تطبيقات على التصميمات الهيدروليكية لخطوط الأنابيب

التطبيق الأول : طريقة حساب الضغط المطلوب عند محطة الضخ

مثال ١ : مطلوب نقل وقود بكمية قدرها ٧٢ متر مكعب فى الساعة خلال خط أنابيب قطره ٦ بوصة Standard weight (STD wt) وطوله ٩٦ كيلومتر

إحسب الضغط اللازم للضخ علماً بأنه لا يوجد فرق مناسيب بين محطتى الضخ والإستلام وأن الضغط عند محطة الإستلام = صفر وأن مواصفات الوقود هى الكثافة = ٠.٨٤ جم/سم٣، اللزوجة = ٤.٣٨ سنتى ستوكس

الحل :

نحسب أولاً القطر الداخلى للخط بالرجوع إلى الجدول (٦)

For 6-inch STD wt pipe

Pipe thickness = $0.280^{//}$, $D_0 = 6.625^{//}$

$D_i = 6.625 - 2\,(0.280) = 6.065^{//}$

ثم نحسب سرعة السائل داخل الخط

$$V = \frac{Q}{1.824 D_i^2} = \frac{72}{1.824(6.065)^2} = 1.073 mt/\sec$$

$$\begin{cases} V > 0.15748 \dfrac{\gamma\left(C^{st}\right)}{d(inch)} \; i.e \; V > 0.15748\left(\dfrac{4.38}{6.065}\right) \\ V > 0.1137 \; mt/\sec \end{cases}$$

يتم تطبيق معادلة حساب فاقد الإحتكاك أو فاقد الضغط للسريان المضطرب بالخطوط

$$h_f / kmt = 17.5425 \frac{\gamma^{0.25} Q^{1.75}}{D^{4.75}} \times \frac{Sp.gr}{10} \frac{kg/cm^2}{Kmt}$$

ومنها نحسب فاقد الضغط وهو يساوى الضغط اللازم للضخ فى هذه الحالة لأن الضغط عند محطة الإستلام يساوى الضغط الجوى

$$h_f = 17.5425 \frac{4.38^{0.25} 72^{1.75}}{6.065^{4.75}} \times 96 \times \frac{0.84}{10} = 69.6 kg/cm^2$$

مثال ٢ :

مطلوب نقل زيت بكمية قدرها ٢٠م٣/س فى خط أنابيب قطره ٤ بوصة STD-wt وطوله ١ كيلو متر يحتوى الخط على عدد ٥ كوع ٤٥° ، عدد ١٥ كوع ٩٠° وعدد ٨

محبس بوابة ٤ ، إذا كان الضغط عند نهاية الخط ١كجم/سم٢ وأنه لا يوجد فرق مناسيب بين بداية ونهاية الخط ، إحسب الضغط اللازم للضخ فى الحالات الآتية :

الحالة الأولى : درجة حرارة الزيت = ٢٠°م وعندها كثافة الزيت = ٠.٩٦٤ جم/سم^3 ولزوجة الزيت = ٨٨.١٧ سنتى ستوكس .

الحالة الثانية : درجة حرارة الزيت = ٨٠°م وعندها كثافة الزيت = ٠.٩١٠ جم/سم^3 ولزوجة الزيت = ٨.٥٧ سنتى ستوكس .

وكذلك إحسب نسبة خفض تكاليف الضخ الناتجة عن تسخين الزيت .

الحل :

نحسب أولاً القطر الداخلى للخط بالرجوع إلى الجدول (٦)

For 4-inch STD-wt pipe

Outside diameter = 4.5″ t = 0.237″

$D_i = 4.5 - 2\,(0.237) = 4.026''$

ثم نحسب سرعة الزيت داخل الخط

$$V = \frac{20}{1.824(4.026)^2} = 0.676\,mt/\sec$$

ثم نحسب الفواقد الثانوية بالخط وهى عبارة عن :

١- الفاقد فى الكوع ٤٥° وله معامل فاقد = ٠.٥٠ (عدد ٥ كوع)

٢- الفاقد فى الكوع ٩٠° وله معامل فاقد = ١ (عدد ١٥ كوع)

٣- الفاقد فى المحبس وله معامل فاقد = ٠.٢٠ (عدد ٨ محبس)

٤- الفاقد عند مخرج الأنبوبة (الخط) وله معامل فاقد = ١

وبذلك تكون الفواقد الثانوية تساوى

$$h_s = [0.50(5) + 1(15) + 0.20(8) + 1]\frac{0.676^2}{2 \times 9.8} = 0.468\,mt$$

الحالة الأولى : درجة حرارة الزيت = ٢٠°م

حيث أن

$Q < 0.1436\ \gamma(C^{st})\ d(inch)$

$Q < 0.1436\ (88.17)\ (4.026)$

$Q < 50.97\ mt^3/hr$

بتطبيق معادلة حساب فاقد الإحتكاك أو فاقد الضغط للسريان الرقائقى بالخطوط

$$h_f / Kmt = 2.7717 \frac{\gamma(cst) Q(mt^3/hr)}{D_i^4 (inch)} \times \frac{sp.gr}{10} \frac{kg/cm^2}{kmt}$$

$$h_f / Kmt = 2.7717 \frac{88.17(20)}{4.026^4} \times 1 \times \frac{0.964}{10} = 1.79 kg/cm^2$$

