المبادئ والنظريات الأساسية المستخدمة فى التصميمات الهيدروليكية

الكثافة (Density) :

وهى تعبر عن كتلة وحدة الحجوم من المادة ويرمز لها بالرمز ρ ووحدتها هى كتلة الجرام لكل سنتيمتر مكعب (جم/سم٣) وتعتمد كثافة السائل على نوعه ودرجة الحرارة ، على سبيل المثال كثافة الماء تساوى ١جم/سم٣ عند ١٥.٦°م .

الوزن النوعى (Specific weight) :

وهو يعبر عن وزن وحدة الحجوم من المادة ويرمز له بالرمز w ووحدته هى قوة الجرام لكل سنتيمتر مكعب (جم/سم٣) مع ملاحظة أن $w = \rho g$ حيث أن g هى عجلة الجاذبية الأرضية وتساوى ٩.٨٠٦٧ متر/ثانية^{٢}.

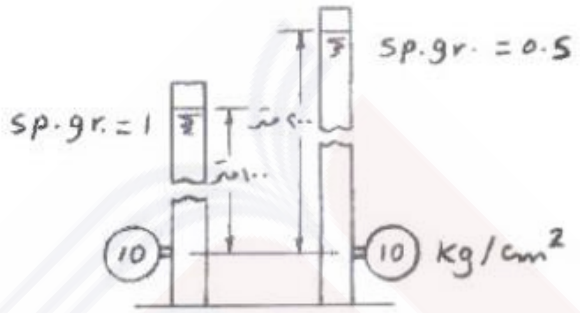
الكثافة النسبية (Specific Gravity) :

وتعرف بأنها النسبة بين كثافة المادة أو وزنها النوعى وكثافة الماء أو وزنه النوعى ويرمز لها بالرمز sp.gr وهى نسبة بدون وحدات ، على سبيل المثال الكثافة النسبية للماء تساوى ١ وللزئبق تساوى ١٣.٦ وفى النظام المترى للوحدات (سنتيمتر – جرام – ثانية) تكون الكثافة النسبية تساوى الكثافة عددياً .

الضغط (Pressure) :

يعرف الضغط بأنه القوة المؤثرة على وحدة المساحة وتكون القوة متعامدة على المساحة ووحدته هى كيلوجرام لكل سنتيمتر مربع (كجم/سم^{٢}) وفى حالة وجود سائلين لهم كثافة ١، ٠.٥ كما بالشكل (١) فإن السائل ذو الكثافة الأقل لابد أن يصعد إلى إرتفاع عمود أعلى لكى يولد نفس الضغط عند نفس المستوى مثل السائل الأثقل ويكون الضغط عند أسفل العمود H لكل سائل يساوى وزن السائل فوق نقطة قياس الضغط مقسوماً على مساحة

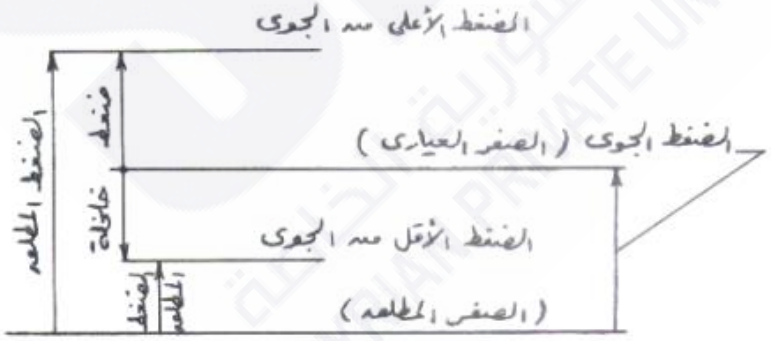
المقطع A عند نفس النقطة $\frac{AHW}{A}$ أى يساوى WH وبذلك يمكننا التعبير عن الضغط بدلالة إرتفاع عمود سائل معين وهو ما يسمى Head أو طاقة الضغط Pressure Energy ووحدته هى كجم.متر/كجم أى المتر مع ملاحظة أن (Head) بالمتر = الضغط بالكجم/سم٢ ×١٠/ Sp.gr



شكل (١)

على سبيل المثال الضغط الجوى يساوى ١٠٣٠كجم/سم٢ عند مستوى سطح البحر وهو يساوى الضغط الناتج من وزن عمود ماء إرتفاعه $\frac{1.03\times10}{1}$ أى ١٠.٣ متر ويساوى أيضاً الضغط الناتج من وزن عمود زئبق إرتفاعه $\frac{1.03\times10}{13.6}=0.76\,\text{mt}$ أى ٧٦سم .

الضغوط العيارية والمطلقة :



شكل (٢)

كما يتضح من شكل (٢) أن الضغط العيارى (Gage pressure) هو الضغط المنسوب إلى الضغط الجوى (Atmospheric pressure) بإعتبار أن الضغط الجوى يساوى صفر فهو إما أعلى من الضغط الجوى فيسمى ضغط (pressure) أو أقل من الضغط الجوى فيسمى تفريغ أو خلخلة (vacuum) ويقاس هذا الضغط بواسطة أجهزة مثل المانومترات وأنبوبة بوردون أما الضغط المطلق (Absolute pressure) فهو الضغط المنسوب إلى الصفر المطلق حيث أن الضغط المطلق = الضغط العيارى + الضغط الجوى .

ضغط البخار (Vapor pressure) :

ويعرف بأنه الضغط الذى عنده يتحول السائل إلى بخار ويعتمد على نوع السائل ودرجة الحرارة ويتم التعبير عنه بالقيم المطلقة للضغوط ، على سبيل المثال ضغط البخار للماء عند درجات الحرارة العادية (٢٣.٦°م) يساوى ٠.٠٣كجم/سم^{٢} مطلق معنى ذلك أنه لو تم خلخلة الفراغ فوق سطح الماء حتى يصل الضغط إلى هذه القيمة فإن الماء يتبخر عند درجات الحرارة العادية .

