الجمهورية العربية السورية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
الجامعة السورية الخاصة
كلية هندسة البترول

تقييم ودراسة خط أنابيب نقل النفط الخام السوري (تل عدس – طرطوس)

دراسة أُعدت لنيل درجة الإجازة في هندسة البترول

إعداد :

أحمد نضال المنصور

أشرف محمد خير الغزاوي

إشراف:

الدكتور المهندس:
أيمن أحمد شقوف

الدكتور المهندس:
محمد هيثم الجاجة

العام الدراسي 2025- 2024 م

كلمة شكر

بقلوب مفعمة بالامتنان، ونفوس ترفرف على أعتاب ذكرى سنين مضت كانت منارةً لعلمنا ومهداً لمستقبلنا، نقف في هذه اللحظة الفاصلة بين ماضٍ نعتز به ومستقبل نتوّق إليه، داعين المولى عز وجل أن يتقبل مسعانا ويجعل علمنا نوراً يضيء دربنا ويومنا.

وها نحن نودع رحاب العلم بعد رحلة عطاء، نرفع أكف الشكر والعرفان لكل من مدّوا لنا يد العون وسهّلوا لنا درب المعرفة، فكانوا نبراساً يضيء أمامنا الطريق، وسفناً يعبر بنا من شطّ الجهل إلى شطّ اليقين.

نتوجه بأسمى آيات التقدير والحب إلى قلوب وعقول وسعتنا بحبها وإدراكها، فكانوا خير معين وخير دليل. إلى من وهبوا حياتهم ليرسموا لنا طريق المجد، وينحتوا من طيننا صرحاً للعز والنهضة.

شكراً إلى أساتذتنا الأفاضل في كلية الهندسة البترولية، الذين وقفوا كالجبال الشامخة يدعموننا بعلمهم وحكمتهم، فكانوا بحقٍّ عماداً للوطن وسواعدَ لبنائه.

ونخص بالشكر الجزيل:

الدكتور المهندس ايمن شقوف

الذي أضاء بشمس علمه دروب مشروعنا، فكان خير مشرفٍ وأستاذ، لم يبخل بوقته ولا برأيه، فله منا كلّ الثناء والمحبة.

والدكتور محمد هيثم الجاجة

الذي كان عوناً وسنداً، يمدّ جسور المعرفة بيننا وبين النجاح، فكان بحقٍّ ركناً أساسياً في إتمام هذا العمل، فله منا أصدق الدعاء وأعطر الكلمات.

ولا ننسى في ختام هذا المسعى أن نرفع صوت الشكر لكل من ساهم معنا ولو بكلمة، فكانوا عوناً لنا وسنداً.

والسلام عليكم ورحمة الله وبركاته.

الاهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿يَرْفَعِ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ ۚ وَاللَّهُ بِمَا تَعْمَلُونَ خَبِيرٌ﴾

صدق الله العظيم

الحمد لله الذي أنار بصائرنا بنور العلم، وهدانا إلى سبيل المعرفة والحكمة، فله الحمد كما ينبغي لجلال وجهه وعظيم سلطانه.

أما بعد،

فإنه لا يُعَدُّ نجاحٌ ولا يُذكَرُ تَميُّزٌ إلا وكان وراءه سواعدُ الخيرين، وعطاءُ المخلصين، الذين بذلوا جهدهم ووقتهم ليُخرِجوا لنا جيلًا يحمل راية العلم ويسير في دروب التقدم.

بهذه المناسبة، نتوجه بجزيل الشكر وعظيم الامتنان إلى كل من مدَّ لنا يد العون، وسكب في عقولنا من علمه، وفي قلوبنا من حكمته:

إلى أساتذتنا الأفاضل، الذين كانوا نبراسًا ينير الدرب، ويُعلِّمنا كيف نبدأ، وكيف نواصل، وكيف ننجز

الدكتور المهندس أيمن أحمد شقوف، الذي أرشدنا برؤيته الثاقبة، وعلَّمنا بأسلوبه المتميز، وغرس فينا قيم الإبداع والدقة.

والدكتور محمد هيثم الجاجة، الذي دعمنا بتوجيهاته القيمة وبذل جهودًا مخلصة لتعزيز مسيرتنا التعليمية.

وكل من وقف معنا برأيٍ سديدٍ أو توجيهٍ مفيد:

الدكتور يوسف فرج، الدكتور إدمون سلوم، الدكتور راتب جمول، الدكتور حسن عايد، الدكتور عبد الناصر هلال، الدكتور محمود حديد، الدكتور حازم جنيد، الدكتورة هناء الحلواني، الدكتورة منى عسكر، الدكتور عدنان البارودي، الدكتور هيثم حاجة، الدكتور يوسف رضوان، الدكتور، الدكتور محسن سعيد الدكتور حسين احمد .

فشكرًا لكم على كل لحظة تعلمناها منكم، وعلى كل كلمة أرْشَدَتنا، وكل توجيهٍ صحَّح مسارنا. لقد كانت جهودكم عونًا لنا على تجاوز التحديات، وإكمال هذا المشوار بثقةٍ وإيمان.

وختامًا، نسأل الله أن يجزيكم خير الجزاء، وأن يوفقنا لما فيه خيرٌ ورفعةٌ لوطننا وأمتنا.

والحمد لله رب العالمين.

مقدمة البحث

تُعنى هذه الدراسة بـ تقييم الوضع الهيدروليكي لخط أنابيب نقل النفط الخام السوري الممتد من تل عدس إلى طرطوس، والبالغ طوله نحو (650 Km)

وقد جرى تناول الموضوع وفق تسلسل علمي ومنهجي، على النحو الآتي:

الفصل الأول والثاني: استعراض عام لطرق نقل النفط المتبعة عالميًا، مع توضيح أسس تصميم خطوط أنابيب نقل النفط.

الفصل الثالث: تقديم وصف شامل لخط الأنابيب الحالي من حيث القطر، الطول، الوصلات الموازية، وضغوط التشغيل.

الفصل الرابع: عرض مواصفات النفط المنقول عبر الخط.

الفصل الخامس: تلخيص دراسة شركة (روزن) الهولندية حول سبر الخط وتقييم حالته التآكلية.

الفصل السادس: الجانب التطبيقي للدراسة، ويتضمن حساب الضغوط الأعظمية التي يمكن للخط تحملها في حالته الراهنة بعد التآكل، وحساب ضغوط التشغيل الفعلية، مع رسم الميول الهيدروليكية على المخطط المخصص لذلك. ومن خلال هذه المعطيات تُجرى المقارنة بين ضغط تحمل المعدن والضغط التشغيلي.

فهرس المواضيع

الفصل الأول : طرق نقل النفط	2
الفصل الثاني : تصميم أنابيب نقل النفط	10
الفصل الثالث : لمحة عن الوضع الحالي للخط	43
الفصل الرابع : مواصفات النفط المنقول	53
الفصل الخامس : عملية سبر الخط ونتائجها	54
الفصل السادس : القسم العملي	56
مراجع البحث	69

الفصل الأول: طرق نقل النفط

تتمثل الطرق الرئيسية المتبعة في العالم لنقل النفط الخام ومنتجاته المكررة والغاز إلى مسافات قصيرة أو بعيدة بعدد من الطرق، نذكر منها:

I. النقل بواسطة صهاريج السكك الحديدية:

تعتمد هذه الطريقة بصورة أساسية على نقل النفط ومشتقاته المكررة والغاز المميع باستخدام صهاريج السكك الحديدية، ولهذا نسعى دائماً ويقدر الإمكان إلى بناء مراكز استقبال وتوزيع النفط الخام أو منتجاته بالقرب من خطوط السكك الحديدية بقية الاستفادة من وجودها والاستغناء عن إنشاء سكك حديدية لأن كافتها غالية جداً. أما صهاريج السكك الحديدية فهي عبارة عن خزانات معنوية أفقية مركبة على عجلات خاصة، تربط ببعضها وتعبأ بالنفط أو البنزين أو الكيروسين ... الخ، ليتم قطرها إلى مراكز التوزيع والاستهلاك.

هذا و يصنع أنواع متعددة من هذه الصهاريج بحمولات مختلفة نذكر منها ما يلي:

صهاريج لها السعات التالية: 120، 50، 60، 90، 25، 25، متر مكعب .وتعتبر الصهاريج من حمولات 60، 50، طن أكثر الأنواع انتشاراً. تجهز الصهاريج بكافة المعادات والأجهزة التي تضمن لها عمليات التعبئة والتفريغ. ولحماية هذه الصهاريج من ارتفاع الضغط بداخلها أو تخلخله فيجهز كل صهريج بصمام أمان.

لا بد من الإشارة إلى أن الصهاريج المخصصة لنقل المنتجات النفطية العالية اللزوجة (كالفيول مثلاً) تجهز بوسائل تسخين خاصة تسمح برفع درجة حرارة المنتج عالي اللزوجة لتسهيل عملية تفريغ الصهاريج عادةً يستخدم البخار الحار بإرساله ضمن وشيعة خاصة تركب داخل الصهاريج أو بإمرار البخار الحار من خلال قميص خارجي يحيط بجدران الصهريج في الجزء السفلي منه .

ولهذه الطريقة خصائص معينة منها:

- إمكانية نقل كل أنواع النفط الخام ومنتجاته والمكررة والغاز المميع غير أن استخدام الطريقة هذه لا يسمح بنقل كميات كبيرة جداً وبصورة مستمرة.

- تعتبر هذه الطريقة من الطرق الأساسية لنقل كميات محدودة وغير كبيرة

من المنتجات البترولية المكررة .

- يتم النقل بهذه الطريقة في كل أيام السنة وبصورة منتظمة وبفترات زمنية معينة (فواصل زمنية بين رحلات القاطرات).

- يجب تجهيز أماكن توزيع واستقبال المواد البترولية بأجهزة ومعدات خاصة لتعبئة وتفريغ الصهاريج.

II. النقل المائي:

نظراً لأن المحيطات والبحار والبحيرات والأنهار (الصالحة للملاحة) تشغل مساحة واسعة من الكرة الأرضية، فقد استغلت دول العالم هذه الناحية الجغرافية فأنشأت أساطيل مائية بحرية ونهرية لنقل النفط ومنتجاته المكررة والغاز المميع ، تتألف هذه الأساطيل من ناقلات البترول والبوارج .

ويمكننا تصنيف النقل المائي كما يلي:

- النقل البحري.

- النقل النهري (في الأنهار الصالحة للملاحة).

ويمتاز النقل المائي وخاصة البحري منه عن النقل بصهاريج السكك الحدودية بما يلي:

- كميات الوقود المستهلكة في النقل المائي أقل من الكميات المستهلكة بطريقة صهاريج السكك الحديدية

- وزن المعدن اللازم للنواقل البترولية أقل من وزن المعدن اللازم لسلسلة صهاريج السكك الحديدية (بالنسبة لكميات المواد البترولية المنقولة).

- الرأسمال الموظف في النقل المائي أقل من رأس المال الموظف للنقل بصهاريج السكك الحديدية.

- عدد العمال اللازم لتعبئة وتوزيع الناقلات المائية أقل من عدد العمال اللازم لخدمة الصهاريج.

وتمـتاز الـناقلات البحرية عن النهرية بحمولتها الكبيرة، حيث أن الناقلات النهرية حمولتها محدودة (تتراوح بين 500-1200 طن).

ولقـد انتشـر في العالم بصورة واسعة استخدام ناقلات البترول البحرية لنقل الـنفط الخـام أو مشتقاته المكررة من مرافئ التصدير إلى مراكز الاستهلاك والتوزيع.

إن أكـثر الـناقلات البترولية البحرية انتشاراً هي التي تتراوح حمولتها بين 5000-550000 طن ، ونذكر منها 10000 طن و 60000 طن و80000 طن و120000 طن و200000 طن و 320000 طن ..... ألخ

وكلما زادت حمولة الناقلة كلما ازدادت اقتصادية النقل بهذه الطريقة ولكن مما تجدر الإشارة إليه إن أكثر مرافئ العالم البترولية مصممة لاستقبال الـناقلات التي حمولتها غير كبيرة.

أما الصفات العامة لطريقة النقل المائي فنورد منها ما يلي:

- إمكانية نقل النفط ومنتجاته والغاز المميع بكميات كبيرة.
- الطريق المائية عادةً أطول من مسار خطوط الأنابيب أو من امتداد السكك الحديديـة، لذا كان في بعض الحالات يمكن أن تكون هذه الطريقة أكثر كلفة بالنسبة لغيرها من الطرق.
- الـنقل المـائي فـي بعض البلدان الباردة موسمي حيث أن مياه الأنهار والبحيرات والبحار تتجمد في الفصل البارد، مما يستدعي هذا بناء مستودعات تخزين إضافية.
- النقل بهذه الطريقة ليس له صفة الاستمرارية كما هو الحال عند استخدام صهاريج السكك الحديدية .

III. النقل بواسطة الصهاريج:

لمّا كانت السيارات منتشرة في العالم بصورة شاسعة، لذلك يمكننا إيصال المنتجات البترولية إلى مراكز الاستهلاك الموجودة في كل مكان باستخدام الصهاريج.

هذا ويجهز كل صهريج بصمام أمان وجهاز لقياس مستوى السائل وبالمعدات اللازمة لتعبئة وتفريغه. أما الصهاريج المخصصة لنقل المنتجات البترولية العالية اللزوجة كالفيول مثلاً، فتجهز أيضًا بوسائل تسخين خاصة. والصهاريج الموجودة في العالم تصنع

بحجوم مختلفة تصل قيمتها إلى $30\ m^3$ غالباً ما تستخدم الصهاريج لنقل المنتجات البترولية البيضاء (كالبنزين والكيروسين ووقود الديزل...) والمنتجات العالية اللزوجة (كالفيول) والغاز المميع من معامل التكرير ومستودعات التخزين إلى مراكز الاستهلاك والتوزيع .

هذا ولابد من الإشارة إلى أن كل صهريج مجهز بداخله بصفائح معدنية لتهدئة حركة السائل في أثناء سير الشاحنة، وكذلك مجهز بجهاز إطفاء خاص وبسلسلة معدنية خاصة للتأريض بهدف تفريغ شحنات الكهرباء الساكنة التي قد تحدث شررًا وبالتالي قد ينجم من ذلك حريق.

IV. النقل بواسطة خطوط الأنابيب:

لقد انتشر استخدام خطوط الأنابيب في العالم بشكل واسع جداً لنقل مختلف أنواع الخامات النفطية ومنتجاتها المكررة والغاز. هذا وتسمى خطوط الأنابيب باسم المادة المنقولة كما يلي:

١) خطوط أنابيب النفط الخام التي تقوم بنقل النفط المعالج من حقول الإنتاج إلى مراكز التكرير أو مرافق التصدير.

2) خطوط أنابيب المنتجات البترولية البيضاء (بنزين، كيروسين، وقود الديزل).

3) خطوط أنابيب المنتجات البترولية العالية الزوجة (الفيول)، نقل المنتجات البترولية المذكورة بخطوط الأنابيب من مصافي التكرير ومستودعات التخزين وحتى مراكز التوزيع أو المراكز الصناعية أو إلى مرافئ التصدير.

4) خطوط أنابيب الغاز الطبيعي التي تصل بين الحقول المنتجة للغاز وأماكن التوزيع والاستهلاك المنزلي وفي الصناعات الكيميائية.

5) أنابيب الغاز المميع.

هذا ويتم بناء خطوط الأنابيب بأقطار مختلفة تصل حتى 1400 mm وبضغوط تشغيل تصل إلى 100 ضغط جوي.

هذا وتصنف خطوط أنابيب النفط ومنتجاته حسب أقطار الأنابيب إلى أربعة أصناف وهي:

- **الصنف الأول (I):** يضم أنابيب أقطارها أكبر من 1000 mm وحتى1400 mm

- **الصنف الثاني (II):** ويضم خطوط الأنابيب التي أقطارها من 1000 mm حتى 500mm

- **الصنف الثالث (III):** يضم خطوط الأنابيب التي أقطارها من 500 mm حتى 300 mm

- **الصنف الرابع (IV):** يضم خطوط الأنابيب التي أقطارها أقل من 300 mm

أما خطوط الغاز فتصنف حسب ضغوط تشغيلها إلى صنفين:

- **الصنف الأول (I):** يضم أنابيب الغاز التي ضغط تشغيلها أكبر من 25 ضغط جوي وحتى 100 ضغط جوي.

