SAWA UNIVERSITY

ميكانيك الموائع الحيوية

Biofluid Mechanics

جامعة ساوة الأهلية

الكلية التقنية الهندسية

قسم هندسة تقنيات الفيزياء الطبية والعلاج الاشعاعي

المرحلة الثانية

السنة الدراسية: 2025 – 2026/ الفصل الأول

المحاضرة الرابعة: مفهوم التصريف – التصنيف الزماني والمكاني للجريان

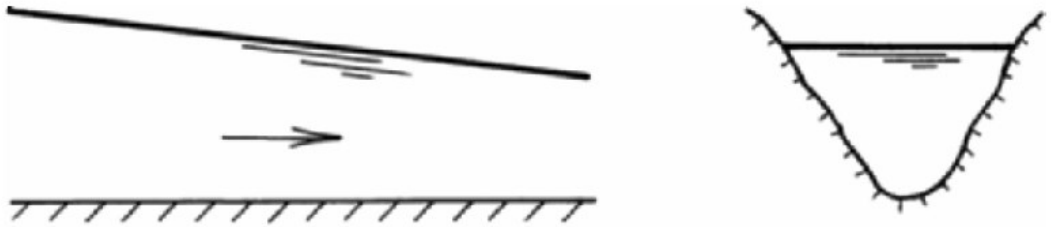
Concept of Discharge, Temporal and Spatial Classifications of Flow

CLASSIFICATION OF FLOW

Fluid flow can occur in either open or closed channels. In these lectures, we will deal mainly with the closed channel flow.

1) OPEN CHANNEL FLOW

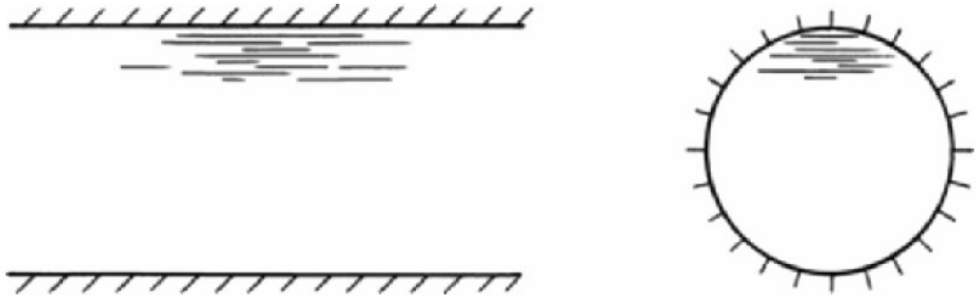
- For liquids only.
- Liquid surface is subjected to the atmospheric pressure. Therefore, it is called “free-surface flow”.
- The Liquid flows under the effect of **gravity**.



Open Channel Flow (Free-surface Flow)

2) PIPE FLOW (CLOSED CHANNEL)

- There is no free-surface, and the channel is flowing full.
- The fluid flows under the effect of **pressure**.



Closed Channel Flow (Pipe Flow)

WHAT IS DISCHARGE?

Discharge (also known as **Flow Rate**) is the volume of fluid that passes through a given cross-sectional area per unit of time.

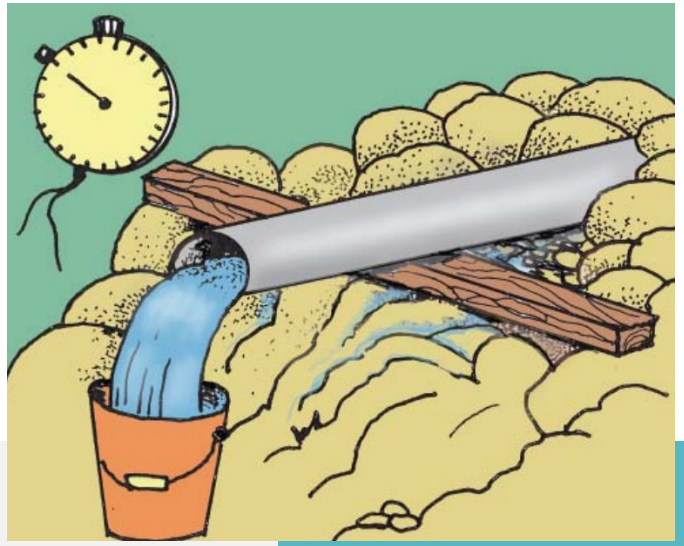
التصريف هو حجم المائع المار عبر المقطع العرضي للجريان في وحدة الزمن.