وحيث أن الفواقد الثانوية تساوى

$$h_s = 0.468 \frac{0.964}{10} = 0.045 kg/cm^2$$

وبذلك تكون الفواقد الكلية تساوى

$$h_t = h_f + h_s = 1.835 kg/cm^2$$

ويكون الضغط اللازم للضخ فى هذه الحالة يساوى

$$1.835 + 1 = 2.835 kg/cm^2$$

حيث أن الضغط عند نهاية الخط يساوى ١كجم/سم٢

الحالة الثانية : درجة حرارة الزيت = ٨٠°م

حيث أن

$Q > 0.287\ \gamma(cst)\ d(inch)$
$Q > 0.287\ (8.57)\ (4.026)$
$Q > 9.9\ mt^3/hr$

يمكن تطبيق معادلة حساب فاقد الإحتكاك أو فاقد الضغط للسريان المضطرب بالخطوط

$$h_f / Kmt = 17.5425 \frac{\gamma^{0.25} Q^{1.75}}{D_i^{4.75}} \times \frac{SP.gr}{10} \left(Kg/Cm^2\right) / Kmt$$

$$h_f = 17.5425 \frac{8.57^{0.25} 20^{1.75}}{4.026^{4.75}} \times 1 \times \frac{0.910}{10} = 0.69\ Kg/Cm^2$$

وحيث أن الفواقد الثانوية تساوى

$$h_s = 0.468 \times \frac{0.910}{10} = 0.0426\ Kg/Cm^2$$

وبذلك تكون الفواقد الكلية تساوى $h_t = h_f + h_s = 0.73\ Kg/Cm^2$

ويكون الضغط اللازم للضخ يساوى $0.73 + 1 = 1.73 kg/Cm^2$

وحيث أن تكاليف الضخ تتناسب مع الفاقد الكلى أى فاقد الضغط ، لذلك يتضح أنه بتسخين الزيت تقل تكاليف الضخ بنسبة تساوى

$$\frac{1.835 - 0.73}{1.835} \times 100\% = 60.2\%$$

التطبيق الثانى : طريقة حساب الكمية المنقولة بخط الأنابيب

مثال : مطلوب نقل وقود فى خط أنابيب قطره ٨ بوصة STD-wt وطوله ١٢٩ كيلومتر ، إذا كان الضغط عند محطة الإستلام ٢.٢٥ كجم/سم٢ وضغط الخط عند محطة الضخ ٦٠ كجم/سم٢ وأنه لا يوجد فرق مناسيب بين محطة الضخ ومحطة الإستلام ، إحسب الكمية المنقولة بالخط علماً بأن مواصفات الوقود هى الكثافة = ٠.٧٣ جم/سم٣ واللزوجة = ٠.٨٤ سنتى ستوكس .

الحل :

نحسب أولاً فاقد الضغط لكل ١ كيلومتر من طول الخط وهو يساوى

$$\frac{h_f}{Kmt} = \frac{60 - 2.25}{129} = 0.4476(kg/cm^2)/Kmt$$

وحيث أنه لكى يتم نقل الوقود بخط الأنابيب بصورة إقتصادية يجب أن يكون السريان مضطرب ، وبتطبيق معادلة حساب فاقد الإحتكاك أو فاقد الضغط للسريان المضطرب بالخطوط

$$h_f / Kmt = 17.5425 \frac{0.84^{0.25} Q^{1.75}}{7.981^{4.75}} \times \frac{0.73}{10} = 0.4476$$

نجد أن الكمية المنقولة تساوى

$\mathbf{Q = 157.9\ mt^3/hr}$

التطبيق الثالث : طريقة رسم خط إنحدار الضغط H.G وبناء عليه تحديد الضغط عند أى نقطة على طول خط الأنابيب