- **الصنف الثاني (II):** تنتسب إليه أنابيب الغاز التي ضغط تشغيلها يتراوح بين 12-25 ضغط جوي.

ومن ناحية أخرى تصنف خطوط الأنابيب بشكل عام إلى خمسة فئات (بما فيها أقسام خط الأنابيب المختلفة)

تتناقص قساوة شروط تركيبها كلما أزداد رقم الفئة، ولقد بينا في الجدول رقم (1-1) علاقة هذه الفئات بشروط وظروف عمل خط الأنابيب بأجزائه المختلفة وبفحص لحامات أنابيب الخط ببعضها البعض.

الجدول رقم (1-1)

الفئة التي ينتمي إليها خط الانابيب بأجزائه المميزة	عامل له علاقه بظروف تشغيل خط الانابيب له علاقه بسماكه الانابيب	نسبه عدد اللحامات التي يجب ان تفحص بالنسبة للعدد الكلي ٪	قيمة ضغط الاختبار الهيدروليكي الاولي على مسار خط الانابيب (PTEST)
B	0.60	100%	PTEST=1.25PW
I	0.75	100%	PTEST=1.25PW
II	0.75	100%	لا يجري له ضغط اختبار أولي إلا بعد الانتهاء من بناء خط الانابيب
III	0.90	100%	
IV	0.90	لا اقل من 20%	

الجدول رقم (1-2)

اسم خط الأنابيب	فئات خطوط الأنابيب		
	الأنابيب مطمورة في خندق	ممدودة على سطح الأرض	ممدودة فوق سطح الأرض
خط أنابيب الغاز الطبيعي			
1. بقطر أقل من mm1200	IV	IV	IV
2.بقطر mm1200 وأكبر	III	III	III
خط أنابيب النفط ومنتجاته			
1.بقطر أقل من mm700	IV	IV	IV
2. بقطر mm700 وأكبر	III	III	III

حيث أن :

P_W : ضغط تشغيل خط الأنابيب .

P_{test} :ضغط الاختبار الهيدروليكي .

أما فئات خطوط الأنابيب فتؤخذ من الجدول رقم (2) نعلم أن خطوط الأنابيب تجتاز مناطق متنوعة بتضاريسها وكذلك تعترض مساراتها تقاطعات مختلفة (كسكة حديدية بطريق سيارات، نهره وادي، ...) أو قد يقع على مقربة منها أماكن صناعية أو أماكن مأهولة بالسكان لذلك فإن كل هذا يمكن أن ينعكس بشكل أو بأخر على زيادة

قساوة تركيب خطوط الأنابيب بما يضمن متانتها وسلامة تشغيلها. فمثلاً أجزاء خطوط أنابيب النفط أو منتجاته التي يجتاز مسارها نهراً ما (هذا النهر صالح أو غير صالح للملاحة مع عرض مستوى الـ نهر حتى 25 m وقطر الخط 1000m أو أكثر) تنتمي للفئة (B)، انظر الجدول رقم (1)، أما إذا كان قطر خط الأنابيب أقل من 1000mm عندها يكون جزء خط الأنابيب المار عبر النهر ينتمي للفئة (A)، انظر الجدول رقم (1). أما أجزاء خطوط الأنابيب التي تمر عبر خط سكة حديدية أو خلال طريق للسيارات فتنتمي إلى إحدى الفئات التالية (I, II, III) وذلك تبعاً لصفات الممر أو طريقة إنشاء المعبر. في السنوات الأخيرة تم في العالم إنشاء خطوط أنابيب فولاذية نفطية عديدة بأقطار مختلفة مثلا (500,700,800,1000,1200,1400 mm) وبأطوال بلغت عدة مئات من الكيلومترات منها ما زاد طولها عن 1000Km. فهناك مثلاً خط أنابيب نفط النفط من أراضي روسيا الاتحادية إلى كل من الدول التالية: بولونيا، ألمانيا، جمهورية التشيك، المجر. كما أن استطاعة خطوط الأنابيب بلغت في الآونة الأخيرة قيماً كبيرة أكثر من 50 مليون طن في السنة. عندما يتم نقل النفط أو منتجاته المكررة بواسطة الضخ في خطوط الأنابيب الممتدة إلى مسافات بعيدة تظهر ضرورة إنشاء عدة محطات الضخ موزعة على طول مسار خط الأنابيب وذلك لرفع الضغط الضائع بالاحتكاك في أثناء جريان السائل ضمن خطوط الأنابيب (مقاومة الاحتكاك الهيدروليكية تتشكل نتيجة الحركة المناسبة لصفيحات السائل مع بعضها البعض ومع الجدران الداخلية للأنابيب الفولاذية).

والمنشآت الرئيسية التي يتألف منها أي خط أنابيب هي كالتالي:

- محطة الضخ الرئيسة التي يصل إلى خزاناتها النفط الآتي من محطات تجميع آبار الحقول أو المنتجات البترولية المكررة الصادرة عن مصافي البترول.

- خط الأنابيب ذاته **(ويتألف من أنابيب فولاذية ملحومة ببعضها وممتدة على طول المسار).**

- محطات الضخ الإضافية الموزعة على طول مسار خط الأنابيب وهي تؤمن عملية ضخ وحركة النفط ضمن هذا الخط حتى يصل السائل إلى محطة النهاية.

- محطة النهاية التي تتألف من خزانات استقبال ومراكز توزيع إلى أماكن الاستهلاك.

- الصمامات البوابية المركبة على طول المسار بهدف عزل أجزاء خط الأنابيب.

- المنشآت الإضافية الأخرى كمحطات الحماية، وخطوط الاتصال، وورشات الصيانة...إلخ.

ومن أهم خواص وصفات النقل بواسطة الأنابيب ما يلي:

☐ تستخدم هذه الطريقة عادةً عندما يكون إنتاج النفط الخام أو منتجاته المكررة **(بنزين، كيروسين، وقود الديزل...)** كبيراً. كما تستخدم هذه الطريقة لنقل الغاز المميع، بينما تعتبر الطريقة الوحيدة لنقل الغاز الطبيعي عندما يكون متواجداً في الحالة الغازية.

☐ تعتبر خطوط الأنابيب أقصر مسافة ممكنة بين مركزين **(مثلًا بين حقل نفطي ومصفاة بترول).**

☐ النقل بواسطة خطوط الأنابيب يتم بصورة مستمرة وبدون تقطع **(ليلاً نهاراً وهذا ما يسمح بتزويد أماكن الاستهلاك بحاجاتها من المنتجات النفطية بصورة منتظمة وبدون انقطاع).**

☐ الكميات الضائعة **(التهريب، الزربان، التبخر...)** عند نقل النفط الخام أو منتجاته في خطوط الأنابيب أقل منها في حالة النقل بواسطة الطرق الأخرى المذكورة.

☐ يمتاز النقل بخطوط الأنابيب ببساطة وسهولة التشغيل والاستثمار وبسهولة مكننته وأتمتته أيضاً.

☐ بناء خطوط الأنابيب يكلّف كثيراً لأنه يتطلب آلاف الأطنان من الفولاذ وحجماً كبيراً من العمال.

الفصل الثاني : تصميم أنابيب نقل النفط

أولاً – تصميم الأنابيب :

1. الحسابات التكنولوجية لأنابيب النفط ومشتقاته :

إن الحساب التكنولوجي لأنابيب النفط يقتضي حل المسائل الرئيسة التالية:

(١) اختيار ومعالجة المعطيات الأولية.

(٢) تحديد العوامل الأكثر اقتصادية لأنابيب النفط: قطر الأنابيب، ثخانة جدران الأنابيب، نوع المضخات أو محطات الضخ، الضغط المتزايد أمام محطات الضخ، عدد محطات الضخ، طول الوصلات الموازية، عدد الأقسام المستثمرة.....

(٣) توزع محطات الضخ على طول مسار الأنابيب.

(٤) حساب أنظمة العمل عند الإدخال التدريجي للأنابيب في العمل.

(٥) تدقيق ثخانة الأنابيب لكل قسم من أقسام الأنابيب.

(٦) حساب أنابيب سحب المضخات المساعدة لمحطات الضخ.

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

إن تحديد العوامل الأكثر اقتصادية لأنابيب النفط يتم من خلال المقارنة بين كلفة نقل 1 طن من النفط الخام لمسافة 1 كم وذلك لعدة أقطار مختلفة وبحيث تكون الكلفة محسوبة على أساس البيانات الرسمية للأسعار في فترة التنفيذ.

من أجل المباشرة بالحسابات التكنولوجية يجب توافر ما يلي:

1. برنامج نقل النفط.
2. الصفات الفيزيائية للنفط المنقول (كثافة، لزوجة، ضغط ابخرة الإشباع...).
3. التغير السنوي لدرجة الحرارة في العمق الذي سيوضع فيه الأنبوب.
4. المعطيات التكنولوجية للأنبوب والمضخات.
5. المعطيات التكنولوجية اللازمة لتصميم واستثمار الأنبوب والمضخات.
6. مخطط مصغر عن بروفيل أنبوب النفط.

1_1 المعطيات الأولية اللازمة للحسابات التكنولوجية:

1) الإنتاجية الحسابية الساعية Q_h: تحسب على أساس 350 يوم فعلي للأنبوب مع الأخذ بعين الاعتبار أعمال الصيانة كل عام.

$$Q_h = \frac{G}{86400.\rho} \qquad (1-2)$$

حيث أن:

G : الخطة السنوية لنقل النفط (kg/year) ،

ρ: الكثافة الحسابية للنفط Kg/m^3

2) الحرارة الحسابية للنفط المعتبر T :

هي الحرارة التي يضخ عندها النفط عبر الأنبوب، وتحسب مع الأخذ بعين الاعتبار حرارة النفط عند أول محطة ضخ والحرارة المتولدة نتيجة احتكاك النفط بالأنبوب بالإضافة إلى التبادل الحراري مع الوسط الخارجي.

في المناطق التي لا تتغير فيها الحرارة بشكل واسع، تقبل درجة الحرارة الحسابية على أنها درجة حرارة الشهر الأكثر برودة في العام

(حرارة العمق المراد ردم الأنبوب فيه). أما في حال مرور الأنبوب في منطقة تتغير فيها درجة الحرارة بشكل واسع، **فتحسب درجة الحرارة الحسابية على الشكل التالي:**

$$T = \frac{Li.Ti}{L} \qquad (2\text{-}2)$$

حيث أن :

L_i :طول جزء الأنابيب الذي يمر في منطقة حرارتها المتوسطة t_i

L : الطول الكلي الحسابي للأنابيب .

أما عمق ردم الانابيب فيختار حسب الحالة كما في الجدول رقم (2-1)

ملاحظة : يقصد بالعمق المسافة بين سطح الأنبوب وسطح الأرض .

الجدول رقم (2-1)

الحالة	العمق متر
القطر اكبر من 1متر	1
القطر اصغر من 1متر	0.8
أماكن المستنقعات	1.1
الأماكن الرملية	1
الأماكن الصخرية	0.6

3) الكثافة الحسابية للنفط ρ :

تحسب عند درجة الحرارة الحسابية من العلاقة التالية:

$$\rho_t = \rho_{20} - (1.825 - 0.001315X\,\rho_{20})(t - 20) \qquad (3-2)$$

حيث أن :

ρ_{20} :كثافة النفط عند درجة الحرارة $20c^o$,kg/m^3

4) اللزوجة الكينماتيكية vT :

تحسب عند درجه الحرارة الحسابية من منحنيات اللزوجة والحرارة في حال توفرها ، **او تحسب رياضيا من علاقة رينولدز – فيلانوفا :**

$$Vt = V^*.e^{-U(t-t^*)} \qquad (4\text{-}2)$$

حيث أن :

V* : اللزوجة الكينماتيكية عند الحرارة **t***

U : معامل الميل لمنحي اللزوجة ($c^o/1$) ويحسب من العلاقة الرياضية التالية :

$$U = \frac{1}{t_1 - t^*} Ln \frac{v^*}{v_1}$$

v_1: اللزوجة الكينماتيكية عند الحرارة t_1

يمكن حساب اللزوجة أيضاً من علاقة ASTM :

$$Lglg\,(v+0.8) = a + B\,LgT \qquad (5\text{-}2)$$

بحسب العلاقة (2-5) فإن اللزوجة تقاس بالسنتي ستوكس mm^2/s (Cst)

والحرارة K^o من اجل إيجاد الثوابت a,B يجب معرفة قيم اللزوجة $v_2.v_1$, عند درجتي الحرارة $t_1 .t_2$,

ومن ثم تحسب الثوابت من المعادلات التالية:

الجدولين (2_2) ، (2-3) على التوالي

القطر الاسمي بوصة	القطر الخارجي مم	ثخانة الأنبوب مم	القطر الداخلي مم
2 3/8	60.3	2.11	56.1
2 3/8	60.3	11.07	38.2
2 7/8	73.0	2.11	68.8
2 7/8	73.0	14.02	45.0
½3	88.9	2.11	48.7
½3	88.9	15.24	58.4
4	101.6	2.11	97.4
4	101.6	8.08	85.4
½4	114.3	2.11	110.1
½4	114.3	17.12	80.1
6 5/8	168.3	2.11	164.1
6 5/8	168.3	18.26	131.8
8 5/8	219.1	3.18	212.7
8 5/8	219.1	18.26	182.6
¾10	273.0	3.96	265.1
¾10	273.0	18.26	236.5
¾12	323.8	4.37	315.1
¾12	323.8	22.22	279.4
14	355.6	4.78	346.0
14	355.6	23.28	307.9
16	406.4	4.78	396.8
16	406.4	28.58	349.2
18	457.2	4.78	447.6
18	457.2	31.75	393.7
20	508.6	5.56	496.9
20	508.6	34.92	438.2

القطر الاسمي بوصة	القطر الخارجي مم	ثخانة الأنبوب مم	القطر الداخلي مم
22	558.6	5.56	547.7
22	558.6	38.10	482.6
24	609.6	6.35	596.9
24	609.6	25.40	530.3
26	660.4	6.35	647.7
26	660.4	25.40	609.6
28	711.2	6.35	698.5
28	711.2	25.40	660.4
30	672.0	6.35	749.3
30	672.0	25.40	711.2
32	812.8	6.35	800.1
32	812.8	25.40	762.0
34	863.6	6.35	850.9
34	863.6	25.40	812.8
36	914.4	6.35	901.7
36	914.4	25.40	863.6
38	965.2	7.92	949.4
38	965.2	25.40	814.4
40	1066.8	8.74	149.3
40	1066.8	25.40	1016.0
42	1117.6	8.74	1100.1
42	1117.6	25.40	1066.8
44	1168.4	8.74	1150.9
44	1168.4	25.40	1117.6
46	1219.2	8.74	1210.7
46	1219.2	25.40	1168.4

$$a = LgLg(v_1 + 0.8) - B.LgT_1 \qquad (6\text{-}2)$$

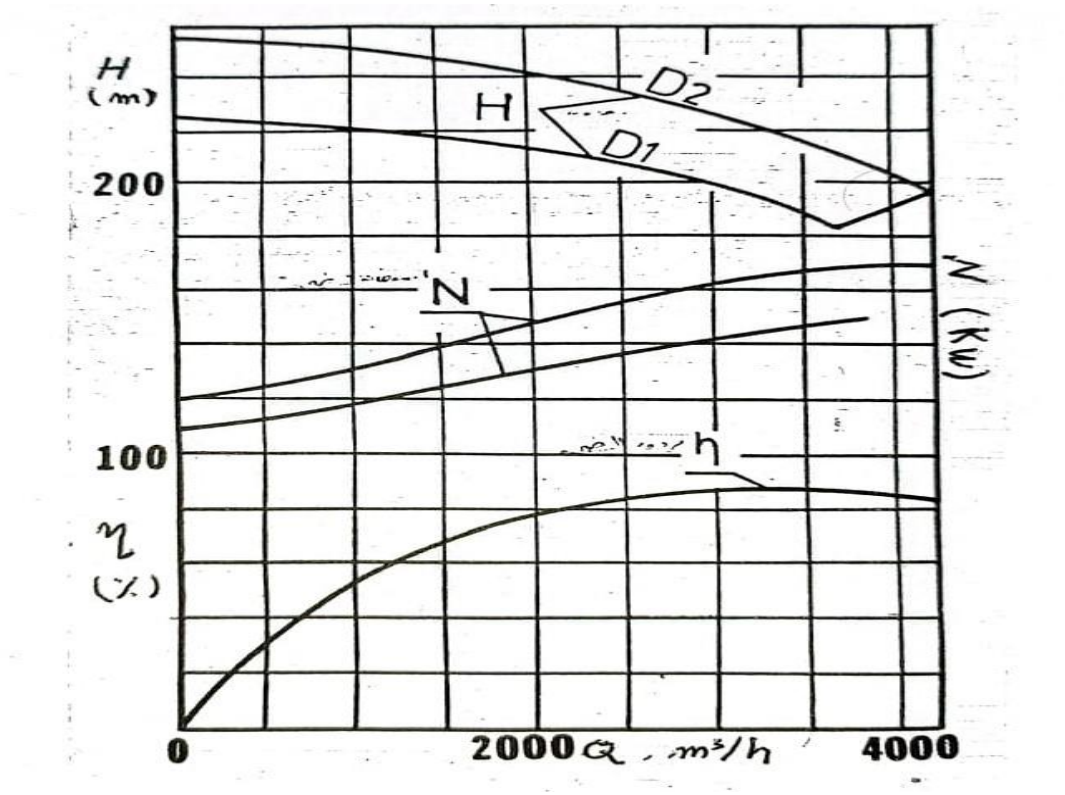
$$V = \frac{Lg\left\{\frac{\lg(V_1+0.8)}{\lg(V_2+0.8)}\right\}}{LgT_1 - LgT_1}$$

5) الخصائص الميكانيكية للأنابيب النفطية:

تبين هذه الخصائص أهم المواصفات الميكانيكية والكيميائية والفيزيائية للفولاذ المستخدم في صناعة الأنابيب. الجدولين (2-2) و (2_3) يتضمنان أهم مواصفات الأنابيب وكذلك الأبعاد والقياسات والأوزان لبعض الأقطار المستخدمة بالإضافة إلى الضغوط التي يمكن أن تتحملها هذه الأنابيب حسب مختلف الثخانات.

