



ميكانيك المسائل التكنولوجية  
التجارب المخبرية



السنة الثالثة  
القسم هندسة الميكانيك العام



مشهور باسم جامعة دمشق

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

السنة الثالثة - هندسة الميكانيك العام

# ميكانيك السوائل التكنيكي التجارب المخبرية

الدكتورة الهندسة

دلال البصير

مدرسة في قسم

الميكانيك العام

الدكتور المهندس

علي خلوف

استاذ في قسم

الميكانيك العام

1439-1438 هـ

2017-2016 م

جامعة دمشق



## الفهرس

7.....	مقدمة
11.....	التعليمات الواجب التقيد بها عند تنفيذ تجارب مخبر السوائل
13.....	التجربة الأولى: تحديد قوة ضغط سائل على سطح مستو
21.....	التجربة الثانية: تحديد حالة الطفو المستقر الحديدية لجسم طافي
27.....	التجربة الثالثة: الدوامة الحرة والقسرية
39.....	التجربة الرابعة: ترئية الجريان
47.....	التجربة الخامسة: أوزيورن رينولدز
53.....	التجربة السادسة: بيرنولي (أنبوبة فينتوري)
61.....	التجربة السابعة: الصدم بالقوة النفاثة (النافورة)
71.....	التجربة الثامنة: أجهزة قياس التدفق
81.....	التجربة التاسعة: الجريان عبر الهذارات (السدود)
87.....	التجربة العاشرة: تفريغ خزان من فتحة جانبية
95.....	التجربة الحادية عشرة: تحديد معامل الفقد الطولي والمكاني في الأنابيب
107.....	جدول الرموز المستخدمة
113.....	المراجع المعتمدة
115.....	اللجنة العلمية



## مقدمة

يأتي كتاب التجارب المخبرية في ميكانيك السوائل متمماً للأساس النظري الذي يتلقاه الطالب خلال الفصلين الدراسيين من السنة الدراسية الثالثة لاختصاصات الهندسة الميكانيكية كافة (العام والتصميم الميكانيكي والآليات). إن التجارب المخبرية تساعد الطالب في التمكن من القانون النظري ولمسه عملياً والتعامل مع رموزه العلمية، والهدف من ذلك هو تمرين الطالب على تطبيق القوانين النظرية باعتبارها عدة شغل تمكنه من استخدامها في الحياة الهندسية العملية، وكذلك تمكينه من التعرف على المعنى الفيزيائي للقيم الداخلة في تركيب هذه القوانين واستيعابها، وجاء تسلسل التجارب منسجماً مع مايتلقاه الطالب نظرياً وتم عرض الأساس النظري والهدف من التجربة وطريقة إجرائها بحيث يستطيع الطالب فهم واستيعاب التجربة والغاية من إجرائها وأهميتها التطبيقية.

التجربة الأولى هي تحديد نقطة تأثير قوة الضغط على جدار مستوي تجريبياً ومن ثم المقارنة ما بين القيم النظرية والتجريبية وذلك لعدة حالات من توضع الجدار: جدار شاقولي ثم جدار مائل بزاوية وأفقي.

التجربة الثانية تهدف الى دراسة حالة الطفو المستقر لجسم طاف وتحديد إحداثيات مركز ثقل الجسم بعد تعريضه لتأثيرات خارجية والوصول للحالة الحدية للطفو المستقر التي تعبر عن الحالة التي يتعرض فيها الجسم لأكبر ميلان ويبقى في حالة التوازن المستقر. وتتضمن التجربة المقارنة بين أجسام بمقاطع هندسية مختلفة.

التجربة الثالثة من التطبيقات المهمة على المعادلة الهيدروستاتيكية العامة وهي تجربة الدوامة الحرة والقسرية وتهدف الى التأكد من شكل السطح الحر للسائل الذي يدور بسرعة زاوية ثابتة والتأكد من معادلة توزع الضغط أفقياً وشاقولياً، والتعرف على طبيعة الجريان في الدوامات الحرة والقسرية، لما لهذه الجريانات من أهمية تطبيقية كبيرة كالجريانات في المضخات.

التجربة الرابعة تُعرّف الطالب على تقنية مهمة في مجال الدراسات الهندسية الهيروديناميكية وهي تقنية تربية الجريان، وأهمية استخدام عملية النمذجة في دراسة الجريانات حول الأجسام، حيث يطبق الطالب عملية تربية الجريان حول نماذج ذات أشكال هندسية مختلفة ويناقش اختلاف صورة الجريان الناتجة، وذلك ليتمكن من الانتقال من الدراسة على نموذج الى الدراسة على الجسم الأصلي.

التجربة الخامسة من التجارب الأساسية المهمة في أي مخبر ميكانيك سوائل، وهي تجربة أوزبورن رينولدز. الهدف منها على التعرف على طبيعتي الجريانيين الأكثر أهمية في مجال الدراسات الهيدروليكية وهما الجريان الصفائحي والمضطرب والتأكد من صحة عدد رينولدز الحرج.

التجربة السادسة أنبوبة فنتوري والتي تعتبر الأساس في تمكين الطالب من معادلة برنولي والتأكد من صحتها وملاسته لحدودها وتساغه في الفهم الفيزيائي لحدود هذه المعادلة كمفهوم الضغط الستاتيكي والتحركي والكلي وعلاقتها بسرعة الجريان وتغير مقاطع الأنبوب وطرق قياس كل منها، والتعرف على تطبيق عملي هام لأنبوبة فنتوري كجهاز لقياس الغزارة.

التجربة السابعة تهتم بدراسة تأثير تيار نافوري على جدار ثابت وعلاقة شكل السطح المدروس بقوة الصدم المؤثرة عليه وتأثير معدل التدفق وسرعة الجريان على القوة الناتجة، وهدف التجربة أساسها النظري تعريف الطالب على قانون مصونية كمية الحركة (قانون الدفع الخطي) ومقارنة القوة الفعلية الناتجة مع القوة المحسوبة نظرياً.

التجربة الثامنة تتناول موضوع مقاييس التدفق المختلفة للتعرف من خلالها على طرق قياس التدفق في الأنابيب ومقارنة نتائج القياس لكل مقياس مع التدفق المقاس على جهاز التجربة على أساس الحجم على الزمن.

التجربة التاسعة هي أيضاً التعرف على طريقة قياس التدفق لجريان ولكن في الألفية المفتوحة هذه الطريقة تعتمد على مقياس يسمى الهدار، تهدف التجربة الى المقارنة بين الهدارات المختلفة وتحديد معامل التصريف، والتعرف على طريقة القياس باستخدام الهدارات.

التجربة العاشرة تعتبر من التطبيقات المهمة لمعادلة برنولي وهي تجربة تفريغ خزان من فتحة جانبية، الهدف منها التعرف على تأثير الشكل الهندسي لفتحة التصريف على عملية التفريغ ومقارنة الفتحات المختلفة، ودراسة شكل التيار النافوري الفعلي الخارج من الفتحة ومقارنته مع المنحني النظري، كما تمكن التجربة من قياس زمن تفريغ كمية من الماء تجريبياً ومقارنة هذا الزمن مع الزمن المحسوب، وتحديد معامل تصريف الفتحة.

التجربة الحادية عشرة والأخيرة وهي من أهم التجارب المخبرية والتي تهتم بتعريف الطالب على مفهوم الفواقد الطولية والمكانية في شبكة انابيب من خلال تحديد معامل الاحتكاك الطولي ومعامل الفقد المكاني تجريبياً ومن ثم بناء ما يسمى مخطط المقاومة العام (نيكورادسي للمقاومة) مما يسمح بالفهم الفيزيائي لهذين المعاملين، وذلك بالنسبة لأنواع الجريانات الأملس والخشن والأملس خشن.

أعزاءنا الطلبة: إن هدفنا من هذا الكتاب يأتي في سياق رفع السوية العلمية الهندسية لكم في مقرر ميكانيك السوائل، وتقديم كل الممكن لتمكين الطالب من المادة النظرية وتثبيت معلوماته وربطها بالحياة الهندسية المستقبلية في سوق العمل.

في الختام: نحن المؤلفان نشكر كل من ساهم في إعداد وتنفيذ وتنضيد وتدقيق هذا العمل المتواضع ونأمل أن نكون قد وفقنا في خدمة طلابنا ووطننا.

المؤلفان





# التعليمات الواجب التقيد بها عند تنفيذ تجارب مخبر

## السوائل

- قبل البدء بإجراء أي تجربة يجب على الطالب أن يُحضّر الأساس النظري للتجربة وأن يطلع على نص التجربة وورقة عملها، وأن يتفهم طريقة عمل الجهاز، ويجهز مستلزمات العمل كالآلة الحاسبة والورق الميلمترى في حالات اللزوم والجدول المفترض تنظيمها لكل تجربة.
- تبدأ كل مجموعة من الطلاب بعد الاستماع إلى التعليمات المقدمة من قبل المشرفين المخبريين بإتباع الخطوات والقوانين النظرية أو التجريبية وتدوين النتائج على الجداول.
- يفضل أثناء عمل التجربة أن تنتهي الحسابات كافة في المخبر أثناء الجلسة نفسها بحيث يخرج الطالب من المخبر ولديه تقرير التجربة كاملاً لا يلزمه سوى إعادة ترتيبه وكتابته ورسم المنحنيات لتقديمه بالجلسة التالية.
- على كل طالب أن يتقدم بتقريره الخاص ولا يقبل أن يشترك عدة طلاب بتقرير واحد.
- يجب معرفة طريقة عمل التجربة ومراحلها، وطريقة التشغيل ومراعاة الأمان في استخدام الأدوات وأثناء وصل الأجهزة بالتيار الكهربائي والحرص على سلامة التجهيزات وعدم تعريضها للكسر أو الأذى.
- على الطلاب الالتزام بمواعيد الجلسات المخبرية، والانضباط والمحافظة على الهدوء ونظافة المخبر والتجهيزات وعدم ترك وإلقاء الأوراق وغيرها على التجارب أو على الأرض، وإعادة الجهاز كما تم استلامه عند البدء بالعمل.
- من الضروري جداً إعادة كافة الأدوات المستخدمة بالتجربة أو القطع التابعة لها كالأوزان أو أجهزة القياس أو النماذج المختلفة المستخدمة بالتجربة إلى العلبة الخاصة بها ويحذر من تركها على الطاولة حتى لا تضيع.

- عند الحاجة لرسم منحنيات في تجربة معينة، من الضروري تسمية المحاور ووضع رموزها ووحداتها، كما هو الحال عند تنظيم الجداول حيث يطلب كتابة الرمز المناسب للقيمة المدونة بالجدول ووحدتها.
- ينصح باستخدام الوحدات الدولية.
- على كل طالب وبشكل منفرد قدر الأمكان أن يستخلص النتائج من تجربته ويكتبها بنهاية التقرير المقدم كفقرة بعنوان (المناقشة) يحلل فيها نتائج التجربة والتعليل الفيزيائي المتعلق بهذه النتائج وأهمية هذه التجربة العلمية والتطبيقية الهندسية كعلاقتها بالحياة الهندسية والتطبيقات الممكنة الاستفادة منها استناداً الى ما تلقاه من معلومات من التجربة.
- وأخيراً أبنائي فإن هذا المخبر لكم ولفائدتكم العلمية، ومن غير المنطقي أن تؤسس الإدارات الجامعية مخابر كهذه وتتكلف الملايين من الليرات وتكرس كادراً تدريسياً مختصاً ليشراف على العمل فيها مالم تكن لها ضرورة علمية لا تقل عن المحاضرات النظرية أو محاضرات المسائل، فنرجو أن يحمل كل منكم المسؤولية بشكل جدّي ويحاول قدر الأمكان فهم هذه التجارب واستيعابها ومعرفة الغرض منها وأن يتجه للمخبر وكله شغف ورغبة في معرفة المزيد من العلم وربط المعلومات العملية بالنظرية ليتمكن بأكبر قدر ممكن من تفصيلات هذا العلم الرائع والشيق والممتع، ونحن كلنا ثقة بامكانياتكم وقدراتكم على بناء الوطن الغالي.

## التجربة الأولى

تحديد قوة ضغط سائل على سطح مستو



## التجربة الأولى

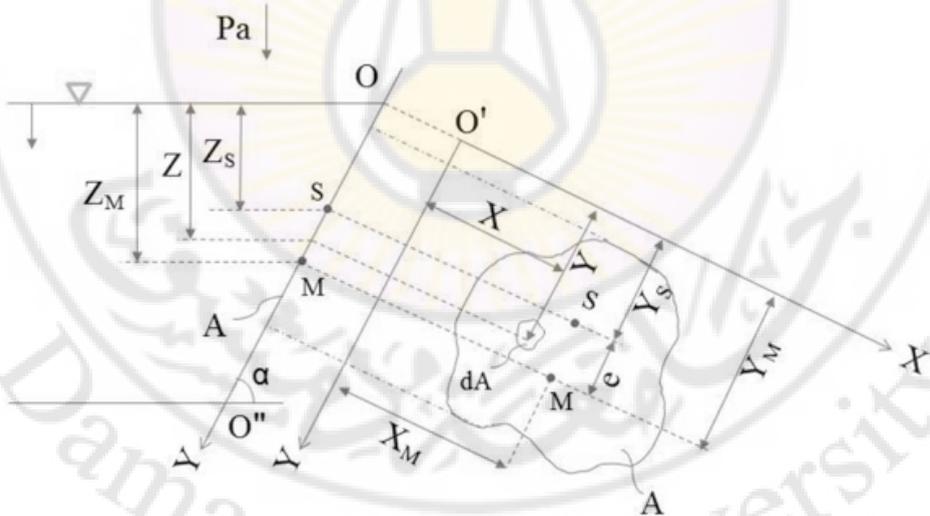
### تحديد قوة ضغط سائل على سطح مستو

#### الهدف من التجربة

- تحديد نقطة تأثير قوة ضغط السائل على جدار مستو تجريبياً.
- المقارنة بين القيم المقاسة والمحسوبة نظرياً.

#### الأساس النظري

خزان مملوء بسائل ساكن كثافته  $\rho$  جداره مائل بزاوية  $\alpha$  على الأفق كما في الشكل (1-1). المطلوب: تحديد قوة ضغط السائل على جزء مساحته  $A$  من السطح المستوي قيمة واتجاهاً ونقطة تأثير.



الشكل (1-1)

#### الحل

- نختار جملة إحداثيات مناسبة بحيث يكون المحور  $Y$  منطبق على السطح المدروس، المحور  $Z$  شاقولي للأسفل، المحور  $X$  عمودي على  $Y$ . مبدأ

الاحداثيات  $O$  هو نقطة التقاء المحور  $Y$  أو امتداده مع السطح الحر للسائل أو امتداده.

- ندور السطح المستوي زاوية  $90^\circ$  بحيث يظهر الجدار بكامل أبعاده، نحدد عنصراً سطحياً  $dA$  من الجدار على عمق  $z$  ونحسب  $dF_{p_o}$  قوة الضغط الزائد الجزئية عليه:

$$dF_{p_o} = p_o dA$$

حيث من المعادلة الهيدروستاتيكية الأساسية:

$$p_o = \rho g z \Rightarrow dF_{p_o} = \rho g z dA$$

$$(1-1) \quad F_{p_o} = \int_A dF_{p_o} dA = \rho g \int_A z dA$$

من قانون عزوم السطوح:

$$(2-1) \quad \int_A z dA = z_s A$$

حيث  $z_s$  عمق مركز ثقل السطح المدروس عن السطح الحر للسائل.

$$(3-1) \quad F_{p_o} = \rho g z_s A = p_{o_s} A$$

حيث  $p_{o_s} = \rho g z_s$  الضغط الزائد في مركز ثقل السطح المدروس

- تحديد مركز الضغط  $M(x_M, y_M)$  نقطة تأثير القوة:

يعتمد الحل على تطبيق قانون العزوم للقوى: محصلة عزوم القوى الإفرادية يساوي

عزم المحصلة. نطبق قانون العزم حول  $X$  و  $Y$ :

$$F_p x_M = \int_A dF_{p_o} x dA$$

تحسب  $F_p$  من العلاقة (3-1) ونتجت  $dF_{p_o}$  من العلاقة (1-1).

بعد إجراء التكامل و حسب تعريف  $\alpha$  بالنسبة للشاقول نجد:

$$z = y \cos \alpha$$

$$(4-1) \quad x_M = \frac{\int x y dA}{y_s A} = \frac{J_{C(x,y)}}{y_s A} = \frac{\text{العزم النابذ}}{\text{العزم الستاتيكي}}$$

$$(5-1) \quad y_M = \frac{\int y^2 dA}{y_s A} = \frac{J_X}{y_s A} = \frac{\text{عزم عطالة } A \text{ بالنسبة لـ } X}{\text{العزم الستاتيكي}}$$

وحسب علاقة هويغنز التي تعطي العلاقة بين عزم العطالة بالنسبة لمحور  $X$  وعزم العطالة بالنسبة لمحور يمر من  $s$ :

$$(6-1) \quad J_X = J_s + y_s^2 A$$

بإدخال العلاقة (6-1) في العلاقة (5-1):

$$y_M = y_s + \frac{J_s}{y_s A}$$

$$(7-1) \quad y_M - y_s = e = \frac{J_s}{y_s A}$$

$e$  المسافة بين نقطة تأثير القوة  $M$  ومركز ثقل السطح المدروس  $s$ .