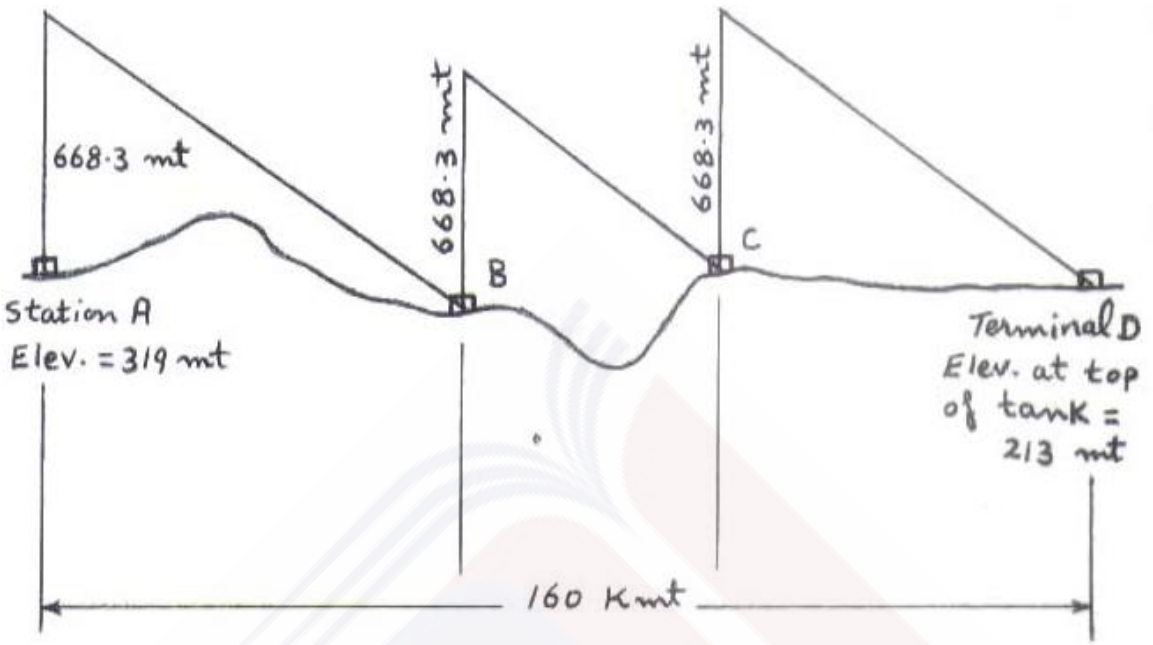
مثال :

الرسم المبين بالشكل (١٢) يوضح مسار خط أنابيب مدون عليه مناسيب بعض النقاط بالنسبة لمستوى سطح البحر ، إوجد الآتى :

١- الكمية المنقولة من المحطة A

٢- ضغط سحب الطلمبة عند المحطة B

٣- الضغط عند تعدية النهر (النقطة C)


668·3 mt
668·3 mt
668·3 mt
B
C
Station A
Elev. = 319 mt
Terminal D
Elev. at top
of tank =
213 mt
160 Kmt

علماً بأن قطر خط الأنابيب = ١٢ بوصة wt - STD ، السائل المنقول زيت كثافته ٠.٨١جم/سم^{٣} ولزوجته ١٣.١ سنتى ستوكس ، ضغط الطلمبة عند المحطة A يساوى ٥٦كجم/سم^{٢}

الحل :

١- عندما نرسم خط إنحدار الضغط Hydraulic gradient على الوضع المبين بالشكل يجب أن يمر خط إنحدار الضغط بقمة التل أى بالنقطة H على الأقل إن لم يكن أعلى منها نحسب الضغط الإستاتيكى عند المحطة A بالنسبة إلى النقطة H وهو يساوى

$$(692-518)\frac{0.81}{10}=14.09Kg/cm^2$$

وبطرح قيمة هذا الضغط من قيمة ضغط الطلمبة عند المحطة A نوجد فاقد الإحتكاك أو فاقد الضغط من المحطة A إلى النقطة H

$$h_f=56-14.09=41.91Kg/cm^2$$

بتطبيق معادلة حساب فاقد الإحتكاك أو فاقد الضغط للسريان المضطرب داخل الخطوط

$$\frac{41.91}{121}=17.5425\frac{13.1^{0.25}Q^{1.75}}{12^{4.75}}\times\frac{0.81}{10}$$

تكون الكمية المنقولة من المحطة A تساوى

Q = 262.59 mt^3/hr

٢ – نحسب الضغط الإستاتيكى عند المحطة B بالنسبة إلى النقطة H وهو يساوى

$$(692-540)\frac{0.81}{10}=12.3Kg/cm^2$$

ثم نحسب فاقد الضغط من النقطة H إلى المحطة B وهو يساوى

$$\frac{41.91}{121}\times 8=2.77kg/cm^2$$

وبطرح هذه القيمة من قيمة الضغط الإستاتيكى عند المحطة B بالنسبة إلى النقطة H نحصل على ضغط سحب الطلمبة عند المحطة B وهو يساوى

12.3 – 2.77 = 9.53 kg/cm²

٣ – نوجد الضغط الإستاتيكى عند النقطة C بالنسبة إلى المحطة A وهو يساوى

$$(518-352)\frac{0.81}{10}=13.45kg/cm^2$$

ثم نحسب فاقد الضغط من المحطة A إلى النقطة C وهو يساوى

$$\frac{41.91}{121}\times 28=9.7kg/cm^2$$

وبذلك يكون الضغط عند تعدية النهر (النقطة C) يساوى ضغط الطلمبة عند المحطة A + الضغط الإستاتيكى عند النقطة C بالنسبة إلى المحطة A – فاقد الضغط من المحطة A إلى النقطة C

= 56 + 13.45 – 9.7 = 59.75 kg/cm²

ويتضح مما سبق أن الضغط عند أى منخفض يمر به مسار خط الأنابيب يكون أكبر من ضغط الخط عند محطات الضخ لذلك يجب إختيار سمك المواسير عند هذه الأماكن بحيث يكون أكبر قليلاً من سمك المواسير عند الأماكن الأخرى .