6) الخصائص الأساسية لمحطات الضخ والمضخات :

الشكل (2-1) مواصفات المضخة



Q_h: الغزارة الساعية m^3/h **H**: ارتفاع المضخة (ضاغط المضخة)

$D_1.D_2$: أقطار دولابي المضخة **ղ**: مردود المضخة

7) مخطط مصغر لخط الأنابيب:

يتم وضعه بعد اختيار مسار الأنابيب ويبين فيه المناطق التي يمر عبرها خط الأنابيب وهو يفيد من أجل:

a. معرفة الطول الحسابي للأنابيب.

b. معرفة وتحديد نقطة القمة.

c. معرفة فرق الارتفاع الجيوديزي بين نقطة البداية ونقطة النهاية.

d. توزيع محطات الضخ على طول خط الأنابيب.

I-2- اختيار القطر الاقتصادي:

1. **اختيار القطر التقريبي:** يتم في البداية تعيين القطر التقريبي للأنابيب وبحسب العلاقة التالية:

$$D_0 = \sqrt{\frac{4Q}{\pi.V}} \qquad (7-2)$$

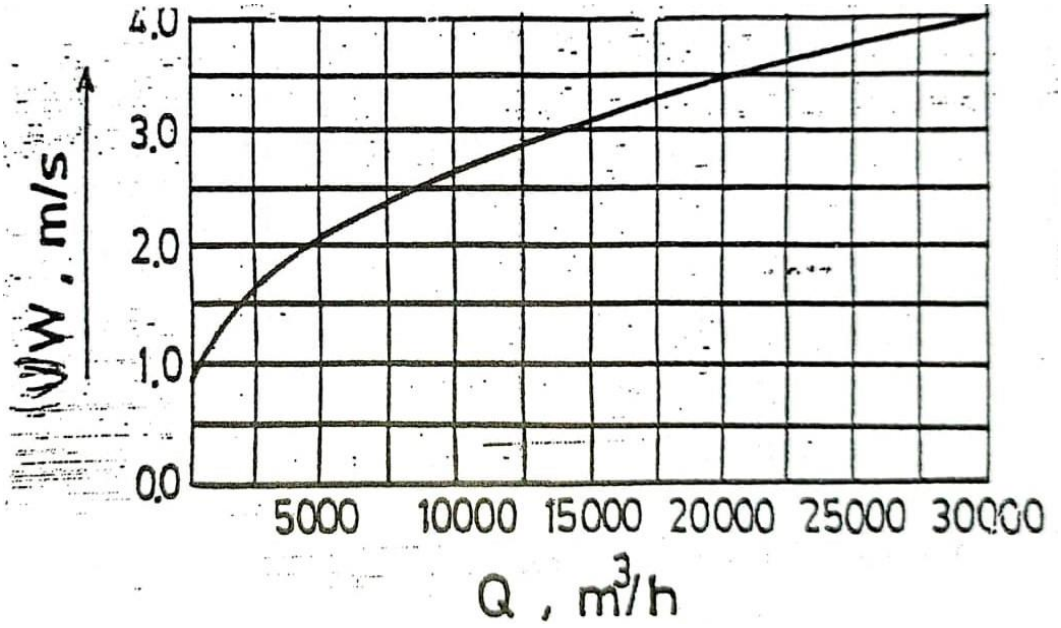
حيث أن:

D_0:القطر التقريبي الأولي m

Q: الغزارة الحجمية الحسابيةm^3/s

V: السرعة الوسطية للسائل m/s

الشكل (2-2)



يمثل الشكل البياني العلاقة بين معدل الجريان الحجمي (Q) بوحدة متر مكعب في الساعة ، وسرعة التدفق (V) بوحدة متر في الثانية ، ضمن أنظمة نقل السوائل عبر الأنابيب ، هذه العلاقة تعد أساسية في تصميم خطوط الأنابيب المستخدمة في صناعة النفط والغاز ، خصوصاً في مراحل الإنتاج ، النقل ، والمعالجة .

من خلال المنحنى نلاحظ أن :

- هناك تناسب طردي بين معدل الجريان والسرعة ، أي أن زيادة كمية السائل المتدفقة تؤدي إلى زيادة سرعة التدفق داخل الأنبوب
- هذه العلاقة تخضع لمعادلة الاستمرارية :

حيث (Q) هو معدل الجريان وهو مساحة المقطع العرضي للأنبوب (A) و أن (V) هي السرعة .

وبتم تعيين السرعة الوسطية التقريبية إما باستعمال المخططات البيانية الموضحة بالشكل (2-2) أو بالاعتماد على اللزوجة الحسابية للسائل المضخوخ كما في الجدول (2-4).

الجدول (2-4)

اللزوجة الحركية ستوكس st , cm^2/s	السرعات المعتمدة m/s	
	عند السحب	عند الطرد
0.010 - 0.115	1.5	2.5
0.115 – 0.277	1.3	2.0
0.277 – 0.725	1.2	1.5
0.725 – 1.460	1.1	1.2
1.460 - 4.380	1.0	1.1
4.380 -8.770	0.8	1.0

بعد حساب القطر التقريبي D_0 يتم اختيار القطر الخارجي القياسي D_H القريب منه من الجدول (2-2)

2) اختيار الأقطار القياسية : من أجل الحسابات المستقبلية يتم اختيار قطرين خارجيين إضافيين قياسيين $D_{H1}.D_{H2}$, بحيث يحققان المتراجحة التالية :

$$D_{H1}1<DH<D_{H2} \text{ ,} \qquad (8\text{-}2)$$

ملاحظة:

في حال كون D_H=1219.2 mm لا داعي لإجراء الحسابات على الاحتمال الثالث الأكبر كون القطر D_H هو الأكبر حتى الآن والمستعمل في مجال ضخ النفط في الخطوط الرئيسية.

3) اختيار نوع المضخة : بما يلائم التدفق الحسابي لأنابيب النفط Q_h يتم اختيار المضخات الأساسية للضخ بحيث تحقق المتراجحة التالية :

$$Q_{min} \leq Q_h \leq Q_{max} \qquad (9\text{-}2)$$

حيث أن :

- Q_{min}: الحد الاصغري لمجال عمل المضخة.
- Q_{max} : الحد الأعظمي لمجال عمل المضخة.

الجدول (5-2) المواصفات التكنولوجية لبعض المضخات

الاستطاعة التقديرية للمحطة Mill Ton/year	الضغط التقديري للمضخة الواحدة Mpa	مجال تغيير غزارة المضخة الواحدة M^3/h	نوع المضخة المستخدمة على الخطوط الرئيسية	حدود تغيير إنتاجية الانابيب Mill Ton/year
0.9	4.59	100-150	HN 125-550	0.7-1.1
1.8	4.17	145-215	HM 180-500	1.1-1.5
1.8	3.96	200-300	HM 250-475	1.5-2.1
2.6	3.84	290-430	HM 360-460	2.1-3.1
3.6	2.50	400-600	HM 500-300	3.1-4.3
5.1	2.33	570-850	HM 710-280	4.3-7.1
8.9	2.17	1000-1500	HM 1250-260	7.1-10.7
12.9	2.00	1450-2150	HM 1800-240	10.7-15.4
17.9	1.92	200-3000	HM 2500-230	15.4-21.4
25.7	1.92	2900-4300	HM 3600-230	21.4-30.8
35.7	1.75	4000-6000	HM 5000-210	30.8-42.8
50.0	1.75	5600-8400	HM 7000-210	42.8-60.0
71.4	1.75	8000-12000	HM 10000-210	60.0-85.7
89.3	1.75	10000-13000	HM 1000-210	85.7-92.6

ملاحظة: اخذت حدود تغيير إنتاجية الانابيب على اساس ربط المضخات على التسلسل

ملاحظة: عندما يتوفر الشرط في المعادلة (2-9) لمضختين تحري الحسابات على النوعين وكل نوع على حدى . نورد فيما يلي مواصفات بعض المضخات CUENARD الفرنسية المستخدمة على خطوط نقل المنتجات البيضاء في القطر.

الجدول (2-6)

الغزارة m^3/h	53.0	103.0	123.0	153.0
الضغط. Kg/cm^3	66.0	58.0	53.5	45.5
الاستطاعة حصان بخاري	200.0	265.0	277.0	289.0
المردود ٪	54.5	71.8	74.8	74.0

4) ضغط التشغيل P : ضغط التشغيل الذي يرتفع أمام المحطات عند ربطها على التسلسل يحسب من العلاقة التالية :

$$p = \rho . g\left(m_p . h_m + h_n\right) . 10^{-6} < p_{\text{ت}} \qquad (10-2)$$

حيث أن:

h_m, h_n– على التوالي ارتفاع ضغط المضخات الرئيسية والمساعدة (تؤخذ من المخططات البيانية بمساعدة الغزارة الساعية)، الشكل (2-1)

m_p- عدد المضخات الرئيسية في المحطة (عادة تؤخذ mp=3)

$p_{\text{ت}}$- ضغط محطات الضخ المسموح به انطلاقاً من متانة حجرة المضخة، مقدراً Mpa .

ρ - الكثافة الحسابية kg/cm^3

g- تسارع الجاذبية الأرضية $g= 9.81\ m/s^2$

حدود متانة حجرة المضخات موضحة بالجدول (2-7) وذلك للمضخات الواردة في الجدول رقم (2-5) .

الجدول (2_5)

الحد الادنى لمتانة حجرة المضخة Mpa	طريقة العمل	الغزارة	نوع المضخة
4.9 Mpa	منفصلة	125-710	HM
9.9 Mpa	على التسلسل3مضخات	122-710	HM
4.9 Mpa	منفصلة	1250 ≤	HM
7.4 Mpa	على التسلسل(2-3) مضخات	120 ≤	HM

5) حساب الثخانة : يتم حساب الثخانة الملائمة لكل قطر مفترض من العلاقة التالية:

$$\delta = \frac{n.p.D_H}{2.(R_1+n.p)} \qquad (11\text{-}2)$$

حيث أن:

P : ضغط تشغيل الانابيب ، M Pa

D_H : القطر الخارجي للأنابيب ، m.

n : ثابت زيادة الضغط في الأنابيب ، ويأخذ عادة القيمة n= 1.15

R_1 : المقاومة الحسابية للمعدن **تحسب من العلاقة التالية:**

$$R_1 = \frac{\sigma B.m_y}{k_1.k_H} \qquad (12\text{-}2)$$

حيث أن:

σB: حدود المتانة (اجهادات تمزق معدن الأنبوب) ، M Pa

m_y: ثابت ظهور عمل الانابيب ويتعلق بشكل خاص بنوعيه الانابيب (من أجل الخطوط الرئيسية m_y= 0.9)

k_1 : عامل امان معدن الانابيب وتختلف قيمته باختلاف النظم التصميمية في الدولة المصنعة وفيما يلي مثال على ذلك :

النظام الأمريكي: k_1= 1.25 النظام الفرنسي : k_1= 1.38

النظام الروسي : .k_1=1.45 قيمة وسطية : k_1= 1.4

k_H : عامل امان اختيار الأنابيب .

k_H=1 من أجل الانابيب ذوات الأقطار : : $D_H \leq 1000mm$

k_H=1.05 من أجل الانابيب ذوات الأقطار: $D_H \leq 1200mm$

يمكن حساب ثخانة الانابيب بحسب القانون المعتمد من قبل الجمعية الامريكية ASME B 31.4 لعام 1994 :

$$j = \frac{P.D}{2.S} + C \qquad (13\text{-}2)$$

حيث أن:

D : القطر الخارجي للأنبوب، in

P : ضغط التصميم ، (internal design gage pressure)

C : معامل يأخذ بعين الاعتبار تأكل المعدن .

S : الاجهاد المسموح به ، psi (Allowable stress Value)

$$S = 0.72 \,.E.b_y \qquad (14\text{-}2)$$

E : معامل اللحام ويساوي 1 لمعظم الانابيب الملحومة بالطرق الحديثة.

b_y : حد الخضوع المكفول specified minimum yield strength .

ضغط التصميم p هو اقصى ضغط يمكن ان يتعرض له الانبوب في تلك النقطة سواء كان في اثناء التشغيل او التوقف، ويساوي مجموع الضغط الستاتيكي في تلك النقطة والضغط الناتج عن مقاومه الاحتكاك اضافه الى الضغط الذي يمكن ان ينتج عن الصدمة الهيدروليكية

.ونورد في الجدول التالي (2-8) شروط تحديد الأنابيب بحسب المناطق.

الجدول (2-8)

مواصفات المنطقة	الضغط المسموح بهS حد الخضوع b_y	ضغط التجربة ضغط التشغيل	تصنيف المنطقة
مناطق ريفية قليلة السكان أو صحراوية	0.72	110%	A
مأهولة قليلا	0.6	125%	B
مدن صغيرة	0.5	140%	C
مدن فيها أبنية متعددة الطوابق	0.4	140%	D

6) حساب القطر الداخلي : يحسب القطر الداخلي للأنابيب الثلاثة المفترضة من العلاقة:

$$D_i = D_H - 2\delta \qquad (15\text{-}2)$$

يتم اختيار أقرب قطر قياس من الجدول مع الأخذ بعين الاعتبار تدوير قيمة الثخانة نحو الأكبر في حال عدم وجود القطر المحسوب، وبشكل عام يتم إضافة بعض الثخانة 0.5- 1 mm إلى الثخانة المحسوبة كتسامح بسبب التأكل.

7) تدقيق السرعة : تدقق السرعة V ويحسب عدد رينولدز لكل قطر مفترض:

$$V = \frac{4.Q}{\pi.D_i^2} \qquad (16\text{-}2)$$

حيث أن:

D_i : القطر الداخلي للأنابيب، m. ، Q : الغزارة الحسابية ، m^3/s

$$R_e = \frac{V.D_i}{v} = \frac{V.D_i.\rho}{\mu} = \frac{4Q}{\pi.D_i.v} \qquad (17\text{-}2)$$

8) الميل الهيدروليكي: يحدد الميل الهيدروليكي لكل من الأقطار المختارة حسب العلاقة التالية **(علاقة ليبنزون) :**

$$i = \frac{\lambda}{D_i}.\frac{V^2}{2.g} = \beta \frac{Q^{2-m}.v^m}{D_i^{5-m}} \qquad (18\text{-}2)$$

حيث أن:

D_i : القطر الداخلي للأنابيب، m. ، V : السرعة، m/s.

g : تسارع الجاذبية الأرضية، m/s^2. ، v : الزوجة الكينماتيكية للسائل

m، B : ثوابت في معادلة ليبنزون تتعلق بنظام الجريان.

λ :معامل المقاومة الهيدروليكية الذي يتعلق بطبيعة الجريان في الأنابيب.