Units of Discharge

- Cubic meters per second (m^3/s) or liters per second (ℓ/s) for large flows.
- Gallons per minute (**GPM**) in U.S. customary units or cubic feet per second (ft^3/s).
- For small discharges (like blood in human arteries), Milliliters per minute ($m\ell/min$), Cubic centimeters per second (cm^3/s).
- In cases of very small vessels or capillary flow, Microliters per minute ($m\ell/min$).

NOTE: Cubic centimeter (cm^3) = Milliliter ($m\ell$).

The simplest way to estimate small flows is by direct measurement of the time to fill a container of known volume. The flow is diverted into a channel or pipe which discharges into a suitable container, and the time to fill is measured by stopwatch.



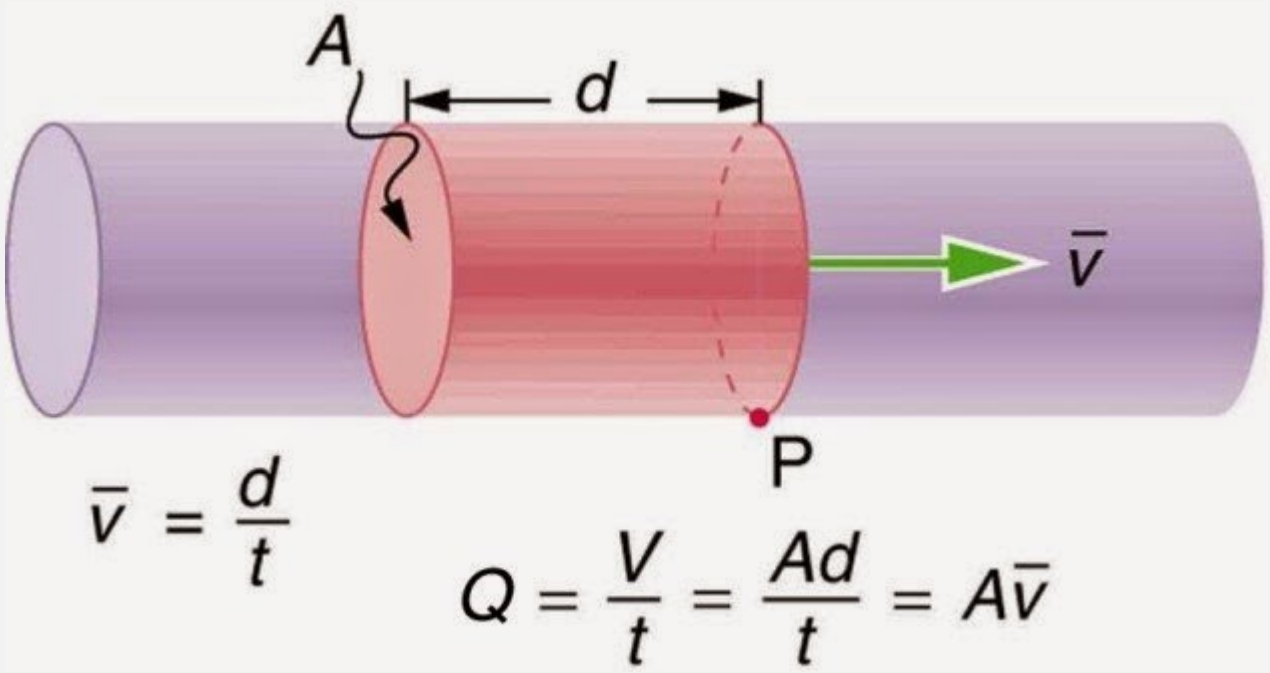
$$\text{Discharge (Q)} = \frac{\text{Volume}}{\text{Time}}$$ **m^3/s** (SI units)

Discharge (or flow rate) can also be considered as:

$$\text{Discharge} = \text{Velocity} \times \text{Area}$$

$$\mathbf{Q = V \times A} = \frac{\text{m}}{\text{s}} \times \text{m}^2 = \frac{\mathbf{m^3}}{\mathbf{s}}$$

- The ***Area*** in this equation is the cross-sectional area perpendicular to the flow direction.



