مقدمة:

قبل البدء في قياسات التدفق فإنه من الضروري جداً معرفة القوانين الأساسية للتدفق، حيث توضح بعض القوانين الفيزيائية (physical laws) مايحدث عندما يتدفق المائع في خط الأنابيب، وتباعاً فإنها توضح مايحدث عند تدفق التيار أثناء مروره في المقياس (meter). ومن المهم الإشارة إلى أنه يجب أن يكون لجميع المتغيرات المحتواة في المعادلات واحدات القياس الثابتة (consistent units of measure):

- **قانون مصونية الكتلة** (Conservation of mass): وينص على أن التدفق الكتلي (mass rate) ثابت، وبتعبير آخر فإن كمية المائع المتدفقة من خلال المقياس لايطرأ عليها أي زيادة أو نقصان عند انتقالها من النقطة (1) إلى النقطة (2). ويدعى هذا القانون أحياناً بقانون الاستمرارية (Law of Continuity) ويمكن التعبير عنه رياضياً على الشكل التالي:

$$M_1 = M_2 \qquad (1)$$

حيث إنّ:

M_1 : التدفق الكتلي في النقطة (1) أو (mass rate upstream).

M_2 : التدفق الكتلي في النقطة (2) أو (mass rate downstream).

الشكل (1)، مفهوم قانون مصونية الكتلة.

وطالما أن التدفق الكتلي يساوي ($\rho \mathrm{v} A$) فإنه يمكن كتابة العلاقة السابقة على النحو التالي:

$$\rho_1 \mathrm{v}_1 A_1 = \rho_2 \mathrm{v}_2 A_2 \qquad (2)$$

حيث إنّ:

ρ : كثافة المائع (fluid density) عند النقطة المختارة في الأنبوب.

v : السرعة المتوسطة (average velocity) في الأنبوب عند النقطة المختارة.

A : مساحة المقطع العرضي للأنبوب (pipe area) عند النقطة المختارة.

1 و2: (upstream and downstream positions).

كما يمكن أن نكتب مايلي:

$$Q = \mathrm{v} \cdot A \qquad (3)$$

حيث إنّ (Q) التدفق الحجمي عند شروط التدفق (flowing conditions).

- **قانون مصونية الطاقة** (Conservation of energy): وينص على أن الطاقة تبقى نفسها في كل نقطة من نقاط النظام، بالرغم من أن الطاقة تتحول من شكل إلى آخر (Bernoulli theorem). حيث أن الطاقة الكلية في نظام ما هي عبارة عن مجموع الأنواع التالية:

1. الطاقة الكامنة (Potential Energy): الناتجة عن ارتفاع النظام عن مستوي مقارنة.
2. طاقة الضغط (Pressure Energy).
3. الطاقة الناتجة عن عمل الجريان (Flow Work Energy) واللازمة لتدفق السائل.
4. الطاقة الحركية (Kinetic Energy) أو طاقة الحركة (energy of motion) الناتجة عن حركة المائع.
5. الطاقة الداخلية (Internal Energy) الناتجة عن درجة حرارة المائع أو تركيبه الكيميائي.
6. الطاقة الخارجية (External Energy) وهي عبارة عن الطاقة المتبادلة المائع والوسط المحيط وهي عادةً عبارة عن طاقة حرارية (heat energy) أو طاقة عمل (work).

- **قانون الاحتكاك** (Fluid Friction Law): وينص بأنه يستلزم كمية معينة من الطاقة للتغلب على الاحتكاك بغية تحريك المائع من النقطة (1) إلى النقطة (2). وبهدف إجراء حسابات التدفق يتم اللجوء إلى استخدام بعض الفرضيات التبسيطية التي من شأنها جعل التدفق يتم وفق النظام المسقر (steady flow). حيث تولى الطاقة الكامنة وطاقة الضغط والطاقة الحركية الاهتمام الأكبر في الدراسة وعليه يمكن كتابة معادلة توازن الطاقة في حالة الجريان المثالي (ideal flow) (بدون احتكاك) على الشكل التالي:

$$KE_1 + PE_1 + PRE_1 = KE_2 + PE_2 + PRE_2 \qquad (4)$$

حيث إنّ:

KE : الطاقة الحركية.