9) المقاومة الهيدروليكية : معامل المقاومة الهيدروليكية λ والثوابت m ، B يمكن تعيينها كما يلي

ا) مجال الجريان الخطي وعندما يكون عدد رينولدز $R_e \leq 2320$

تحسب المقاومة الهيدروليكية من معادلة ستوكس التالية:

$$\lambda = \frac{64}{R_e} \qquad (19\text{-}2)$$

وتكون قيمة الثوابت في معادلة ليبنزون / $\beta = 4.15\ s^2$, $m=1$

II) في حالة الجريان المضطرب وفي حالة الاحتكاك الناعم، أي عندما يكون عدد رينولدز:

$$2320 \leq R_e \leq \frac{10}{K_E}$$

تحسب λ من علاقة بلازيوس:

$$\lambda = \frac{0.3164}{\sqrt[4]{Re}} \qquad (20-2)$$

وتكون قيمة الثوابت في معادلة ليبنزون : $\beta = 0.0246\ s/m^2$, $m=0.25$

حيث أن :

K_E - الخشونة النسبية لجدران الأنابيب وتحسب من العلاقة:

$$K_E = K/D_i \qquad (21\text{-}2)$$

حيث أن :

D_i- القطر الداخلي للأنابيب. ، **K**- الخشونة المطلقة.

من أجل الأنابيب الرئيسية تقبل عادة $K=0.2\ mm$

III) في حال الجريان المضطرب وفي مجال الاحتكاك المخطط أي عندما يكون عدد رينولدز:

$$\frac{10}{K_E} \leq R_e \leq \frac{500}{K_E}$$

تحسب المقاومة الهيدروليكية من علاقة ألتشول التالية:

$$g = 0.11\left\{\frac{68}{R_e} + K_E\right\}^{0.25} \qquad (22\text{-}2)$$

وتكون قيمة الثوابت في معادلة ليبنزون:

$$g = 0.02802 \times 10^{0.125\, lg.K_E - 0.6233} \quad s^2/m \quad , m=0.125$$

IV) في حاله الجريان المظرب في مجال قانون المقاومة التربيعي اي عندما يكون:

$$R_e \geq \frac{500}{KE}$$

تحسب المقاومة الهيدروليكية λ من احدى المعادلتين التاليتين :

$$\lambda = 0.11(K_E)^{0.25} \qquad \text{معادلة شيفرتسون} \qquad (23\text{-}2)$$

$$\lambda = \frac{1}{(1.74 - 2lg2K_E)^2} \qquad \text{معادلة نيكورداسي} \qquad (24\text{-}2)$$

وتكون قيمة الثوابت في معادلة ليبنزون: m= 0 , $\beta = 0.0826 \cdot \lambda \quad s^2/m$

10) الضياع في الضغط : يتم حساب ضياع الضغط الكلي لكل من الأنابيب المفترضة من العلاقة التالية:

$$H = 1.02.i.L_p + \Delta z \qquad (25\text{-}2)$$

حيث أن:

H: ضياع الضغط بالاحتكاك على طول الأنبوب، m

1.02 : معامل يأخذ بعين الاعتبار ضياعات الضغط نتيجة المقاومة المحلية (اكواع، صمامات) .

L_p : الطول الحسابي (يؤخذ عادة من المخطط المصغر لخط الأنابيب). فيما لو كان على الخط نقطة قمة يجري بعدها النفط بفعل الثقالة فإن الطول الحسابي يؤخذ من بداية الأنابيب وحتى هذه النقطة ، m

Δz : الفرق الجيوديزي بين نقطتي البداية والنهاية ، m

11) ارتفاع الضغط الحسابي لمحطات الضخ : يحسب من المعادلة التالية(للمحطة الواحدة)

$$H_{st} = mp \,.\, hm$$

وعند ذلك يجب أن يتحقق الشرط في العلاقة (2-10) وفي حال عدم تحقق هذا الشرط أي أن ارتفاع الضغط الحسابي يفوق ارتفاع الضغط المسموح به كحد للمتانة عند ذلك يحسب ارتفاع الضغط الحسابي لمحطات الضخ من العلاقة التالية:

$$H_{st} = \frac{p_\sigma}{\rho \times g} - h_n = m_p \times h_{mo} \qquad (27\text{-}2)$$

حيث أن:

m_p: عدد المضخات في المحطة الواحدة.

h_{mo} : ارتفاع ضغط المضخة الرئيسية بعد صقل دولاب المضخة. m

h_n :ارتفاع ضغط المضخة المساعدة،m

ملاحظة : عند الحسابات الاقتصادية تؤخذ $m_p = 3 + 1$ على أساس أن تبقى مضخة احتياط

12) عدد محطات الضخ الحسابي: يحسب عدد محطات الضخ الحسابي من العلاقة التالية:

$$n_p = H - \frac{NE(h_n - h_{kn})}{H_{st}} \qquad (28\text{-}2)$$

حيث أن:

H: ضياع الضغط.

NE : عـدد أقســام الأنابيب المستثمرة، تصميميا ويختار طول القسم الواحد المستثمر من 800-400 كم وهذا تابع لطبيعة المنطقة. غالباً ما تحد كل قسم من الطرفين محطات ضخ مع خزانات تجميع.

h_n : ارتفاع ضغط المضخات المساعدة.

h_{kn} : ارتفــاع الضــغط المتبقي في نهاية خط الأنابيب واللازم لتأمين إيصال النفط إلى الخزان أو لتأمين ضغط سحب لمضخات المحطة التالية.

من أجل المضخات الضعيفة أو المتوسطة الغزارة يكون $h_n = h_{kn}$ والمعادلة (8-28) تصبح كما يلي مع اعتبار أن NE=1 :

$$n_p = \frac{H}{H_{st}} \qquad (29\text{-}2)$$

حيث أن:

n_p : عدد المحطات وغالباً ما يكون كسري يمكن جبره نحو العدد الأكبر كما يمكن جبره نحو العدد الأصغر. في حال جبر عدد المحطات نحو العدد الأكبر أي أن العدد الصحيح $n_c > n_p$ فإن صلابة دواليب المضخات يمكن أن يخفض ارتفاعه ضغط محطات الضخ حتى H_{st}^* الذي يحسب من المعادلات التالية:

$$H_{sT}^* = \frac{H - NE(h_n - h_{kn})}{n_e} \qquad (30\text{-}2)$$

$$H_{ST}^* = \frac{H}{n_c} \qquad (31\text{-}2)$$

في هذه الحالة يجب الأخذ بعين الاعتبار متانة الأنابيب.

من جهة أخرى فيما لو جبر عدد المحطات نحو العدد الأصغر أي أن $n_c < n_p$ في هذه الحالة سوف تظهر ضرورة زيادة الضغط والذي يمكن أن يعالج عن طريق تركيب وصلات موازية.

من جهة أخرى وفي حال كون $n_c > n_p$ فإنه عوضاً عن جلخ دولاب المضخة يمكن رفع الإنتاجية بدون خفض الضغط، حيث يمكن رفع الغزارة إلى Q^* بحسب المعادلة التالية:

$$Q^* = Q\left(\frac{n_c}{n_p}\right)^{\frac{1}{2-m}} \qquad (32\text{-}2)$$

من جهة أخرى إذا كانت كمية النفط لا تسمح بزيادة الغزارة من Q\ إلى Q^* فإنه من الممكن استخدام وصلة بقطر أصغر من قطر الأنبوب الرئيسي.

وفي الحالة الثانية وعندما يدور عدد المحطات إلى الأصغر $n_c < n_p$ عندها

ومن أجل المحافظة على غزارة النفط Q يجب التفكير بوضع وصلة

موازية X_L أو وضع وصلة على امتداد خط الأنابيب بقطر أكبر من قطر

الأنبوب وبطول X_B

معادلة توازن الضغوط:

إن معادلة توازن الضغوط لخط أنابيب مقطعه ثابت ودرجة حرارة السائل

ثابتة تكتب كما يلي:

$$\frac{p_1}{\rho.g} + nH_m = h_l + \Delta_Z + \frac{p_2}{\rho.g}$$

حيث أن:

$\frac{p_1}{\rho.g}$: ارتفاع الضغط في خط سحب المحطة ويرمز له بالرمز Δ_{h1} ، m .

n: عدد المضخات.

H_m :ارتفاع ضغط المضخة الواحدة، m.

h_1 :ارتفاع الضغط الضائع بسبب الاحتكاك، m.

Δ_Z : فرق المناسيب بين بداية ونهاية خط الأنابيب $(\Delta_Z = Z_2 - Z1)$ ، m

$\frac{p_2}{\rho.g}$ ارتفاع الضغط المتبقي في نهاية الخط ويمكن أن يعادل مستوى السائل

في الخزان الذي يستقبل النفط ويرمز له بالرمز Δ_{h2} ، m

وتصبح المعادلة على النحو التالي:

$$\Delta_{h1} + n.H_m = h_l + \Delta_Z + \Delta_{h2}$$

ثانيا : توقيع محطات الضخ :

أ) يتم تحديد مواقع محطات ضغط أنابيب النفط على طول المسار بشكل بياني وعلى المقطع الطولي للمسار بمعرفة ما يلي:

1. الميل الهيدروليكي للمسار الأساسي i .
2. الميل الهيدروليكي لأجزاء من المسار ذوات الوصلات الموازية $(i_a \dots \dots i_b)$
٣. ارتفاع الضغط الناشئ من المحطات الأساسية للضخ H_{st}
٤. قيمة ارتفاع الضغط الداخل إلى المحطة المرحلية (ارتفاع ضغط السحب) h_n.
٥. قيمة ارتفاع الضغط الواصل إلى نهاية المسار لأنبوب النفط h_{kn}

ب) جوهر الطريقة البيانية لتحديد مواقع محطات الضخ يمكن تطبيقه على مثال خط أنابيب نفط له ثلاث محطات (رئيسية واثنتان مرحليتان) مع وصلة موازية طولها كما في الشكل (2-3) .

1)نأخذ جزء من المسار بطول (مثلاً 10 أو 100 كم) ونضعه على المقياس الأفقي للوحة بيانية (في الرسم الجزء OP في القسم الأيمن العلوي).

2) نحسب ضياع الضغط بفعل الاحتكاك على الطول وفق المعادلة التالية:

$$h_{\tau lo} = i.L_o \qquad (33\text{-}2)$$

ونضعه على المقياس الشاقولي فتحصل على الجزء OF.

3) بوصل النقطة F مع النقطة P نحصل على خط انخفاض الضغط، ظل زاويته مع اعتبار المقياس الأفقي والشاقولي سيكون مساوياً للميل الهيدروليكي للمسار الأساسي.

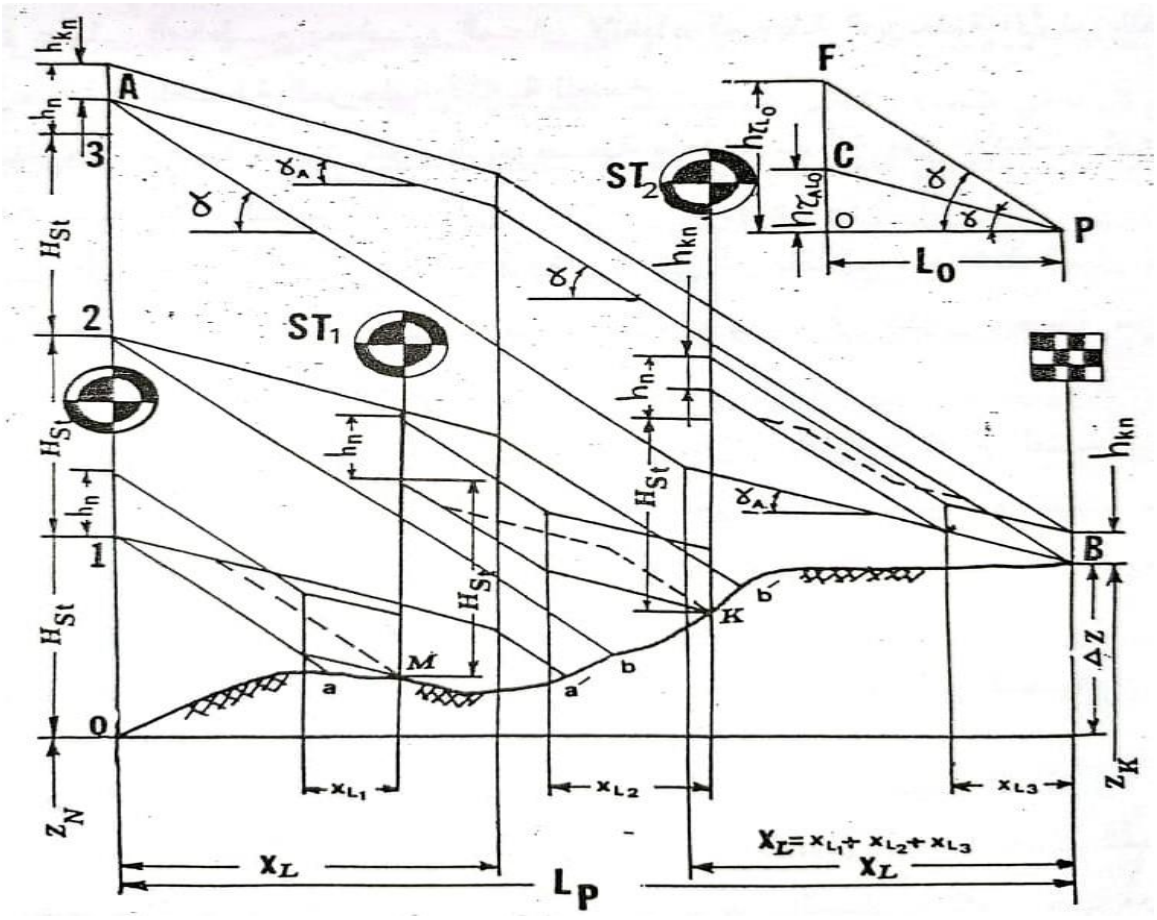
4) نحسب فقدان الضغط للجزء ذي الوصلة الموازية بطول من العلاقة:

$$h_{\tau Alo} = I_A . L_o \qquad (34\text{-}3)$$

وبنفس الطريقة السابقة نحسب الميل الهيدروليكي للجزء ذي الوصلة الموازية وبذلك نكون قد أنشأنا مثلثات الميول الهيدروليكية.

5) من بداية خط الأنابيب (النقطة O) وعلى المقياس الشاقولي نرسم مجموع ارتفاعات الضخ الفعالة المستهلكة لاجتياز كافة المقاومات الهيدروليكية. (الجزء OA)، عادة ما تكون ثلاث مضخات رئيسية ومضخة مساعدة.

$$3H_{ST} + (h_n - h_{Kn})$$



6) نأخذ النقطة Aوالنقطة B(نهاية خط الأنبوب) كنقاط أساسية ونرسم منها خطوطاً موازية للخطوط , CP,FP بذلك إذا كانت الوصلة الموازية بكاملها متوضعة في بداية خط الأنابيب فإن خط انخفاض الضغط سيكون منكسراً في النقطة Iبحسب النقاط AIB ،وإذا كانت الوصلة بكاملها متوضعة في نهاية خط الأنابيب فإن خط انخفاض الضغط سيكون منكسراً في النقطة IIبحسب النقاط AIIB.

7) من النقاط 1,2 (على المقياس الشاقولي وفي بداية خط الأنابيب) ننشئ أجزاء الخطوط البيانية الموازية حتى تقاطعها مع مسار الأنبوب وبذلك الجزء a,a' على المقطع يعطى المجال لإنشاء المحطة المرحلية الأولى للضخ والجزء b', b للمحطة المرحلية الثانية للضخ.

- لنفرض وانطلاقاً من شروط موضعية محددة – أنه من الأفضل توضيح محطات الضخ في النقاط K, M .

8) مـن النقطة M ننشئ خطأ بزاويةγ_A إلى أن يتقاطع مع خط الميل بدون وصلة -1 a ونحدد أنه في نهاية الجزء الأول يجب أن تكون وصلة موازية بطول X_{LI}.