شكل (٣)

أقصى ضغط سالب :

كما يتضح من شكل (٣) أنه إذا تم عمل خلخلة فى الأنبوبة الرأسية فإن الماء يصعد فى الأنبوبة بتأثير الضغط الجوى حتى يصل إلى حد معين يكون الضغط عنده يساوى ضغط البخار ويطلق على الإرتفاع من سطح السائل بالإناء حتى هذا الحد بأقصى ضغط سالب (فى صورة Head) وهو يساوى $\frac{10 \times [1.03 - 0.03]}{1} = 10$ mt للماء عند درجات الحرارة العادية.

اللزوجة (Viscosity) :

يطلق إسم الموائع على السوائل والغازات وتسمى خاصية السائل التى تولد مقاومة لقوى القص فى السريان اللزوجة وإذا تم ملء الفراغ بين سطحين مستويين بسائل فيلزم قوة لكى يتحرك إحدى السطحين بسرعة ثابتة بالنسبة للآخر وتتغير سرعة السائل خطياً بين السطحين والنسبة بين القوة لكل وحدة مساحة (إجهاد القص) إلى السرعة لكل وحدة مسافة بين السطحين (معدل القص) تكون مقياس لزوجة السائل الديناميكية أو المطلقة والسوائل التى تتناسب فيها إجهادات القص مع معدلات القص تكون لها معاملات لزوجة ثابتة عند ضغط ودرجة حرارة محددين ويطلق عليها إسم السوائل الحقيقية Newtonian Liquids وفيها تزيد اللزوجة ومقاومة السريان مع نقص درجة الحرارة .

وتكون وحدة اللزوجة الديناميكية أو المطلقة هى داين.ثانية/سم^2 وتسمى بويز (poise) وتساوى عددياً جم/سم.ثانية والقياس الشائع للزوجة الديناميكية أو المطلقة يكون سنتى بويز (١/١٠٠بويز) حيث أن

$$\text{Centipoise} \times 10^{-3} = \text{N.sec/m}^2 = \text{Pa.sec}$$

N – Newton

Pa – Pascal = N/m^2

وأحياناً يعبر عن لزوجة السائل باللزوجة الكينماتيكية وهى تساوى اللزوجة الديناميكية مقسومة على الكثافة (w/g) ووحدتها المترية هى سم٢/ثانية وتسمى ستوك (stoke) والقياس الشائع للزوجة الكينماتيكية يكون سنتى ستوك (١/١٠٠ ستوك) حيث أن

Centistoke = mm^2/sec

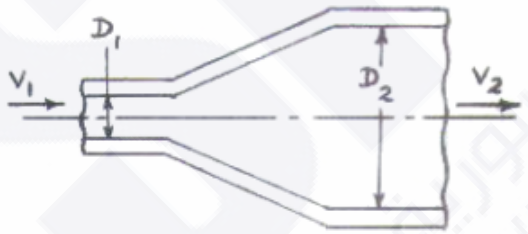
Centistoke $\times 10^{-6}$ = m^2/sec

وتعتمد اللزوجة على نوع السائل ودرجة الحرارة ، على سبيل المثال لزوجة الماء تساوى ٠.٠١١٣ بويز عند ١٥.٦°م وفى النظام المترى للوحدات (سم.جم.ثانية) تكون اللزوجة الكينماتيكية بالسنتى ستوك = اللزوجة الديناميكية أو المطلقة بالسنتى بويز/Sp.gr والتحويل من الوحدات المترية إلى الوحدات الإنجليزية (قدم – رطل – ثانية) يكون رطل.ثانية/قدم^{2} = ٠.٠٠٠٠٢٠٨٨٥٥ سنتى بويز

قدم^{2}/ثانية = ٠.١٠٧٦٣٩ سنتى ستوك

والمائع المثالى هو المائع الذى نعتبره خال من اللزوجة وتسهيلاً لدراسة المعادلات نعتبر المائع مثالياً بإهمال تأثير اللزوجة ثم إدخال معاملات التصحيح التى يتم الحصول عليها من التجارب المعملية .

معادلة الإستمرار (Continuity Equation) :



شكل (٤)

تربط هذه المعادلة بين السرعة المتوسطة V العمودية عبر مقطع فى أنبوبة وبين المساحة A لهذا المقطع وكما يتضح من شكل (٤) عند المقطع (١) إذا كانت المساحة A_1 والسرعة V_1 وكثافة المائع ρ_1 تكون كتلة المائع المار فى الثانية الواحدة خلال هذا المقطع هى $\rho_1 A_1 V_1$ فلو تغير المقطع إلى (٢) وكانت مساحته A_2 فلابد أن يحدث تغير فى قيم

ρ_2, V_2 لتظل الكتلة ثابتة وفى حالة الموائع الغير قابلة للإنضغاط مثل السوائل لم تتغير الكثافة أى تظل ثابتة أى أن

$$A_1V_1=A_2V_2 = \text{مقدار ثابت}$$

ويطلق على هذا المقدار الثابت إسم معدل السريان أو الكمية (Flow Rate) ويرمز له بالرمز Q ويعرف بأنه حجم السائل المار فى وحدة الزمن ووحدته هى متر^3/ساعة .

الطاقة (Energy) :

تكون طاقة الموائع الغير قابلة للإنضغاط مثل السوائل فى ثلاث صور هى سرعة، ضغط وإرتفاع ويتم التعبير عنها فى صورة طاقة لوحدة الأوزان ووحدتها هى كجم.متر/كجم أو المتر عيارى أو مطلق .

