة عن الإشارات العابرة المؤقتة أثناء التشغيل تعالج عادة عن طريق توقيف عمل خوارزمية توازن الحجم وإعادة تشغيلها عندما تستقر العمليات.

في الوقت الحاضر لا توجد قواعد الامتثال التي تتطلب الحد الأدنى من توافر LDS مع الأخذ في الاعتبار نطاق من الإشارات المؤقتة أثناء التشغيل المتوقع في خط الأنابيب. ويمكن النظر في المستقبل لإتباع نهج منتظم لتوافر نظام LDS الذي يتم تحديثه وتعديله ليكون نظام عالي الأداء ويحل محل نظام أقل موثوقية مع زيادة عمر خط الأنابيب. والتوجهات المستقبلية لطرق توازن الحجم المكافئ تظهر الإدراك المتزايد لعوز طريقة توازن الحجم البسيطة لمراعاة التغيرات في حمولة الخط. هذا قد يترافق مع تزايد خطوط سوائل الغاز الطبيعي، وخطوط الإثيلين أن تكون حمولة الخط متقلبة جداً ونمط التدفق فيها مستقراً وهذا من شأنه أن يكون الاستثناء وليس القاعدة.

ويكشف استطلاع لمعهد البترول الأمريكي API أن هناك اهتماماً متزايداً في نماذج الإشارات اللحظية (في الوقت الحقيقي) والدافع هو أنها أقل كلفة وأكثر أمناً من ناحية سلامة خط الأنابيب، وتطبيق هذه النماذج غير منتشر على نطاق واسع وتتنافس مع غيرها من الطرق من ناحيتي التكلفة والأداء في عدد كبير من الحالات، فطرق توازن الحجم لا تزال تسيطر باعتبارها مجموعة الكشف عن التسرب الأكثر شعبية.

| الطرق المفضلة في المستقبل | الطرق المفضلة في الماضي | |
|---|---|---|
| توازن الحجم مع تعديل حمولة الخط | طريقة توازن الحجم | 1. |
| طرق معدلات التغير | طرق معدلات التغير | 2. |
| طريقة توازن الحجم | توازن الحجم مع تعديل حزمة الخط | 3. |
| طرق أخرى | طرق أخرى | 4. |

الجدول (٣-٤) ترتيب تفضيل طرق كشف التسرب

ملاحظات:

١_ طـرق أخـرى" تشـمل طـرق البرمجيـات كطريقـة تحليـل نقـاط الضـغط PPA، والنماذج اللحظية (في الوقت الحقيقي) مع تحليل انحرافات التدفق والضغط.

٢_ يتم أخذ طريقة توازن الحجم باعتبارها هي ذاتها طريقة توازن الكتلة.

ويشـار إلـى طريقـة تـوازن الحجـم مـع تعـديل حزمـة الخـط عـادة باسـم "تـوازن الحجـم المعوّض".

٣_ إن تكنولوجيـات أخـرى مثـل موجـة الإنـذار والانبعاثـات الصـوتية هـي تطبيقـات محدودة. وتستخدم الأنظمة الصوتية المحمولة (المنقولة) في كثير من الأحيان عندما تكون هناك حاجة لدقة بالغة (مثل الأنابيب المدفونة في أنظمة توزيع المياه) وغالباً ما تستخدم بالاشتراك مع أنظمة الكشف الأخرى (مثل طريقة توازن الكتلة). ومؤخراً لم يكن هناك استثمار في طريقة نظام موجة الإنذار وينظر إليها عموماً على أنها ليست من بين الطرق الأحدث (هذا معتمد من قبل Spectra–Tek's في (المملكة المتحدة) التخلي الفعلي للمنتج)، على الرغم من أن شركة (Ruhrgas) والمنظمات الأخـرى تـدعم بشـكل كبيـر تكنولوجيـا موجـة الإنـذار، وخاصـة بالنسـبة للأنابيـب القصيرة.

طريقـة تحلـيلات نقطـة الضـغط (PPA) هـي شـكل مـن أشـكال موجـة الإنـذار مـع تصفية أكثر تطوراً، وعلى الرغم من بيعها على نطاق واسع فمن الصعب تصنيفها باعتبارها متفوقة على الأنظمة المستندة على النماذج، وخصوصاً خلال العمليات المؤقتة.

**الفصل الرابع**

# معالجة التسربات

تحتاج جميع خطوط الأنابيب بعد وقت الى إصلاح بسبب التسريبات والتآكل أو الشقوق .وتقوم بعض الشركات بتصنيع قطع إصلاح من أجل تغطية وحماية المناطق المتضررة على خطوط الأنابيب والتقليل وحتى تجنب التوقفات المكلفة .