9) ومـن النقطة M وفي المقياس الشاقولي نرسم قيمة ارتفاع الضغط H_{ST} الناشـئ مـن المحطـات الأساسية للمحطة المرحلية الأولى . وبإنشاء مماثل يحصل لدينا أنه يمكن توضيح المحطة المرحلية الثانية في النقطة K بشرط أن يكون في نهاية القسم الثاني وصلة موازية بطول X_{L2}

10) لأجل المحطة النهائية ارتفاع الضغط سيكون أعلى نسبياً وبالتحديد:

$$\boldsymbol{H_{ST} + (h_n - h_{kn})}$$

و من أجل ذلك ومن النقطة K وبالمقياس الشاقولي نرسم القيمة المذكورة آنفاً،

وبإنشـاء بياني مماثل لما سبق نحصل على أن ما تبقى من الوصلة الموازية X_{L3} يجـب أن تتوضع في نهاية الجزء الثالث من المسار ، كما يجب مراعاة الشرط التالي:

$$\boldsymbol{X_L = X_{l1} + X_{L2} + X_{L3}} \qquad \textbf{(35-2)}$$

11) نضيف قيمة ارتفاع ضغط المضخات المساعدة h_n والتي تنتقل من محطة إلى أخرى.

ملاحظات:

(1) الوصلة الموازية يمكن وضعها في بداية المسار (الخط المنقط على الجزء الأول واعتباراً من النقطة M).

(٢) الوصـلة الموازية يمكن وضعها في أي مكان من المسار (الخط المنقط على الجزء الثاني ومن النقطة K).

(3) الوصلة الموازية وعلى كل جزء من المسار يمكن توزيعها في عدة أماكن شرط أن تحقيق نفس الطول (الخط المنقط على الجزء الثالث) في كافة الأحوال يبقى الطول الكلي للوصلات الموازية ثابتاً.

(4) في حال الضخ الدوري فإن توزيع محطات الضخ يتم بالغزارة الكبرى.

(5) لـدى حسـاب مقاومة الأنبوب يؤخذ بعين الاعتبار قيمة ارتفاع الضغط المساوية إلى $H_{ST} + h_n$

ج) في حال وجود محطات ضخ وبعدد كبير، فإن الطريقة سابقة الذكر تعتبر كبيرة الحجم، الأمر الذي يؤدي إلى عدم الدقة العالية في الرسم،

وفي هذه الحالة ولأجل تعيين أماكن توضع المحطات يعتمد الأسلوب التالي:

1. انطلاقاً من الطول العام لمسار الأنابيب ومن الأنظمة الفنية للتصميم توزع كمية محطات الضخ على الأقسام المستثمرة.

2. في المقياس الشاقولي وفي بداية مسار الأنابيب تنشئ قيمة ارتفاع الضغط H_{ST} الناشئ عن المحطات الأساسية كما في الشكل (2-4)

3. نحسب زوايا الميل لخطوط انخفاض الضغط كما تبين في الطريقة السابقة من المثلث الهيدروليكي (الرسم السابق الزاوية العلوية) وفق ما يلي:

$$tg\gamma = \frac{OF}{OP} \cdot \frac{h.\tau_{lo}.m_y}{L_o.m_x} = i.\frac{m_y}{m_x} \qquad (36\text{-}2)$$

حيث أن:

- m_x, m_y المقياس الشاقولي و الأفقي لمخطط مقطع المسار المصغر. ومنه نحصل على زاوية ميل خط انخفاض الضغط للمسار الأساسي:

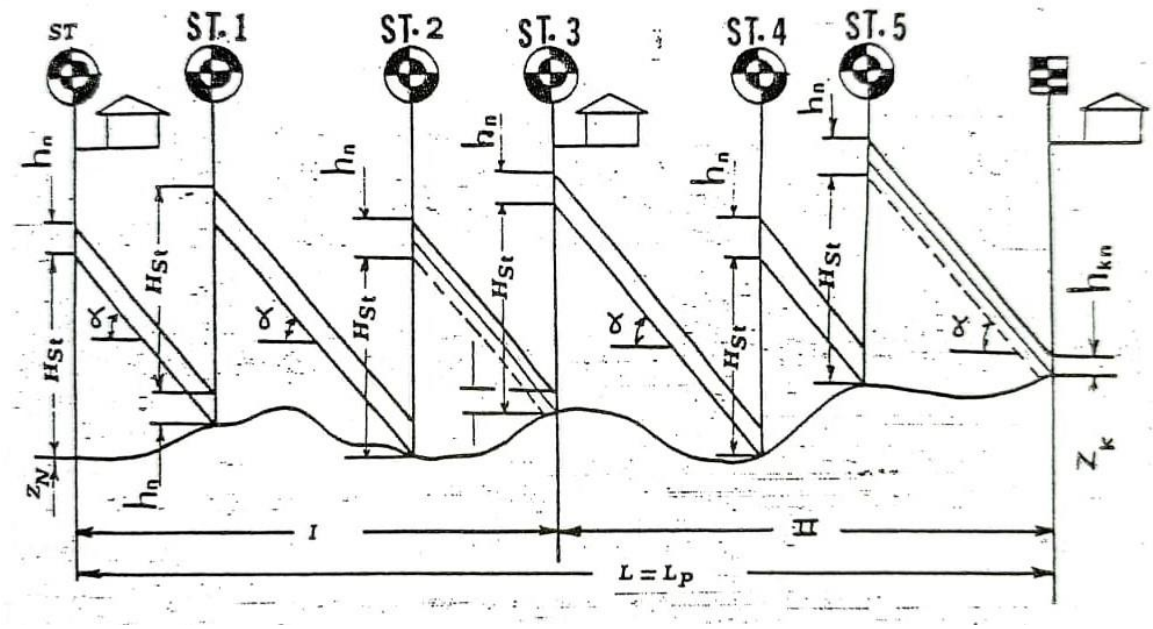
$$\gamma = arc_{tg}(\frac{i.m_y}{m_x}) \qquad (37\text{-}2)$$

وبـنفس الطريقة نحسب زاوية ميل خط انخفاض الضغط للوصلات الموازية كما يلي:

$$\gamma_A = arc_{tg}\left(\frac{i_A.m_y}{m_x}\right) \qquad (38\text{-}2)$$

وهذه العلاقة صحيحة لأجل الوصلات الموازية .

الشكل (2-4)



4. نرسم خط انخفاض الضغط على الجزء الأول من المسار بزاوية P إلى أن يتقاطع مع مسار الأنابيب ونقطة التقاطع تعطي تحديداً مكان محطة الضخ المرحلية الأولى.

5. بطريقة مشابهة يتم تحديد مكان المحطة المرحلية الثانية على الجزء الثاني من المسار.

6. من أجل الجزء الأخير من المسار نعتمد ارتفاع الضغط التالي:

$$H_{ST} + (h_n + h_{kn})$$

ونقطة تقاطع خط انخفاض الضغط مع مسار الأنابيب تعطي بداية القسم المستثمر الناتج من المسار، الشكل (2-4)، النقطة وS_{t3} وهنا يجب إنشاء محطة للتخزين.

7. في نفس الوقت ومع إنشاء الخطوط البيانية نحسب مجموع أطوال الأجزاء وندقق طول القسم المستثمر.

8. نضيف إلى ضغط المضخات المختارة ضغط محطة السحب الأولى وعندئذ نرسم خطوطاً موازية والتي ستبين توزع الضغوط على مسار الخط المستثمر.

يمكن اتباع هذا الأسلوب وبنفس الطريقة لكل قسم مستثمر.

♦ ملاحظة:

على الشكل (2-4) تم توضيح مسار الخط دون وصلات موازية وهذا الاحتمال ممكن في حال كمية كبيرة من المحطات n_c مع الجبر نحو القيم الأعلى إذا ما تم جلخ المضخات (جلخ دولاب المضخة) وهذا ما يضمن الانخفاض البسيط للضغط الحسابي المعتمد H_{ST} وفي حال عدد قليل للمحطات فإن قيمة جلخ المحطات تخرج عن الحدود المسموح بها.

د) تحديد مواقع المحطات طريق بيانية يخضع للتحليل والتوافق مع متطلبات إضافية مدرجة في الأنظمة المقررة للتصميم مع مراعاة الظروف الموضعية.

مثلاً: إذا تبين أن الموقع المحدد بيانياً للمحطة يقع في مكان مستنقع أو بحيرة أو نهر فيجب إزاحة هذا الموقع إلى مكان آخر.

أيضاً إذا تبين أن هناك خط أنابيب موازياً مستثمراً فمن المفضل استخدام المحطات الموجودة عليه . **كما أنه يجب مراعاة توضع المحطات ببعد كاف عن الأماكن السكنية.**

هذه الأمور وغيرها تستدعي إزاحة مكان المحطة بسبب أو لآخر.

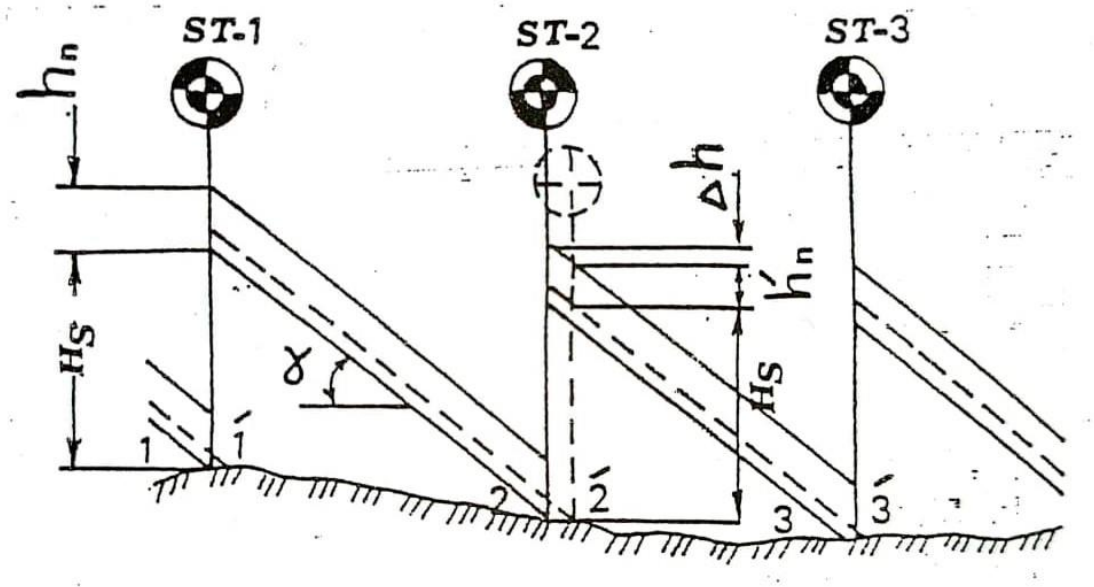
ا- إزاحة المحطة يمكن أن يتم على حساب تغير ارتفاع ضغط المضخات :

مثلا إذا كان ارتفاع ضغط السحب المطلوب 65m، فإنه يمكن استعمال مضخة سحب ذات ارتفاع ضغط يعادل 115 m والفرق في ارتفاع الضغط يمكن الاستفادة منه في مسألة إزاحة المحطة.

في الشكل (2-5) الأرقام '3-3, '2-2, '1-1 تعطي مجال توضع محطة الضغط S_t في موقعها الجديد.

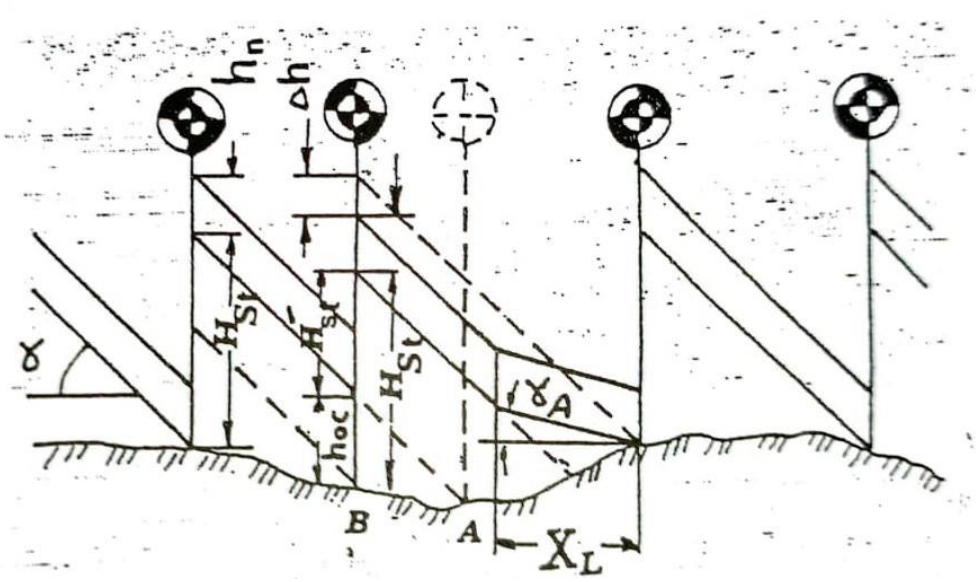
فإذا دعت الضرورة لنقل المحطة إلى النقطة 2 فإن إجمالي ارتفاع الضغط للمحطة يقل بمقدار Δ_h و الضغط في المحطة التي قبلها أو بعدها يبقى ثابتاً.

الشكل (2-5)



II. إذا كانت الإزاحة ذا تبعد كبير تدعو الضرورة إلى إنشاء إما وصلة موازية أو وصلة بقطر أكبر. لنفرض أن الضرورة تستدعي نقل المحطة من النقطة A إلى النقطة B كما في الشكل (2-6)

الشكل (2-6)



بإنشاء خط من النقطة B وبزاوية γ_A وتمديده حتى يتقاطع مع خط انخفاض الضغط للمسار الأساسي، يمكن حساب طول الوصلة الموازية X_l. أما حساب الزاوية γ_A فيتم وفق العلاقة التالية.

$$\gamma_A = arc_{tg}\left(\frac{i_A . m_y}{m_x}\right) \qquad (39\text{-}2)$$

وعندئذ ارتفاع ضغط المحطة يقل بشكل ظاهر إلى قيمة H'_{ST}

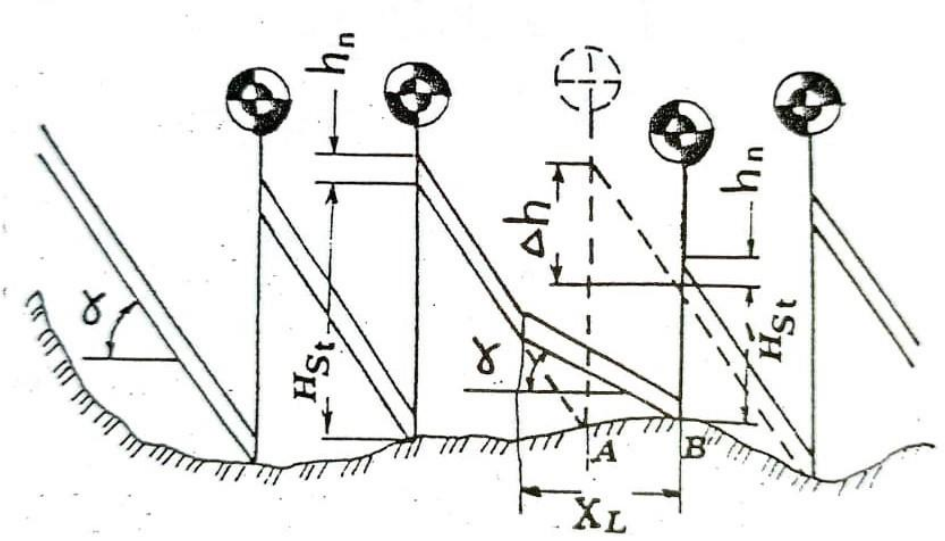
III. إذا كانت إزاحة المحطة باتجاه قريب إلى بداية خط النفط فإن ارتفاع ضغط المحطة يرتفع على حساب الضغط غير المستخدم في الجزء المتوضع قبلا h_{oc} وهذا ما يوضحه الشكل(2-7) .

بـنقل المحطة A إلى B وهـنا إذا كانت مقاومة أنبوب النفط تتقبل ارتفاع الضغط فـإن إزاحة المحطة يمكن استثماره بالضغط العالي وغالباً ما تدعو الحاجـة إلى تخفيض ارتفاع الضغط إلى قيمة H'_{ST} بحيث القيمة H_{ST} تبقى ثابتة وتساوي:

$$H_{ST} = H'_{ST} + h_{oc} \qquad (40\text{-}2)$$

وهـنا تستدعي الضـرورة لإنشاء وصلة موازية بطول X_l ويمكن حسابها بالإنشاء البياني كما ذكر سابقاً.