وقد يتضح أيضاً أن الضغط عند أى مرتفع يمر به مسار الخط يكون أقل ما يمكن . وسوف نتعرض فيما بعد عن تأثير فرق المناسيب (الإرتفاعات والإنخفاضات) للأرض على طول مسار الخط فى تحديد المسافات البينية لمحطات الضخ على طول الخط Station spacing

التطبيق الرابع : طريقة حساب عدد محطات الضخ على طول خط الأنابيب والضغط الذى تعطيه كل محطة ضخ

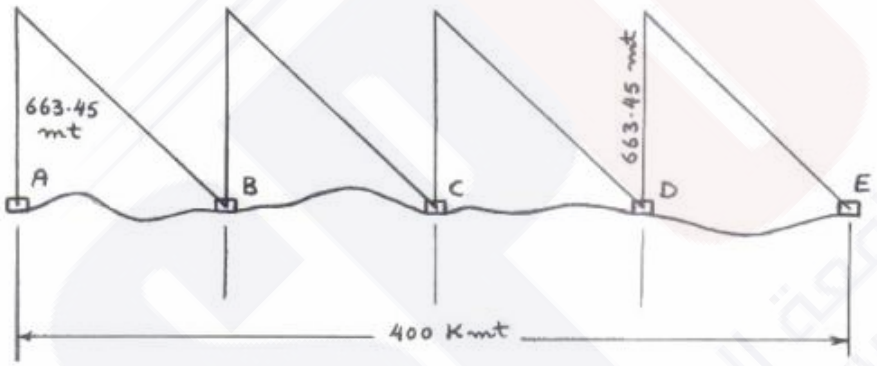
مثال : مطلوب نقل زيت بكمية قدرها ٢٠٠٠ متر مكعب فى الساعة خلال خط أنابيب قطره ٢٤ بوصة (STD wt pipe) وطوله ٤٠٠ كيلو متر وحيث أن كثافة الزيت = ٠.٨٨٢ جم/سم٣ ولزوجته = ٢٤.١٤٩ سنتى ستوكس وأن الضغط الآمن الذى يتحمله معدن خط الأنابيب = ٧٠ كجم/سم٢ ولا يوجد فرق مناسيب على طول مسار الخط كما بالشكل (١٣) ، إوجد الآتى :

١- كمية الزيت المنقولة سنوياً بالطن

٢- عدد محطات الضخ على طول مسار الخط

٣- رسم إنحدار الضغط على طول مسار الخط

٤- المسافات البينية لمحطات الضخ



شكل (١٣)

الحل :

نحسب كمية الزيت المنقولة سنوياً بالطن وهى تساوى

$$\text{Ton/year} = 7200\ Q.sp.gr = 7200\ (2000)\ 0.882 = 12.7 \text{ million}$$

نحسب سرعة الزيت داخل الخط

$$V = \frac{Q}{1.824 D_i^2} = \frac{2000}{1.824[24 - 2(0.375)]^2} = 2.028 mt/\sec$$

وحيث أن

$$V > 0.15748 \frac{\gamma(cst)}{d(inch)}$$

$$> 0.15748 \frac{24.149}{23.25}$$

$$> 0.16 mt/\sec$$

يمكن إستخدام معادلة حساب فاقد الإحتكاك أو فاقد الضغط للسريان المضطرب داخل الخطوط.

$$h_f / Kmt = 17.5425 \frac{\gamma^{0.25} Q^{1.75}}{D_i^{4.75}} \times \frac{sp.gr}{10}$$

$$h_f = 17.5425 \frac{24.149^{0.25} 2000^{1.75}}{23.25^{4.75}} \times 400 \times \frac{0.882}{10} = 265.38 Kg / cm^2$$

وبذلك يكون عدد محطات الضخ يساوى $\frac{265.38}{70} = 3.79$

تقرب إلى ٤ محطات للضخ على طول مسار الخط بحيث تعطى كل محطة ضغط قدره

(265.38/4) = 66.345 Kg/cm^2

ويتم تحديد ميل خط إنحدار الضغط كما يلى :

كما نعلم أن فاقد الضغط بين محطة الضخ A ومحطة الاستلام E يساوى

265.38 Kg/cm^2

قيمة فاقد الضغط لكل كيلومتر من طول الخط يساوى

$$\frac{265.38}{400} = 0.66345 (kg / cm^2) / Kmt$$

وهذا هو ميل خط إنحدار الضغط ويجب تحويل قيم الضغط وفاقد الضغط للزيت إلى Head مياه لكى يتوافق مع المقياس الرأسى لمناسيب المحطات بالنسبة لمستوى سطح البحر وبذلك يمكن رسم خط إنحدار الضغط كالآتى :

بداية من نقطة A وبمقياس رسم معين نرتفع مسافة رأسية قدرها

$$66.345 \times \frac{10}{sp.gr_{water}} = 663.45 mt$$

ونحدد نقطة ومن هذه النقطة نرسم خط إنحدار الضغط بميل قدره

$$0.66345 \times \frac{10}{sp.gr_{water}} = 6.6345 mt$$

لكل كيلومتر من طول الخط حتى يتقاطع مع منسوب الأرض ونقطة التقاطع تكون هى موقع محطة الضخ B ونكرر هذا العمل حتى نحدد موقع المحطات E,D,C ونلاحظ أن المحطات تكون على مسافات بينية متساوية حوالى ١٠٠ كيلومتر وذلك نتيجة عدم وجود فرق مناسيب بين المحطات .