طاقة الحركة (Velocity Head) :

ويعبر عنها فى صورة سرعة ($\frac{V^2}{2g}$) ووحدتها هى كجم.متر/كجم أى المتر وسرعة السوائل فى الأنابيب والقنوات المفتوحة تتغير عبر أى مقطع واحد من المجرى ولذلك فإنه من الدقة الكافية أن نستخدم السرعة المتوسطة V المحسوبة بقسمة معدل السريان على مساحة مقطع المجرى .

طاقة الضغط (Pressure Head) :

ويعبر عنها فى صورة Head وتساوى $\frac{10^4 P}{w}$ ووحدتها المتر حيث أن P الضغط بالكجم/سم^2، w الوزن النوعى للسائل بالكجم/متر^3.

طاقة الوضع (Elevation Head) :

ويعبر عنها بالإرتفاع Z عن مستوى قياسي معين Datum Plane وعادة يكون مستوى سطح البحر ووحدتها المتر .

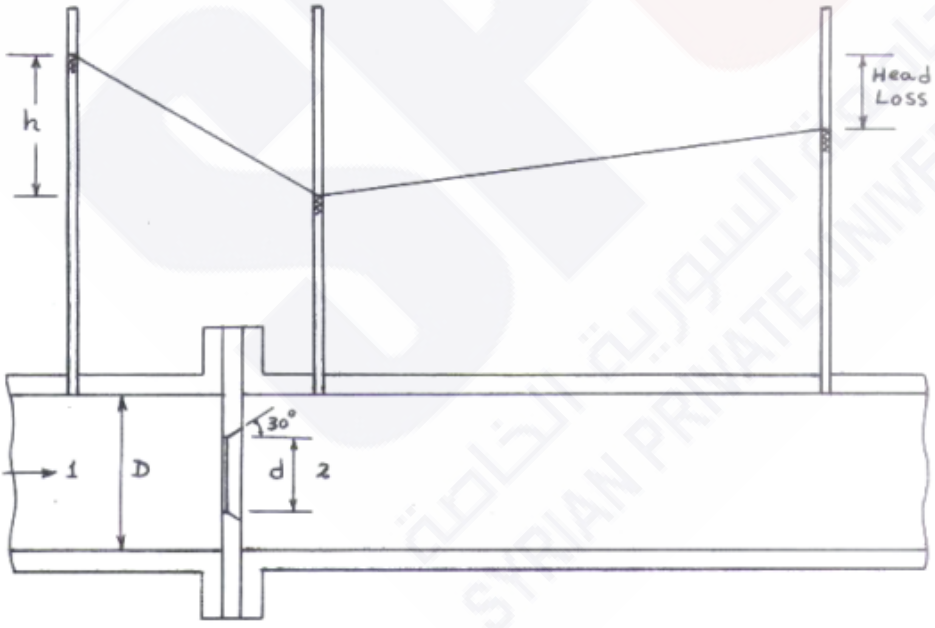
نظرية برنوللى (Bernoulli's Equation) :

نظرية برنوللى للموائع الغير قابلة للإنضغاط مثل السوائل تنص على أنه فى السريان المستقر Steady Flow بدون فواقد (مائع مثالى) "الطاقة عند أى نقطة تساوى مجموع طاقة الحركة وطاقة الضغط وطاقة الوضع ويكون هذا المجموع ثابت على طول خط السريان فى المجرى" وهذه الطاقة تساوى

$$H = \frac{10^4 P}{w} + \frac{V^2}{2g} + z$$

وعند السريان المستقر للمائع المثالى يمكن للطاقة أن تتغير من صورة لأخرى فإذا زادت طاقة الحركة إنخفضت طاقة الضغط أو طاقة الوضع وسوف نوضح تطبيقات نظرية برنوللى على بعض حالات السريان فى أجهزة قياس معدل السريان (الكمية) .

١) المقياس ذو الفتحة (Orifice Meter) :



شكل (٥)

يتكون هذا المقياس من أنبوبة قطرها الداخلى D يكون أكبر من ٥سم ومركب بها قرص به فتحة قطرها d أصغر من قطر الأنبوبة ولا يقل عن ٦مم كما بالشكل (٥) بحيث تكون نسبة الأقطار $\frac{d}{D}$ فى حدود ٠.٢ – ٠.٨ ولا تزيد نسبة مساحة المقطع $\left(\frac{d}{D}\right)^2$ عن ٠.٧ ، بتطبيق معادلة برنوللى على النقطتين (١) ، (٢) وإعتبار المائع مثالياً

الطاقة الكلية عند نقطة (١) = الطاقة الكلية عند نقطة (٢) = ثابت

$$\frac{10^4 P_2}{w}+\frac{V_2^2}{2g}+Z_2=\frac{10^4 P_1}{w}+\frac{V_1^2}{2g}+Z_1$$

مع أخذ المستوى القياسى هو محور الأنبوبة وإهمال السرعة V_1 بإعتبارها أقل بكثير من V_2

$$\frac{V_2^2}{2g}=\frac{10^4(p_1-p_2)}{w}=H_1-H_2=h \qquad V_2=\sqrt{2gh}$$

وإذا تكلمنا عن تأثير اللزوجة يتبين أنه عند سريان المائع يضيع جزء من الطاقة عن طريق الإحتكاك الناشئ من لزوجة السائل أى أنه إذا تم قياس السرعة V_2 لوجدنا أنها أقل من $\sqrt{2gh}$ لأن الطاقة الكلية عند نقطة (٢) تكون أقل من الطاقة الكلية عند نقطة (١) نتيجة فقد جزء منها بإحتكاك المائع مع جدران المقياس عند خروجه من الفتحة ، حيث ينتقل السائل من نقطة إلى أخرى نتيجة فرق الطاقة الكلية بين النقطتين