الشكل (2-7)



وإذا مـا دعـت الضرورة وانطلاقاً من معطيات فنية ما للحفاظ على ارتفاع الضـغط حتى المستوى H_{ST} (وليس H'_{ST}) فإنه يمكن تخفيض فرق ارتفاع الضغط انطلاقاً من المحطة السابقة (الخط المنقط من النقطة B) .

وبذلـك ولدي إزاحة محطة الضغط تستدعي الضرورة تخفيض ارتفاع الضغط بمقدار Δ_h، شكل (2-7)، وهذا التخفيض يمكن تأمينه بالطرق التالية :

* جلخ المضخات العاملة بعضاً أو جملة في المحطة إذا كانت: $h_m > \Delta_h$.

* إلغاء إحدى المضخات في المحطة وجلخ بقيّة المضخات العاملة إذا كانت: $h_m <$ Δ_h.

ثالثاً: إنشاء وتركيب الأنابيب:

عــند اختيار مسار الأنابيب يراعى عادةً الابتعاد عن المناطق المحتملة لتوسع المــدن والمناطق الصناعية التي يمكن أن تتعارض مع مسار خط الأنابيب، كما أنه من المستحسن إلا يتعرض مسار الأنبوب مستنقع أو أراضي رطبة أو سكك حديدية مكهربة .

يحفــر الخــندق المناسب للقطر المدروس بحيث يمكن من إنزال الأنبوب إلى القعــر دون اللجوء إلى حني الأنبوب ما أمكن، وبحيث يستفاد من مرونة الأنــبوب وانحنائه تحت وزنه الذاتي. يجب أن ينخفض ظهر الأنبوب عن مســتوى السطح بقيمة تتناسب مع طبيعة المنطقة المختبرة لجمــع الجــدول (1-2)، أما عرض الخندق من الأسفل فيجب أن يكون كافٌ لاستلقاء الأنبوب بشكل مريح. ونورد في الجدول التالي أمثلة عن عرض الخندق:

الجدول رقم (2-9)

قطر الأنبوب ، in	4	6	8	10	12	14	18	22
عرض قاعدة الخندق ، in	12	18	20	24	28	30	32	36

يجــب أن يكون الخندق المنجز خالياً من الصخر أو الكتل الطينية أو الترابية الصلبة أو الجذور الممتدة أو النتوءات التي تؤذي التغليف عند إنزال الأنبوب في الخندق، حيث يجب ترك طبقة من التربة الرخوة في أسفل الخندق لتشكيل وسادة للأنابيب.

ارتفــاع الوسادة يجب إلا يقل عن 10 cmوتتكون عادةً من التربة الرخوة أو الــرمل بحيــث تمر من منخل أبعاده 1 cm، ثم يوضع الأنبوب ويغطى من ارتفاع الوسادة يجب ألا يقل عن 10 cm وتتكون عادة من التربة الرخوة أو الرمل بحيث تمر من منخل أبعاده 1 cm، ثم يوضع الأنبوب ويرفع من الجوانب والأعلى بردميات منخولة لا يزيد قطرها عن 2.5 cm بحيث ترتفع أكثر من 20 cm فوق سطح الأنبوب ثم يكمل ردم الخندق بردميات لا تحتوي على جلاميد صخرية وبعدها الأعظمي 25 cm.

o اللحام:

يتم لحام خطوط الأنابيب على السطح وهذه المرحلة من أهم مراحل تشييد الأنبوب إذ يجب أن يكون عمال اللحام مؤهلين لهذا العمل، وأن يتم اللحام بحسب المواصفات العالمية مع مراعاة أن تتمتع قضبان اللحام بمواصفات دقيقة مناسبة لمعدن الأنبوب ويتم تنظيف السطوح المعدة للحام ويتم فحص اللحام بواسطة التصوير الشعاعي أو ببعض الطرق الأخرى مثل الأشعة فوق الصوتية.

• تنظيف اللحام:

بعد إنهاء عملية لحام الخط ينبغي تنظيفه من التربة وشظايا اللحام وحواف اللحام الخشنة والصدأ غير الثابت. يزال النفط والشحم المتوضع على الأنبوب بغسلهم بمذيب النفتا مثلاً. أما النتوءات والحواف الحادة فيمكن أن تؤدي إلى فساد التغليف لذلك يجب أن تزال بالمبرد أو بالصنفرة.

من الجدير بالذكر أن التنظيف والتغليف المزدوج يتم إنجازها بشكل توافقي وتحتوي الآلة المخصصة لذلك على صفين من الفراشي الدوارة بشكل عكسي.

• التنظيف والتغليف:

يطلى سطح الأنبوب النظيف الجاف بالبرايمر بآلة التنظيف والتغليف ويراعى أن يكون سطح الأنبوب جافاً وخالياً من الندى أثناء التنظيف والتغليف. يتم لف الشريط البلاستيكي (شريط بلاستيكي حساس الضغط) والغلاف الخارجي بشكل لولبي في نفس الوقت باستخدام الآلة التي يتم ضبطها بحيث تؤمن الشد الموصى به. ويجب أن تتم عملية لف الشريط البلاستيكي والغلاف الخارجي بلطف وبدون تجعدات وفراغات.

الغلاف الخارجي غير اللاصق يثبت عند بداية ونهاية كل لفافة باستعمال شريط تثبيت بلاستيكي بعرض 2.5 cm. ويتم التأكد من سلامة التغليف ويصلح أي عيب في التغليف.

•الإنزال:

ينبغي إدخال الأنابيب داخل الخندق فور الانتهاء من التغطية والتغليف وذلك بمساعدة تراكتورات مزودة بمنصة صغيرة نقالة تسير خلف الناقلة، ويتم حمل الأنبوب بواسطة أحزمة قماشية لضمان سلامة التغليف. إذا لم ينزل الأنبوب إلى الخندق فور الانتهاء من عملية تغليفه يجب وضعه على أكياس من النشارة الخشبية لتأمين وسادة لصد الصدمات.

•اختبار الضغط النهائي:

بعد أن يتم إنجاز خط الأنابيب يجب أن نختبره هيدروستاتيكياً لمدة 24 ساعة عند ضغط لا يقل عن 125% من ضغط التصميم الداخلي الأعظمي آخذاً بعين الاعتبار أية حدود يفرضها بروفيل الخط وموقع صمامات الخط الرئيسي. إذا حدث تسرب أو صدع فإنه يجب إعادة اختباره بعد إصلاحه. لاجتياز اختبار الضغط النهائي بشكل ناجح فإن الخط يجب أن يحافظ على ضغط الاختبار لمدة زمنية قدرها 24 ساعة بدون تغير يذكر في الضغط غير ذلك التغير العائد إلى تغير درجة الحرارة. عادةً يتم الاختبار الهيدروستاتيكي للأنابيب باستخدام الماء فيما عدا الأنابيب التي تعمل عند ضغوط منخفضة فيمكن استخدام الهواء.

الفصل الثالث: واقع أنبوب نقل النفط السوري الحالي

لمحة تاريخية

باكتشاف النفط في أراضي الجمهورية العربية السورية وظهور ضرورة نقله إلى المصافي (حمص) ولمرفأ التصدير (طرطوس) تم بناء خط أنابيب كراتشوك طرطوس عام 1966.

كـــانت بداية عمليات الضخ من حقل السويدية ، ثم ومع اكتشاف النفط بكمياته التجارية في حقلي الرميلان وكراتشوك تم نقل النفط منها أيضاً.

وقـد قـام بإنشاء هذا الخط الشركة الإيطالية (Sname Progetti)، وبلغ طـول الخط (645.460) كم منها (559.13) كم بين محطة الضخ الرئيسية (تـل عـدس) ومحطة الضخ في حمص، قطر (22) إنش أما الباقي يقع بين محطـة ضخ حمص ومصب طرطوس والذي يبلغ طوله (86.33) كم بقطر (18) إنش وقد تم بناء المنشآت السطحية لجمع ومعالجة النفط ضمن الحقول.

1) المرحلة الأولى:

كان الضخ يتم بواسطة ثلاث محطات ضخ هي: تل عدس – الرقة – حمص وهـذه كـانت كافيـة لـتأمين وصول النفط إلى مصفاة حمص وإلى مصب طـرطوس حيث تجري بعدها عملية تعبئة السفن بواسطة المانيفولد الموجود قـرب الخـزانات عبر خط بري وبحري بطول (5) كم وبذلك يبدأ التدفق بالثقالة.

- **المحطـة الأولى:** هـي محطـة تل عدس وفيها أربع مضخات رئيسية مربوطة على عنفات غازية استطاعة الواحدة 1450 حصان بخاري.
- **المحطـة الـثانية:** في الرقة وفيها أربع مضخات رئيسية أيضا مربوطة على أربع عفات غازية استطاعة الواحدة 1450 حصان بخاري

• **المحطة الثالثة:** في حمص وكان فيها مضختان كهربائيتان ويؤمن لهما الكهرباء من مصفاة حص وقد وافق بناء الخط بناء ثلاث مجموعات من الخزانات في كل من محطتي حمص و تل عدس ، وأصبحت كلها جاهزة للعمل حين انتهاء بناء الخط، وقد تم بناء خزانين في محطة تل عدس سعة كل منها ($20000\ m^3$) وأربع خزانات سعة كل منها ($10000\ m^3$) أما في مصب طرطوس فقد بني أربع خزانات سعة الواحد منها ($20000m^3$) وقد صمم الخط لضخ 4 مليون متر مكعب سنوياً من تل عدس إلى مصفاة حمص وكذلك 2.1 مليون متر مكعب سنوياً إلى مصب طرطوس للتصدير.

وقد صمم الخط لضخ مزيج من الخام كراتشوك بنسبة 15% وخام السويدية بنسبة 85 % و لوزن النوعي لهذا الخام يتراوح بين 0.933 – 0.903 .

2) المرحلة الثانية :

نتيجة زيادة كميات الإنتاج من الحقول تم إنشاء محطتي ضخ في كل من الحسكة وأثرية عام 1973، حيث تم وضع في كل منها أربع مضخات كهربائية خصيصاً لهذه الغاية، كما تم استبدال مجموعتنا الضخ الكهربائيتين في حمص بخمس مضخات وزيدت إمكانيات التصدير في المصب بعد إنشاء مربط ثاني للسفن النفطية الذي يتألف من خط بري وبحري بطول (5) كم و قد بدئ باستثمار المربط الثاني في نهاية الربع الأول من عام 1973 ولكن القصف الوحشي الإسرائيلي أثناء حرب تشرين التحريرية أوقف ذلك وخاصة عندما دمرت معظم منشآتنا النفطية في المصب تقريباً، ولكن بجهودنا الوطنية تم إعادة ضخ النفط من جديد بعد إيقاف النار و بسرعة.

3) المرحلة الثالثة:

وشملت إقامة محطات ضخ جديدة في كل من: تل براك – صباح الخير – الرصافة – سلمية عام 1975- 1974 وفي كل منها أربع مجموعات ضخ كهربائية ، كما أضيفت مضخات جديدة في كل من محطتي / تل عدس والرقة / ثم إضافة قطع موازية الخط الرئيسي بقطر (22) إنش وبطول يبلغ (87.2) كم من تل عدس وحتى حمص كما تم بناء خط جديد بقطر (18) إنش من حمص إلى مصب طرطوس،

وهكذا أصبح عدد محطات الضخ الموزعة على خط كراتشوك – طرطوس تسع محطات هي: تل عدس، تل براك،الحسكة، صباح الخير، الرقة، الرصافة، أثرية، سلمية، حمص.

وفي أواسط عام 1975 تم إيصال خام حقل الجبسة إلى الخط الرئيسي بالقرب من محطة الحسكة وتم زيادة عدد الخزانات في كل من تل عدس وحمص وطرطوس ليستوعب زيادة إنتاج النفط.

تصميم الخط ومحطات الضخ:

ا. خط الأنابيب : مؤلف من أنابيب معدنية أسطوانية ذات مقطع دائري ومصنوعة من الفولاذ من

النوع (XL-52) ذو المواصفات:

- الإجهاد الحديث للمتانة $\delta_b = 46.4\ kg/mm^2$
- الإجهاد الحديث لسيولة المعدن $\delta_t = 46.57\ Kg_f/mm^2$

هذا الخط مدفون في خندق عمقه (1.2 m) وعرضه (0.85 m) وهو مغلف بمادة عازلة تلين بدرجة حرارة (105-115 c^o) ويمر الخط ضمن طبقات مختلفة منها (رملية، غضارية، كلسية، ...).

* جميع أنابيب الخط ممتدة من تل عدس إلى طرطوس من نوع لحام طولاني وفق مواصفات APISLX52 أما الخطوط الموازية لهذا الخط والتي أنشئت عام 1974 لرفع استطاعة الخط وعددها عشر وصلات فتتألف من أنابيب ذات لحام حلزوني وبقطر (22) إنش أما تفريعة الفرات فهي من أنابيب ذات لحام طولاني وبقطر (24) إنش وقد تم وضع صمامين كرويين بقطر (20) إنش في بداية الأنبوب ونهايته وكذلك تم وضع صمام بوجه أعمى على بدايـــة ونهائية الأنبوب لأعمال إضافية في المستقبل حيث يوضح الجدول (3-1) هذه الوصلات العشرة.

* إن سماكات جدران الأنبوب وضغوط للتشغيل (السحب والطرد) موضحة في الجدول (2-3) حسب المحطات. وقد صمم الخط بحيث تبلغ استطاعته القصوى / 13/ مليون طن سنوياً وتقدر الاستطاعة الحالية بـ/8.5/ مليون طن سنوياً.

الجدول رقم (3-2)

الوصلة الاولى	67.8000 km	62.8000 km	بطول 5.0000 km
الوصلة الثانية	76.7000 km	86.0000 km	بطول 9.3000 km
الوصلة الثالثة	89.8000 km	104.600 km	بطول 14.800 km
الوصلة الرابعة	126.345 km	126.945 km	بطول 0.6000 km
الوصلة الخامسة	224.300 km	229.700 km	بطول 5.400 km
الوصلة السادسة	254.200 km	271.400 km	بطول 17.200 km
الوصلة السابعة	376.700 km	383.400 km	بطول 6.7000 km
الوصلة الثامنة	440.000 km	448.800 km	بطول 8.8000 km
الوصلة التاسعة	531.158 km	550.085 km	بطول 19.700 km
الوصلة العاشرة	290.187 km	294.619 km	بطول 4.4320 km

اسم المحطة	النقطة الكيلومترية	الارتفاع عن سطح البحر m	ضغط السحب Kg_f/cm^2	ضغط الطرد Kg_f/cm^2	سماكة الخط إلى المحطة الثانية	كمية للضخ m^3/h
تل عدس	0	478	3-12	45	6.35 – 7.92	1065
تل براك	89	325	لا تعمل	لا تعمل	6.35	----
الحسكة	156	383	5-6	50	6.35	1130-1150
صباح الخير	233	335	3-12	25-45	6.35	----
الرقة	300	360	8	69	7.14-7.92	1350
الرصافة	367	365	3 – 2	25 - 45	6.35	----
أثرية	424	450	8	54 -57	6.35 -8.74	1140
صلبا	483	605	3 -2	25 -45	6.35 -7.14	----
حمص	559	491	1.6ثابت	يوجد خطين إلى طرطوس a -13 b -12	7.94	1350
طرطوس	645	G 120	----	----	----	----

ولحماية الخط ومعنى الأنابيب من التآكل تم ما يلي:

1. تغليف الخط:

أي عزل ذرات المعدن عن التماس المباشر مع التربة ومع المحاليل الكهربائية المنتشرة فيها وبالتالي إيقاف عمليات الأكسدة والإرجاع وعمليات التأين التي تحصل لذرات معدن خط النفط، حيث تم تغليفه وعزله بمادة البيتومين الحارة (المقوى بألياف الفيبركلاس) حيث تم طلاء المعدن بمادة أساس تدعى (برايمر) بعدها تصب مادة البيتومين الحارة وتقوى بألياف زجاجية لتماسك مادة البيتومين حول خط النفط.

2. الحماية المهبطية:

للتغليف عمر محدد وبعدها تبدأ عازلية هذه المواد بالهبوط شيئاً فشيئاً لذلك يتم الاستعانة بحماية أخرى لمساعدتها و يبقى الهدف الأكبر هو عدم أكسدة المعدن وبالتالي عدم تأكله. الحماية المهبطية هي جعل خط أنابيب النفط مهبطاً والاستعانة بمواد أخرى لجعلها مصعداً وبالتالي تأكل ذرات المصعد وحماية المهبط وبمعنى آخر حماية معدن المهبط على حساب تأكل المصعد. ومبدأ الحماية المهبطية هو تسليط تيار كهربائي ساكن على خط النفط بدلاً من أن يكون من معدن خط النفط إلى التربة.