## وصف جهاز التجربة

### أجزاء الجهاز

١- حامل مع مقياس

٢- أوزان

٣- مقياس مستوى الماء

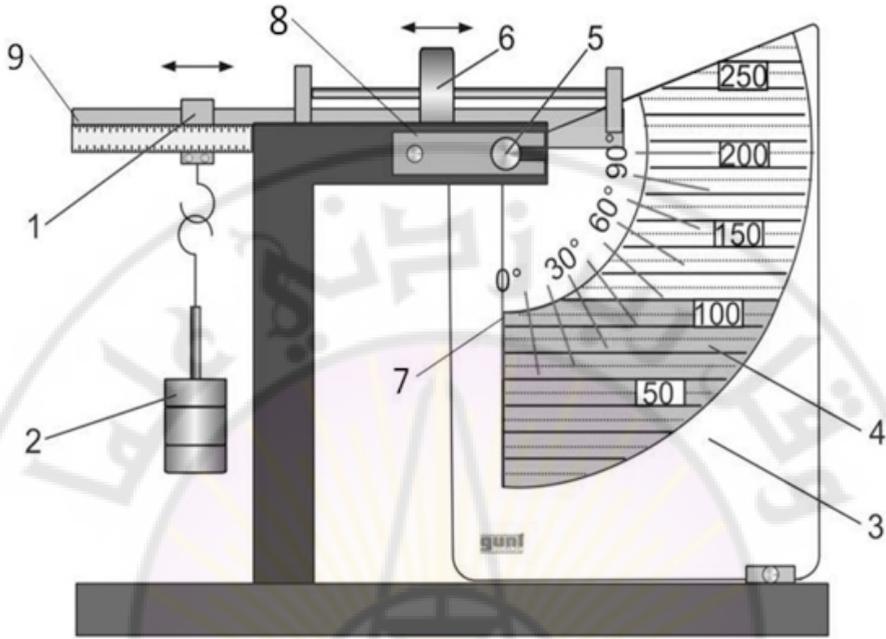
٤- خزان ماء

٥- محور الدوران

٦- وزنة منزلقة

٧- السطح المدروس

٨- زر التثبيت



الشكل (2-1)

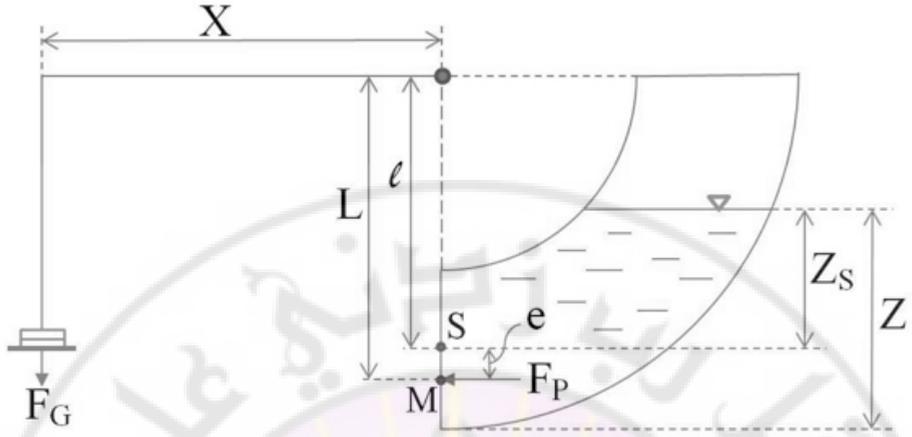
تدرس الوحدة المبينة بالشكل (2-1) العلاقة بين مستوى الماء وقوة الضغط على جدار مستو، وقد صنعت من بلاستيك شفاف صلب وبتصميم بسيط بحيث يمكن استخدامها ببساطة وسهولة من قبل الطلاب.

### طريقة عمل التجربة

يجب وضع الجهاز بشكل أفقي وعلى سطح عازل للماء ويجب تأمين أوعية إضافية للماء و تفرغ الماء.

### تحديد مركز الضغط مع وضعية شاقولية للسطح المدروس ( $\alpha = 0$ )

- موازنة الوعاء: ضع الوعاء (٤) بحيث يكون السطح المدروس شاقولياً وباستخدام زر التثبيت (٨) كما في الشكل (3-1).
- قم بتثبيت الحامل (١) واضبط المؤشر على تدرج معينة.



الشكل (3-1)

- وزن الجهاز بتحريك المنزلة (٦): يجب أن تكون الفقاعة في المركز تماماً.
  - ضع أوزان بقيمة معينة وسجلها، ستتغير معك حالة التوازن.
  - اسكب الماء في الوعاء حتى يعود التوازن للوضعية الابتدائية (الفقاعة في المركز)
  - سجل الارتفاع  $z_s$  في الجدول.
- يتم تحديد مركز تأثير قوة الضغط (البعد بين مركز ثقل السطح المدروس ونقطة تأثير القوة) بمساعدة معادلة العزوم حول  $O$ :

$$(8-1) \quad F_G x = F_p L$$

حيث  $x$  المسافة المقروءة على ذراع حامل الأوزان.

$$(9-1) \quad L = e + \ell$$

في هذه الحالة:  $\ell = 10 + 5 = 15 \text{ cm}$

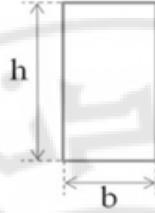
تحسب قيمة  $F_p$  من العلاقة:

$$(10-1) \quad F_p = \rho g z_s A$$

حيث  $\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$

$z_s$  بعد مركز ثقل السطح المدروس عن السطح الحر للماء،  
 $A$  مساحة السطح المدروس (الشكل 4-1) وتحسب من العلاقة:

$$(11-1) \quad A = bh$$



الشكل (4-1)

$$b = 7.5 \text{ cm}$$

حيث

$h$  ارتفاع السطح الفعال، ويختلف حسب ارتفاع الماء.  
 نعوض في العلاقة (8-1):

$$(12-1) \quad L = \frac{F_G x}{F_p}$$

$$e = L - \ell \quad \text{من العلاقة (9-1):}$$

تحسب قيمة  $e$  من العلاقة النظرية (7-1) وتقارن مع قيمة  $e$  الناتجة من التجربة بمساعدة العلاقة (12-1) وتقيم النتائج.

### التجارب المطلوبة

تجرى التجربة عند وضعيات مختلفة للجدار:

#### 1- الجدار شاقولي:

- تحديد قيمة قوة الضغط ونقطة التأثير عند ارتفاع للماء أقل من  $10 \text{ cm}$ .
- تحديد قيمة قوة الضغط ونقطة التأثير عند ارتفاع للماء أعلى من  $10 \text{ cm}$ .

#### 2- الجدار مائل بزاوية $\alpha$ :

- تحديد قيمة قوة الضغط ونقطة التأثير عند ارتفاع للماء أقل من  $10 \text{ cm}$ .
- تحديد قيمة قوة الضغط ونقطة التأثير عند ارتفاع للماء أعلى من  $10 \text{ cm}$ .

الجدول

$x$ [cm]	$F_G$ [N]	$\ell$ [cm]	$h$ [cm]	$z_s$ [cm]	$F_p$ [N]	$e$ [cm]	
						التجريبية	النظرية



## التجربة الثانية

تحديد حالة الطفو المستقر الحديدية لجسم طافي



## التجربة الثانية

### تحديد حالة الطفو المستقر الحدية لجسم طافي

#### مقدمة

مركز الطفو (ارتفاع الطفو المستتج) وهو المسافة بين مركز ثقل الجسم ومركز الطفو المستتج لجسم طاف. أهمية تحديد موقع مركز الطفو المستتج للجسم هي في تحديد وضعية الطفو المستقر وكتطبيق عملي تدرس نماذج مختلفة لسفينة تطفو جزئياً في الماء.

#### الهدف من التجربة

دراسة حالة الطفو، تحديد مركز ثقل الجسم الطافي، مركز الطفو المستتج، وضعية الطفو المستقر (الحالة الحرجة).

#### وصف الوحدة

تتألف الوحدة (الشكل 2-1) من الطوف (1) وخزان للماء. تم تزويد الطوف بوزنة منزلقة تتحرك شاقولياً (2) للقيام بضبط ارتفاع مركز للنموذج وأخرى تتحرك أفقياً (3) تثبت الوزنتين بواسطة براغي خاصة بكل منهما. يمكن قراءة تواضع الوزنتين بواسطة مسطرتين (4) و(5) وزاوية الجنوح بالدرجات من المؤشر (6).

#### الأساس النظري

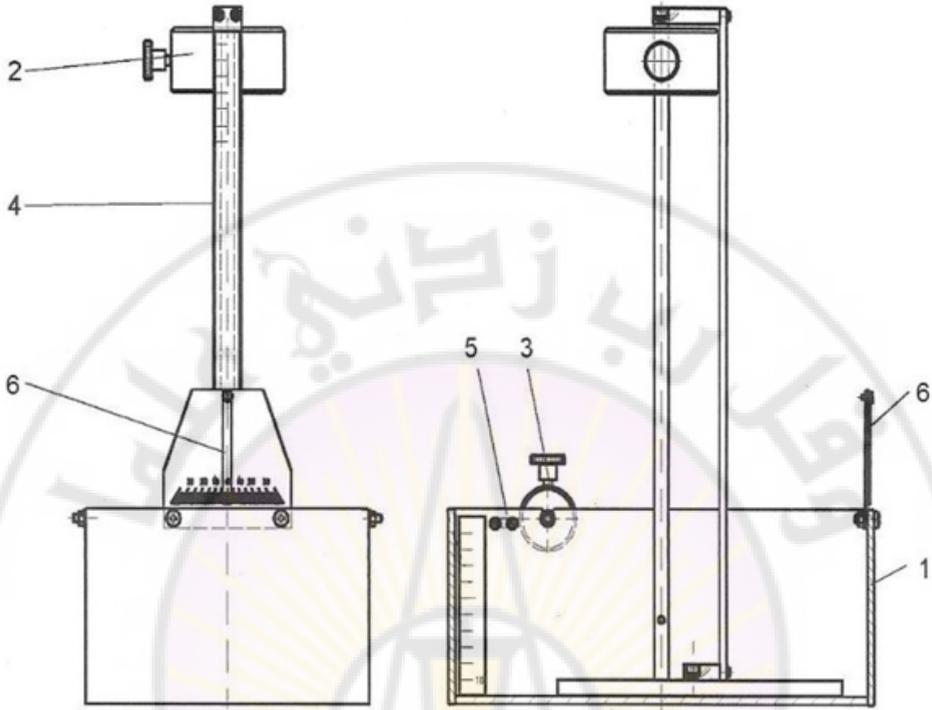
يتعرض كل جسم مغمور كلياً أو جزئياً في سائل ساكن إلى قوة ضغط شاقولية للأعلى تسمى قوة الطفو (قوة الرفع الهيدروستاتيكية أو قوة دافعة أرخميدس  $F_a$ )، حيث:

$$(1-2) \quad F_a = \rho g V$$

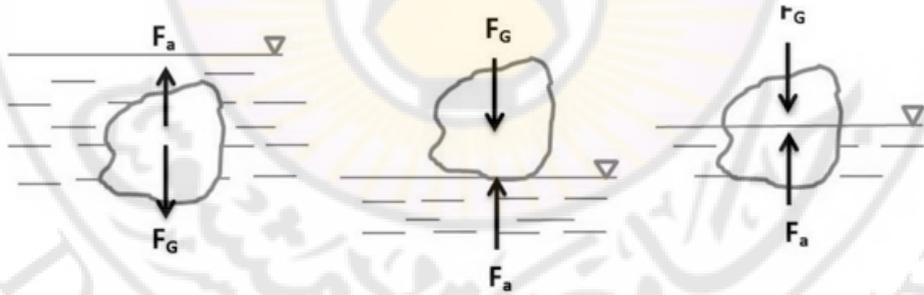
حيث  $\rho$  كثافة السائل،

$g$  تسارع الجاذبية،

$V$  حجم الجسم المغمور أو حجم الجزء المغمور من الجسم (الشكل 2-2).



الشكل (1-2)



الشكل (2-2)

باعتبار وزن الجسم  $F_G$  فإنه عندما تكون:

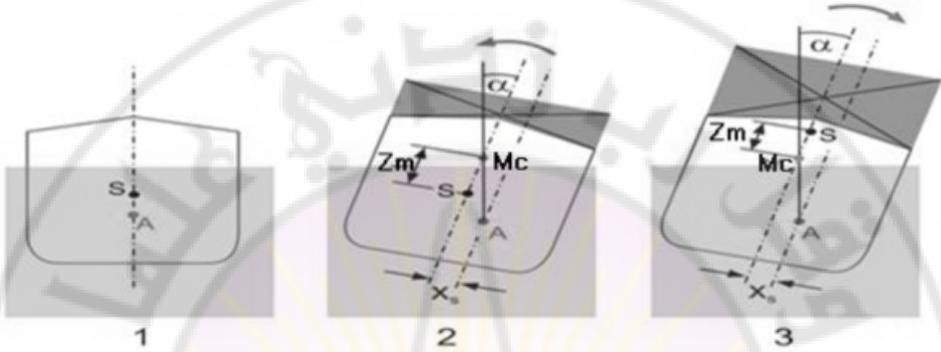
-  $F_G > F_a$  يغرق الجسم.

-  $F_G < F_a$  يطفو الجسم.

-  $F_G = F_a$  يطفو الجسم جزئياً.

ويكون الجسم في حالة طفو متوازن عندما ينطبق منحي قوتي الطفو والثقل.

- بإجراء إزاحة لهذا الجسم عن وضعيه توازنه كما يظهر في الشكل (2-3) فإنه:
- 1- إما أن يبقى في الوضعية الجديدة بعد الإزاحة وتكون وضعيه توازنه مطلقة.
  - 2- يعود لوضعه الأصلي قبل الإزاحة وهي حالة توازن مستقر ( $z_m > 0$ ).
  - 3- ينقلب ويكون في وضعيه توازن قلق ( $z_m < 0$ ).



الشكل (3-2)

من المهم جداً في كثير من الحالات العملية كحالات حركة السفن، تصميم الجسم بحيث يبقى في حالة توازن مستقر عند تعرضه لتأثيرات خارجية كحركة الامواج وكلما كانت الزوايا التي يميل بها الجسم كبيرة ويبقى الجسم في وضعيه توازن مستقر كلما كان التصميم أكثر نجاحاً.

إن المعيار الذي يحدد وضعيه الطفو المستقر لجسم مغمور جزئياً هو ما يسمى ارتفاع مركز الطفو المستتج وهو المسافة بين مركز ثقل الجسم ومركز الطفو المستتج  $M_C$ :

$$z_m = \overline{M_C S}$$

حيث أن  $M_C$  هو نقطة التقاء محور قوة الطفو مع محور الطفو بعد الدوران. يكون الجسم في وضعيه طفو مستقر، أي يعود لوضعيته الأصلية بعد إزالة التأثير الخارجي إذا تحققت العلاقة:

$$z_m = \frac{J_S}{V} - E > 0$$

حيث  $J_S$  عزم عطالة سطح الطفو،

$E$  المسافة بين مركز ثقل الجسم ومركز ثقل الحجم المزاح قبل التدوير.

بعد تدوير الجسم بزاوية  $\alpha$  صغيرة نسبياً يشكل وزن الجسم  $F_G$  وقوة الطفو  $F_a$  قوتين تفصلهما مسافة  $b$  فتشكلان مزدوجة تحاول إعادة الجسم لوضعيته الأصلية.

## إجراء التجربة

- ضع الجسم المدروس في الماء مع إبقاء النقل الشاقولي عند أسفل الوعاء.
- أضح النقل الأفقي مسافة  $x$  وسجلها.
- أضح النقل الشاقولي تدريجياً مسافة للأعلى، سجل كل إزاحة  $z$  مع كل انزياح زاوي مقابل  $\alpha$ .
- احسب إحداثيات مركز ثقل المجموعة ككل  $(x_s, z_s)$  من العلاقات الناتجة عن معادلة العزوم حول محور دوران ثابت.  
بتطبيق معادلة عزوم القوى وبعد إصلاح المعادلة:  
1- للنموذج متوازي المستطيلات:

$$x_s = \frac{m_h}{m + m_v + m_h} x = 0.055 x$$
$$z_s = \frac{m_v z + (m + m_h) z_g}{m + m_v + m_h} = 5.364 + 0.156 z$$

2- للنموذج بشكل موشور:

$$x_s = \frac{m_h}{m + m_v + m_h} x = 0.445 x$$
$$z_s = \frac{m_v z + m z_g + m_h z_h}{m + m_v + m_h} = 7.114 + 0.127 z$$

حيث  $x$  الانزياح الأفقي وهو ثابت،

$m_h$  كتلة المنزلقة الأفقية وتساوي  $193 \text{ g}$ ،

$m_v$  كتلة المنزلقة الشاقولية وتساوي  $550 \text{ g}$ ،

$m_h$  كتلة النموذج بدون منزلقة شاقولية وتساوي  $2,770 \text{ g}$ ،

$m$  تساوي  $3,594 \text{ g}$ .