وبذلك تكون السرعة V_2 تساوى $K_V\sqrt{2gh}$ حيث K_V يسمى معامل السرعة وهو أقل من ١ ويمكن حساب معدل السريان (الكمية) Q المار خلال الفتحة من معادلة الإستمرار $Q = A_2V_2$ حيث أن السرعة تكون عمودية على المساحة عند الإنكماش أى عند النقطة (٢) وليس عند الفتحة Orifice ذاتها وبذلك تكون مساحة مقطع الإنكماش A_2 أقل من مساحة مقطع الفتحة نفسها $\frac{\pi}{4}d^2$

$$A_2=K_C\frac{\pi}{4}d^2$$

حيث أن K_c يسمى معامل إنكماش مقطع السريان وهو أقل من ١ وبذلك تكون الكمية المارة خلال الفتحة تساوى

$$Q=K_C\frac{\pi}{4}d^2K_V\sqrt{2gh}=K_d\frac{\pi}{4}d^2\sqrt{2gh} \qquad (1)$$

حيث أن K_d هو معامل التصريف ويساوى K_vK_c ويكون أقل من ١ ويمكن حساب قيمة هذا المعامل من التجارب المعملية ولتسهيل الحسابات يمكن إعتبار القيمة التقريبية لهذا المعامل تساوى ٠.٥٩٦ ، وبهذه الطريقة يتم قياس الكمية بمعرفة فرق الضغط بين قبل وبعد الفتحة ويتراوح ضغط النفث Jet الخارج من الفتحة بين أقل قيمة له عند الإنكماش وأقصى قيمة له بعد حوالى ٤ أو ٥ أمثال القطر D بعد الفتحة فى إتجاه السريان.

والعيب الأساسى للمقياس ذو الفتحة بالمقارنة بالمقياس ذو الفوهة أو مقياس فنشورى هو أن فاقد الضغط كبير ومن ناحية أخرى فإنه غير مرتفع الثمن وبإمكانه قياس الكمية بدقة ، على سبيل المثال لحساب فرق الضغط المقاس عبر الفتحة Orifice لخط أنابيب قطره ١٢ بوصة والكمية المارة حوالى ٤٠٠ متر مكعب فى الساعة :

نفترض أن قطر الفتحة يساوى ٠.٦٧٥ قطر الخط أى يساوى ٨ بوصة ، بتطبيق المعادلة رقم (١) وإعتبار $K_d = 0.596$

$$Q = K_d \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2gh}$$

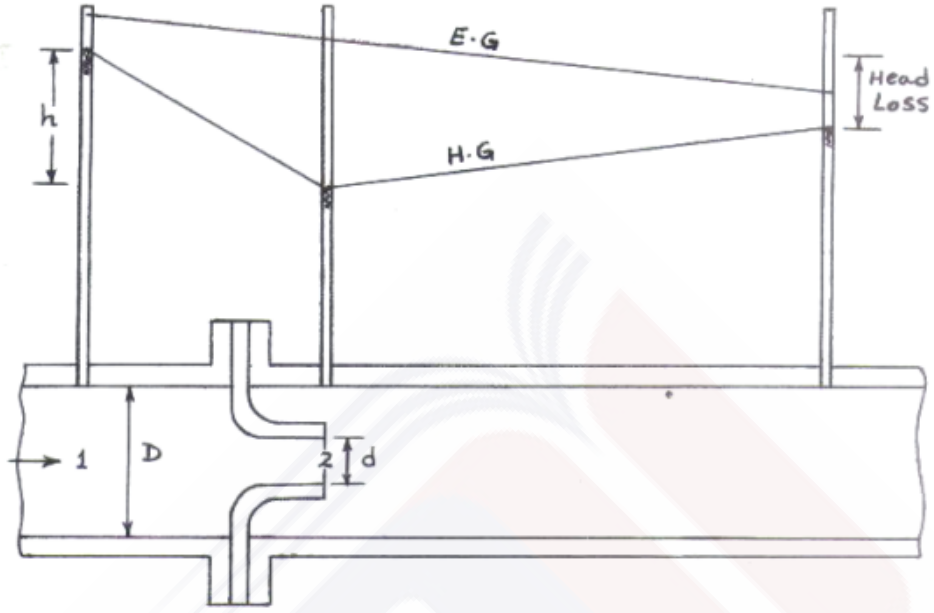
$$\frac{400}{3600} = 0.596 \frac{\pi}{4} \left(\frac{8 \times 2.54}{100} \right)^2 \sqrt{2 \times 9.8h} \quad , \quad h = 1.686 \text{ m t}$$

وبفرض أن السائل المنقول زيت كثافته ٠.٨٨٢ جم/ سم٣ يكون فرق الضغط المقاس عبر الفتحة يساوى

$$\Delta P = 1.686 \times \frac{0.882}{10} = 0.148 \, kg/cm^2$$

وعند إختيار مقياس الفتحة يجب مراعاة الحد الأقصى للفاقد الكلى للضغط عبر المقياس Head loss حيث يجب أن يكون الفاقد الكلى للضغط أقل ما يمكن وينبغى ألا تصل قيمة هذا الفاقد إلى ٠.٢٥ كجم/سم٢ بأى حال من الأحوال لأن هذا معناه حدوث فقد كبير نسبياً فى طاقة السائل مقابل قياس الكمية المارة .

ملحوظة: يمكن تطبيق المعادلة رقم (١) فى حالة قياس الكمية للموائع القابلة للانضغاط مثل الغازات بشرط ألا تزيد سرعة سريان الغاز عن ١٠٠ متر فى الثانية حيث أنه عند هذه السرعة تتغير كثافة الغاز تغير طفيف جداً أى أنه يمكن إهمال تأثير إنضغاطية الغاز فى هذه الحالة وإعتبار الغاز كمائع غير قابل للإنضغاط مثل السوائل .