توجد على خط الأنابيب (28) محطة حماية مهبطية على طول الخط يتم تغليف الخط بطبقة من الإسمنت المسلح عند مروره ضمن معابر الأنهار والوديان ويتم حمايته بقمصان معدنية ضمن تقاطعات الطرق العامة والسكك الحديدية.

II. محطات الضخ:

أ. المحطات القديمة (تل عدس – الرقة):

محطة الضخ في تل عدس: تقع في بداية خط الأنابيب وتقسم إلى جزأين أساسيين أولها يتضمن محطة إزالة المياه والأملاح حيث يتم فيها تجميع النفط الخام المنتج من كافة الحقول عبر الخطوط الرئيسية الواردة من محطات التجميع كما يتم معالجة النفط الخام وذلك لفصل الغاز و المياه والأملاح باستخدام الطريقة الكيميا – حرارية وتهدف هذه العمليات إلى رفع جودة النفط الخام وتحقيق المواصفات التجارية المقبولة، وكذلك المواصفات المطلوبة لضخه عبر الأنابيب

أما الجزء الثاني فهو عبارة عن محطة ضخ يتم بواسطتها ضخ النفط إلى مرفأ طرطوس عبر خط كراتشوك – طرطوس وتشكل هذه المحطة مساحة بحدود ($80000\ m^2$) وأول إنشائها كان فيها (4) مضخات رئيسية مربوطة على عنفات غازية، استطاعة الواحدة منها (450) حصان بخاري ثم إضافة مضخات جديدة ذات نظام يعتمد على المحركات الكهربائية لتحريك المضخات الجديدة نوع وثنكتون (Louw-14).

تعمل المضخة حسب النظام الأول (توربينات غازية لتحريكها) على التسلسل

أو التفرع حسب الحاجة إلى ضغط عالي أو منخفض، أما مضخات النظام

الثاني فهي تعمل على التفرع كل مضخة من هذا النظام مع مجموعة من النظام الأول.

يمكن التحكم بالضغط والكميات بواسطة سرعة العنفات وبعدد العنفات المشغلة على التسلسل في كل محطة، أما فيما يتعلق بالتحكم بضغط وتدفق الخام من خلال المضخات الكهربائية، فإن هذا ممكن بواسطة صمام تحكم موجود على خط الطرد العام لهذه المضخات.

وبالنسبة لمحطة ضخ الرقة فينطبق عليها الكلام السابق نفسه عن محطة تل عدس.

ب. المحطات المتوسطة:

هي المحطات المركبة على مسار خط الأنابيب بعد المرحلة الأولى لرفع

الاستطاعة وهي: تل البيضا – أثرية – حصن الجديدة

يعتمد نظام الضخ في هذه المحطات على المضخات التي تدار بواسطة محركات كهربائية باستطاعة (1600 Kw) والتي تغذى بالكهرباء من عنفات توليد الكهرباء الموجودة في، (تل البيضا - أثرية) أما حمص فتغذى بالكهرباء من الشبكة العامة.

أما التحكم بالكميات والضغوط من هذه المحطات فيتم بواسطة صمام تحكم يدوي أو آلي يمكن تشغيله من لوحة المراقبة.

ج. المحطات الجديدة:

التي ركبت على مسار خط الأنابيب بعد رفع الاستطاعة في المرحلة الثالثة وهي (تل براك – صباح الخير – الرقة – سلمية). في هذه المحطات أعتمد النظام الكهربائي لتشغيل المضخات العامة على التفرع، إن شروط تشغيل المحطات الجديدة **هذه تختلف إلى حد ما عن شروط تشغيل باقي المحطات بما يلي:**

1) إن خطوط سحب هذه المضخات تتحمل ضغوطاً أعظمية تعادل 48 Kg/Cm^2 وصمامات الأمان على الخط معايرة عند الضغط (44 Kg/Cm^2)

2) من منحنى عمل مضخة وثنتكون نرى أنه أثناء إقلاع المضخة يصل فرق الضغط على المضخة إلى ما يقارب (70 Kg/Cm^2) فإذا علمنا أن الضغط الأعظمي الذي تتحمله المضخة (112 Kg/Cm^2) وكذلك حتى لا يتجاوز الحد الذي تتحمله صمامات الطرد (111 Kg/Cm^2). وأن حماية المضخة معايرة على الضغط (110 Kg/Cm^2) لذلك فإنه من الضروري تخفيض الضغوط المارة في المضخات الجديدة إلى ما دون (37-38 kg/Cm^2 كي يمكن إقلاع المضخات بأمان.

3) إن التحكم بالضغط في هذه المحطات يتم بصورة آلية كاملة بواسطة جهاز يأخذ الإشارة من المصادر التالية:

* سحب المحطة العاملة.
* الطرد العام للمحطة.
* فرق الضغط عبر المضخة.

وبعملية مقارنة لهذه الإشارات فإن الجهاز (لاتوسلكتور) يختار أكبر إشارة ويرسلها إلى صمام التحكم ليفتح ويغلق حسب الحاجة ولا بد من الإشارة إلى وجود شبكة اتصالات لتأمين الاتصال فيما بين محطات الضخ المنتشرة على طول الخط.

لمحة عن وضع الخط الحالي:

وضع الخط في الخدمة والاستثمار في العام 1968 وما زال في الخدمة حتى الآن دون توقف إلا في حالات الطوارئ والإصلاحات والتغليف الخارجي للخط ونتيجة للزمن الطويل والتماس بينه وبين التربة الأكالة (غضار، ملح، كبريت) **فقد تم تغليف بعض المناطق من الخط بمواد جديدة عبارة عن ثلاث طبقات:**

- **الطبقة الأولى:** عبارة عن شحم مصنوع من المواد الهيدروكربونية حيث تم طلاء معدن الأنبوب منه.
- **الطبقة الثانية:** عبارة عن خيش مطلى من الوجهين بمادة الشحم.
- **الطبقة الثالثة:** عبارة عن مادة أو لفائف من مادة الـ P.V.C وهي مادة صناعية غير لاصقة هدفها حماية الطبقة الثانية من الجفاف وفي الوقت الحاضر يتم استخدام لفائف البولي ايثيلين (P.E).

أما الحماية المهبطية لم يتم إجراء أي تعديل عليها وما زالت على وضعها التصميمي منذ تركيبها.

لهذا ونتيجة لعمر الخدمة الطويل للخط فقد نتج عن ذلك ما يلي:

1) تأكل داخلي:

ظهرت بؤر التأكل الداخلي بشكل كبير وعمق يتراوح بين / % 80-70/من سماكة جدران الأنبوب وبمساحات وأشكال مختلفة الأبعاد منها موضعي ومنها طولاني وتتوضع في القسم السفلي من الخط. وأسبابه بشكل عام هي:

- تأكل سطحي داخلي بسبب التأثيرات الكيميائية والكهروكيميائية للأوساط المحيطة بمعدن الأنبوب والتي تعد من الأسباب الرئيسية لتأكل المعدن.
- تأكل داخلي بسبب البنية الكيميائية والفيزيائية للمعدن.
- تأكل داخلي بسبب عوامل مختلفة من سرعة الجريان ونسبة الأملاح المنحلة ودرجة الحرارة وحركة السوائل داخل الأنابيب للخط وعامل الاحتكاك... الخ.

2) تأكل خارجي:

بدأت تتزايد نسبة التأكل الخارجي في هذه الآونة الأخيرة وظهرت العديد من التشققات في تغليف الخط والتآكل في جدران الأنبوب وبأعماق تتراوح بين (80-95%) من سماكة جدار الأنبوب وأسبابه بشكل عام :

1. التأثيرات الكيميائية والكهروكيميائية للأوساط الخارجية المحيطة بالمعدن.
2. تأكل بسبب العوامل الجوية.
3. تأكل بيولوجي بسبب تعرض الخط في بعض المناطق للمياه وهجوم البكتيريا الهوائية واللاهوائية.
4. تأكل بسبب نوعية التربة المحيطة بالخط.
5. تأكل بسبب التغليف الخارجي نظراً لسوء وضعه الفني وذلك بسبب مرور زمن طويل على تركيبه.
6. تأكل بسبب عدم فعالية عمل نظام الحماية أو فصل بعض محطات الحماية.

الفصل الرابع : مواصفات النفط المنقول

إن النفط الخام السوري يندرج تحت تصنيف النفط الإسفلتي الذي يحتوي على نسبة قليلة من الشمع البارافيني. **وهنا نبين بعض مواصفاته:**

درجة الحرارة: ينقل النفط الخام عبر خط الأنابيب دون إجراء أي عملية تسخين عليه من تل عدس إلى طرطوس. وتتراوح الحرارة ما بين **(18 -27 C^o)** وذلك حسب الدراسات التصميمية واختلافها يتبع للظروف الطبيعية والمناخية.

درجة الكثافة الأمريكية (API): حسب معهد البترول الأمريكي وعند درجة الحرارة 60 فهرنهايت تكون بحدود **(23- 25 API) .**

وهنا جدول بمواصفات النفط المنقول مأخوذة من نتائج تحليل النفط في مخبر طرطوس لشهري كانون الأول وتموز للعام 2000

المؤشر / الشهر	المعدل الوسطي API		المعدل الوسطي لنسبة المياه % حجما		المعدل الوسطي لنسبة المياه والرواسب		نسبة الكبريت %
	في الخط	في الناقلات	في الخط	في الناقلات	في الخط	في الناقلات	
كانون الأول	23.86	24.23	1.15	0.06	1.22	0.06	4.04
تموز	23.30	23.97	0.56	0.04	0.58	0.04	4

الجدول رقم (4-1)

المؤشر / الشهر	الوزن النوعي عند 60F	اللزوجة عند 20 c^o CsT	اللزوجة عند 100F^o	نسبة الأملاح PPM	H2S PPM	المياه والرواسب %	تغير نسبة المياه حجما %
كانون الاول	0.9112	60.867	34.003	117-280	201-350	0.3-4	0.3-3.3
تموز	0.9134	66.926	35.14	94-732	210-315	0.1-1.3	0.1-1

الفصل الخامس : عملية سبر الخط ونتائجها

الفحص الداخلي (أسباب أجراءه):

بعد أن مضى أكثر من ثلاثين عاماً على وضع الخط في الخدمة والاستثمار بدأت تحدث تسربات بحدود حالتين أو ثلاث سنوياً نتيجة تعرض الخط لأنواع مختلفة من التآكل، ومع مرور الزمن بدأت تزداد حوادث التسرب المفاجئة، الأمر الذي شكل صعوبة كبيرة من حيث هدر جزء من النفط المتسرب أولاً ووقف عملية نقل النفط الخام المنتج من الحقول ثانياً وغيرها من المشاكل البيئية وخطورة على سلامة العاملين في إصلاح مواقع تسرب النفط، الأمر الذي دعى لتكليف شركة (روزن الهولندية) لتقوم بفحص ومسح الخط الرئيسي.

قامت الشركة بعملية مسح الخط وتم الانتهاء من مسحه عام 1993 وقد استخدمت طريقة التدفق المغناطيسي في عملية السبر حيث يعتمد مبدأ هذه الطريقة على توليد حقل مغناطيسي قوي في جدار الأنبوب بواسطة أقطاب مغناطيسية دائمة، ففي حال كون جدار الأنبوب سليماً ومنتظماً فإن التدفق المغناطيسي سيكون منتظماً أيضاً. أما في حال تواجد عيوب وبؤر تاكلية في الجدار سواءً من الجهة الداخلية أو الخارجية فإن شكل الفيض المغناطيسي سوف يتشوه ويحدث ما يسمى بتسرب الفيض المغناطيسي وهذا ما يمكن تسجيله بواسطة حساسات تتأثر بالحقل المغناطيسي مركبة على جسم الجهاز.

هذا الجهاز عبارة عن كاشط (Pig) يرسل ضمن الأنبوب له ميزات خاصة تمكنه من العبور داخل الأنابيب وتحسس الجدران الداخلية له.

إن التغيرات التي تحصل في التدفق المغناطيسي يتم تحويلها إلى لتغيرات كهربائية تخزن ضمن ذاكرة إلكترونية أثناء سير الكاشط ضمن الأنبوب حيث يتم ترجمتها إلى مخططات وجداول نظامية بمقاسات مختلفة تظهر عليها نتائج الفحص والاختبار وتحدد بدقة مكان وجود البؤر التآكلية مع بيان كونها تآكل داخلي أو خارجي وتحدد مساحة التآكل وعمقه ومكان توضعه على محيط الأنبوب ومكان وجوده على المسار

كما في الجدول رقم (5-1) كما تترجم النتائج إلى مخططات فراغية ثلاثية الأبعاد يظهر عليها عمق التآكل ومكانه.

الجدول رقم(5-1)

الساعة	نوعه	عرضها mm	طول المنطقة المتاكلة mm	سماكة المعدن mm	عمق التاكل %	النقطة الكيلومترية m
5:50	داخلي	16	16	6.35	90	232000.84
7:20	داخلي	21	21	6.35	90	232001.63
5:30	خارجي	40	74	6.35	90	232006.41

(حيث يستخدم نظام الساعة لتحديد مكان بؤرة التاكل)

الفصل السادس : القسم العملي

في هذا الفصل نقوم بالتقييم الهيدروليكي لخط نقل النفط الخام وذلك بعد معرفة ما يلي :

1) تحديد كميات النفط المضخوخة.

2) تحديد ضياع الضغط بين كل محطتي ضخ متتاليتين.

3) تحديد ضغط التشغيل للخط.

4) رسم الميول الهيدروليكية.

5) تحديد ضغوط السحب والطرد للمحطات في وضعها الحالي.

من أجل تحديد كميات النفط المضخوخة والتي ستدخل في حسابات ضياع الضغط بين المحطات فإننا نورد الجدول التالي (6-1) والذي يوضح كميات النفط الداخلة إلى الخط مباشرة من الحقول والتي تضاف إلى الكمية الأساسية المنقولة من تل عدس والواردة في الجدول (3-2).

الجدول رقم (6-1)

اسم للحقل	نقطة الدخول الى الخط	الكمية m^3/ day
تشرين	121	1396
الجبسة	156	4938
الثورة	367	807.5
ديرو	بالصهاريج	1000الى محطة الرقة
وادي عبيد	بالصهاريج	1000إلى محطة الرقة

في حساب ضياع الضغط يلزمنا حساب الزوجة عند الدرجة (12 C°) فقمنا بحسابها عل الشكل التالي:

$$\mu_{20} = 72.02.10^{-3}.P_a.s$$

$$\mu_{38} = 34.41.10^{-3}.P_a.s$$

$$V_{20} = \frac{72.02\times10^{-3}}{912.2} = 7.89\times10^{-5}\,\frac{m^2}{s}$$

$$v_{38} = \frac{34.41\times10^{-3}}{912.5} = 3.77\times10^{-5}\,\frac{m^2}{s}$$

$$U = \frac{1}{t_1-t^*}\,ln\left(\frac{v^*}{v_1}\right)$$

$$U = \frac{1}{18}ln(\,7.89\times\frac{7.89\times10^{-5}}{3.77\times10^{-5}} = 0.041$$

$$V_T = V^*.e^{-U(t-t^*)}$$

$$V_{12} = 7.89\times10^{-5}\times e^{-0.041\times(12-20)} = 1.095\times10^{-4}\ \frac{m^2}{s}$$

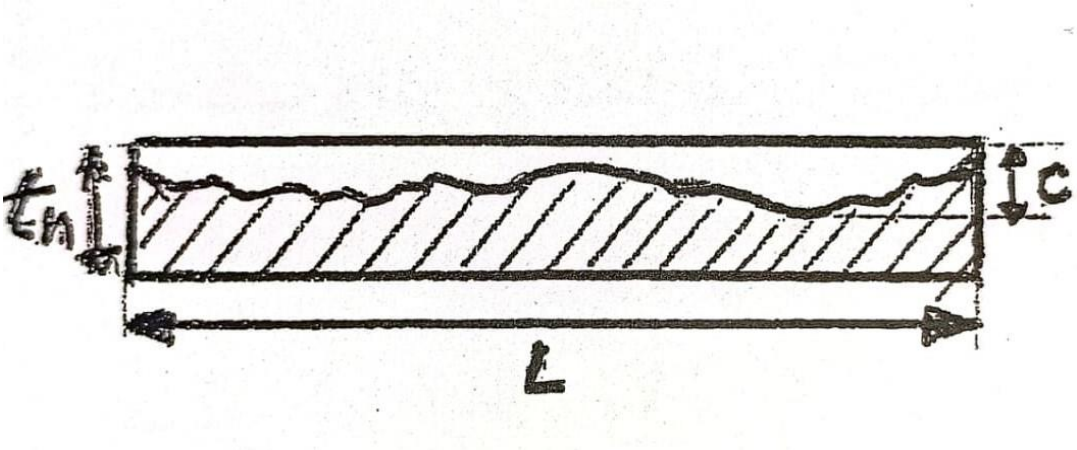
✓ **أما بالنسبة لحساب الضغوط التشغيلية للخط فإن طريقة الحساب تعتمد على (EDITION 1992, ASMEB31.4) وهي جمعية مهندسي الميكانيك الأمريكيين وتتلخص بما يلي:**

إن معدن الأنبوب له سماكة محددة وهذه السماكة تتوافق مع ضغط داخلي محدد تتحمله لا يسمح بتجاوزه ينتج هذا الضغط أثناء تشغيل المضخات.