التطبيق الخامس : طريقة حساب المسافات البينية لمحطات الضخ على طول خط الأنابيب

مثال : مطلوب نقل زيت بكمية قدرها ٢.١٧ مليون طن سنوياً فى خط أنابيب قطرة ١٠ بوصة (STD wt) وطوله ١٦٠ كيلومتر وحيث أن كثافة الزيت تساوى ٠.٨٠٦ جم/سم^3 ولزوجة

الزيت تساوى ٧.٤ سنتى ستوكس وأن الضغط الآمن الذى يتحمله معدن خط الأنابيب يساوى ٧٠ كجم/سم^2 والرسم كما بالشكل (١٤) يبين مسار الخط موضحاً عليه مناسيب بعض النقاط بالنسبة لمستوى سطح البحر ومطلوب إيجاد الآتى :

١- كمية الزيت المنقولة بالمتر المكعب فى الساعة

٢- عدد محطات الضخ على طول مسار الخط

٣- رسم إنحدار الضغط (H.G) على طول مسار الخط

٤- المسافات البينية لمحطات الضخ

الحل :

نحسب أولاً كمية الزيت المنقولة بالمتر المكعب فى الساعة

$$Q = \frac{ton/year}{7200\, sp.gr} = \frac{2.17\times10^6}{7200\times0.806} = 374 mt^3/hr$$

ثم نوجد سرعة الزيت داخل خط الأنابيب

$$V = \frac{Q}{1.824 D_i^2} = \frac{374}{1.824[10.75-2(0.365)]^2} = 2.04 mt \ \ /\sec$$

$$V > 0.15748 \frac{\gamma(C^{St})}{d(inch)} \qquad i.e \qquad V > 0.15748 \frac{7.4}{10.02}$$

V > 0.1163 mt/sec

يتم تطبيق معادلة حساب فاقد الإحتكاك للسريان المضطرب بالخطوط

$$h_f/Km = 17.5425 \frac{\gamma^{0.25} Q^{1.75}}{D_i^{4.75}} \frac{SP.gr}{10}$$

$$h_f = 17.5425 \frac{7.4^{0.25}\times160\times374^{1.75}}{10.02^{4.75}} \frac{0.806}{10} = 209\, kg/cm^2$$

وحيث أنه يوجد ضغط إستاتيكى نتيجة أن منسوب محطة الدفع A أعلى من منسوب محطة الإستلام D وهو يساوى $(319-213)\times\frac{0.806}{10} = 8.5\, Kg/cm^2$

وبطرح قيمة هذا الضغط من فاقد الضغط بين محطة الضخ ومحطة الإستلام نحصل على الضغط الكلى المطلوب للضخ عند المحطة A وهو يساوى

209 – 8.5 = 200.5 kg/cm^2

وبذلك يكون عدد محطات الضخ على طول مسار الخط يساوى $\frac{200.5}{70} = 2.86$

تقرب إلى ثلاث محطات ضخ على طول مسار الخط بحيث تعطى كل محطة ضغط قدره

$$\frac{200.5}{3} = 66.83\, kg/cm^2$$

ويتم تحديد ميل خط إنحدار الضغط (H.G) كما يلى :

كما نعلم أن فاقد الضغط بين محطة الضخ A ومحطة الإستلام D يساوى 209 Kg/cm²

قيمة فاقد الضغط لكل كيلو متر من طول الخط يساوى $\frac{209}{160} = 1.30625(kg/cm^2)/Kmt$

وهذا هو ميل خط إنحدار الضغط ، ويجب تحويل قيم الضغط وفاقد الضغط للزيت إلى Head مياه لكى يتوافق مع المقياس الرأسى لمناسيب المحطات بالنسبة لمستوى سطح البحر وبذلك يمكن رسم خط إنحدار الضغط كالآتى :

بداية من نقطة A وبمقياس رسم معين نرتفع مسافة رأسية قدرها $668.3mt = 66.83 \times \frac{10}{Sp.gr_{water}}$ **ونحدد نقطة ومن هذه النقطة نرسم خط إنحدار الضغط بميل قدره** $1.30625 \frac{10}{Sp.gr_{water}} = 13.0625mt$ **لكل ١ كيلو متر من طول الخط حتى يتقاطع مع منسوب الأرض ونقطة التقاطع هى الموقع التقريبى لمحطة الضخ B ثم نكرر هذه الخطوات لإيجاد الموقع التقريبى للمحطات D, C**

ومما سبق يتبين أن منسوب المحطة B هو ١٦٦ متر وكذلك منسوب المحطة C هو ٣١٩ متر بالنسبة لمستوى سطح البحر .