شكل (٦)

٢) المقياس ذو الفوهة (Flow-Nozzle Meter) :

يتكون هذا المقياس من أنبوبة قطرها الداخلى D يكون أكبر من ٥سم ومركب داخلها أنبوبة قصيرة متغيرة المقطع بإنتظام وقطرها الداخلى d كما بالشكل (٦) بحيث تكون نسبة مساحة المقطع $\left(\frac{d}{D}\right)^2$ فى حدود ٠.٢ إلى ٠.٥٥ ، بتطبيق معادلة برنوللى على النقطتين (١) ، (٢) مع وضع تأثير اللزوجة فى الإعتبار

$$\frac{10^4 P_1}{w}+\frac{V_1^2}{2g}+Z_1=\frac{10^4 P_2}{w}+\frac{V_2^2}{2g}+Z_2+h_f$$

حيث أن h_f هو الفاقد بالإحتكاك بين النقطتين (١) ، (٢) مع إعتبار المستوى القياسى هو محور الأنبوبة

$$\frac{10^4 P_1}{w}+\frac{V_1^2}{2g}=\frac{10^4 P_2}{w}+\frac{V_2^2}{2g}+h_f$$

بإستخدام معادلة الإستمرار $A_1V_1=A_2V_2$ وإدخال معامل السرعة K_V ليحل محل الفاقد بالاحتكاك h_f

$$\frac{10^4 P_1}{w}+\frac{(V_2/K_V)^2}{2g}\left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2=\frac{10^4 P_2}{w}+\frac{(V_2/K_V)^2}{2g}$$

$$\frac{10^4(P_1-P_2)}{w}=\frac{V_2^2}{2gK_v^2}\left[1-\left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right]=H_1-H_2=h$$

$$V_2=K_v\sqrt{\frac{2gh}{\left[1-\left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right]}}$$

ويمكن حساب معدل السريان (الكمية) Q المار خلال الفوهة من معادلة الإستمرار

$$Q=A_2V_2=\frac{\pi}{4}d^2V_2$$

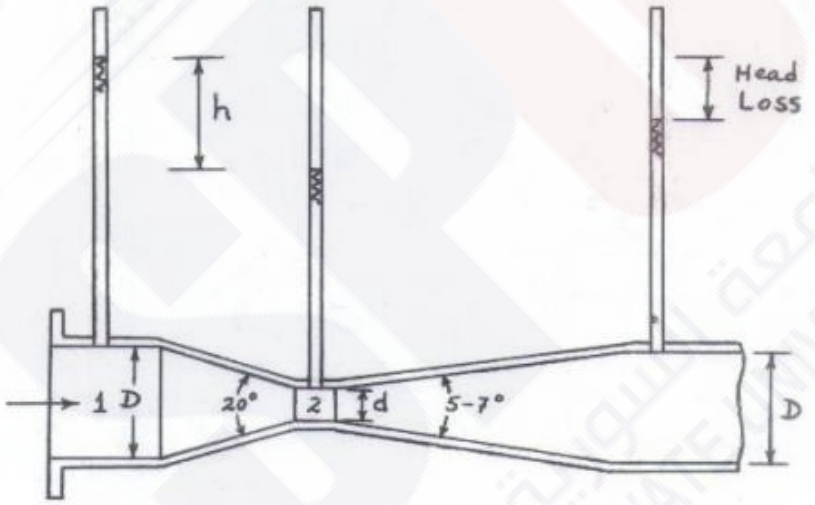
$$=K_d\cdot\frac{\pi}{4}d^2\sqrt{\frac{2gh}{\left[1-\left(\frac{d}{D}\right)^4\right]}}$$

حيث أن $K_d=K_V$ وهو معامل التصريف ويكون أقل من ١ ويمكن حساب قيمة هذا المعامل من التجارب المعملية وفى معظم الأحيان لتسهيل الحسابات يمكن إعتبار القيمة التقريبية لهذا المعامل تتراوح بين ٠.٩٣٥ للأقطار والسرعات الصغيرة عند المقطع (٢) إلى ٠.٩٨٨ للأقطار والسرعات الكبيرة نسبياً عند المقطع (٢) وبهذه الطريقة يمكن قياس الكمية بمعرفة فرق الضغط بين قبل مدخل الفوهة وعند مخرجها

والرسم بالشكل (٦) يوضح تغير الطاقة الكلية مع الطول لكمية معينة خلال الفوهة بإعتبار أن المستوى القياسى المناسب هو محور الفوهة ونحدد الأطوال عليه أما المحور الرأسى فيمثل صور الطاقة المختلفة فعند النقطة (١) نبدأ بتوقيع مسافة رأسية تمثل طاقة الضغط $\frac{10^4P_1}{w}$ ونضيف إليها مسافة أخرى تمثل طاقة الحركة $\frac{V_1^2}{2g}$ فنحصل على نقطة تمثل الطاقة الكلية عند نقطة (١) ونكرر ذلك عند النقطة (٢) فنحصل على نقطة أخرى تمثل الطاقة الكلية عند نقطة (٢) ونكرر هذه العملية عند أوضاع مختلفة على طول المقياس وذلك بمقياس رسم معين وبتوصيل هذه النقط نحصل على خط يمثل تغير الطاقة الكلية خلال الفوهة

ويطلق عليه إنحدار الطاقة Energy Gradient (E.G) وتكون الطاقة الكلية عند مخرج الفوهة أقل منها عند مدخلها بمقدار h_f وإذا تم توصيل نقط توقيع طاقة الضغط نحصل على خط يمثل تغير الضغط خلال الفوهة ويطلق عليه إنحدار الضغط Hydraulic Gradient (H.G) ويتضح أن إنحدار الضغط ينخفض عن إنحدار الطاقة بقدر طاقة الحركة $\frac{V^2}{2g}$ عند هذه النقطة ونلاحظ أن فاقد الطاقة عبر المقياس يساوى فاقد الضغط عبر المقياس وذلك لتساوى السرعة وكذلك طاقة الوضع عند مدخل ومخرج المقياس ويسبب المقياس ذو الفوهة فاقد ضغط أكبر من مقياس فنشورى وأقل من المقياس ذو الفتحة .