ويكون مقدار تدرج الاستقرار في الحالتين:

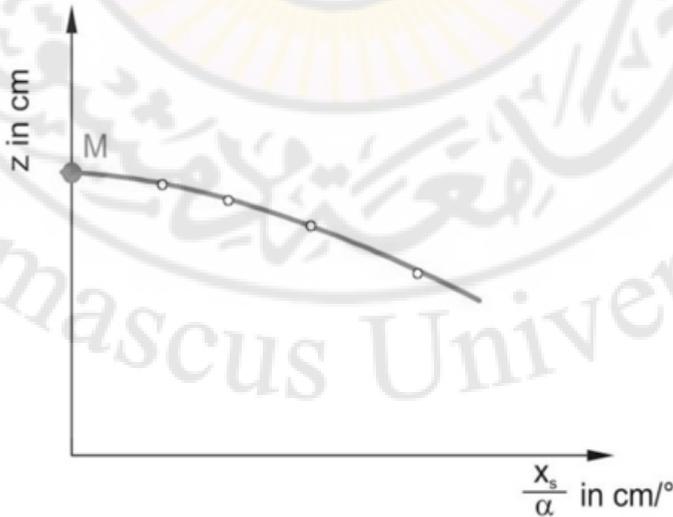
$$\frac{dx_s}{d\alpha} = \frac{x_s}{\alpha}$$

- سجل القراءات في جدول:

$z$ [cm]	$z_s$ [cm]	$\alpha$ [°]	$x$ [cm]	$x_s$ [cm]	$\frac{x_s}{\alpha}$ [cm/°]

- ارسم المنحني  $\left(z_s, \frac{x_s}{\alpha}\right)$  ثم مده حتى يتقاطع مع المحور  $Z$  كما في

الشكل (4-2)، نقطة التقاطع تعبر عن ارتفاع مركز الطفو المستنتج  $M_C$  في الحالة الحدية للاستقرار، حيث أنه مع ازدياد رفع المنزلة الشاقولية  $m_v$  للأعلى يتناقص المجال  $x_s$ ، أي تقترب النقطة  $M_C$  (مركز الطفو المستنتج) من النقطة  $S$  (مركز الثقل الإجمالي للجملة) حتى تنطبق  $M_C$  على  $S$  عندها يصل الجسم للحالة الحدية للاستقرار وبعد إزاحة قليلة جداً سوف ينقلب وتكون  $M_C$  تحت  $S$  ويغرق الجسم.



الشكل (4-2)

## التجربة الثالثة

### الدوامة الحرة والقسرية



## التجربة الثالثة

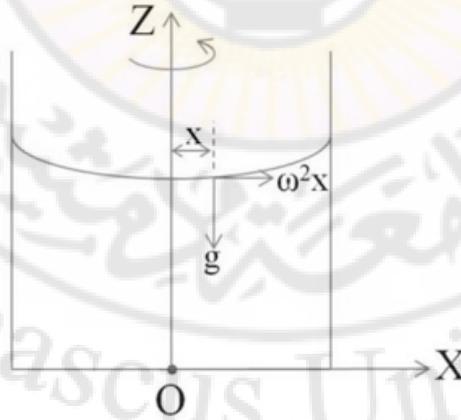
### الدوامة الحرة والقسرية

#### الهدف من التجربة

- 1- مشاهدة شكل السطح الحر للسائل الذي يدور بسرعة زاوية ثابتة.
- 2- دراسة طبيعة الجريان في هذا النوع من الجريانات لأهميته في المضخات النابذة ومقاييس السرعة وغيرها.
- 3- دراسة طبيعة الدوامات الحرة والقسرية.
- 4- التأكد من قانون توزع السرعة والضغط (أفقياً وشاقولياً) في الدوامتين الحرة والقسرية.

#### الأساس النظري

يدرس التوازن النسبي للسائل الذي يدور بسرعة زاوية ثابتة  $\omega$  حول المحور الشاقولي  $Z$  ضمن جملة إحداثيات نسبية تتحرك مع السائل كما في الشكل (3-1).



الشكل (3-1)

كل عنصر جزئي من السائل تحت تأثير قوتين:

- قوة الثقالة  $\vec{F}_G = m \vec{g}$  شاقولية للأسفل.

- قوة نابذة  $\overrightarrow{F_z} = m \omega^2 r$  ناظمية على محور الدوران.  
حيث  $r$  نصف القطر المكاني.

وتكون المحصلة  $\overrightarrow{F_b}$  ناظمية على السطح الحر للسائل:

$$(1-3) \quad \overrightarrow{F_b} = \overrightarrow{F_G} + \overrightarrow{F_z}$$

وناظمية على كافة سطوح الضغط الثابت:

$$(2-3) \quad \overrightarrow{b} = \overrightarrow{g} + \omega^2 r$$

حسب المعادلة الهيدروستاتيكية العامة التفاضلية:

$$(3-3) \quad dp = \rho(b_x dx + b_y dy + b_z dz)$$

$$b_x = \omega^2 r \quad \text{حيث:}$$

$$b_x = \omega^2 x \quad \text{أو:}$$

$$b_z = -g \quad \text{و:}$$

نعوض في العلاقة (3-3):

$$(4-3) \quad dp = \rho(\omega^2 x dx - g dz)$$

تحدد سطوح الضغط الثابت باعتبار  $dp = 0 \Leftrightarrow p = const.$

$$\omega^2 x dx = g dz \Rightarrow dz = \frac{\omega^2}{g} x dx$$

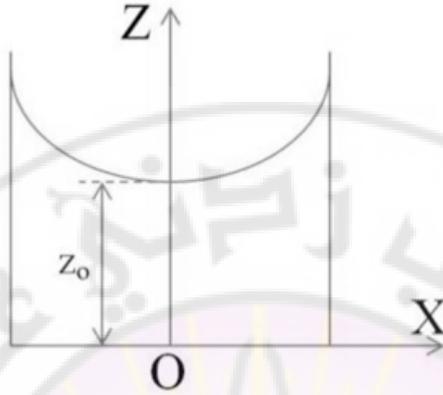
بالمكاملة:

$$(5-3) \quad z = \frac{\omega^2}{2g} x^2 + c$$

وهي المعادلة العامة لسطوح الضغط الثابت ويكون السطح الحر أحد هذه السطوح، حيث يتوزع الضغط عليها بشكل متساوي وهي تمثل معادلة قطع مكافئ دورانية تختلف حسب قيمة الثابت  $c$  كما يظهر في الشكل (3-2).

نحسب الضغط في كل من نقاط السائل بمكاملة العلاقة (4-3):

$$(6-3) \quad p = \rho \left( \frac{\omega^2 x^2}{2} - g z \right) + c_1$$



الشكل (3-2)

وبعد حساب الثابت  $c_1$  يمكن تحديد قيمة الضغط بأي نقطة.

نميز نوعين من الدوامات:

- 1- الدوامة الحرة تتشكل عند تفريغ وعاء من فتحة حيث يشكل السائل حركة دورانية إعصارية. نميز داخل الدوامة الحرة منطقتين:
  - منطقة يخضع فيها السائل لحركة مشابهة للدوامة القسرية التي تدور بحركة دورانية منتظمة.
  - منطقة نواة الإعصار حيث يتشكل تجويف يتعلق شكله بشكل فتحة التفريغ.
- 2- الدوامة القسرية تتشكل بتدوير السائل باستخدام مروحة تتحرك بواسطة تيار نافوري.

## جهاز التجربة

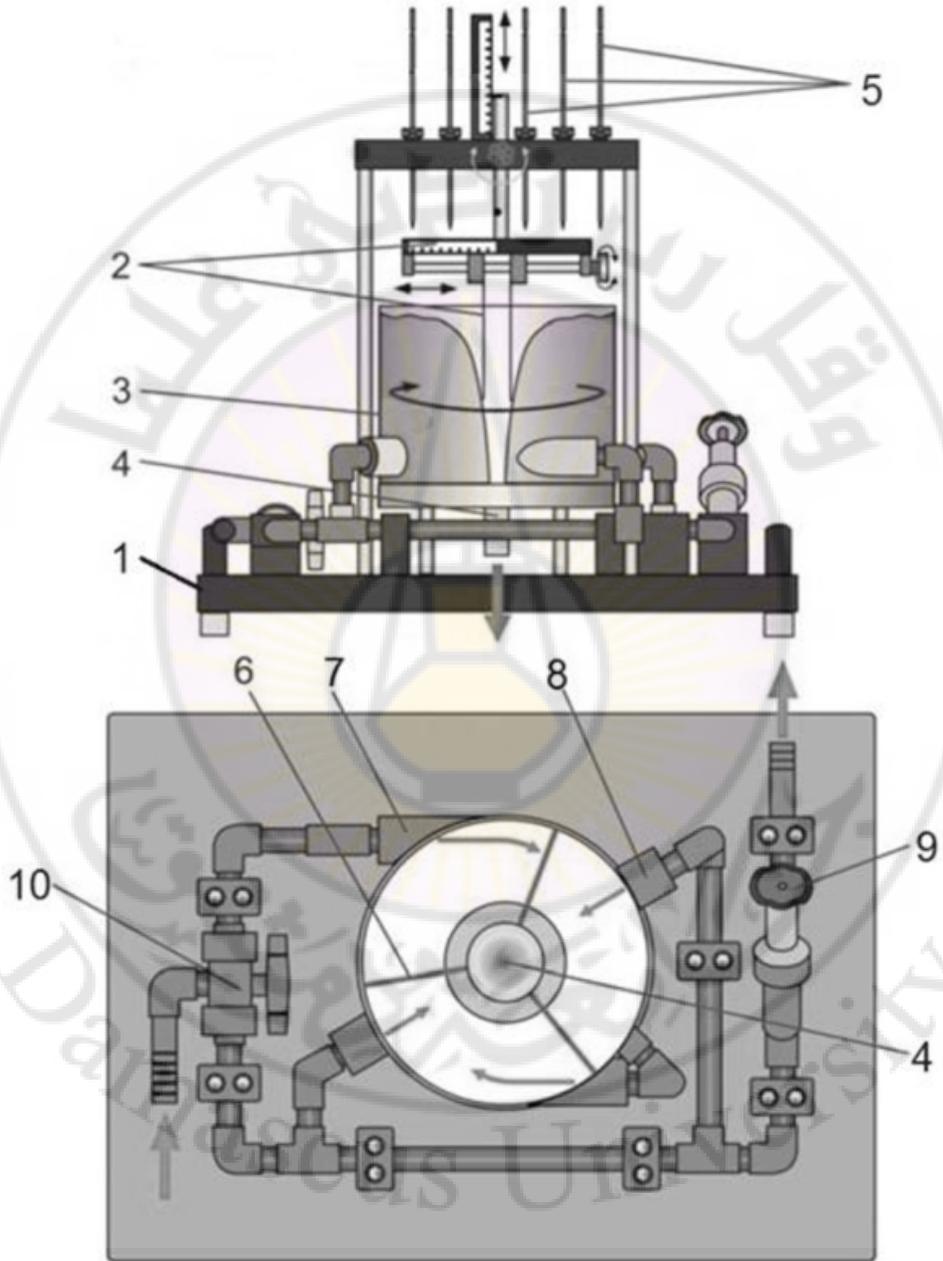
### أجزاء الجهاز

يظهر في الشكل (3-3) جهاز التجربة المكون من:

- 1- قاعدة الجهاز،
- 2- مقياس القطر والارتفاع،

3- وعاء شفاف،

4- مخرج مركزي قابل للتغيير،



الشكل (3-3)

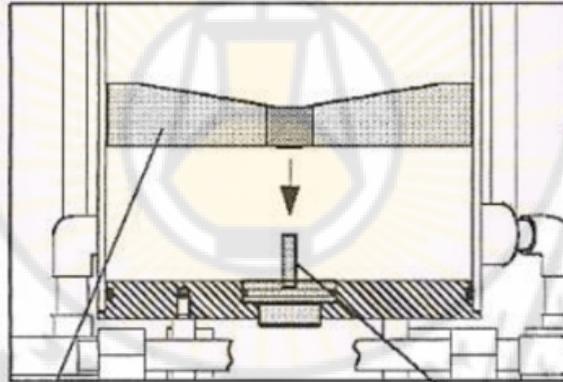
5- مقياس الارتفاع،

- 6- مروحة دافعة،
- 7- مدخل مماسي للماء،
- 8- مدخل/مخرج قطري للماء،
- 9- صمام لتنظيم التفريغ القطري،
- 10- صمام اختياري لدخول الماء قطعياً أو مماسياً.

### تجربة الدوامة القسرية

لإجراء التجربة نتبع الخطوات التالية:

- أغلق الفتحة السفلية للوعاء الأسطواني بواسطة السدادة الخاصة كما يظهر في الشكل (3-4).
- ركب المروحة فوق السدادة.



Vane

Shaft

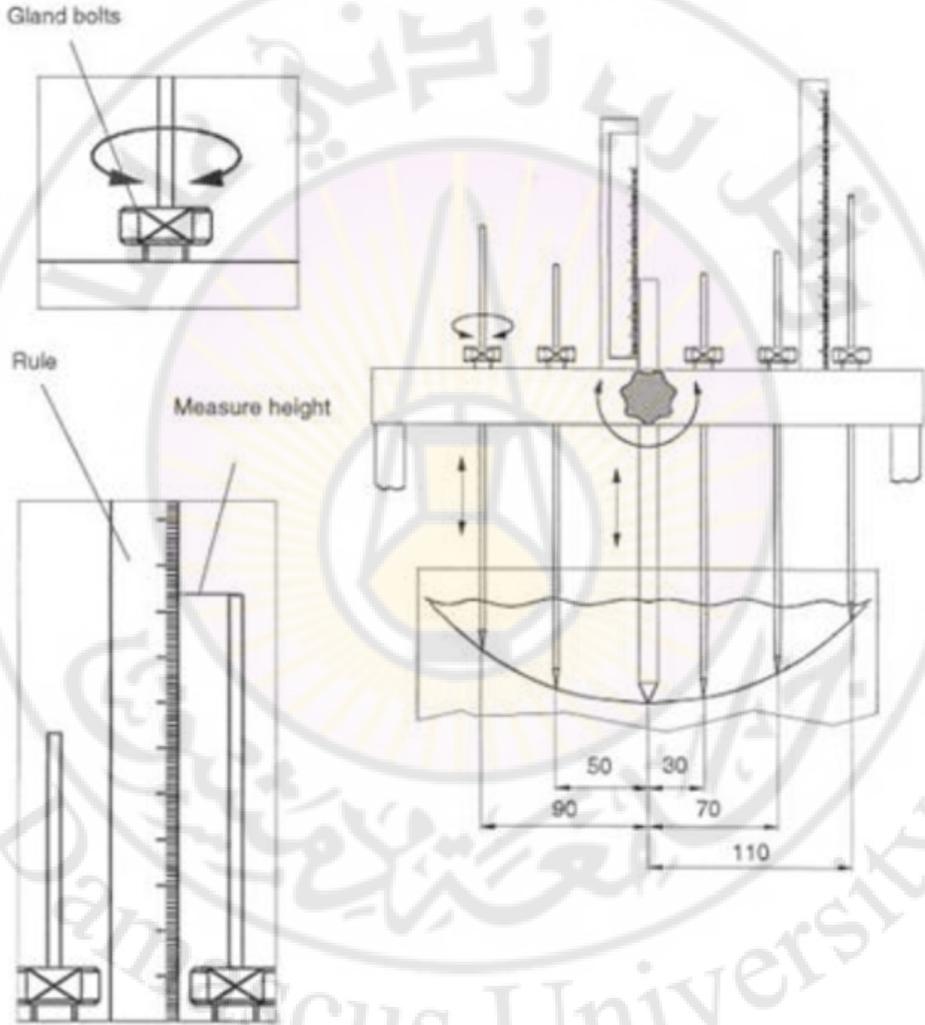
الشكل (3-4)

- شغل المضخة لإمرار الماء من الفتحات الجانبية.
- ارسم شكل السطح الحر للسائل على أساس أنه أحد سطوح الضغط الثابت باستخدام جهاز قياس الارتفاع بالنسبة لمستوى قياس ثابت كما يظهر في الشكل (3-5).

- قارن الشكل الناتج بالشكل المرسوم باستخدام العلاقة (3-5) على أن تحدد السرعة الزاوية للدوران باستخدام مقياسية لقياس زمن دوران المروحة بحيث:

$$(7-3) \quad \omega = \frac{2\pi n}{60}$$

حيث  $n$  عدد الدورات بالدقيقة.