PE : الطاقة الكامنة.

PRE : طاقة الضغط.

كما ذكرنا سابقاً أن العلاقة (4) تمثل علاقة الجريان المثالي (ideal flow equation) في الأنابيب. إنه من الضروري جداً في التطبيقات الفعلية إجراء بعض التصحيحات. حيث يتمثل التصحيح الرئيسي للمعادلة بإدخال معامل الكفاءة (efficiency factor) الذي يدعى بمعامل التصريف (coefficient of discharge) حيث يأخذ هذا المعامل بعين الاعتبار الاختلاف بين الجريان المثالي والجريان الحقيقي.

تنص المعادلة المثالية على أن (100%) من التدفق سوف يعبر الفتحة (orifice) في حين تشير الاختبارات التجريبية فعلياً بأن كمية أقل من التدفق سوف تعبر من أجل تباين معطى. حيث تتفاوت هذه النسبة من مقياس تدفق إلى آخر فعلى سبيل المثال، هي حوالي (60%) عند المرور عبر المقياس الفوهي (orifice meter) و(95%) عند المرور عبر المنفث (nozzle) و(98%) عند المرور عبر أنبوبة فينتوري (Venturi Tube). وهذه التباينات ناجمة عن عدم كفاءة جهاز قياس التدفق (device’s inefficiency) أو عن ضياع الكفاءة نتيجة للاضطرابات الحاصلة في الجهاز بسبب عدم تحول كل طاقة الضغط إلى طاقة حركية. ومن الجدير بالذكر أن هذا المعامل يحدد صناعياً.

كما من الملاحظ أن العلاقة (4) تفترض عدم إضافة أو إزالة أي طاقة مثل الحرارة (heat) من التيار بين أعلى التيار (upstream) والجهاز نفسه. وفي الحقيقة فإن هذا الافتراض صحيح وذلك مالم يكن هناك اختلاف ملموس (significant difference) بين درجة حرارة التيار المتدفق ودرجة حرارة الوسط المحيط، أو في مقاييس الموائع التي تكون حجومها حساسة جداً للتغيرات الصغيرة جداً في درجة الحرارة الحاصلة عند قياس المائع بالقرب من درجة الحرارة الحرجة (critical temperature).

كما تفترض أيضاً أنه لايوجد أي تغير في درجة الحرارة وذلك نتيجة لتمدد المائع (لأن الضغط يكون أخفض في المقياس) من أعلى التيار إلى المقياس. ونتيجة للتفاوت البسيط في الضغط (low pressure difference) بين هذين الموقعين فإنه يمكن إهمال هذا الاعتبار النظري. أما إذا كان هناك تغير في الحالة الفيزيائية للمائع (من السائل إلى الغاز أو بالعكس) فإنه من المهم جداً الأخذ بعين الاعتبار تغييرات درجة الحرارة.

وعلاوة على ذلك فإن الحجم الذي يشغله الطور الغازي أكبر بكثير من ذلك الذي يشغله الطور السائل. وبسبب هذه المشاكل فإنه يجب عدم استخدام مقاييس التدفق للسوئل القابلة للوميض (flashing liquids) أو للغازات المتكاثفة (condensing gases).

عدد رينولدز (REYNOLDS NUMBER):

وهو أداة مفيدة جداً فيما يتعلق بكيفية الاستجابة التي يبديها المقياس للتغيرات في الموائع من الغازات إلى السوائل. طالما أنه من المستحيل إجراء حجم كبير من البحوث المطلوبة لاختبار كل مقياس على كل مائع مراد قياسه، فإنه من المفضل أن تكون العلاقة بين بارامترات المائع معلومة. ففي عام (1883) عمل رينولدز على تعريف هذه العلاقات من خلال عدد رينولدز المعرّف رياضياً من خلال العلاقة التالية:

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho \, \mathrm{v} \, D}{\mu} \qquad (5)$$

حيث إنّ:

ρ : كثافة المائع (density of the fluid)، (lb / ft^3).

v : سرعة المائع (velocity of the fluid)، ($ft/\sec$).