وباعتبار تأكل الخط في نقاط متعددة فإن سماكة المعدن تتناقص وبالتالي فإن قيمة الضغط الداخلي الأعظمي الذي يتحمله لمعدن تكون اقل.

إن هذه الطريقة تسهم بتحديد الضغط التشغيلي الداخلي الأعظمي لمعدن الأنبوب المتأكل معتمدة على معادلات رياضية وعلى بارامترات نقاط التأكل كما يلي:

إن لكل نقطة تأكل مساحة وعمق محددين يرمز لعمق التأكل الأعظمي بالرمز (C) ويبينه الشكل المجاور:



حيث أن :

-t_n سماكة الجدار الاسمية الأولية mm

L - طول المنطقة المتأكلة . mm

C - أعظم عمق للتأكل . m

إن حساب الضغط التشغيلي الداخلي الأعظمي يتم وفق المعادلة :

$$P_d = 1.1p_i \left(\frac{1-0.67\left(\frac{C}{t_n}\right)}{1-\frac{0.67c}{t_n\sqrt{G^2+1}}} \right)$$

$$G = 0.893 \times \frac{L}{\sqrt{D.t_n}}$$

حيث أن :

D: القطر الاسمي الخارجي للأنبوب . mm

p_d : الضغط الداخلي الأعظمي الجديد المسموح به . psi

p_i : الضغط التصميمي الداخلي المعتمد على السماكة التصميمية لمعدن الأنبوب . psi

تطبق المعادلــة السابقة في حال قيم G < 4 أما عندما يكون G > 4 فنطبق المعادلة التالية :

$$P_d = 1.1.P_i\left(1-\left(\frac{c}{t_n}\right)\right)$$

ويهــذا يتم حساب الضغط الداخلي الجديد للمناطق المتأكلة ليتم تجنب تشغيل الخط بضغط أعلى من هذا الضغط وبالتالي حدوث التسربات .

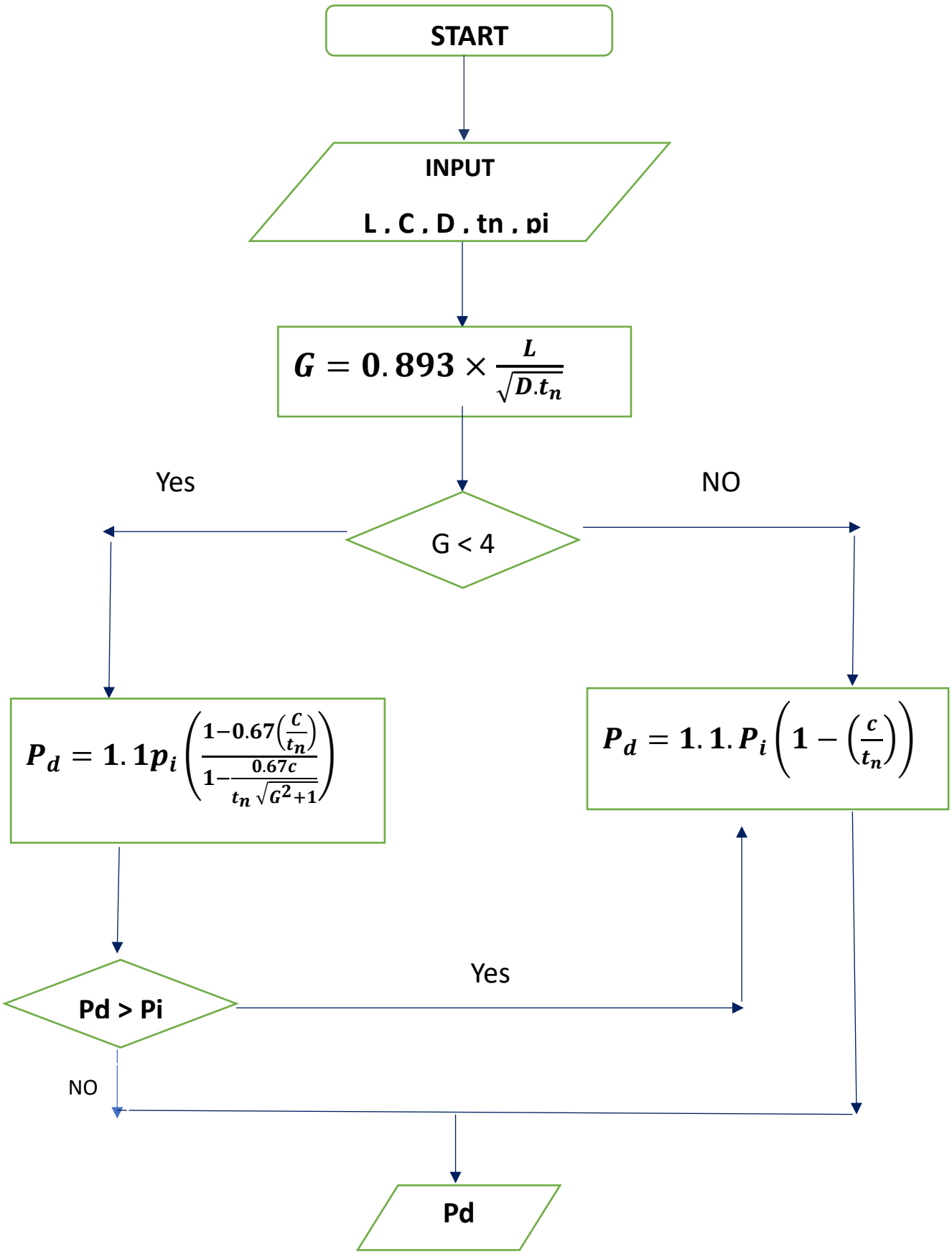
لقد تم تحديد قيم التأكل على طول الخط وذلك لكل (500 m) وحسبنا الضغط الذي يتحمله الخط عند هذه النقطة التآكلية وقمنا بمقارنته مع الضغط التشغيلي الحــالي لــلخط بعــد رسم الميول الهيدروليكية لضغط التشغيل على المخطط الهيدروليكي .

تــم الاستعانة بالحاسوب لهذه الغاية وقمنا بوضع برنامج بلغة (QBASIC) للحساب وندرج فيما يلي المخطط الخوارزمي لهذا البرنامج .

✓ قمنا بحساب ضياع الضغط بين كل محطتي ضخ متتاليتين وذلك بالاعتماد عــلى الغرارات وقيم اللزوجة وقيمة الكثافة للنفط المضخوخ الحقيقية ورسمنا بعد ذلك الميول الهيدروليكية أي خطوط انخفاض الضغط بين كل محطتين والدلال على الضغط التشغيلي للخط وقمنا بمقارنته مع ضغوط تحمل المعدن بعد تأكله.

نتائج حسابات ضباع الضغط بين المحطات مدرجة في الجدول (2_6)

المحطات	Q m^3/h m/s	L Km	Δ_z m	V m/s	R_e	λ	$1 \times^{-3}$	H m	P Atm
تل العدس - الحسكة	1050 0.291	121	-161	1.24	6194	0.0356	5.12	471	42.20
تل العدس - الحسكة	1270 0.41	G35	66	1.31	6558	0.0352	5.68	268	24.09
الحسكة- صباح الخير	1270 0.41	76.185	-50	1.75	8728	0.0322	9.35	676	60.56
صباح الخير- الرقة	1270 0.41	68.315	27	1.75	8728	0.0322	9.35	678	60.77
الرقة - الرصافة	1425 0.395	66.242	5	1.69	8428	0.033	8.79	599	53.65
الرصافة - اثرية	1458 0.405	57.68	89	1.72	8623	0.0328	9.15	623	55.79
أثرية -صلبا	1340 0.372	57.159	125	1.58	7920	0.0335	7.88	584	52.31
صلبا - حمص	1340 0.372	77.549	-84	1.58	5720	0.0335	7.88	539	48.27
حمص - طرطوس	1300/2 0.36/2	11.122	103	1.17	4739	0.038	6.06	171	15.37


START
INPUT
L . C . D . tn . pi
$G = 0.893 \times \frac{L}{\sqrt{D.t_n}}$
Yes
NO
G < 4
$P_d = 1.1 p_i \left(\frac{1-0.67\left(\frac{C}{t_n}\right)}{1-\frac{0.67c}{t_n\sqrt{G^2+1}}} \right)$
$P_d = 1.1.P_i \left(1-\left(\frac{c}{t_n}\right)\right)$
Pd > Pi
Yes
NO
Pd

النتائج و المقترحات

بمقارنة خط تحمل الضغوط رقم (8) المحسوب على اساس نتائج السبر مع خط انخفاض الضغط رقم (9) نجد أن أنبوب نقل النفط الخام السوري في غالبية نقاطه يعمل بضغط تشغيل اكبر بكثير من ضغط تحمل المعدن بسبب التاكل الكبير في هذه النقاط. الجدول التالي وضح المناطق الاضعف في هذا الخط حيث تم ترتيبه حسب النقطة الكيلو مترية .

تسلسل	عمق التأكل %	النقطة الكيلومترية Km
.1	53	6.5
.2	69	57.5
.3	86	60
.4	90	61
.5	84	61.5
.6	90	66.5
.7	64	79
.8	51	79.5
.9	90	80.5
.10	98	81
.11	90	81.5
.12	78	83
.13	90	83.5
.14	51	84
.15	80	85.5
.16	85	87.5
.17	92	88
.18	67	88.5
.19	64	89
.20	91	89.5

.21	93	90.5
.22	84	117.5
.23	64	124.5
.24	61	125
.25	52	126
.26	80	126.5
.27	58	128
.28	53	137.5
.29	63	146.5
.30	91	156
.31	57	161
.32	89	164
.33	94	186
.34	90	189
.35	90	194
.36	92	195
.37	90	195.5
.38	62	198.5
.39	52	199.5
.40	93	233
.41	90	233.5
.42	63	236
.43	83	249.5
.44	80	254
.45	90	256
.46	90	257
.47	90	259
.48	90	260.5
.49	90	270
.50	90	271
.51	90	271.5
.52	90	272

.53	90	275.5
.54	50	277
.55	90	278.5
.56	52	279.5
.57	90	280
.58	90	284.5
.59	90	288.5
.60	90	289.5
.61	53	299.5
.62	65	301
.63	98	303
.64	89	314.5
.65	59	318
.66	52	321
.67	95	322
.68	56	330.5
.69	93	337
.70	98	337.5
.71	70	340
.72	90	343
.73	75	349
.74	55	351.5
.75	68	352.5
.76	57	354
.77	90	355
.78	96	366.5
.79	95	367
.80	58	370.5
.81	81	373
.82	79	374
.83	64	379
.84	54	379.5

.85	65	382.5
.86	73	383
.87	58	385
.88	99	388
.89	62	395
.90	51	399.5
.91	78	424.5
.92	61	425.5
.93	64	426
.94	60	434
.95	73	437
.96	53	440.5
.97	76	443.5
.98	81	444
.99	51	445
.100	67	452
.101	60	452.5
.102	64	456.5
.103	61	464
.104	80	471.5
.105	51	473
.106	97	482.5
.107	55	485.5
.108	81	486
.109	93	488
.110	91	489
.111	97	489.5
.112	87	490
.113	97	492
.114	62	496.5
.115	69	498.5
.116	63	500

.117	70	502
.118	64	504.5
.119	91	506
.120	79	507
.121	97	507.5
.122	67	508.5
.123	83	509
.124	89	509.5
.125	64	511
.126	69	512
.127	61	513
.128	71	513.5
.129	87	514.5
.130	69	515
.131	57	515.5
.132	52	516
.133	64	516.5
.134	93	517.5
.135	76	518.5
.136	54	519.5
.137	83	520.5
.138	59	521.5
.139	53	522
.140	74	522.5
.141	59	524.5
.142	67	525
.143	72	526.5
.144	92	527
.145	59	527.5
.146	51	529
.147	82	530
.148	97	530.5

.149	66	531
.150	57	531.5
.151	56	532
.152	92	533
.153	92	535.5
.154	51	541.5
.155	60	543
.156	52	543.5
.157	68	544.5
.158	72	548.5
.159	94	551.5
.160	98	552
.161	96	552.5
.162	96	553
.163	96	553.5
.164	65	554.5
.165	91	555
.166	53	555.5
.167	72	556
.168	64	557
.169	98	557.5
.170	93	558
.171	91	558.5
.172	57	559

من قراءة الجدول والمخطط نجد أنه للاستمرار في استثمار خط الأنابيب وإطالة مدة استثماره ينبغي يتم بناء خط أنابيب جديد تقترح ما يلي :

I. تشغيل الأنابيب عند الضغوط المنخفضة.
II. تشغيل كافة المحطات المتوقفة بهدف تخفيض الضغوط.
III. تشغيل اللواقط غير العاملة على الخط.

IV. استخدام طرق تخفيض المقاومة الهيدروليكية التي تفيد في تخفيض الضغط بمقدار لا يقل عن (20 %) .

V. إصلاح أو استبدال المناطق التي يصل فيها التأكل إلى نسبة تفوق ال 50%ويحسب مواقع هذه النقاط (والمشار إليها في الملحق) .

- **ونلاحظ أيضاً من قراءة المخطط الهيدروليكي للخط أن التأكل يشتد في المناطق المنخفضة تضاريسياً وهذا يشير إلى تجمع مياه طبقية غير منفصلة بالفواصل الأولية في محطات الضخ الأمر الذي يوضح عدم كفاءة فصل المياه في المحطات. وكمثال نذكر : من النقطة الكيلومترية 254.200 حتى 290 .**

- **من دراسة نقاط التأكل على كامل الخط نجد أن التأكل يتناوب بين داخلي وخارجي ، فأما التأكل الخارجي فأسبابه عديدة منها :**

1. رطوبة الوسط . 2.ملوحة التربة 3. سوء عمل الحماية المهبطية

لذلك وللحد من هذه الظاهرة وبما أن العوامل الطبيعية لا يمكن التحكم بها فإننا نقترح التأكد من عمل كافة محطات الحماية المهبطية على طول الخط باستمرار وإرسال دوريات الحماية المهبطية بشكل دائم على الخط لتفقد عمل هذه المحطات .

أما التأكل الداخلي فإنه يعود حسب موقعه إلى :

1. في المناطق المنخفضة يعود التأكل إلى تجمع المياه الطبقية أسفل الخط .

2. نلاحظ أيضاً أن التأكل في النصف السفلي من مقطع الأنبوب أي في الربعين الثالث والرابع من الخط هو أكبر منه في الربعين العلويين وحدوث التأكل في أحد هذه الأرباع دون الآخر يعود إلى اتجاه جريان النفط حسب طبوغرافية الخط .

- **في حال إصلاح الخط في النقاط التأكلية وحفاظاً على عدم تشوه المعنى فإننا نقترح:**

- عدم اللحام طولانيا
- استخدام الطريقة العالمية باستخدام ضبات مخصصة لهذا الغرض

مراجع البحث

❖ نقل وتخزين النفط والغاز .

د.م. محمد هيثم الجاجة

❖ مشاريع تخرج سابقة .

❖ وثائق شركة نقل النفط الخام السوري :

(Liquid Transportation System For Hydrocarbon , Liquid Petrolume Gas ,Anhydrousammonia And Alcchols)

ASME – American Society of Mechanical Engineers.