عندما يكون إيقاف التشغيل أمر لا مفر منه يمكن إصلاح المناطق المتضررة باستبدال المقاطع التالفة مع الحفاظ على زمن التوقف إلى أدنى حد ممكن .على سبيل المثال، استخدمت بعض الشركات تجهيزات خاصة لإصلاح خطوط الأنابيب التي تضررت بسبب التآكل تحت الماء . وقد تم تصنيع تجهيزات أخرى بهدف إصلاح الطعجات، والشقوق، والثقوب.

**الضبة نوع بليدكو PLIDCO® SPLIT+SLEEVE**

هي إحدى التجهيزات المصنعة لإصلاح الأنابيب و تستخدم لمعالجة التسريبات الناجمة عن تآكل أو تلف الأنابيب إن كان على الشاطئ أوعلى اليابسة . هذه التجهيزات سهلة وآمنة من أجل التثبيت ويمكن أن تلحم عندما يكون الخط في الخدمـــــــــــــة .

ضغط العمل النظامي للضبة المذكورة أعلاه 1000 psig مع توفر ضبات تعمل عند ضغوط عمل أعلى . أختبرت الضبة PLIDCO ® هيدروستايكياً عند ضغط 1,5 مرة أعلى من ضغط التشغيل و صممت بحسب النظام العالمي المعتمد ASME Section VIII and API 6H . وقد صنعت كافة الأطوال والأقطار من أجل ضغوط مختلفة . وتشتمل قياسات الأنابيب بحسب التصنيف العالمي :

API pipe sizes 11⁄2” to 48” ويمكن تصنيع كافة القياسات الأخرى حسب الطلب .

**. الضبة نوع بليدكو PLIDCO® SPLIT+SLEEVE**

**المحاسن :**

- يمكن إستخدامها لإصلاحات دائمة أو مؤقتة .
- مختبرة ١٠٠% بواسطة
- يمكن لهذه الضبات عزل مناطق ملحومة كإصلاحات دائمة.
- يتضمن التصميم براغي شد للتحكم بإجهادات الإنحناء في أثناء الشد .
- عندما يستعمل هذا النوع من التجهيزات ( الضبات ) لإصلاحات مؤقتة فيمكن أن يؤهل لاحقاً ويستخدم من جديد .

**الضبة نوع : PLIDCO® SPLIT+REPAIR-ELL**

هذا النوع من الضبات يشبه تماماً النوع السابق وهي تصنع بقياسات وأقطار مختلفة ويمكن تصنيعها بأية زاوية وبأي قطروعند أي ضغط تشغيل بحسب الطلب .

المحاسن :

- سهلة وسريعة التركيب
- متوفرة عند ضغط 1000psig وأعلى .
- تتوفر ضبات بنهايات مشبكية بهدف التصدي للقوى الهيدروستاتيكية .
- يمكن لهذه الضبات عزل مناطق ملحومة كإصلاحات دائمة وذلك عندما يكون الخط في حالة الخدمة
- عندما يستعمل هذا النوع من التجهيزات ( الضبات ) لإصلاحات مؤقتة فيمكن أن يؤهل لاحقاً ويستخدم من جديد .

**الضبة نوع : PLIDCO® SPLIT+REPAIR–ELL**

**الضبة نوع : PLIDCO® SMITH+CLAMPTM**

يستعمل هذا النوع من الضبات لمعالجة التسربات الناجمة عن ثقب في أنبوب ذو ضغط عالي .توضع الضبة على الأنبوب وتشد الضبة قليلاً لتبقى في مكانها ثم تستخدم الإبرة لإيجاد مكان التسرب وبعدها تدخل الإبرة في الثقب موضوع العزل وتشد الضبة من السفل والأعلى لقطع التسرب تماماً .

**المحاسن :**

- خفيفة الوزن واسعارها مقبولة .
- تساعد في إيجاد أماكن التسربات في الأنابيب والتي قد لا تكون مرئية
- ابرغي الشد يحتاج إلى أقل قوة لمنع التسرب .
- الشكل المخروطي يوزع الضغط على منطقة التسرب بشكل يقلل خطورة إنهيار جدار الأنبوب إذا كان قد تعرض لعملية تآكل سيئة .
- تركيبها آمن وسهل .

**الضبة نوع : PLIDCO® SMITH+CLAMPTM**

**الضبة نوع : PLIDCO® FLANGE+REPAIR RING**

تستعمل هذا النوع من الضبات لمعالجة التسربات من الفلنجات حيث تركب فوق الفلنجة أو العزقة في مكان التسرب لإحداث عزل حولها . تاتي الحلقة مع عنق رأسي يسمح بضخ سائل العزل حول الفلنجة أو العزقة من أجل إكمال عملية العزل .

هذا النوع من الضبات متوفر بجميع القياسات والضغوط 150 lb 11⁄2” to 12” ANSI through 600 lb ANSI. ويمكن التصنيع حسب الطلب .