D : قطر الأنبوب (pipe diameter)، (ft).

μ : لزوجة المائع (viscosity of the fluid)، ($lb / ft \cdot \sec$).

واعتماداً على عدد رينولدز فإنه يكون لبروفيل توزع السرعة (velocity profile) [الذي يؤثر في كل المقاييس الحساسة للسرعة (velocity sensitive meters) وبعض المقاييس الخطية (linear meters)] عدة قيم مهمة. حيث يكون لبروفيل السرعة شكل قطع مكافئ وذلك عندما لاتتجاوز قيم عدد رينولدز القيمة الحدية ($\mathrm{Re}_c = 2320$)، في حين يكون الجريان في المنطقة الانتقالية (transition region) وذلك عندما تتراوح قيمة عدد رينولدز ضمن المجال من ($\mathrm{Re} = 2320 - 4000$)، أما عند قيم ($\mathrm{Re} > 4000$) فإن الجريان يقع في منطقة الجريان المضطرب (turbulent flow area) ويكون بروفيل توزع السرعة أكثر انتظاماً. وبالتالي فإن حساب عدد رينولدز سوف يساعد في تحديد نمط سرعة الجريان (flow velocity pattern) وأيضاً في معرفة الحدود التقريبية (approximate limits) لتطبيقات مقاييس التدفق (meter's application).

قوانين الغازات (GAS LAWS):

تقاس الغازات بشكل دائم عند شروط تختلف عن الشروط القياسية أو الأساسية (standard or base conditions) لذلك فإنه من الضروري جداً تحويلها إلى الشروط الأساسية المرغوبة (desired base conditions) من خلال الحساب وذلك باستخدام قوانين الغازات بغية خلق حجوم قابلة للمقارنة (volumes comparable).

تمدد السوائل (EXPANSION OF LIQUIDS):

بشكل مشابه للغازات، تتفاوت حجوم السوائل بتغير الضغط ودرجة الحرارة. وبسبب أن التأثير البسيط للضغط على انضغاطية السوائل فإنه يمكن هذا التأثير مالم تقترب درجات الحرارة من درجة الحرارة الحرجة (ضمن مجال 20%). كما أن تأثير درجة الحرارة ليس كبيراً كما هو الحال بالنسبة للغازات. فإذا كان هناك اختلافاً كبيراً بين درجات حرارة التيار المتدفق ودرجة الحرارة الأساسية أو بين ضغط التدفق والضغط الأساسي أو إذا كان المطلوب تحقيق درجة عالية من الدقة فإنه من الضروري إجراء التصحيحات اللازمة.

يعتمد تصحيح تأثير درجة الحرارة (temperature-effect-correction) على التمدد التكعيبي (cubical expansion) من أجل كل سائل كمايلي:

$$V_b = V_f\left[1 + B\left(T_f - T_b\right)\right] \qquad (6)$$

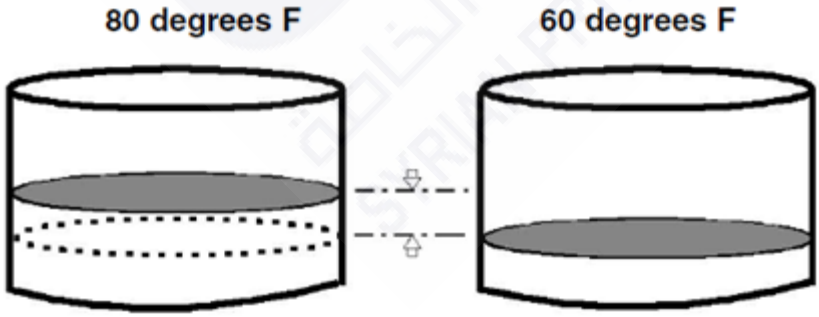
حيث إنّ:

V_b: الحجم في الشروط الأساسية.

V_f: الحجم في شروط التدفق.

T_b: درجة الحرارة الأساسية.

T_f: درجة حرارة التدفق.



الشكل (2)، تأثير درجة الحرارة على حجم السائل.

في حين يعتمد تصحيح تأثير الضغط (pressure-effect-correction) على انضغاطية (compressibility) السائل المدروس.