الشكل (3-5)

- احسب السرعة المحيطية للدوران كتابع لنصف قطر الدوران:

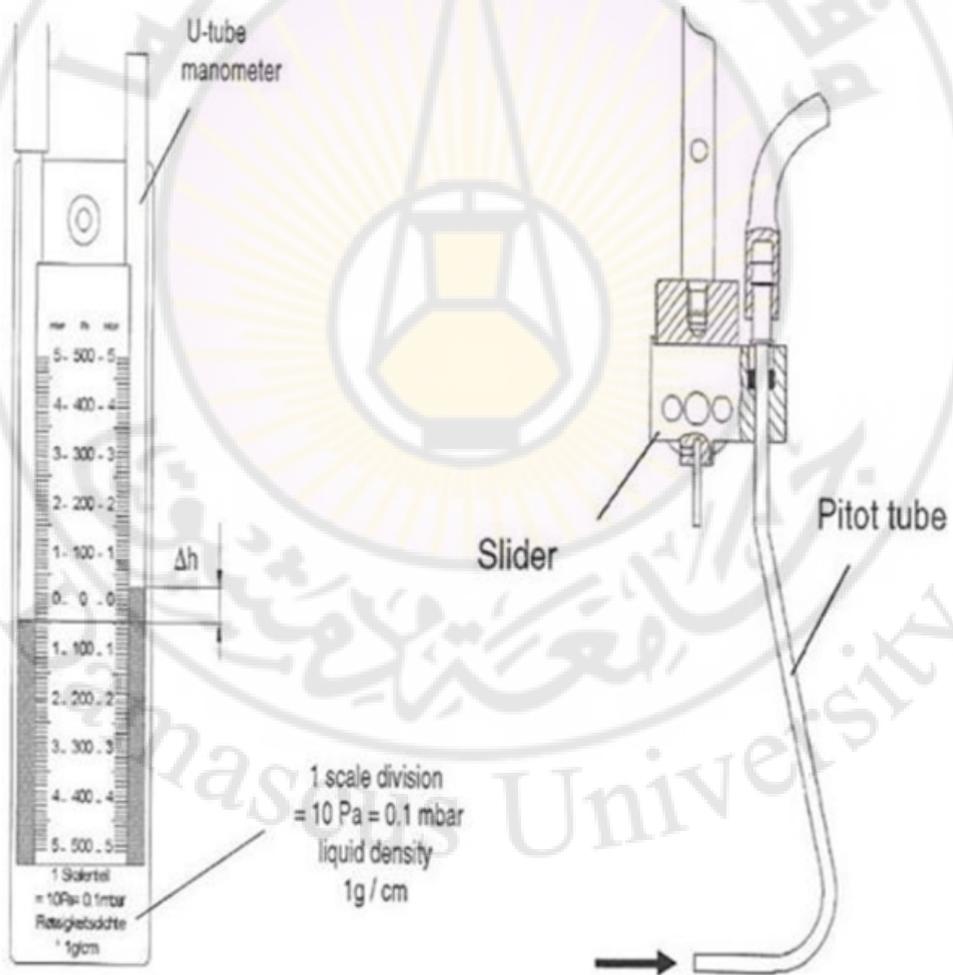
$$(8-3) \quad v = \omega r$$

ويمكن التأكد تجريبياً أن السرعة تتناسب طرماً مع  $r$  مع الأخذ بعين الاعتبار أن وجود الاحتكاك بين السائل وجدران الوعاء يبطل من السرعة الحقيقية للدوامة بنسبة 20% أي:

$$(9-3) \quad v_{\text{vortex}} = 0.8 v_{\text{vane}}$$

### تحديد السرعة والضغط باستخدام أنبوب بيتو

- أدخل الملقط لتعليق مقياس الضغط الأنبوبي (على شكل حرف U) على جدران الوعاء وإملأه بالماء دون وجود فقاعات عند علامة الصفر.
- صل المقياس مع أنبوب بيتو كما يظهر في الشكل (3-6).



الشكل (3-6)

- من أجل القياس وجه فتحة أنبوب بيتو بمواجهة الجريان، يمكن تحريك الأنبوب بالاتجاه القطري وقياس نصف القطر والارتفاع بمساعدة الأبيّة المركبة على الجهاز.

- السرعة المقاسة مباشرة عند السطح يمكن حسابها من العلاقة:

$$v = \sqrt{2g \Delta h}$$

حيث  $\Delta h$  فرق ارتفاع سوية السائل في فرعي المقياس.

- سجل النتائج في جدول:

$\Delta h [mm]$	$x [mm]$	$z [mm]$

- ارسم على ورق ميليمتري منحنى تغير  $\Delta h = f(x)$  و  $\Delta h = f(z)$ ، وتأكد أن تغير الضغط أفقياً هو تابع من الدرجة الثانية:

$$p(x) = \rho \frac{\omega^2 x^2}{2}$$

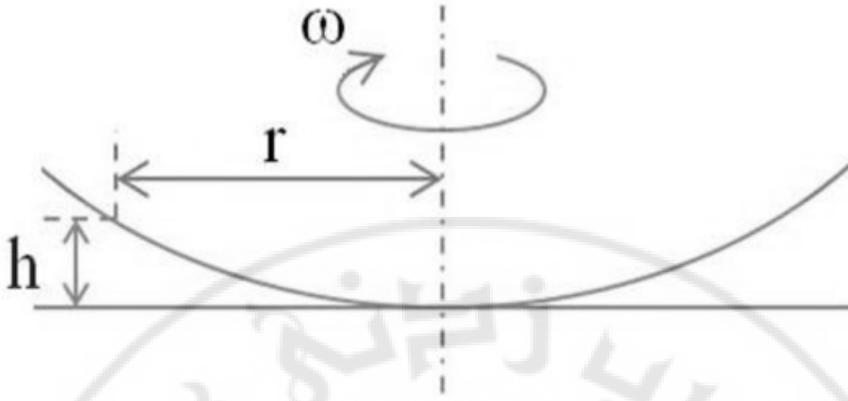
وكذلك تغير الضغط شاقولياً هو تابع خطي:

$$p(z) = \rho g z$$

- صور الشكل الناتج وأرفق الصورة مع الرسم.

**ملاحظة:** بتشكيل الدوامة القسرية يمكن استبدال السرعة الزاوية  $\omega$  مباشرة من علاقة منسوب الدوامة وهي ثابتة مع نصف القطر، لذلك يكون الارتفاع  $h$  عند قعر الدوامة كتابع لنصف القطر  $r$  والسرعة الزاوية  $\omega$  كما يظهر في الشكل (7-3):

$$(10-3) \quad h = \frac{\omega^2 r^2}{2g}$$

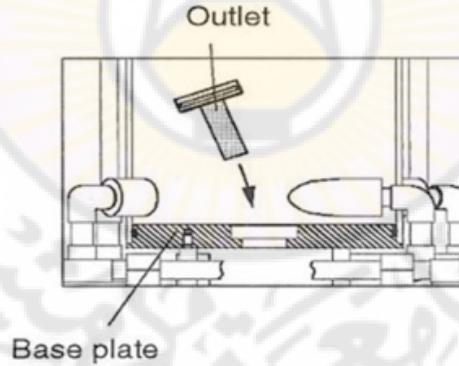


الشكل (3-7)

### تجربة الدوامة الحرة

لإجراء التجربة نتبع الخطوات التالية:

- توضع السدادة المزودة بفتحة ذات قطر معين.
- توضع الحلقة المثقبة بحيث تكون الثقوب للأسفل لمنع تيار الماء من التداخل بشكل كبير مع الدوامة، كما يظهر في الشكل (3-8).

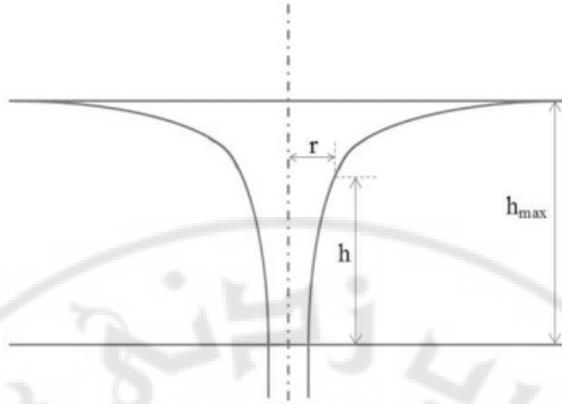


الشكل (3-8)

- سد الفتحة بالإصبع ومرر التيار المائي من الفتحات الجانبية بحيث تتشكل حركة دورانية وذلك حتى يمتلئ الوعاء لارتفاع محدد.
- في الدوامة الحرة يكون الجداء  $v r$  ثابت (شاهد الشكل 3-9):

(11-3)

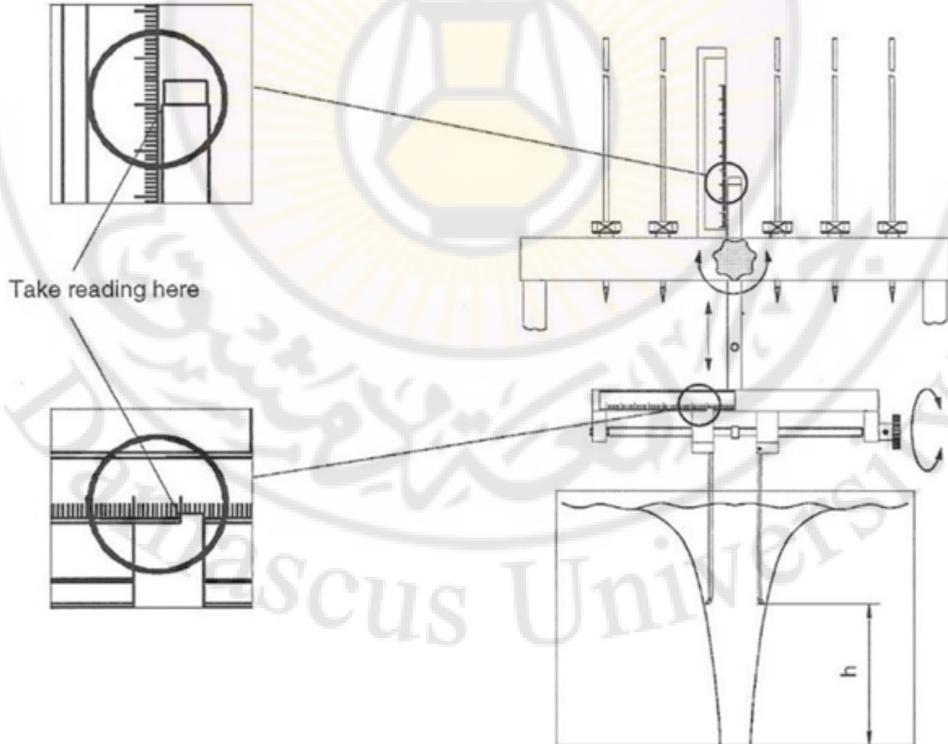
$$v r = k$$



الشكل (3-9)

ويمكن التأكد تجريبياً من أن السرعة تتناسب عكساً مع  $r$ . لذلك يمكن حساب الارتفاع عن القعر كتابع لنصف القطر كما يلي (شاهد الشكل 3-10):

$$(12-3) \quad z = h_{\max} - h = h_{\max} - \frac{k^2}{2gr^2}$$

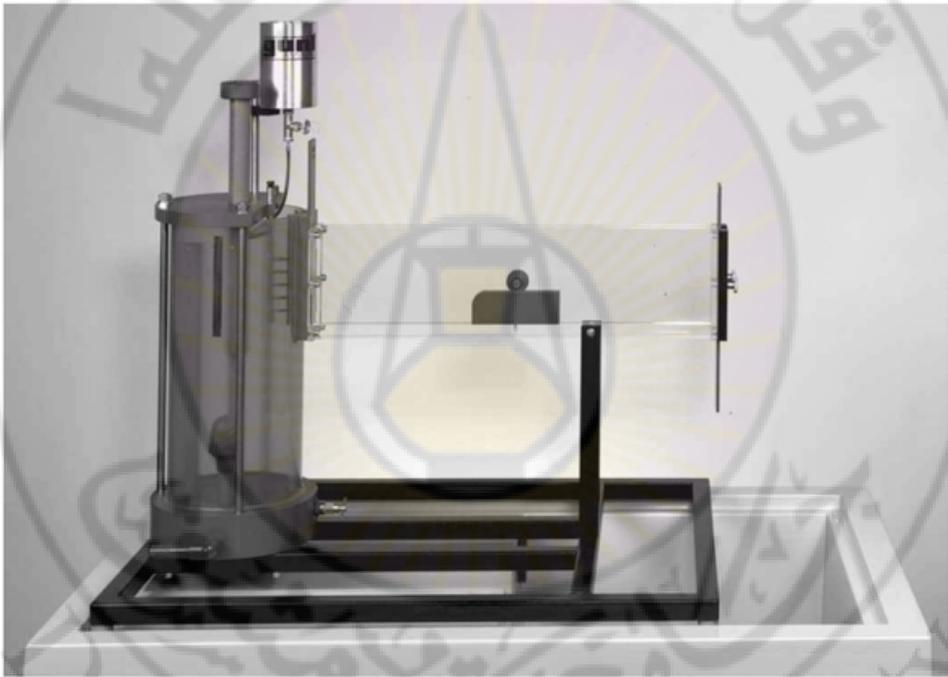


الشكل (3-10)



## التجربة الرابعة

### ترئية الجريان



## التجربة الرابعة

### ترئية الجريان

#### الهدف من التجربة

- دراسة تأثير الحواجز مختلفة الأشكال على الجريان والتعرف على هذه التقنية وأهميتها بالنسبة لعمليات النمذجة للجريانات المختلفة.
- ترئية الجريان (جعله مرئياً) المنساب حول حواجز وأجسام عائقة مختلفة، ومعرفة الظواهر الناشئة في الجريان حول الأجسام كتشكل الأعاصير ومناطق الركود واختلاف توزع السرعة والضغط مع اختلاف الشكل الهندسي للجسم.

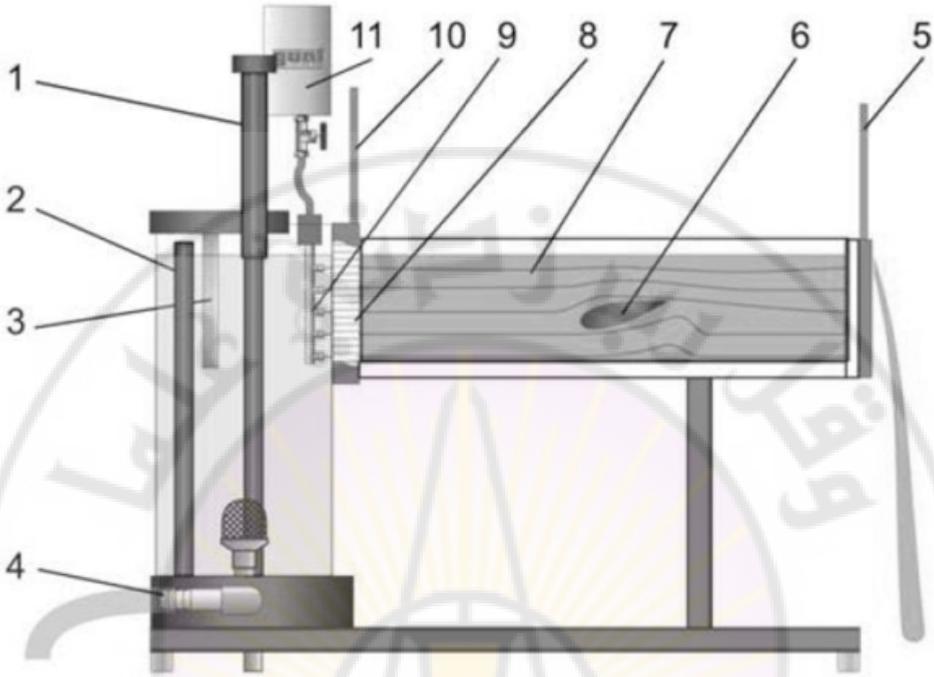
#### جهاز التجربة

القناة المائية هي جهاز اختبار يستخدم في المخبر لدراسة تأثيرات الجريانات حول الأجسام المتحركة ضمن السوائل (موانع أو غازات).

#### أجزاء الجهاز

يظهر الجهاز في الشكل (1-4) والذي يتكون من:

- 1- قناة قابلة للتعديل لخروج الماء الفائض من خزان الماء،
- 2- خزان الماء،
- 3- مقياس مدرج،
- 4- وصلات الماء،
- 5- فتحة المخرج،
- 6- جسم عائق،
- 7- مجرى التدفق،
- 8- مقوم التدفق،



الشكل (4-1)

11- خزان الحبر.

يمرر تيار الماء من الخزان إلى الجزء المدروس ويتم إدخال تيارات دقيقة عبر إبر حقن من مادة ملونة للماء لتريئة الجريان (جعله مرئياً) وبالتالي الحصول على صورة للجريان حول جسم النموذج المدروس، هذه الصورة من المفروض أن تعبر عن صورة الجريان الأصلي وذلك بتحقيق شروط التشابه التحريكي:

1- أن يكون الجسم المختبر مماثل تماماً بالشكل الهندسي للجسم الأصلي وقد يكون أكبر أو أصغر بكافة أبعاده وبنفس النسبة.

2- أن يوضع الجسم في مقطع الاختبار بنفس الوضعية التي يكون بها في الواقع.

3- بنتيجة الشرطين الأول والثاني يتحقق ما يسمى التشابه الهندسي والحركي بين

النموذج والأصل، مما يؤدي للوصول إلى التشابه التحريكي بين الجسمين.

4- تحقيق التشابه التحريكي يسمح بإسقاط نتائج الدراسة التجريبية والقياسات المأخوذة على جريان الجسم الأصلي بواسطة آليات رياضية خاصة تسمى قوانين التشابه.