المحاسن :

١-لا تتطلب حفر

٢-سائل العزل المضخوخ يمنع التسربات في الفلنجان أو العزق .

٣-يمكن تركيبها وخط الأنابيب في العمل .

٤-تركيبها سهل وآمن .

٥-متوفرة مع سائل العزل ومضخة العزل .

٦-يمكن ات تركب بخبرات محلية .

٧-يمكن ان تؤهل ويعاد إستخدامها من جديد

**الضبة نوع : PLIDCO® FLANGE+REPAIR RING**

**الضبة نوع : FLANGE REPAIR+SPLIT SLEEVE**

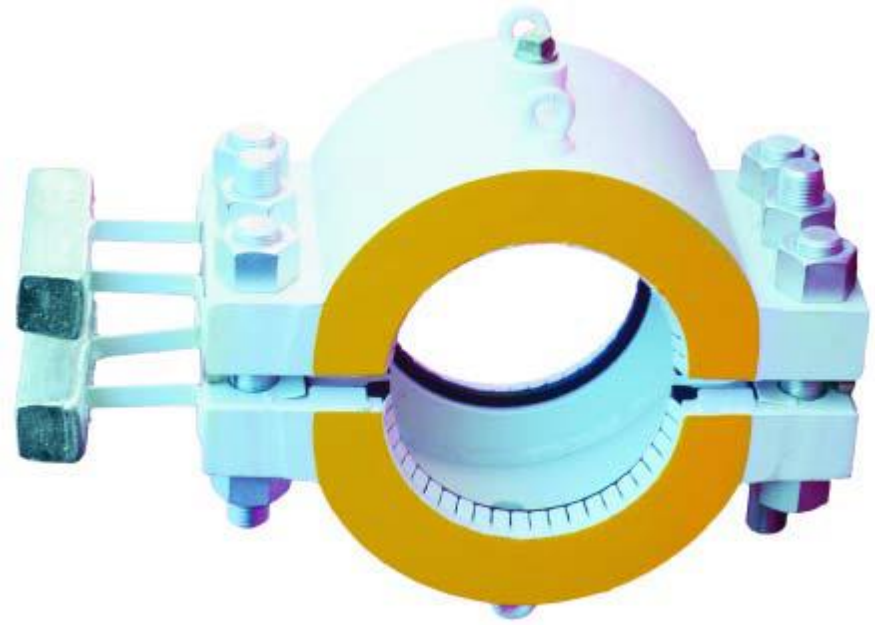
تستمل لعزل وتطويق الفلنجات في البحر وعلى اليابسة . السائل المحقون يوقف التسرب بعزل سطح الأنبوب .

المحاسن :

١- تتوفر ضبات لكافة أنواع واشكال وقياسات الفلنجات .

٢-فعالة في البحر وعلى اليابسة .

٣-سهولة وآمان في التركيب .



**الضبة نوع : FLANGE REPAIR+SPLIT SLEEVE**

**الضبة نوع WELD+ENDS®COUPLINGS**

عبارة عن وصلة ملحومة تستخدم للوصل السريع للأنبوب مما يمكن من إسترجاع الضخ فوراً وتخفيض زمن التوقف إلى أدنى مستوى . تستخدم هذه الوصلات في البحر وعلى اليابسة ولا تحتاج لتحضير طرف الأنبوب .

متوفرة ضمن القياسات API 1⁄2" to 48" كما يمكن تصنيعها حسب الطلب .