٣) مقياس فنشورى Venturi Meter :



شكل (٧)

يتكون هذا المقياس من أنبوبة قطرها الداخلى D يكون أكبر من ٥ سم ويظل يصغر حتى يصل إلى القطر d ثم يكبر القطر تدريجياً ليصل إلى قيمته الأصلية كما بالشكل (٧) بحيث تكون نسبة مساحة المقطع $\left(\frac{d}{D}\right)^2$ فى حدود ٠.٠٥ إلى ٠.٥٥

بتطبيق معادلة برنوللى على النقطتين (١) ، (٢) مع وضع تأثير اللزوجة فى الإعتبار وإستخدام معادلة الإستمرار وإدخال معامل التصريف K_d ليحل محل الفاقد بالإحتكاك h_f كما تم للمقياس ذو الفوهة يمكن حساب الكمية Q المارة خلال الفنشورى

$$Q = K_d \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{\frac{2gh}{\left[1-\left(\frac{d}{D}\right)^4\right]}}$$

وبهذه الطريقة يتم قياس الكمية بمعرفة فرق الضغط بين قبل بداية تصغير القطر وعند أقل قطر ويمكن رسم إنحدار الطاقة والضغط ويتضح منه أن فاقد الطاقة h_f تقابل إستخدام المعامل k_d ، ويسبب مقياس فنشورى فاقد ضغط صغير جداً ويتراوح معامل التصريف لمقياس فنشورى بين قيمة تقريبية قدرها ٠.٩٣٥ للأقطار والسرعات الصغيرة عند المقطع (٢) إلى ٠.٩٨٨ للأقطار والسرعات الكبيرة نسبياً عند المقطع (٢) ولتسهيل الحسابات يمكن إعتبار القيمة التقريبية لهذا المعامل تساوى ٠.٩٨ – ٠.٩٩ وتكون قيمة معامل التصريف للهواء حوالى ٠.٩٩

والجدول رقم (١) يوضح مقارنة لقيمة الفاقد الكلى للضغط عبر المقياس وذلك للأنواع الثلاثة السابقة لأجهزة قياس الكمية وذلك بإعتبار فرق الضغط المقاس مقدار ثابت ويساوى ٣٠سم زئبق (٠.٤كجم/سم٢) .

نوع المقياس	نسبة الأقطار $(\frac{d}{D})$	فرق الضغط المقاس عند المآخذ الملائمة (kg/cm^2)	الفاقد الكلى للضغط عبر المقياس كنسبة مئوية من فرق الضغط المقاس	الفاقد الكلى للضغط عبر المقياس (kg/cm^2)
ذو الفتحة orifice	٠.٦٧٥	٠.٤	%٥٤	٠.٢١٦
ذو الفوهة Flow-Nozzle	٠.٦٥٢	٠.٤	%٤٥	٠.١٨
فنشورى Venturi	٠.٥–٠.٦٧٥	٠.٤	%١٠	٠.٠٤

جدول (١)

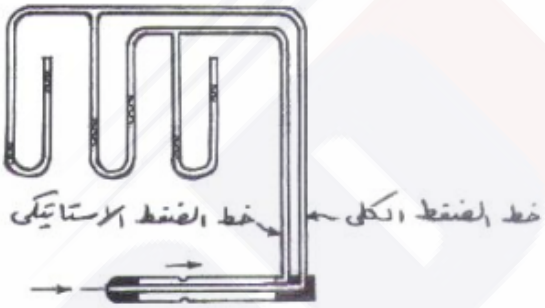
أطوال الأنابيب قبل أجهزة القياس وبعدها :

عند إستخدام أجهزة لقياس الكمية المارة فى الأنابيب يجب أن يسبق الجهاز طول مستقيم من الأنبوبة Straight Run لضمان إنتظام السريان قبل الجهاز وخاصة إذا إحتوت الأنبوبة على تركيبات مثل الأكواع ، التيهات والمحابس وكذلك يجب أن يلى الجهاز طول مستقيم من الأنبوبة وذلك حتى لا تؤثر الضغوط الخلفية Back pressure على دقة الجهاز

وإذا كانت النسبة التقريبية للأقطار $\frac{d}{D}$ تتراوح بين ٠.٦٥٢ – ٠.٦٧٥ يكون الطول المستقيم التقريبى قبل المقياس ذو الفتحة orifice يساوى ٢٠ مثل قطر الأنبوبة (20 D) ويكون الطول المستقيم التقريبى قبل المقياس ذو الفوهة Flow-Nozzle وقبل مقياس فنشورى Venturi يساوى ٣٠ مثل قطر الأنبوبة (30D) وذلك فى أسوأ حالة Worst Case من أنواع التركيبات وفى أغلب الأحيان يكون الطول المستقيم التقريبى بعد الجهاز يساوى خمسة أمثال قطر الأنبوبة (5D) وذلك لكل أجهزة القياس السابقة .