### تقنية تلوين الماء

تختلف التقنيات المستخدمة في تلوين الماء لإظهار صورة الجريان المطلوبة حسب الحاجة لهذه الصورة وإمكانيات الجهاز ومستوى أدائه الفني والدقة المطلوبة.

#### المواد المستخدمة في تلوين الجريان:

- أنواع الحبر المختلفة،
- وريقات ألومنيوم دقيقة،
- فقاعات هيليوم أو هيدروجين.

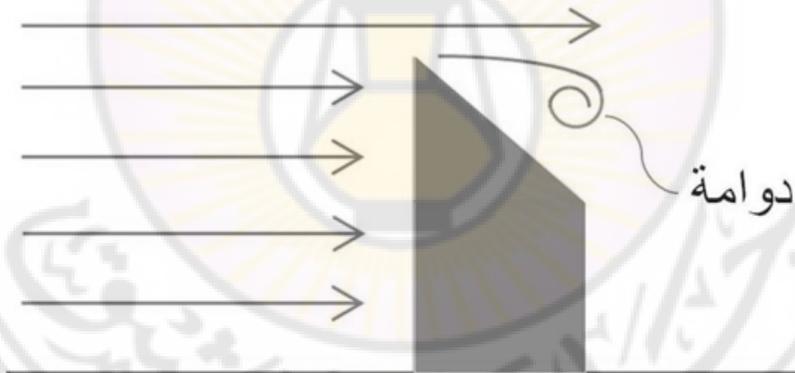
#### الشروط الواجب توفرها في هذه التقنية:

- أن تكون المواد المستخدمة آمنة غير سامة أو مضرّة بالصحة، تمكّن من عكس الضوء كوريفقات الألومنيوم أو فقاعات غازية كالهيدروجين.
- تأمين منبع ضوئي بجهة مناسبة يُسلط على الجريان المزود بمادة التريئة ليعطي صورة واضحة تماماً لجريان الجزيئات في التيار.
- تأمين آلة تصوير عالية الدقة تمكن من الحصول على صورة مطلقة للجريان (صورة خطوط التيار) ويمكن الحصول عليها بتأمين كثافة قليلة لجزيئات المادة الملونة وإعطاء فترة زمنية طويلة لفتحة عدسة الكاميرا بحيث تتمكن من تصوير خطوط التيار (الخط الفعلي الذي تسلكه الجزيئات)، أو الحصول على صورة آنية للجريان (صورة خطوط التيار) ويمكن الحصول عليها بتأمين كثافة كبيرة لجزيئات المادة الملونة وإعطاء فترة زمنية قصيرة جداً لفتحة عدسة الكاميرا بحيث تتمكن من تصوير خطوط التيار (المنحني الذي تكون أشعة السرعة مماسة له في كافة النقاط في لحظة زمنية معينة).

#### الإجراء التجريبي في القناة المائية

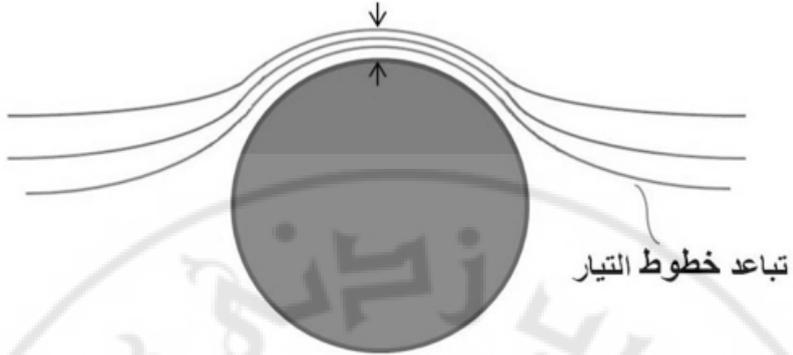
- يثبت النموذج المدروس في مقطع الجريان ضمن القناة.
- يمرر مع تيار الماء تيار من المادة الملونة المستخدمة.

- يتم التحكم بتدفق الجريان بحيث نحصل على جريان انسحابي غير مشوش منتظم قبل الجسم.
- تؤخذ صورة الجريان المدروس وتحلل من حيث:
  - مناطق تقارب خطوط التيار (ازدياد السرعة ونقصان الضغط)
  - مناطق تباعد خطوط التيار (نقصان السرعة وازدياد الضغط)
  - مناطق انفصال الطبقة الحدية وتشكل الدوامات
  - مناطق ازدياد الضغط وتشكل الماء الراكذ خلف الجسم
  - توصيف الجريان صفائحي أو مضطرب
  - مناطق الركود
- ترسم صورة الجريان الناتج أو تصور فوتوغرافياً بواسطة كاميرا متوفرة مع الطالب.
- يتم وصف الصورة والتعليق المناسب عليها (شاهد الأشكل من 2-4 وحتى 6-4)

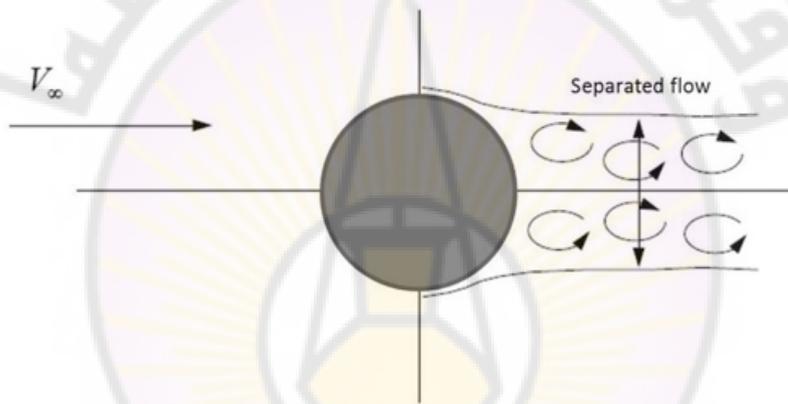


الشكل (2-4): الجريان حول حاجز ذو حافة حادة

منطقة تقارب لخطوط التيار



الشكل (4-3)

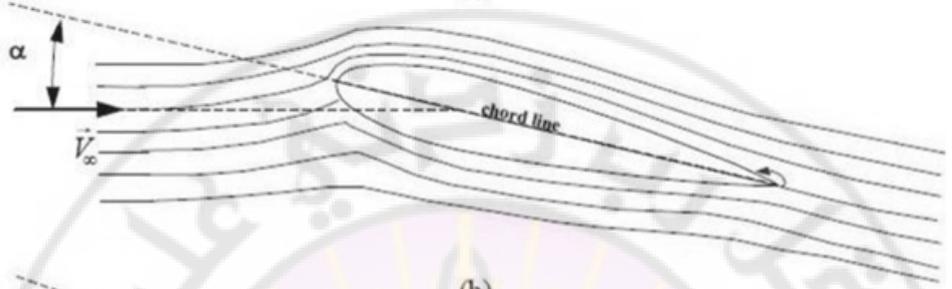


الشكل (4-4): انفصال الجريان وتشكل الدوامات

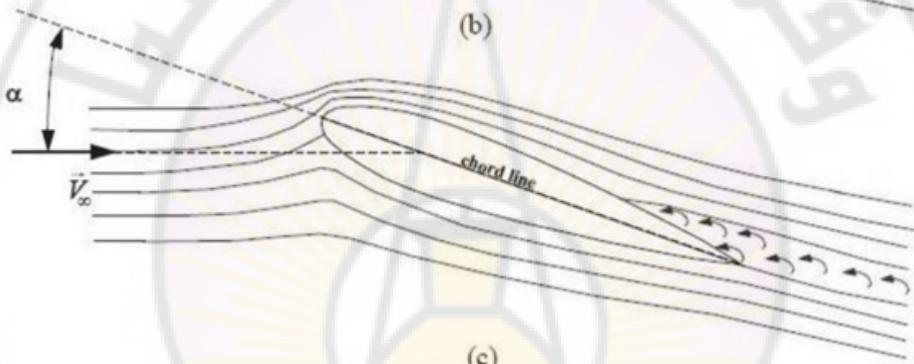
Damascus University



(a)

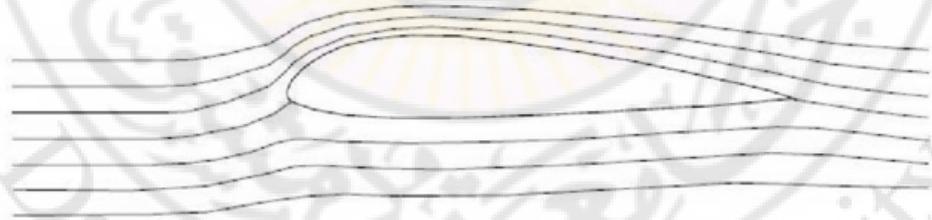


(b)



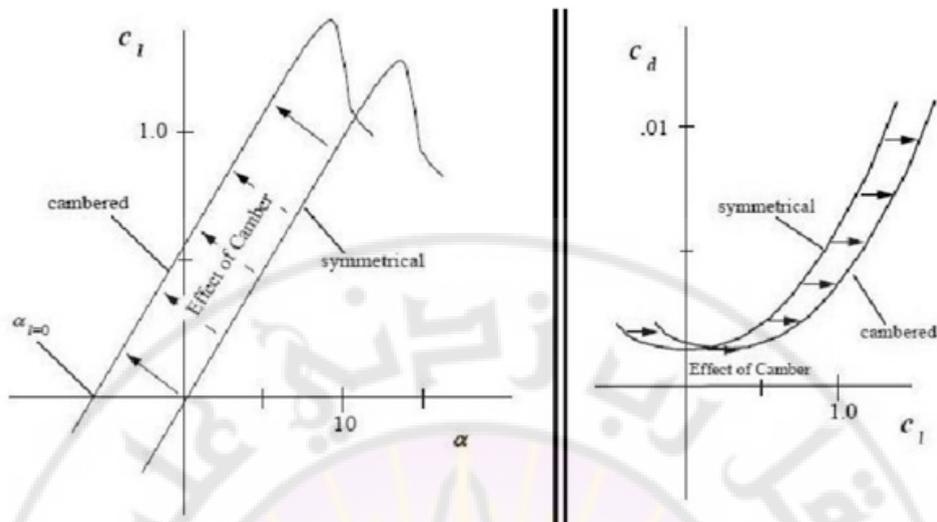
(c)

الشكل (4-5): الجريان حول بروفييل جناح متناظر بقيم مختلفة لزاوية الهجوم  $\alpha$



الشكل (4-6): الجريان حول بروفييل جناح مقعر مع زاوية  $\alpha = 0$

من الشكل (4-7) نلاحظ أنه كلما زادت زاوية الهجوم  $\alpha$  كلما زاد عامل الرفع  $C_L$  وبالتالي زاد عامل الجر  $C_d$ ، لكن عندما تزيد قيمة زاوية الهجوم على زاوية الهجوم الحرجة  $\alpha_{cr}$  يحصل الانهيار (stall)، أي يصبح الرفع معدوم.



الشكل (4-7): منحني كل من عامل الرفع  $C_L$  وعامل الجر  $C_d$  لبروفيلي جناح متناظر ومقعر



التجربة الخامسة  
أوزبورن رينولدز



# التجربة الخامسة

## أوزبورن رينولدز

### المقدمة

تدرس وحدة أوزبورن رينولدز التدفق الصفائحي والتدفق الدوامي (المضطرب) ويتم إيضاح هذه التدفقات بواسطة آثار من الحبر في الأنبوب الشفاف للتجربة.

### الهدف من التجربة

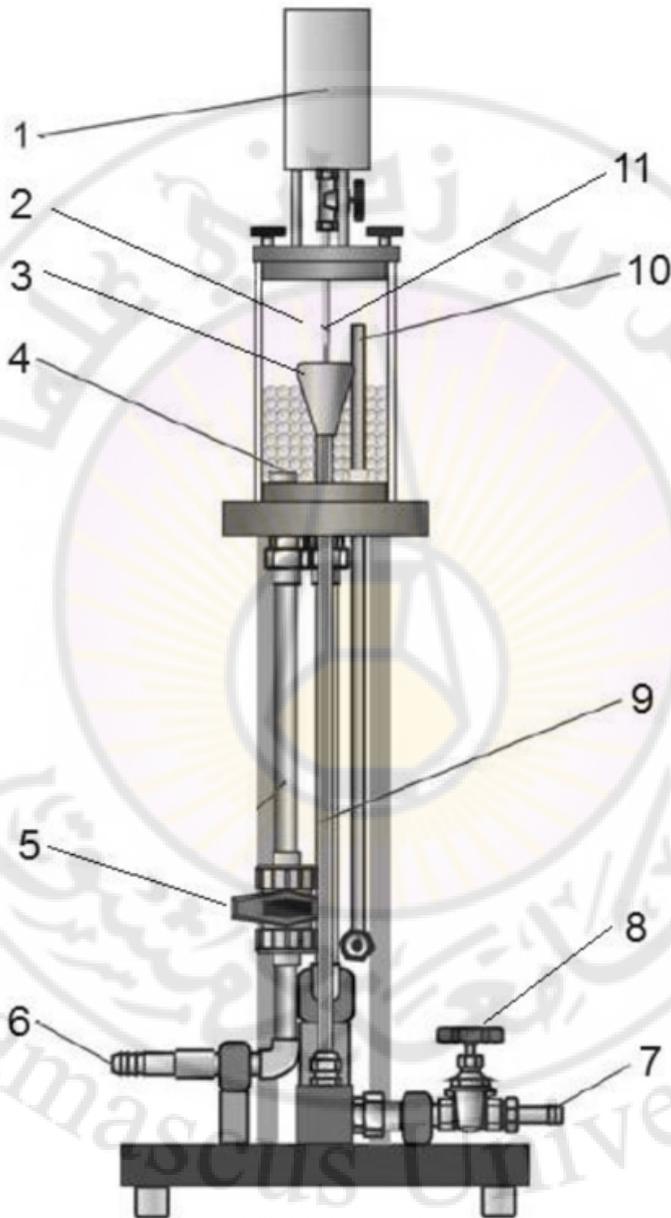
تهدف التجربة إلى توضيح نوعي الجريان المضطرب والصفائحي من حيث الشكل وتحديد نوعه بحساب عدد رينولدز للجريان المدروس.

### جهاز التجربة

يظهر في الشكل (1-5) جهاز التجربة المكون من:

- 1- خزان الحبر.
- 2- خزان للماء.
- 3- منظم تدفق.
- 4- كرات زجاجية لكبح التدفق.
- 5- صمام للتحكم.
- 6- توصيلات لمنبع الماء.
- 7- أنبوب لتصريف الماء.
- 8- صمام.
- 9- قسم أنبوب الاختبار.
- 10- قسم ضبط التدفق الفائض.
- 11- رأس نحاسي.

ينصح لإظهار طبيعة الجريان تزويده بالحبر الأزرق حيث يتم وبعبارة إدخال  
الحبر في تيار الماء عن طريق خزان الألمنيوم إلى الإبرة النحاسية.



الشكل (5-1)

## الأساس النظري

كما ذكرنا أن الغاية من هذه التجربة هو توضيح نوعي الجريان المضطرب والصفائحي، حيث تحدث ظاهرة التدفق الصفائحي إذا كان معدل التدفق منخفضاً، بينما تحدث ظاهرة التدفق المضطرب (الدوامي) عند معدلات تدفق مرتفعة، حيث يتغير التدفق من صفائحي إلى مضطرب عندما:

$$Re_{cr} \cong 2,300$$

$Re_{cr}$  هو عدد رينولدز الحرج للجريان وهو قيمة  $Re$  التي عندها ينتقل الجريان من الحالة الصفائحية للمضطربة:

$$Re \leq 2,300 \Leftrightarrow \text{تدفق صفائحي}$$

$$Re \geq 2,300 \Leftrightarrow \text{تدفق مضطرب}$$

ويحسب عدد رينولدز من العلاقة:

$$Re = \frac{vd}{\nu}$$

حيث  $d = 10 \text{ mm}$  القطر الداخلي لمقطع الأنبوب،  
 $\nu$  سرعة الجريان،

$\nu$  لزوجة الوسط، وتكون للماء  $1 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s}$ .

كما يمكن حساب التدفق  $Q$  للجريان من حجم التدفق وذلك بوساطة وعاء للقياس وساعة مقيائية:

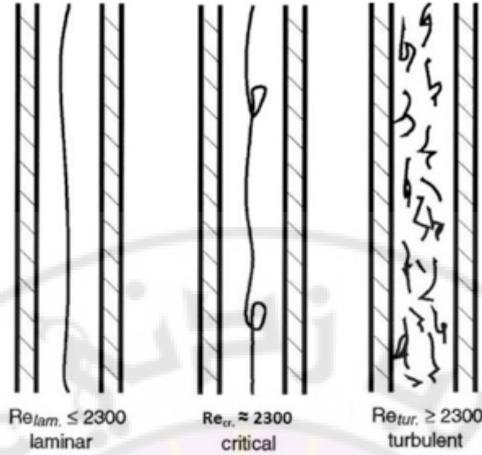
$$Q = vA$$

حيث  $A$  مساحة مقطع الأنبوب وتعطى بالعلاقة:

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

يبين الشكل (5-2) أنماط التدفق الثلاثة:

يكون الجريان صفائحياً عندما تتحرك الجزيئات بشكل طبقات غير متمازجة مع بعضها البعض وفيه يتحرك تيار المادة الملونة مسيراً لاتجاه الجريان.