Example: Blood flows in an artery of 0.5 mm diameter at a velocity of 1.5 cm/s. Find the blood discharge through the artery in mℓ/min.

Example: A fluid flows in a pipe at a discharge of 30 ℓ/hr. Find the fluid velocity if the pipe diameter is:
1) 15 cm, and **2)** 5 cm.

Example: A container of (200 ℓ) is filled with water in 15 seconds. Find the discharge in: **1)** ℓ/min, **2)** m^3/s.

Example: A container of is filled with water in 10 seconds at a discharge of 22 ℓ/s. Find its volume.

Example: Consider water flowing through two circular pipes. Pipe (1) has a diameter of 5 cm and carries a flow rate of 5 ℓ/s. Pipe (2) has a diameter of 2.5 cm. Determine the flow velocity in Pipe (2) required to achieve the following conditions:

1) The flow rate in Pipe (2) is equal to that in Pipe (1).
2) The flow rate in Pipe (2) is twice that in Pipe (1).

TEMPORAL CLASSIFICATION

الجريان الثابت

Steady flow refers to the condition where the fluid properties at a point in the fluid do not change over time.

$$\frac{\partial \mathrm{Q}}{\partial \mathrm{t}} = \frac{\partial \mathrm{V}}{\partial \mathrm{t}} = \frac{\partial \mathrm{A}}{\partial \mathrm{t}} \dots etc = 0$$

الجريان غير الثابت

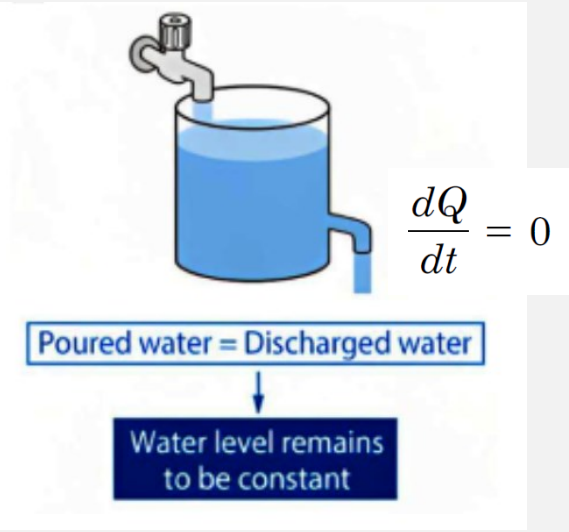
If the flow properties change with time, the flow is called **unsteady**.

$$\frac{\partial \mathrm{Q}}{\partial \mathrm{t}} \neq 0, \qquad \frac{\partial \mathrm{V}}{\partial \mathrm{t}} \neq 0, \qquad \frac{\partial \mathrm{A}}{\partial \mathrm{t}} \dots etc \neq 0$$

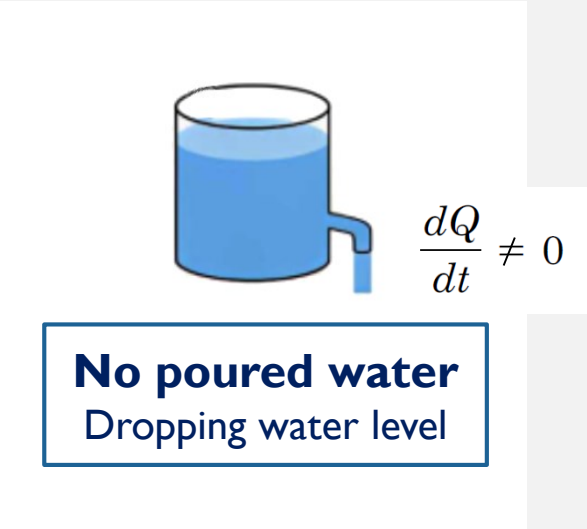
Example of *steady flow* (upper figure) is a water tank with entering discharge being equal to the outflow ($\boldsymbol{Q_{in} = Q_{out}}$) so the water level and outflow velocity are constant.

Example of *unsteady flow* (lower figure) is when the entering discharge is zero ($\boldsymbol{Q_{in} = 0}$), and the outflow is changing as the water level drops.

Example of steady flow



Example of unsteady flow



SPATIAL CLASSIFICATION

الجريان المنتظم

Uniform flow refers to the condition where the fluid properties do not change with respect to space (length of flow direction).