وحيث أن المحطة B منخفضة عن المحطة A بمقدار

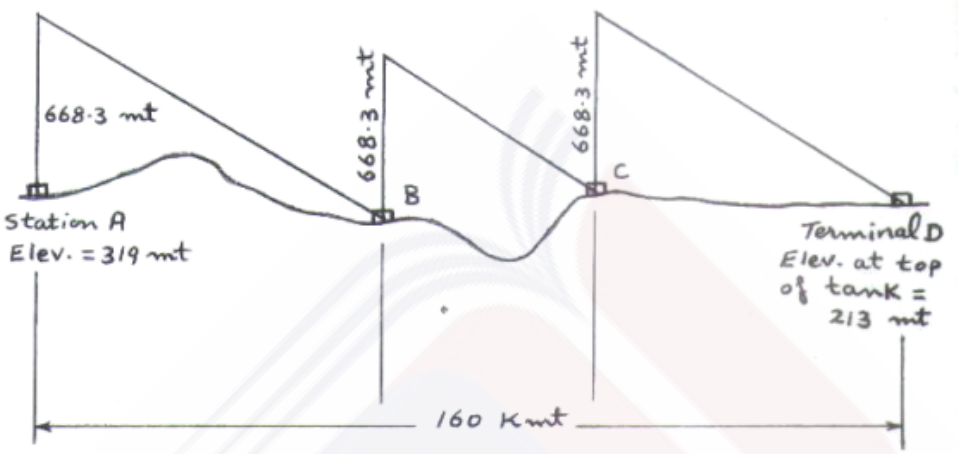
319-166 = 153mt لذلك تكون المسافة AB أكبر من أقصر مسافة بينية للمحطات بمقدار $\frac{153}{13.0625} \times 1Kmt = 11.7129Kmt$

وحيث أن محطة الإستلام D منخفضة عن المحطة C بمقدار 319-213=106mt لذلك تكون المسافة CD أكبر من أقصر مسافة بينية للمحطات بمقدار $\frac{106}{13.0625} \times 1Kmt = 8.1148Kmt$

وقد يتضح من الشكل (١٤) أن أقصر مسافة بينية هى BC ومما سبق فإن :

AB = BC + 11.7129
CD = BC + 8.1148
AB + BC + CD = 160 Kmt وحيث أن
BC + 11.7129 + BC + BC + 8.1148 = 160
3BC = 140.1723

BC = 46.7241 Kmt
AB = 58.437 Kmt
CD = 54.8389 Kmt



شكل (١٤)

التطبيق السادس : مقاومة خط الأنابيب لنقل مختلف أنواع البترول ومنتجاته

مثال :

فى حالة نقل مختلف أنواع البترول ومنتجاته خلال خط أنابيب قطره ١٦ بوصة وسمكه ٠.٣٤٤ بوصة وطوله ٩٦ كيلو متر فإنه يتعين لذلك رسم منحنى يوضح تغير فاقد الضغط (فى صورة Head بالمتر) مع الكمية المنقولة بالمتر المكعب فى الساعة لكل سائل على حده ويمكن تكرار هذا العمل لتوقيع المنحنيات التى تمثل معظم أنواع البترول ومنتجاته بفرض أن عددهم ١٢ نوع وذلك بإستخدام المعادلة التالية

$$h_f = 17.5425 \frac{\gamma^{0.25} l Q^{1.75}}{d^{4.75}}$$

حيث أن h_f **فاقد الإحتكاك فى خط الأنابيب بالمتر.**

γ **لزوجة السائل المنقول بخط الأنابيب بالسنتى ستوكس.**

l **طول خط الأنابيب بالكيلومتر.**

Q **الكمية المنقولة بخط الأنابيب بالمتر المكعب فى الساعة.**

d **القطر الداخلى لخط الأنابيب بالبوصة.**

وبتطبيق هذه المعادلة على خط قطره ١٦ بوصة وسمكه ٠.٣٤٤ بوصة وطوله ٩٦ كيلومتر نجد أن

$$h_f = 0.003958\ \gamma^{0.25} Q^{1.75}$$

وبالتعويض فى هذه المعادلة عن قيمة اللزوجة بالسنتى ستوكس لكل سائل على حده يمكن إستنتاج معادلة تغير فاقد الضغط مع الكمية كما يتضح من الجدول (٨)