الشكل (2-5)

يكون الجريان مضطرباً عندما تتحرك الجزيئات عشوائياً وتختلط مع بعضها البعض ويتحرك تيار المادة الملونة عشوائياً ويختلط مع الجريان.

### إجراء التجربة

يفتح صمام التصريف ببطء لتوليد معدل جريان منخفض داخل أنبوب الاختبار وفتح الصمام الكروي لينساب الحبر إلى الأنبوب وبالتالي سينساب الماء الملون مباشرة إلى أنبوب الاختبار.

للحصول على تدفق صفائحي قم بفتح صمام التصريف ببطء بحيث يكون معدل الجريان منخفض وعلى العكس بالنسبة لتدفق مضطرب يتم فتح صمام المصرف جيداً بحيث يكون معدل الجريان مرتفع.

ينظم الجدول التالي:

$V$ [ $m^3$ ]	$t$ [ $s$ ]	$Q$ [ $m^3 / s$ ]	$v$ [ $m / s$ ]	Re	نوع الجريان



التجربة السادسة  
بيرنولي (أنبوبة فينتوري)



# التجربة السادسة

## بيرنولي (أنبوبة فينتوري)

### المقدمة

يصف مبدأ برنولي العلاقة بين سرعة الجريان للسائل وضغطه، حيث الزيادة في السرعة تؤدي إلى خفض ضغط السائل المتدفق، والعكس بالعكس. الضغط الكلي للسائل يبقى ثابتاً.

كما تعرف أيضاً معادلة بيرنولي بمبدأ حفظ طاقة التدفق (تعتبر معادلة برنولي عن قانون مصونية القدرة).

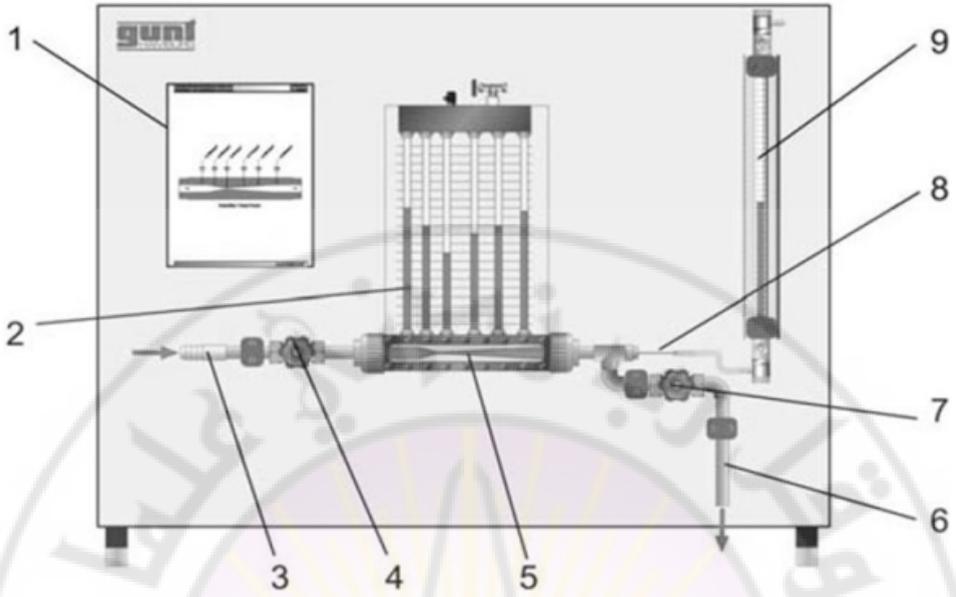
### الغاية من التجربة

- التعرف على معادلة بيرنولي.
- قياس الضغط على طول أنبوب فينتوري.
- تحديد معامل التصريف للأنبوبة.

### جهاز التجربة

يظهر في الشكل (1-6) جهاز التجربة المكون من:

- 1- لوحة التركيب.
- 2- ست مقاييس لتوزع الضغط في أنبوب فينتوري.
- 3- وصلة أنابيب لماء التغذية.
- 4- صمام تحكم بالماء الداخل.
- 5- أنبوب فينتوري ذو 6 نقاط قياس.
- 6- أنبوب تفريغ.
- 7- صمام.
- 8- مجس لقياس الضغط الكلي (أنبوب بيتو).



الشكل (6-1)

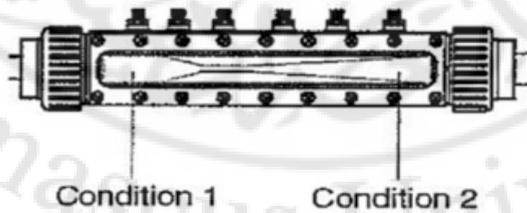
9- مقياس الضغط الكلي.

### الأساس النظري

معادلة بيرنولي لجريان سائل مثالي في أنبوبة أفقية (الشكل 6-2):

$$(1-6) \quad \frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} = \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} = const.$$

حيث  $\frac{p}{\rho}$  قدرة الضغط و  $\frac{v^2}{2}$  القدرة الحركية للجريان.



الشكل (6-2)

بالنسبة لجريان سائل حقيقي، وبالتعبير عن الضغط  $p_1$  و  $p_2$  الستاتيكي من

خلال الارتفاع  $h_1$  و  $h_2$ :

$$(2-6) \quad h_1 + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_v$$

. بحيث  $p_1$  الضغط عند المقطع العرضي  $A_1$

.  $p_2$  الضغط عند المقطع العرضي  $A_2$

.  $h_1$  الارتفاع عند المقطع العرضي  $A_1$

.  $h_2$  الارتفاع عند المقطع العرضي  $A_2$

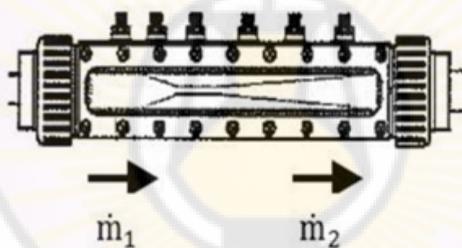
.  $v_1$  سرعة الجريان عند المقطع العرضي  $A_1$

.  $v_2$  سرعة الجريان عند المقطع العرضي  $A_2$

.  $\rho$  كثافة الوسط (وهو ثابت للسوائل الغير قابلة للانضغاط كالماء).

.  $h_v$  ارتفاع فقد الضغط (يعبر عن الفقد بالقدرة خلال انتقال السائل من 1 إلى 2).

بما أن التيار الكتلي ثابت حسب معادلة الاستمرار (الشكل 6-3) فإن:



الشكل (6-3)

$$(3-6) \quad \dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

حيث يكتب التدفق الكتلي بدلالة التدفق الحجمي  $Q = \dot{V}$ :

$$(4-6) \quad \dot{m} = \rho \dot{V} = \rho Q$$

ومنه تصبح معادلة الاستمرار:

$$(5-6) \quad \rho_1 Q_1 = \rho_2 Q_2$$

وللسوائل غير القابلة للانضغاط كالماء:

$$(6-6) \quad Q_1 = Q_2$$

ولكن التدفق الحجمي:

(7-6)

$$Q = Av$$

وعليه يكون:

(8-6)

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

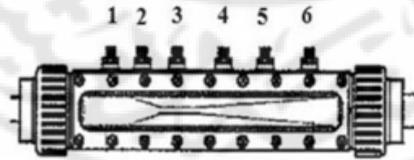
### منحني تغير السرعة في أنبوب فينتوري

يستخدم أنبوب فينتوري 6 نقاط قياس كما يظهر في الشكل (6-4) حيث يبين الجدول أدناه السرعة القياسية المرجعية  $\bar{v}$ ، هذا البارامتر يتم تحديده تبعاً للشكل الهندسي لأنبوب فينتوري المبين في الشكل (6-5):

(9-6)

$$\bar{v}_i = \frac{A_1}{A_i}$$

النقطة	المقطع العرضي $A [m^2 \times 10^{-4}]$	السرعة المرجعية $\bar{v}$
1	3.386	1.00
2	2.335	1.45
3	0.846	4.00
4	1.702	2.00
5	2.552	1.33
6	3.386	1.00



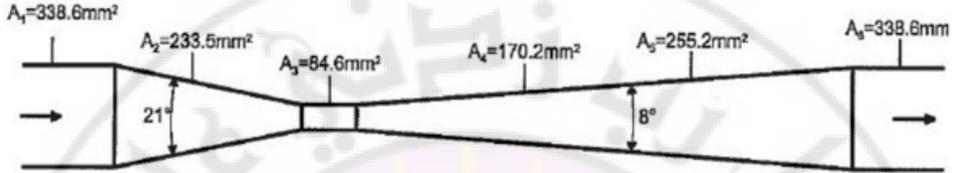
الشكل (6-4)

بضرب السرعة المرجعية بالقيمة الابتدائية يمكن للطالب حساب قيم السرعة النظرية  $v_{th}$  عند نقاط القياس الست لأنبوب فينتوري من خلال المعادلة (7-6).  
يتم حساب ارتفاع الضغط الديناميكي:

$$(10-6) \quad h_{dyn} = h_{tot} - h_{stat} = \frac{P_{dyn}}{\rho g}$$

أما السرعة الفعلية (المقاسة) فتحسب من الضغط الديناميكي  $P_{dyn}$ :

$$(11-6) \quad P_{dyn} = \frac{\rho v_{meas}^2}{2} \Rightarrow v_{meas} = \sqrt{\frac{2 P_{dyn}}{\rho}} = \sqrt{2 g h_{dyn}}$$



الشكل (6-5)

ويمكن تنظيم النتائج في جدول:

	$h_1$	$h_2$	$h_3$	$h_4$	$h_5$	$h_6$	$t$ for 10	$Q$
	[mmWC]						[s]	[ℓ/s]
$h_{stat}$								
$h_{total}$								
$h_{dyn}$								
$v_{meas}$								
$v_{th}$								

**ملاحظة:** يطلب من الطالب تمثيل كلاً من السرعة الفعلية والنظرية عند كل نقاط أنبوب فينتوري بيانياً، وكذلك تمثيل توزع الضغط في أنبوب فينتوري، أي كل من الضغوط الكلي والستاتيكي والديناميكي عند كل نقاط أنبوب فينتوري بيانياً.

### تحديد معامل التصريف

يستعمل أنبوب فينتوري لقياس التيار الحجمي (التدفق). بالمقارنة مع الفوهات أو الثقوب هنالك خسارة صغيرة جداً في الضغط خلال قياس التيار الحجمي. يستخدم فقدان

الضغط  $\Delta p$  بين القطر الأكبر و القطر الأصغر للأنبوب (أي النقطتين 1 و 3) لقياس التيار الحجمي:

$$(12-6) \quad Q = k \sqrt{\Delta p}$$

يكون معامل التصريف  $k$  معلوماً للمستخدم تبعاً لتصنيع الأنبوب، وإذا كان مجهولاً فيمكن تحديده من قياس فقدان الضغط  $\Delta p$ :

$$(13-6) \quad k = \frac{Q}{\sqrt{\Delta p}}$$

حيث تقاس  $k$  بالـ  $[l/s \text{ bar}^{0.5}]$ .



## التجربة السابعة

### الصدمة بالقوة النفاثة (النافورة)



## التجربة السابعة

### الصدمة بالقوة النفاثة (النافورة)

#### الهدف من التجربة

- 1- شرح مبدأ كمية الحركة الخطية (قانون الدفع الخطي).
- 2- دراسة تأثير تيار نافوري على جدار ثابت، ومقارنة القوى الفعلية بالمحسوبة نظرياً.
- 3- تأثير معدل التدفق وسرعة التدفق على القوة الناتجة.
- 4- تأثير شكل السطح المدروس على قوة الصدمة المؤثرة (فعلياً ونظرياً)

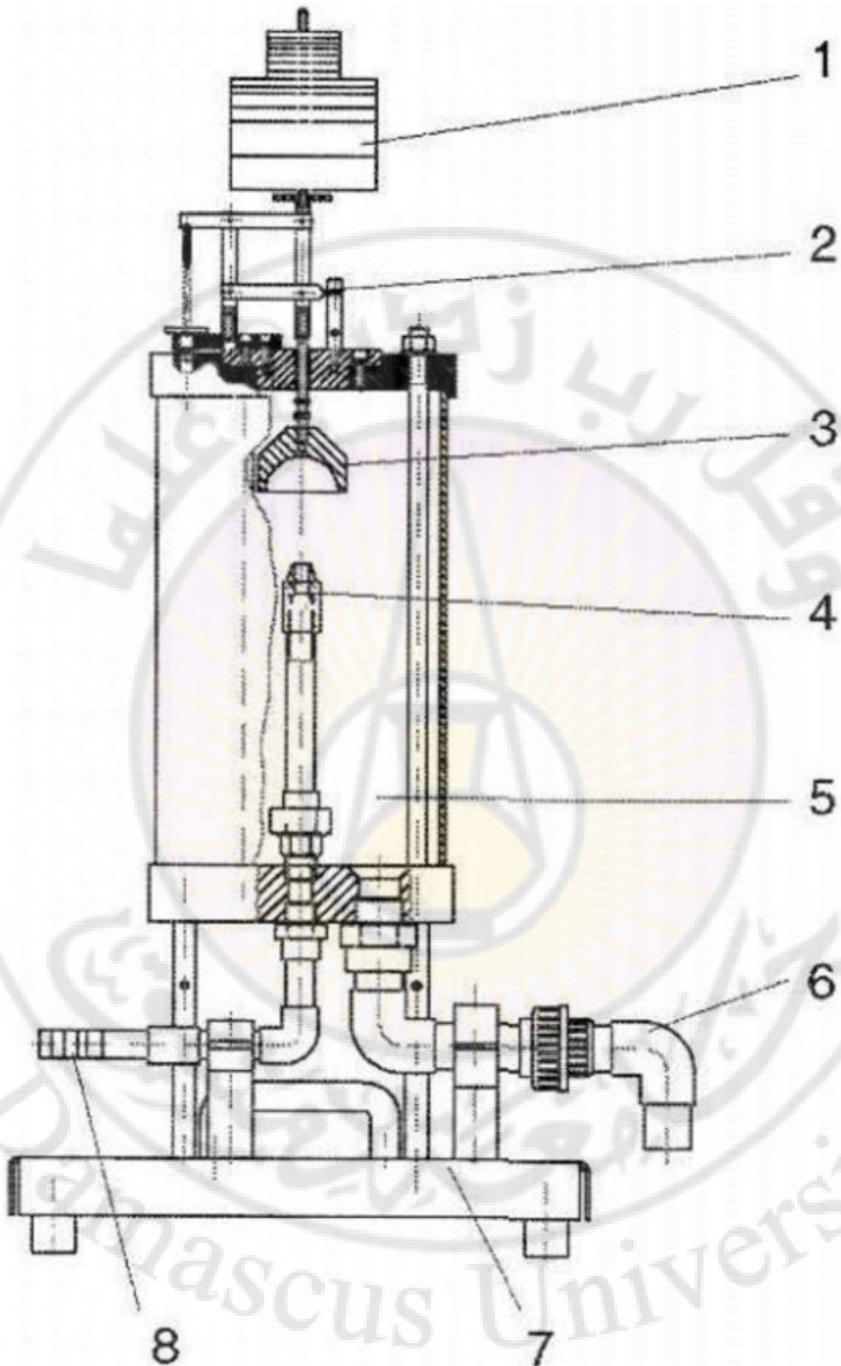
#### وصف الوحدة

صممت الوحدة للتحقق من قوى الصدمة النفاثة على حواجز ثابتة. تتولد قوى الصدمة هذه عن طريق تيار مائي نفاث (نافورة) ونقاس عن طريق آلية رفع وأوزان تحميل. يتم ضبط قوى الصدمة للتيار المائي النفاث بواسطة التيار الحجمي (التدفق) ويتم تأمين مصدر الماء للتجربة إما عن طريق العربة الهيدروليكية أو عن طريق المنبع الرئيسي لماء المخبر، ويتم تزويد الماء عن طريق العربة الهيدروليكية بدارة مغلقة.

#### جهاز التجربة

يظهر جهاز التجربة في الشكل (1-7) ويتكون من الأجزاء التالية:

- 1- أوزان تحميل.
- 2- آلية رفع.
- 3- جسم حاريف للنافورة، يمكن وضع عدة أجسام حاريفة (صفيحة، نصف كرة، سطح مائل، مخروط).
- 4- فوهة النفث.
- 5- وعاء شفاف.



الشكل (7-1)

6- أنبوب التصريف.

7- قاعدة الجهاز .

8- مدخل الماء.