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{\partial V}{\partial x} = \frac{\partial A}{\partial x} \dots etc = 0$$

Example:

- Water flowing in a straight pipe of constant cross-sectional area with constant discharge.

الجريان غير المنتظم

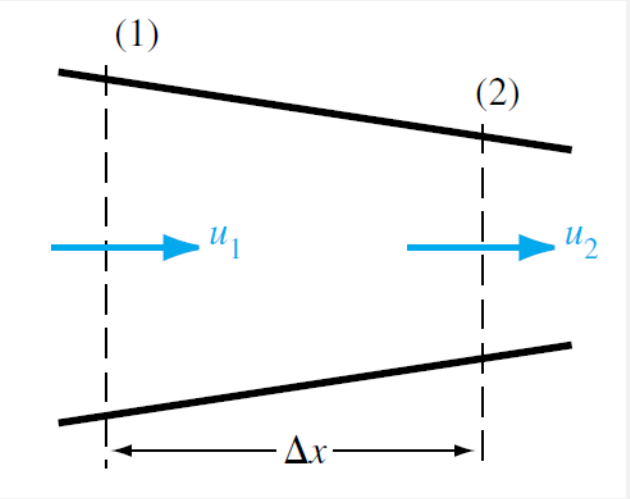
Non-uniform flow is when the flow properties vary along the length in the flow direction.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} \neq 0, \qquad \frac{\partial V}{\partial x} \neq 0, \qquad \frac{\partial A}{\partial x} \dots etc \neq 0$$

Example:

- Water flowing in a pipe of variable cross-sectional area.

Example of non-uniform flow



هنا الجريان غير منتظم (non-uniform) لأن قطر الانبوب يتغير على امتداد اتجاه الجريان، وهذا يعني أن السرعة في المقطع 1 تختلف عن السرعة في المقطع 2.

لاحظ:

- إذا كان التصريف ثابتاً، يصنف الجريان (Steady, non-Uniform).
- إذا كان التصريف متغيراً، فالجريان (Unsteady, non-Uniform).

EXAMPLES

1) Liquid flow in a straight pipe with constant cross-section and constant discharge.

جريان السائل في أنبوب مستقيم ذي مقطع عرضي ثابت وبتصريف ثابت.

Steady – Uniform

2) Liquid flow in a straight pipe with constant cross-section and variable discharge.

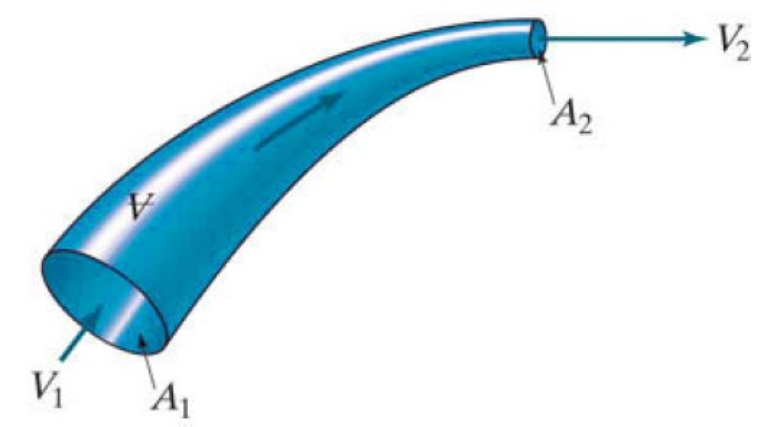
جريان السائل في أنبوب مستقيم ذي مقطع عرضي ثابت وبتصريف متغير.

Unsteady – Uniform

3) Liquid flow in a pipe with variable cross-section and variable discharge.

جريان السائل في أنبوب ذي مقطع عرضي متغير وبتصريف متغير.

Unsteady – non-Uniform



4) Liquid flow in a straight pipe with **constant cross-section** and **pulsatile** discharge.