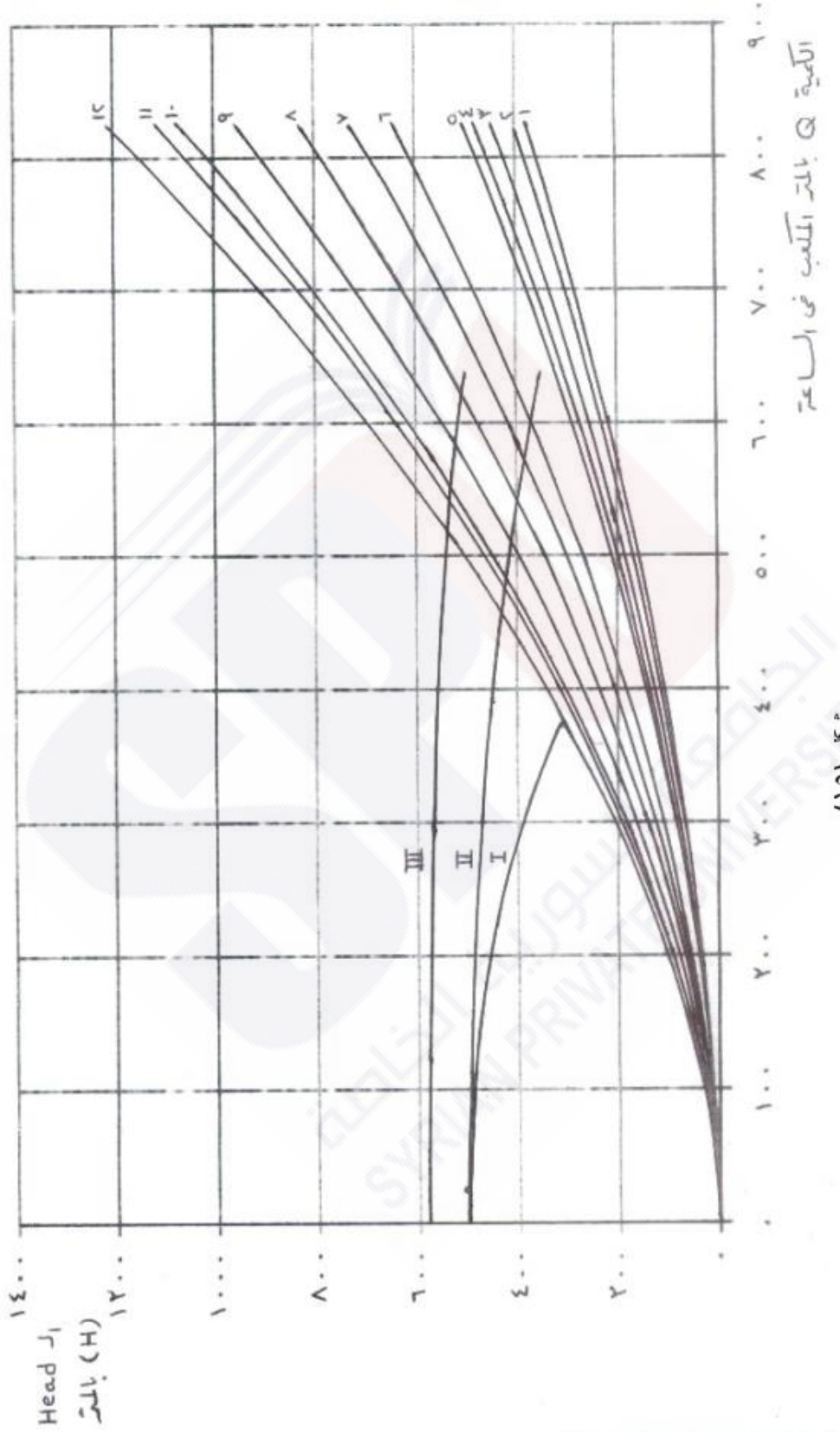
م	نوع السائل	الكثافة بالجم/سم٣	اللزوجة بالسنتى ستوكس	معادلة تغير فاقد الضغط مع الكمية
١	بوتاجاس مسال	٠.٥٦ عند ١٥.٦°م	٠.٣١٣ عند ١٥.٦°م	$h_f = 0.00296\ Q^{1.75}$
٢	متكثفات	٠.٧٥ عند ١٥.٦°م	٠.٤١ عند ٢٠°م	$h_f = 0.003167\ Q^{1.75}$
٣	نافتا	٠.٧١ عند ١٥.٦°م	٠.٦١٩ عند ٢٠°م	$h_f = 0.0035107\ Q^{1.75}$
٤	بنزين	٠.٧٣ عند ١٥.٦°م	٠.٨٤ عند ١٥.٦°م	$h_f = 0.003789\ Q^{1.75}$
٥	مياه	١ عند ١٥°م	١ عند ١٥°م	$h_f = 0.003958\ Q^{1.75}$
٦	كيروسين	٠.٨٠ عند ١٥.٦°م	٢.٦٩ عند ٢٠°م	$h_f = 0.005069 Q^{1.75}$
٧	ديزل	٠.٨٦ عند ١٥.٦°م	٤.٣٨ عند ١٥.٦°م	$h_f = 0.005726 Q^{1.75}$
٨	خام (نوع ١)	٠.٨١ عند ١٥.٦°م	٧.٤ عند ٢١.١١°م	$h_f = 0.006528 Q^{1.75}$
٩	خام (نوع ٢) أو سولار	٠.٨٤ عند ١٥.٦°م	١٣.١ عند ٢١.١١°م	$h_f = 0.00753 Q^{1.75}$
١٠	خام (نوع ٣)	٠.٨٧ عند ١٥.٦°م	٢٠.٦ عند ١٥.٦°م	$h_f = 0.008432\ Q^{1.75}$
١١	خام (نوع ٤)	٠.٨٨ عند ١٥.٦°م	٢٤.١٤٩ عند ١٥.٦°م	$h_f = 0.008774\ Q^{1.75}$
١٢	مازوت	٠.٩٢ عند ٤٠°م	٣٣.٨٩ عند ٤٠°م	$h_f = 0.00955\ Q^{1.75}$

جدول (٨)