٤) أنبوبة Pitot :

شكل (٨)



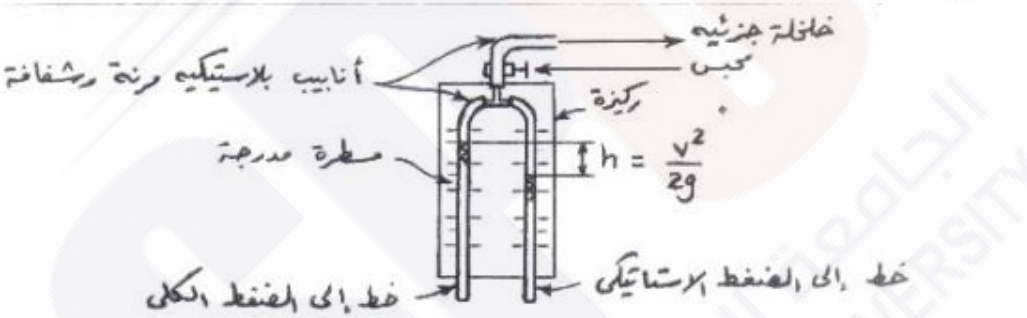
شكل (٩)

تتكون أنبوبة Pitot من أنبوبة على هيئة زاوية قائمة وعندما يغمر الجزء المثنى جزئياً تحت الماء ويوجه مباشرة لإتجاه السريان Flow فإنه يبين سرعة السريان بالمسافة التى يرتفعها الماء فى الجزء الرأسى من الأنبوبة عن سطح الماء حيث أن هذه المسافة تساوى طاقة الحركة $\frac{V^2}{2g}$ كما هو بالشكل (٨) .

والشكل المتكامل لهذه الأنبوبة يعرف بإسم Pitot-Static كما بالشكل (٩) وهى تتكون من جزئين أساسيين منفصلين ومتوازيين أحدهم يبين مجموع الضغط الكلى (الطاقة الكلية) والآخر يبين الضغط الإستاتيكى (طاقة الضغط) فقط ويتم الحصول على الضغط الديناميكى (طاقة الحركة) بطرح الضغط الإستاتيكى من الضغط الكلى حيث أن أنبوبة Pitot-

static تقيس الفرق بين الضغط الكلى والضغط الإستاتيكى عند نقطة وحيدة وتستخدم المانومترات بصورة شائعة لقياس هذه الضغوط .

ويوضح شكل (١٠) إستخدام أنبوبة Pitot-Static لقياس الكمية (معدل السريان) فى القنوات المفتوحة للسريان المنخفض السرعة حيث أنه يصعب قياس إرتفاع الماء فى المانومتر فوق سطح الماء المتدفق ويتم ذلك بتوصيل طرفى المانومتر ببعض من أعلى بواسطة وصلة على شكل حرف T ويوصل الطرف الثالث لها بخط يمكن توليد خلخلة جزئية به وبعد أخذ الهواء من أنبوبة Pitot يرتفع الماء لأعلى إلى المانومتر حتى الإرتفاع المقترح لتسهيل القراءة ثم يغلق خط الخلخلة وتؤثر الخلخلة الجزئية بالتساوى على طرفى المانومتر وفى هذه الحالة لم يتغير فرق الـ Head .



شكل (١٠)

فاقد الطاقة فى خطوط الأنابيب :

ينقسم فاقد الطاقة فى الأنابيب إلى نوعين هما :

١ – فاقد الإحتكاك نتيجة إجهادات القص اللزج داخل السائل والإضطراب عند جدار الأنبوبة .

٢ – الفواقد الثانوية نتيجة وجود تغير فى سرعة أو إتجاه السريان ونلاحظ أن تقليل السرعة يتسبب فى فاقد ضغط أعلى من زيادة السرعة .

١) فاقد الإحتكاك Friction Head Loss :

يعتمد فاقد الإحتكاك فى الأنبوبة على نوع السائل المار وسرعة السريان وأبعاد الأنبوبة والمادة المصنوع منها الأنبوبة وهو يساوى

$$h_f = f\frac{l}{d}\left(\frac{V^2}{2g}\right) = \frac{0.81057\, flQ^2}{gd^5}$$

حيث أن l طول الأنبوبة ، d القطر الداخلى للأنبوبة ، $\frac{V^2}{2g}$ طاقة الحركة ، Q معدل السريان أو الكمية

f معامل الإحتكاك وتعتمد قيمته على نوع السريان فى الأنبوبة حيث يوجد نوعان من السريان فى الأنابيب هما السريان الرقائقى Laminar Flow والسريان المضطرب Turbulent Flow ولكى يتم نقل السوائل بخطوط الأنابيب بصورة إقتصادية بمعنى تحقيق أقل تكلفة كلية للمشروع فإن ذلك يستوجب أن تكون الكميات المنقولة بالخط كبيرة وبالتالى يكون السريان مضطرب Turbuleut FLow ويتحدد نوع السريان عن طريق رقم بدون وحدات يسمى رقم رينولد Reynold's Number ويرمز له بالرمز R_N وهو يساوى

$$R_N = \frac{sp.gr \times V\,(cm/\sec) \times d(cm)}{\mu\,(poise)}$$

$$= \frac{25400 \times V\,(mt/\sec) \times d(inch)}{\gamma(cst)}$$

حيث أن sp.gr هى الكثافة النسبية للسائل وهى رقم بدون وحدات وتساوى عددياً كثافة السائل بالجرام/ سنتيمتر مكعب