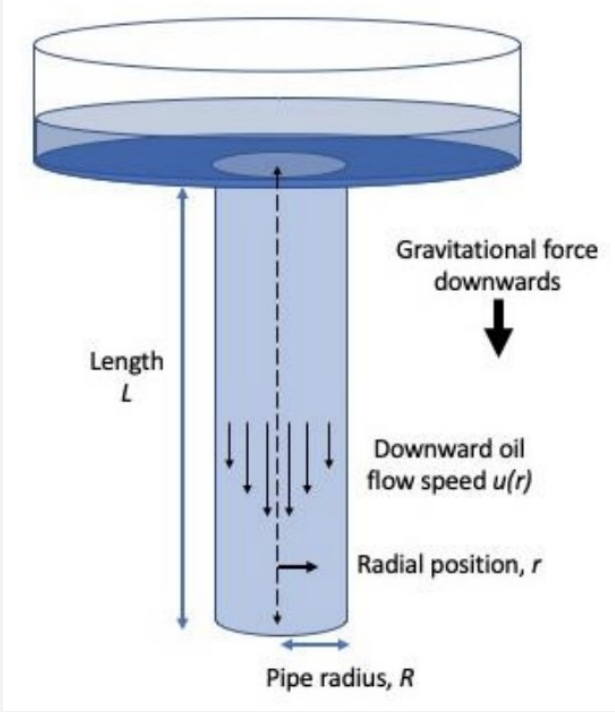
Unsteady – Uniform

جريان السائل في أنبوب مستقيم ذي مقطع عرضي ثابت وبتصريف نبضي.

الحل/ بما أن التصريف نبضي (متذبذب) فالجريان غير ثابت (Unsteady)، لكن من حيث التصنيف المكاني فإن الجريان منتظم (Uniform) لأن قيم التصريف والسرعة تكون متساوية في جميع نقاط الانبوب عند أية لحظة زمنية.

5) Flow in a **vertical** pipe with **constant cross-section** and **constant** discharge under the influence of gravity.

Steady – non-Uniform

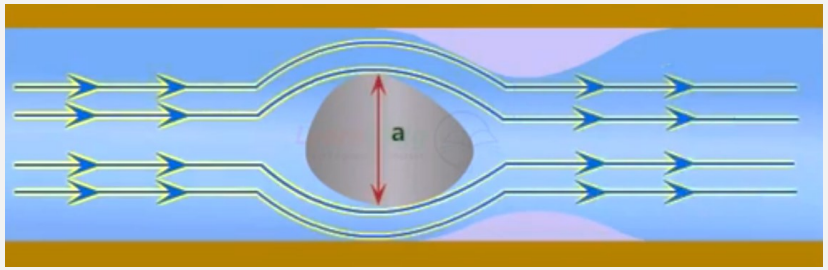


جريان السائل في أنبوب عمودي ذي مقطع عرضي ثابت وبتصريف ثابت تحت تأثير الجاذبية.

الحل/ بما أن التصريف ثابت فنوع الجريان ثابت (Steady)، لكن من حيث التصنيف المكاني فإن الجريان غير منتظم (non-Uniform) لأن قيمة السرعة تتزايد كلما اتجهنا الى الأسفل وذلك بتأثير التعجيل الأرضي.

6) Flow in a straight pipe with **an obstruction** (partially clogged pipe).

If the discharge is constant → Steady – non-Uniform
If the discharge is variable → Unsteady – non-Uniform



جريان السائل في أنبوب مستقيم ذي مقطع عرضي ثابت مع وجود عائق (انسداد جزئي).
الحل/ الجريان غير منتظم (non-Uniform) بسبب وجود العائق الذي يغير اتجاه وسرعة الجريان مكانياً.
لكن من حيث التصنيف الزماني فإذا كان التصريف ثابتاً لا يتغير فالجريان ثابت (Steady)، والعكس صحيح.

7) Flow in a pipe with **variable pump pressure** (that changes the flow rate).

If the cross-sectional area is constant
Unsteady – non-Uniform

If the cross-sectional area is variable
Unsteady – non-Uniform

جريان السائل في أنبوب مع وجود مضخة متغيرة الضغط (أي ان التصريف متغير).
الحل/ بما أن التصريف متغير فإن التصنيف الزماني للجريان هو **غير ثابت** (Unsteady).
أما مكانياً فإذا كانت مساحة المقطع العرضي للأنبوب ثابتة على امتداد الانبوب (أي لا توجد عوائق، أو تغيرات في قطر الانبوب، أو تغير في اتجاهه) فإن الجريان **منتظم** (Uniform)، وبخلاف ذلك فهو **غير منتظم** (non-Uniform)