حيث تسهل المعادلات الموجودة بالجدول (٨) إلى حد كبير طريقة رسم منحنيات مقاومة خط الأنابيب لنقل عدد ١٢ سائل كما يتضح من الرسم البيانى الموضح بالشكل رقم (١٥) وبمساعدة هذه المنحنيات يمكن تحديد الكمية القصوى المنقولة بالخط عند أى ضغط محدد أو تحديد الضغط اللازم لنقل كمية محددة بالخط وذلك لأياً من أنواع البترول ومنتجاته وبالتالى يمكن تحديد مواصفات الطلمبات التى سيتم تركيبها بمحطات الدفع ، وبمعرفة منحنيات أداء طلمبات الدفع العاملة على هذا الخط أى منحنيات تغير فرق الضغط المانومترى الذى تعطيه الطلمبات (فى صورة Head بالمتر) مع الكمية المدفعة بالطلمبات بالمتر المكعب فى الساعة

يمكن توقيع هذه المنحنيات (I، II ، III) على نفس الرسم البيانى الذى يوضح منحنيات مقاومة خط الأنابيب (١-١٢) كما يتضح من الشكل (١٥) .

وبفرض وجود عدد ١ طلمبة مناولة وعدد ٢ طلمبة رئيسية من نوع أ وعدد ١ طلمبة رئيسية من نوع ب يكون تغير الضغط فى صورة Head بالمتر مع الكمية بالمتر المكعب فى الساعة كما يتضح من الجداول (٩) ، (١٠) ويمكن لجميع المهتمين بهذا المجال معرفة كيفية إستخدام مثل هذه الخرائط لحساب الكمية المنقولة بخط الأنابيب بمعرفة الضغط الخارج من طلمبات الدفع وكذلك الضغط عند محطة الإستلام وكذلك فى حالة وجود أكثر من سائل واحد بالخط حيث تعطى مثل هذه الخرائط القيم المحسوبة للكميات المنقولة بدقة معقولة ويمكن الإستعانة بأجهزة قياس الكثافة Density Meter وقياس اللزوجة Viscosity Meter وكذلك قياس الضغط Pressure Gage بتركيبها على خط الأنابيب لكى تعطينا قيم دقيقة للكثافة واللزوجة والضغط مع إدخال كافة البيانات إلى جهاز الكمبيوتر وبذلك يمكن رسم منحنيات مقاومة خط الأنابيب فوراً عند نفس اللحظة وفى أى وقت أثناء نقل البترول بخط الأنابيب.


Head بالمتر
(H)
١٤٠٠
١٢٠٠
١٠٠٠
٨٠٠
٦٠٠
٤٠٠
٢٠٠
٠
١٠٠
٢٠٠
٣٠٠
٤٠٠
٥٠٠
٦٠٠
٧٠٠
٨٠٠
٩٠٠
الكمية Q بالمتر المكعب في الساعة
١٢
١١
١٠
٩
٨
٧
٦
٥
٤
٣
٢
١
III
II
I

شكل (١٥)

	طلمبة مناولة	طلمبة رئيسية من نوع أ	طلمبة رئيسية من نوع ب	طلمبه مناولة مع طلمبة رئيسية من نوع أ على التوالى (منحنى I)
الكمية (Q) بالمتر٣ / ساعة	الـ Head (H) بالمتر	الـ Head (H) بالمتر	الـ Head (H) بالمتر	الـ Head (H) بالمتر
0	116.4	385	464	501.4
50	115.9	382	464	497.9
100	115.4	374	464	489.4
150	114.4	361	462.2	475.4
200	113.3	343.2	461.5	456.5
250	112.3	315.5	460.5	427.8
300	110.8	279	457.8	389.8
318.42	110	263.2	456.4	373.2
350	108.7	231.2	455.2	339.9
370	107.7	211.2	455.2	318.9
376.41	107.4	200	454.2	307.4
400	106.4	.	451.7	.
450	103.7	.	447.3	.
500	100	.	440.5	.
550	96.2	.	433	.
600	91.6	.	423.2	.
636.84	87	.	414.8	.
650	.	.	411.6	.
700	.	.	401.8	.
750	.	.	385.9	.
800	.	.	370	.
850	.	.	353.7	.
900	.	.	331	.

جدول (٩)

	طلمبة مناولة مع طلمبة رئيسية من نوع ب على التوالى (منحنى III)	طلمبتين رئيسيتين من نوع أ على التوازى	طلمبه مناولة مع (طلمبتين رئيسيتين من نوع أ على التوازى) على التوالى (منحنى II)
الكمية (Q) بالمتر٣ / ساعة	الـ Head (H) بالمتر	الـ Head (H) بالمتر	الـ Head (H) بالمتر
0	580.4	385	501.4
50	579.8	.	.
100	579.3	382	497.4
150	576.6	.	.
200	574.8	374	487.3
250	572.8	.	.
300	568.6	361	471.8
318.42	566.4	.	.
350	563.9	.	.
370	562.9	.	.
376.41	561.5	.	.
400	558	343.2	449.6
450	551	.	.
500	540.5	315.5	415.5
550	529.2	.	.
600	514.8	279	370.6
636.84	501.8	263.2	350.2
650	.	.	.
700	.	.	.
750	.	.	.
800	.	.	.
850	.	.	.
900	.	.	.

جدول (١٠)