### الأساس النظري

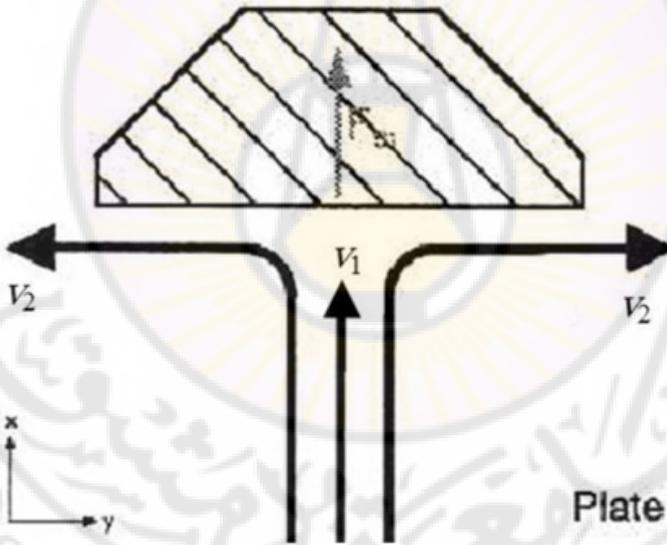
يتم حساب القوة النفاثة وفق مبدأ كمية الحركة الخطية أو قانون الدفع الخطي:

#### 1- الصفيحة

من الشكل (7-2) نجد:

$$F_{th} = Q\rho(v_1 - v_2)$$
$$v_2 = 0 \Rightarrow F_{th} = Q\rho v_1$$

(1-7)



الشكل (7-2)

حيث  $Q$  التدفق الحجمي.

$v$  السرعة.

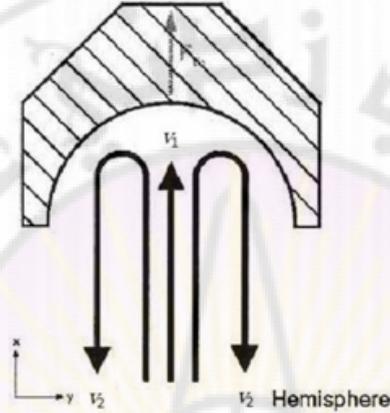
$\rho$  الكثافة (للماء  $\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$ ).

## 2- نصف كرة

من الشكل (7-3) نجد:

$$F_{th} = Q\rho(v_1 - v_2)$$

$$(2-7) \quad v_2 = -v_1 \Rightarrow F_{th} = 2Q\rho v_1$$



الشكل (7-3)

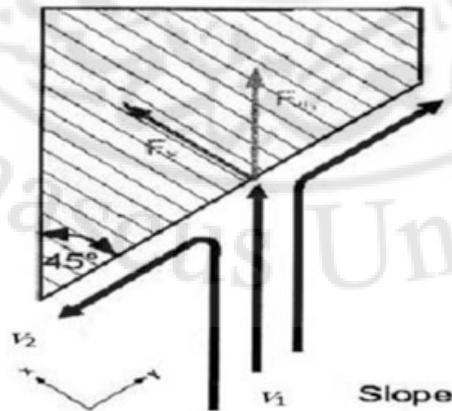
## 3- السطح المائل

من الشكل (7-4) نجد (حيث  $\alpha = 45^\circ$ ):

$$F_x = Q\rho v_1 \cos \alpha$$

$$F_{th} = F_x \cos \alpha$$

$$(3-7) \quad F_{th} = Q\rho v_1 \cos^2 \alpha$$



الشكل (7-4)

#### 4- المخروط

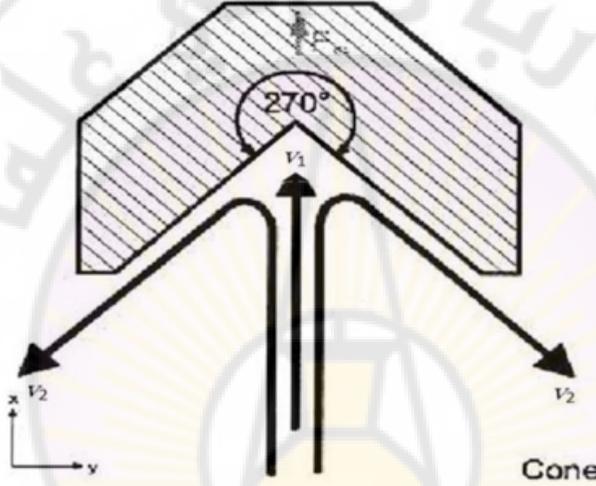
من الشكل (7-5) نجد (حيث  $\alpha = 45^\circ$ ):

$$F_{th} = Q \rho (v_1 - v_{2x})$$

$$v_2 = -v_1 \cos \alpha$$

$$v_{2x} = v_2 \cos \alpha$$

$$(4-7) \quad F_{th} = Q \rho v_1 (1 + \cos^2 \alpha)$$



الشكل (7-4)

ويتم حساب السرعة  $v_1$  للنافورة من الأنبوب بدءاً من التدفق الحجمي ومساحة مقطع الأنبوب:

$$(5-7) \quad v_1 = \frac{Q}{A_d} = \frac{4Q}{\pi d^2}$$

حيث  $A_d$  مساحة مقطع الأنبوب،

$d$  قطر الأنبوب (في هذه الحالة  $d = 0.01m$ )

#### إجراء التجربة

- قم بوضع الوحدة على العربة الهيدروليكية بحيث ينطبق المصرف على قناة التصريف.

- صل الخرطوم بين العربة والوحدة.

- تركيب الجسم الحارفي (أحد الأجسام الأربعة): قم بحل البراغي الثلاثة على الغطاء وانزع الغطاء مع آلية الرفع سوية، ضع الجسم المطلوب.
- حاذر أن تتسبب ربط عزقة الأقفال على القضيب. ثبت الغطاء مجدداً على الوعاء بالبراغي.
- استخدم برغي الضبط لضبط نقطة الصفر وخلال ذلك لا تضيف أي وزن على المنظومة.
- قم بتطبيق الحمل المراد ( $0.2, 0.3, 1, 2, 5 N$ ) أو مجموعة من الأحمال.
- أغلق الصمام الرئيسي للعربة.
- شغل المضخة.
- افتح الصمام الرئيسي للعربة بحذر وذلك حتى يعود المؤشر إلى الصفر مجدداً.
- أغلق الصمام الرئيسي مجدداً.
- قم بتحديد التدفق الحجمي، يتضمن ذلك تحديد الزمن  $t$  اللازم لملء الخزان الخاص بالعربة وذلك من 20 إلى 30 ليتر.
- قم بتحميل الأوزان وسجل الزمن اللازم لـ 10 ليتر.
- أطفئ المضخة وافتح المصرف.

### نتائج القياس

- يتم تنظيم جدول بقيم النتائج المقاسة للأجسام الأربعة المستخدمة (الصفحة، نصف الكرة، سطح مائل، مخروط) ويتم إعطاء سماحية في القياس  $\pm 0.2 N$  وذلك بإضافة أوزان تحميل صغيرة.
- قم بإجراء مقارنة بين القيمة والمقاسة للقوة النفاثة للأجسام الأربعة كما في الجدول أدناه وناقش النتائج.
- كذلك قيم بتنظيم جدول يوضح تأثير الشكل الهندسي للأجسام الأربعة على التدفق الحجمي  $Q$  عند وزن تحميل ثابت وناقش النتائج.

		الصفحة					نصف الكرة				
$F_G$ [N]	$t$ [s]	$Q$ [ℓ/s]	$v_1$ [m/s]	$F_{th}$ [N]		$t$ [s]	$Q$ [ℓ/s]	$v_1$ [m/s]	$F_{th}$ [N]		
				محسوبة	مقاسة				محسوبة	مقاسة	
0.5											
1.0											
2.0											
3.0											
7.0											
		السطح المائل					المخروط				
$F_G$ [N]	$t$ [s]	$Q$ [ℓ/s]	$v_1$ [m/s]	$F_{th}$ [N]		$t$ [s]	$Q$ [ℓ/s]	$v_1$ [m/s]	$F_{th}$ [N]		
				محسوبة	مقاسة				محسوبة	مقاسة	
0.5											
1.0											
2.0											
3.0											
7.0											

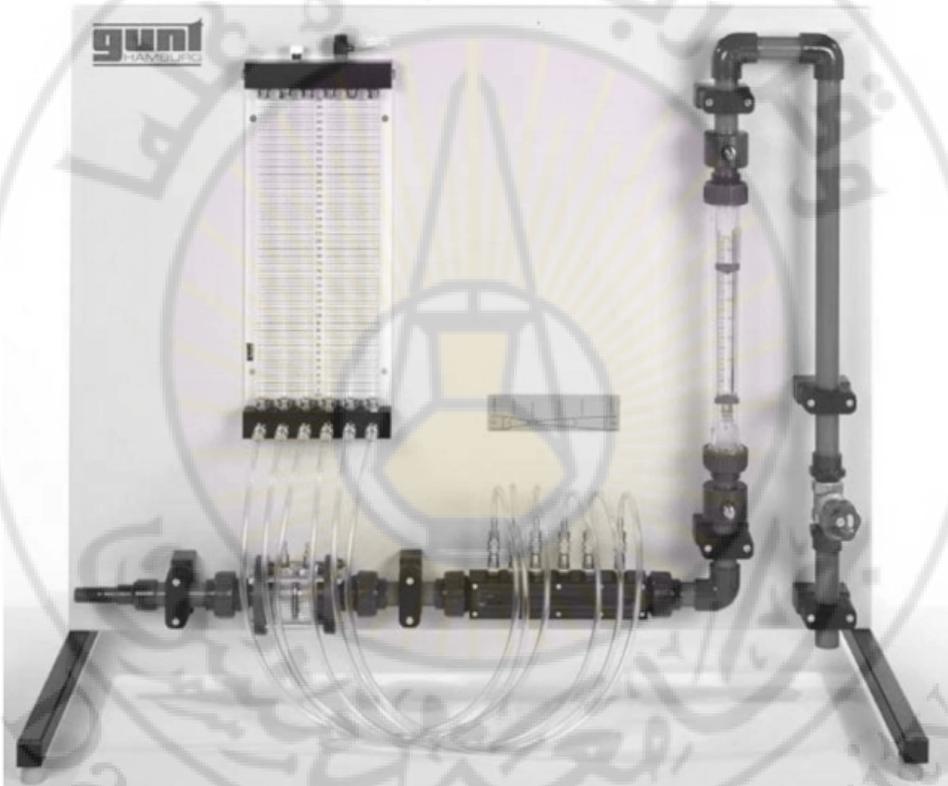
$Q[\ell/s]$	$F_G = 0.5 N$ مثال
	الصفحة
	نصف الكرة
	السطح المائل
	المخروط





# التجربة الثامنة

## أجهزة قياس التدفق



# التجربة الثامنة

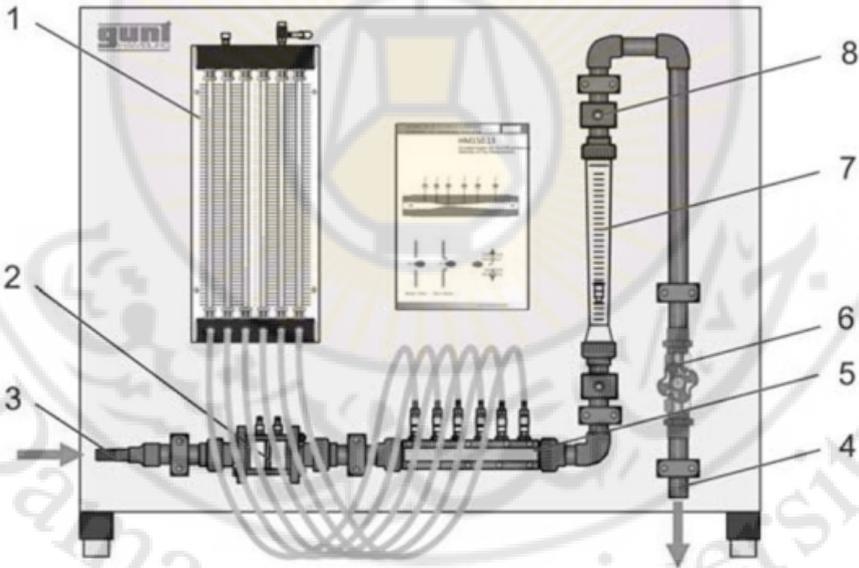
## أجهزة قياس التدفق

### الهدف من التجربة

- المقارنة بين أنواع المقاييس المختلفة للتدفق.
- دراسة طرق قياس التدفق.
- تحديد معاملات التصريف للمقاييس المختلفة تجريبياً.
- معايرة مقاييس التدفق.

### جهاز التجربة

يبين الشكل (8-1) جهاز التجربة المكون من:



الشكل (8-1)

1- مقياس الضغط متعدد الأنابيب (المانومتر المتكرر) مزود بصمام تفرغ

للواء.

2- الصفيحة ذات الفوهة والنقب.

- 3- مدخل الماء.
- 4- مخرج الماء.
- 5- مقياس فينتوري.
- 6- صمام التحكم بمعدل التدفق.
- 7- مقياس التدفق متغير المساحة.
- 8- مأخذ الضغط يستخدم لقياس الخسارة في الارتفاع في كل مقياس تدفق.

## قياس الضغط

### مقياس الضغط متعدد الأنابيب (المانومتر المتكرر)

- يحتوي مقياس الضغط على 6 أنابيب زجاجية لقياس المستوى يتوضع خلفها لوحة مدرجة بالـ  $mm$  حيث عمود الماء  $mmWC$  هو الوحدة المستخدمة لقياس الضغط في الأنبوب، حيث  $10mmWC = 1mbar$  (شاهد الشكل -8-2).
- مجال القياس هو  $300mm$  من الماء.
- جميع مقاييس المستوى (الأنابيب) موصولة إلى أنبوب واحد من الأعلى لها صمام تفريغ وحيد.

### قياس الضغط التفاضلي

- من أجل هذا يتم إغلاق صمام التفريغ فيتشكل وسادة هوائية ذات ضغط  $p_L$  فوق عمودي الماء وبالتالي تصبح المعادلة من أجل قياس الضغط  $p_1, p_2$  (شاهد الشكل -8-3):

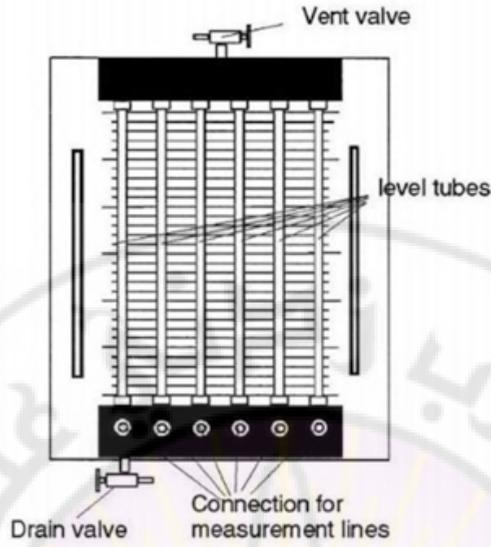
$$p_1 = p_L + \rho g h_1$$

$$p_2 = p_L + \rho g h_2$$

وعندها يكون الضغط التفاضلي:

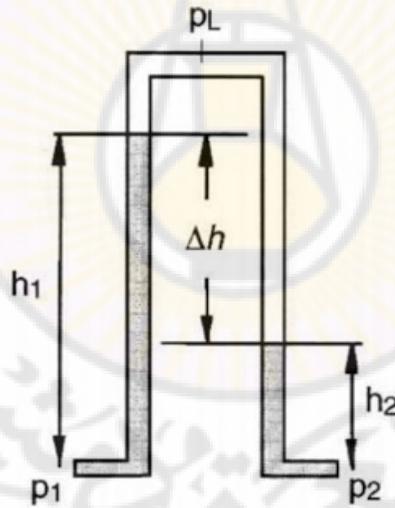
$$\Delta p = p_1 - p_2 = (p_L + \rho g h_1) - (p_L + \rho g h_2)$$

$$(1-8) \quad \Delta p = \rho g \Delta h$$



الشكل (8-2)

Air cushion



الشكل (8-3)

حيث:

(2-8)

$$\Delta h = h_1 - h_2$$

يمكن إعداد قياس نقطة الصفر للضغط التفاضلي عن طريق الضغط  $p_L$ .

من أجل زيادة مجال القياس توضع نقطة الصفر  $\left(\frac{h_1 + h_2}{2}\right)$  عند مركز مجال القياس  $\left(\frac{h_{\max}}{2}\right)$ :

$$\frac{h_1 + h_2}{2} = \frac{h_{\max}}{2} = \frac{(p_1 - p_L) + (p_2 - p_L)}{2\rho g}$$

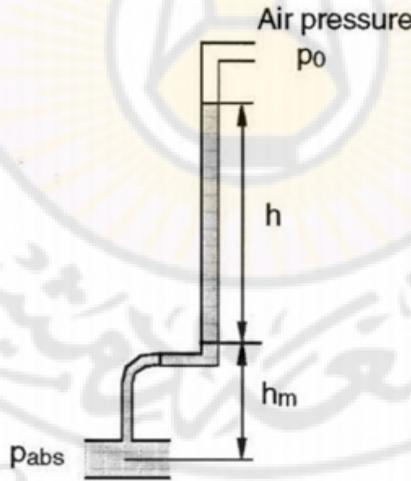
وبالتالي تصبح علاقة ضغط الوسادة الهوائية:

$$(3-8) \quad p_L = \frac{p_1 + p_2 - \rho g h_{\max}}{2}$$

يتم ضبط الضغط بواسطة صمام التفريغ.