V سرعة سريان السائل داخل الأنبوبة

d القطر الداخلى للأنبوبة

μ أو γ لزوجة السائل الديناميكية (المطلقة) أو الكينماتيكية

وقد وجد أنه إذا كان رقم رينولد أقل من ٢٠٠٠ كان السريان رقائقى (سرعة سريان منخفضة نسبياً) وفى هذه الحالة تكون اللزوجة هى السبب الأكبر لمقاومة السريان وفقد الضغط ، وفى هذه الحالة يكون

$$V(mt/\sec) < 0.0787\,\frac{\gamma(Cst)}{d(inch)}$$

$$Q(mt^3/hr) < 0.1436\gamma\ (cst).\ d(inch)$$

وأيضاً يكون فاقد الإحتكاك يساوى

$$h_f = 2.7717\,\frac{\gamma l Q}{d^4}$$

حيث أن h_f فاقد الإحتكاك فى الأنبوبة بالمتر

γ لزوجة السائل بالسنتى ستوكس l طول الأنبوبة بالكيلومتر

Q معدل السريان أو الكمية بالمتر المكعب فى الساعة ، d القطر الداخلى للأنبوبة بالبوصة

وإذا كان رقم رينولد أكبر من ٤٠٠٠ كان السريان مضطرب (سرعة سريان عالية نسبياً وأكثر إنتظاماً) ، وفى هذه الحالة يكون السبب الملحوظ أكثر لمقاومة السريان هو نتيجة خشونة جدار الأنبوبة والإضطراب وفى هذه الحالة يكون

$$V(mt/\sec) > 0.15748\frac{\gamma(Cst)}{d(inch)}$$

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

وأيضاً يكون فاقد الإحتكاك يساوى

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

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

٢) الفواقد الثانوية Minor losses :

وهى تساوى $h_s = K\left(\frac{V^2}{2g}\right)$ حيث أن $\left(\frac{V^2}{2g}\right)$ هى طاقة الحركة ، K معامل يعتمد على مصدر الفاقد ويمكن إيجاز الفواقد الثانوية كما فى الجدول (٢) .

الفـــاقد	معامل الفاقد K
فى مدخل الأنبوبة	٠.٥
عند مخرج الأنبوبة	١
عند تقليل مقطع الأنبوبة فجأة	٠.٥
عند تقليل مقطع الأنبوبة تدريجياً	٠.٠٥
فى الكوع ٩٠°	١
فى الكوع ٤٥°	٠.٥
فى الوصلة تيه	٠.٩
فى المحبس المفتوح تماماً	٠.٢

جدول (٢)

وتوجـد طريقــة أخــرى لحســاب الفواقــد الثانويــة هــى طريقــة الأطــوال المكافئــة Equivalent Length بمعنى أن أى مصدر من مصادر الفواقد الثانوية يعطى فى صورة طول مستقيم من الأنبوبة بشرط أن يكون فاقد الإحتكاك فى هذا الطول يساوى الفاقد الثانوى وهو يساوى

$$h_s = f\frac{leq}{d}\left(\frac{V^2}{2g}\right) = \frac{0.81057 f\, leq\ Q^2}{gd^5}$$

وتعطى قيم leq لمصادر الفاقد بالمتر كما بالجدول (٣)

Pipe Size (Inch)	Bends		Welding Elbows		Welding Tee	Valves			
	Ratio Of Bend Radius To Pipe Size		Long Radius	Short Radius		Gate	Globe	Angle	Swing Check
	نق=٥ القطر	نق=٦ القطر	نق=١.٥القطر	نق = القطر					
1	0.15	0.18	0.33	0.43	1.19	0.18	8.84	4.57	2.22
1.25	0.18	0.24	0.43	0.55	1.58	0.24	11.58	5.79	2.93
1.5	0.24	0.27	0.49	0.64	1.83	0.27	13.72	6.7	3.35
2	0.30	0.33	0.64	0.85	2.38	0.36	17.37	8.84	4.27
2.5	0.36	0.40	0.76	1	2.83	0.43	21.03	10.36	5.18
3	0.46	0.52	0.94	1.25	3.35	0.55	25.91	13.11	6.4
4	0.61	0.67	1.22	1.64	4.57	0.73	34.14	17.07	8.53
5	0.76	0.85	1.55	2.04	5.79	0.88	42.67	21.34	10.67
6	0.91	1	1.86	2.47	7	1.07	51.21	25.6	12.8
8	1.19	1.31	2.44	3.35	9.14	1.43	67.67	33.83	17.07
10	1.49	1.68	3.05	3.96	11.58	1.8	84.73	42.37	21.34
12	1.77	1.95	3.66	4.88	13.72	2.13	101.19	50.6	25.3
14	1.89	2.07	3.96	5.49	14.93	2.35	110.95	55.47	27.74
16	2.16	2.38	4.57	6.1	17.07	2.68	127.1	63.4	31.7
18	2.44	2.68	5.18	7	19.2	3.02	142.95	71.32	35.66
20	2.74	2.99	5.79	7.62	21.64	3.35	159.1	79.55	39.93
24	3.35	3.66	7	9.14	25.91	3.96	191.72	95.71	47.85

جدول (٣)

وقد يتضح من الخبرة العملية أن البلوف من نوع Gate, Ball, Plug And Butterfly لها مقاومة منخفضة للسريان أما البلوف الأخرى من نوع Globe And Angle لها مقاومة مرتفعة للسريان .

ويطلق على مجموع كلاً من فاقد الإحتكاك والفواقد الثانوية الفاقد الكلى فى الأنبوبة وهو يساوى

$$h_t = h_f + h_s = f\frac{l+leq}{d}\left(\frac{V^2}{2g}\right) = \frac{0.81057 f(l+leq)Q^2}{gd^5}$$

وفى حالة الخطوط الطويلة تكون الفواقد الثانوية صغيرة جداً بالنسبة لفاقد الإحتكاك وبالتالى يمكن إهمالها أما فى حالة الخطوط القصيرة مثل شبكات الخطوط الداخلية فإنه لا يمكن إهمال الفواقد الثانوية إذا ما قورنت بفاقد الإحتكاك .