**المحاسن :**

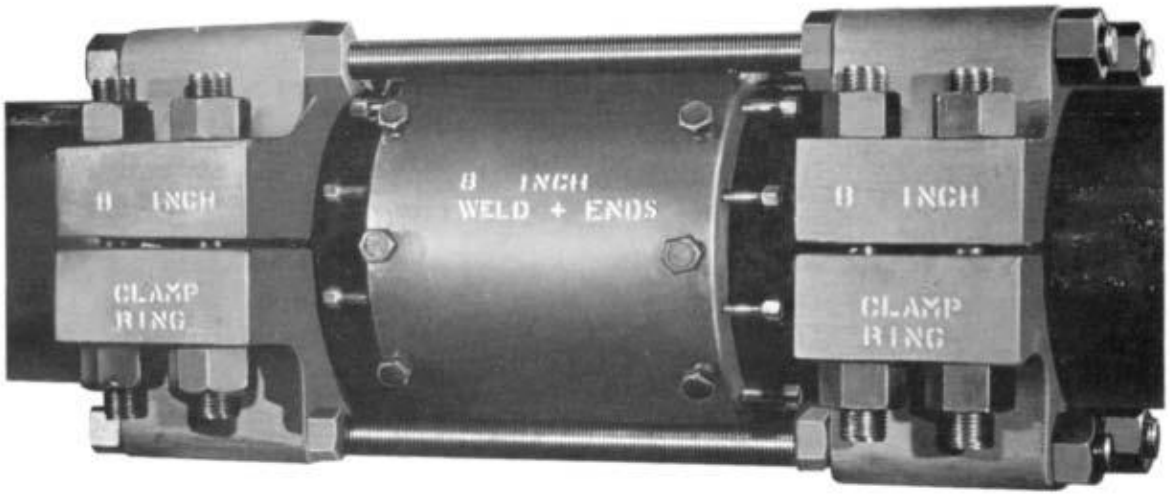
١-اللحام إختياري

٢-يوصل الأنبوب بدون تنظيف

٣-يمكن ان تلحم على الأنبوب بشكل آمن والخط عامل .

٤-تتوفر مواد عزل مختلفة .

٥-سهولة وآمان في التركيب .



**الضبة نوع WELD+ENDS®COUPLINGS**

الضبة **CLAMP+RINGS ( نفس الشكل السابق )**

تستخدم هذه الضبة مع الأنواع السابقة من الضبات مثل Weld+Ends®, Split+Sleeves أو أنواع أخرى . ويمكن أن تستخدم بشكل آني أو دائم .

تساعد هذه الضبات في تفادي تشكل طعجات أو جيوب في الأنبوب .

المحاسن:

١-قوية جداً

٢-مفيدة جداً خاصة للأنابيب قليلة السماكة

الضبة نوع PLIDCO® CLAMP+SLEEVE

يمكن أن تستخدم تلغليف كامل الأنبوب وقطع التسربات وتقوية الأماكن الضعيفة .وغالباً ما تستخدم من أجل الأنابيب على اليابسة وهي متوفرة في كافة المقاييس والطوال وضغوط التشغيل .

المحاسن:

١-تركيبها آمن وسهل

٢-يمكن إعادة تأهيلها وإستخدامها من جديد

الضبة نوع PLIDCO® CLAMP+SLEEVE

.

## محطة للتدريب

**SPLIT+SLEEVE TRAINING**

**FLANGE+REPAIR RING TRAINING**

**النتائج والمقترحات**

١-تحتاج جميع خطوط الأنابيب بعد وقت الى إصلاح بسبب التسريبات والتآكل أو الشقوق.

٢-تتراوح أنظمة الكشف عن التسرب من الملاحظة البصرية البسيطة والدقيقة إلى ترتيبات معقدة من الأدوات و البرمجيات

٣-الاختلافات في الضغط والتدفق يمكن أن تشير إلى أن حدثاً هاماً قد وقع

٤-حساسية الكشف عن التسرب بطريقة أجهزة الإستشعار يمكن أن تكون أفضل بعدة مرات في هذه الطريقة من طريقة توازن الكتلة.

٥-يعتمد أداء جميع أنظمة كشف التسرب إلى حد كبير على دقة ومدى تغطية الأجهزة، وطول خط الأنابيب.

٦-نقترح إجراء دراسة تحليلية ميدانية لطرق معالجة التسربات في أنابيب نقل النفط في القطر العربي السوري .

**References : المراجع**

[1] الدكتور ماهر سعادة ، نقل وتخزين النفط ، منشورات جامعة البعث ٢٠١٢

[2] Ellul, I. R. Advance in Pipeline Leak Detection. Pipeline Engineering. 34(2012),pp. 15-19.

[3] Wang, M. D.; Zhang, L. B.; Liang, W. Pipeline leakage detection method based on independent component analysis and support vector machine. // ACTA Petrolei Sinica. 31, 4(2010), pp. 659-663.

[4] Zhao, L. Q.; Wang, J. L.; Yu, T. Study on the extraction method for oil pipeline leakage signal feature based on improved empirical mode decomposition. // Chinese Journal of Scientific Instrument. 34, 12(2013), pp. 2696-2702.

[5] Mukherjee, J.; Narasimhan, S. Leak detection in networks of pipelines by generalized likelihood ratio method. // Industry Engineering Chemistry Researches. 35, 6(1996), pp. 1886-1893. DOI: 10.1021/ie950241t

[7] Li, H.; Xiao, D. Y.; Zhao, X. A field-pipeline leakage detection method based on negative pressure wave and improved fast differential algorithm. // The Second International Conference on information and computing science / Manchester, 2009, pp. 127-130.

[8] Ostapkowicz, P. Leak location for liquid transmission pipelines using gradient-type method-case study. // Pomimary Automatyka Kontrola-Measurement Automation and Monitoring, 57(2011), pp. 1311-1316.

[9] Chen, H. L.; Ye, H. Oil pipeline leak detection and location based on image processing. // Journal of Tsinghua University (Science & Technology), 45, 1(2005), pp. 31-37.