### قياس الضغط المطلق

لقياس الضغط المطلق يتم إبقاء صمام التفريغ مفتوح ويصبح الضغط  $p_L$  تبعاً للضغط الجوي  $p_o$ . في هذه الحالة من الضروري الأخذ بعين الاعتبار الارتفاع  $h_m$  بين نقطة القياس ونقطة الصفر للمقياس (شاهد الشكل 8-4):



الشكل (8-4)

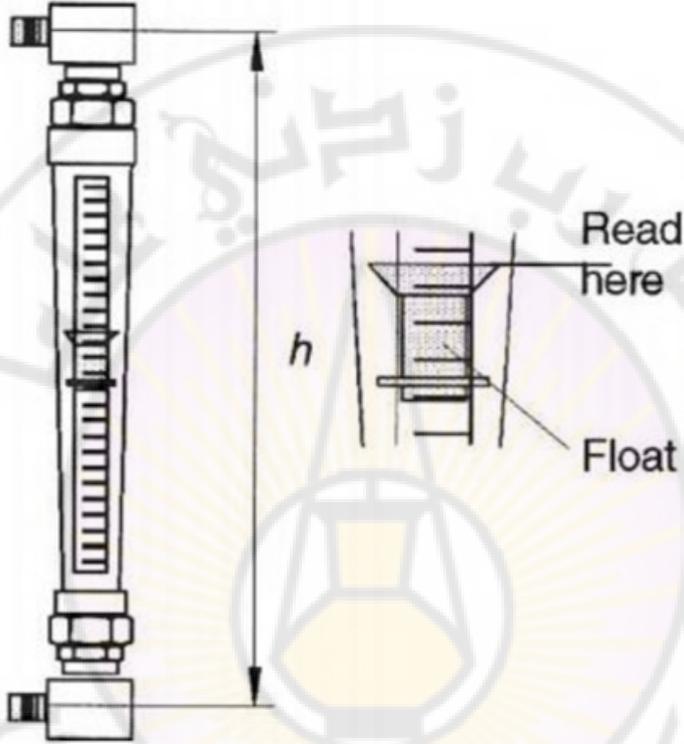
$$(4-8) \quad p_{abs} = p_o + \rho g (h + h_m)$$

### قياس التدفق

## مقياس التدفق متغير المساحة

يستخدم مقياس التدفق متغير المساحة (الشكل 8-5) ذو المواصفات التالية لقياس

معدل التدفق:

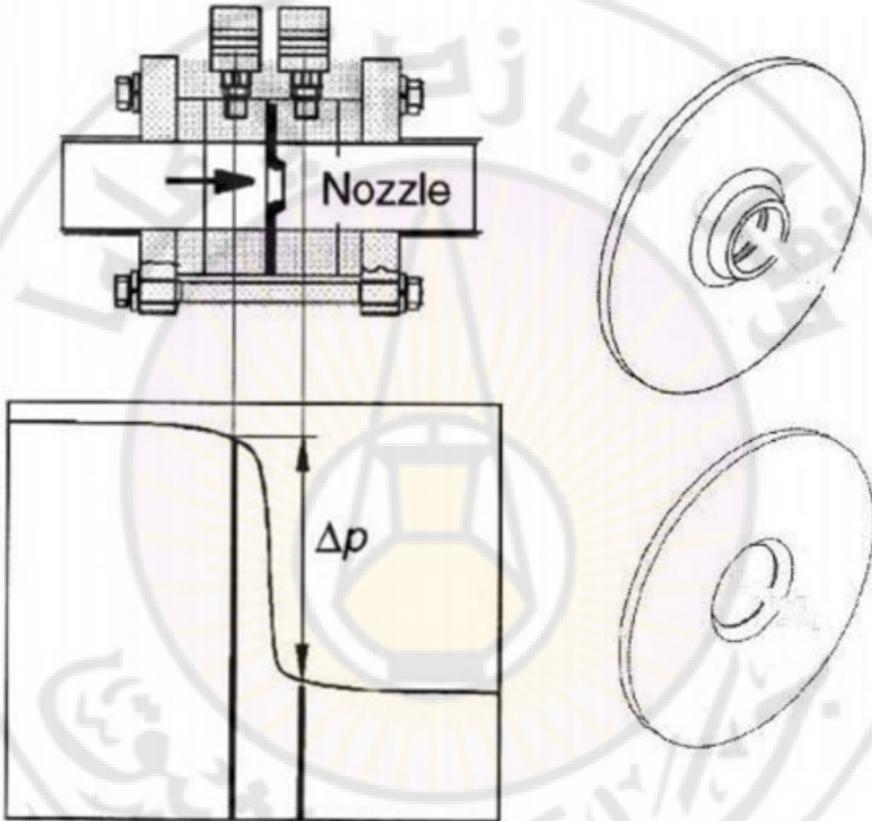


الشكل (8-5)

- أنبوب قياس بلاستيكي
  - جسم طافي من الستانلس ستيل قابل للتبديل.
  - مقياس مدرج منوي قابل للتبديل.
  - معدل تدفق أعظمي  $1,600 \text{ l/h}$ .
- تتم قراءة معدل التدفق من الحافة العليا للجسم الطافي.

## الصفحة ذات الفوهة والثقب

يسبب الجريان ضمن الصفحة (الشكل 8-6) إلى خسارة الضغط بين مدخل ومخرج الصفحة. يساعد المأخذين على قياس فرق الضغط بين الطرفين (المدخل والمخرج). هذا الضغط التفاضلي (الفرق في الضغط  $\Delta p$ ) يتبع للعلاقة:



الشكل (8-6)

(5-8)

$$Q = k\sqrt{\Delta p}$$

حيث الثابت  $k$  يساوي:

$$k = 231 \ell / h\sqrt{mbar}$$

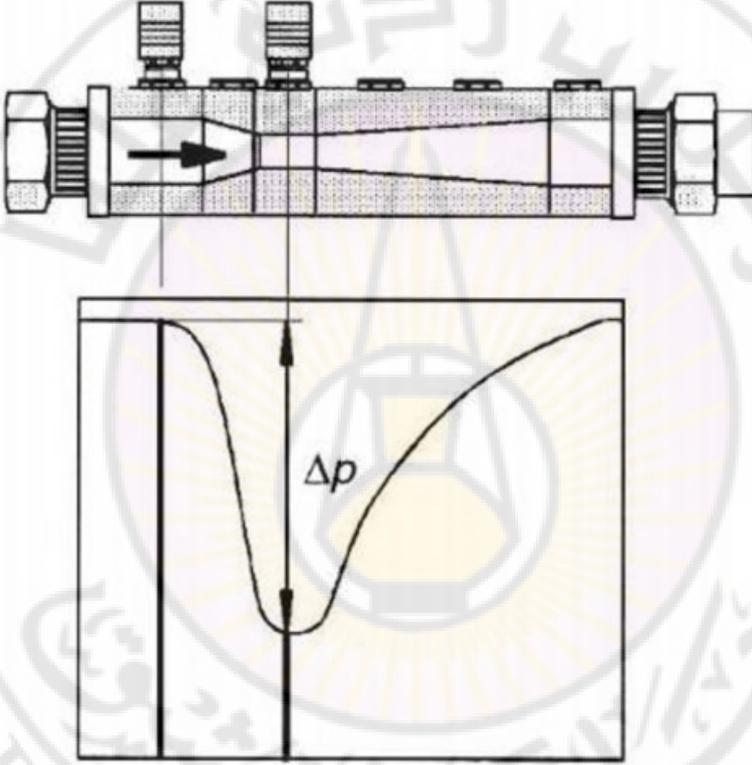
- من أجل الفوهة:

$$k = 293 \ell / h\sqrt{mbar}$$

- من أجل الثقب:

## مقياس فينتوري

يتناسب الضغط في الأنبوب عكسياً مع السرعة تبعاً لقانون بيرنولي (الشكل 8-7) حيث يسمح المأخذان الموجودان بقياس الضغط في مدخل الأنبوب وفي المقطع الأصغري للأنبوبة. هذا الضغط التفاضلي (الفرق في الضغط  $\Delta p$ ) يتبع للعلاقة (8-5) حيث  $k = 132 \ell / h \sqrt{mbar}$ .



الشكل (8-7)

## إجراء التجربة

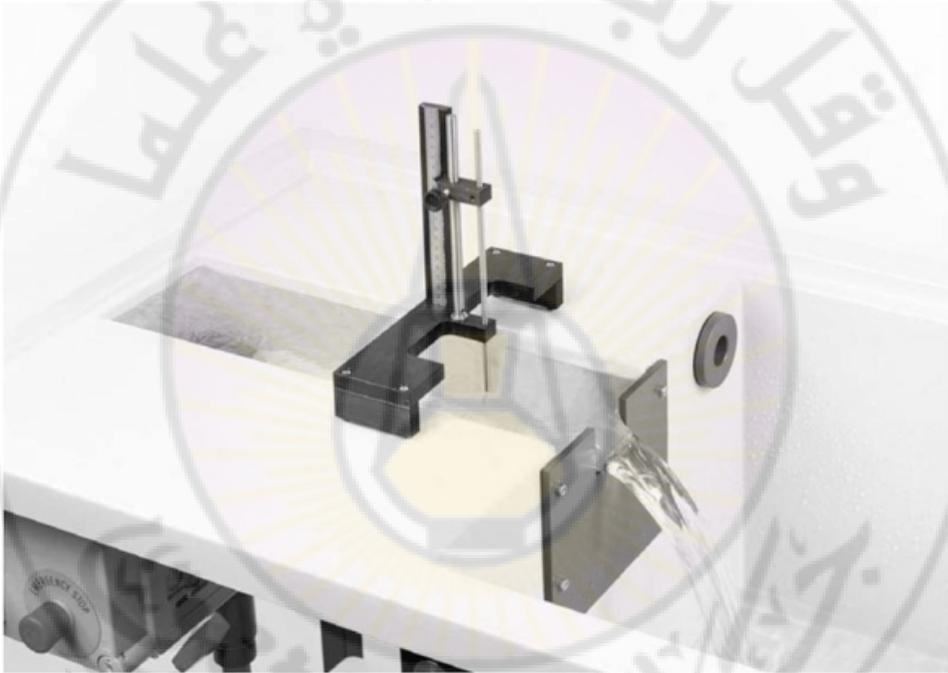
- يؤخذ فرق الضغط في المانومترين الأول والثالث ولغزارات مختلفة بالنسبة للمقاييس كافة ما عدا المقياس متغير المساحة وتسجل على جدول.
- تعوض قيمة فرق الضغط المقاس في العلاقات الخاصة بكل مقياس ويتم التأكد من قيمة معامل تصريف كل مقياس على حدة.

- يمكن القيام بعملية عكسية: حيث يعوض فرق الضغط المقاس من أجل عدة غزارات ويستنتج معامل التصريف بيانياً لكل مقياس وذلك برسم المنحني البياني  $(Q, \Delta h^n)$ ، حيث  $n$  أس يتعلق بالمقياس المدروس.
- يناقش أداء المقاييس المختلفة.





التجربة التاسعة  
الجريان عبر الهدّارات (السدود)



## التجربة التاسعة

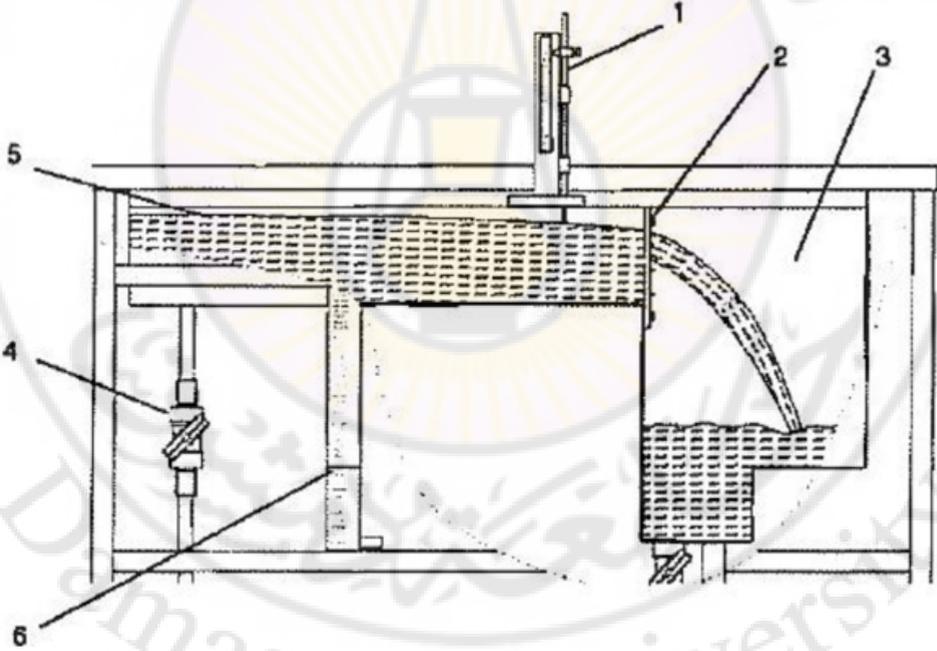
### الجريان عبر الهدّارات (السدود)

#### الهدف من التجربة

- التعرف على أنواع السدود (الهدّارات) والمقارنة بينها.
- قياس معدل التدفق الحجمي والتعرف على آلية القياس باستخدام الهدّار.
- تحديد معامل التصريف.

#### جهاز التجربة

يظهر جهاز التجربة في الشكل (9-1) ويتكون من:



الشكل (9-1)

- 1- مقياس ارتفاع.
- 2- السد.
- 3- خزان حجمي.

4- صمام تحكم.

5- القناة.

6- مقياس الحجم.

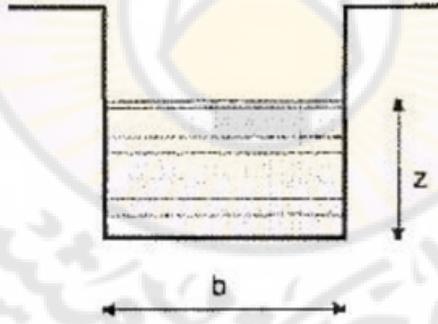
### الأساس النظري

صممت هذه التجربة للتعرف على واحدة من أهم وأبسط طرق قياس التدفق الحجمي للسائل المتدفق في قناة مفتوحة أو مجرى، تستخدم الهذارات لقياس التدفق الحجمي للماء في الأفنية المفتوحة والسدود والأنهار وقنوات الري وغيرها. مبدأ القياس يعتمد على معادلة الاستمرار وحيدة البعد.

### إجراء التجربة

#### السد مستطيل الشكل

يتم حساب معدل التدفق الحجمي من عرض السد  $b$  وارتفاع السد  $z$ ، كما يظهر في الشكل (9-2)، حيث العرض  $b$  ثابت ويساوي  $b = 6\text{ cm}$ .



الشكل (9-2)

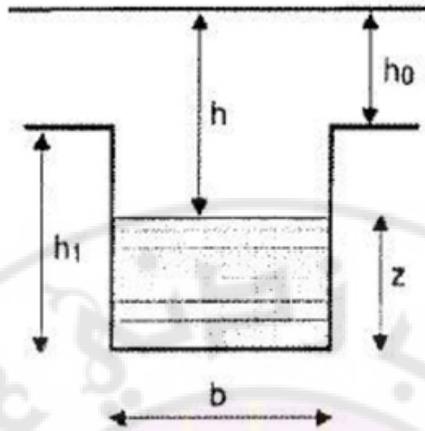
ويتم قياس  $z$  بشكل غير مباشر (الشكل 9-3):

يتم قياس الارتفاع  $h$  للماء وبمعرفة الثابت  $h_o = 4.7\text{ cm}$  و  $h_1 = 5\text{ cm}$  يكون:

$$(9-1) \quad z = h_o + h_1 - h$$

يحسب معدل التدفق الحجمي النظري كما يلي:

$$(9-2) \quad Q_{th} = \frac{2}{3} \psi b z \sqrt{2gz}$$



الشكل (9-3)

حيث  $\psi = 0.63$  معامل التصريف.

أما معدل التدفق الحجمي الفعلي  $Q_m$  فيحدد بمساعدة الخزان الحجمي للعربة الهيدروليكية وباستخدام ساعة مقيائية.

من المفضل قياس زمن التعبئة  $t$  لأجل 10 لتر، حيث يتم إيجاد الزمن المناسب في مقياس مجاله بين 20 و 30 لتر.

توضع النتائج في الجدول التالي:

$h[cm]$	$z[cm]$	$t \text{ for } 10 \ell [s]$	$Q_{th} [\ell/s]$	$Q_m [\ell/s]$	الانحراف [%]

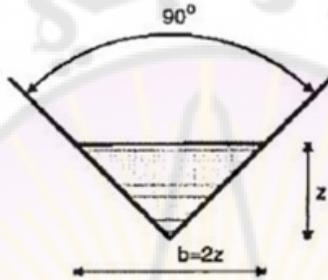
حيث يعطى الانحراف بالعلاقة:

$$(9-3) \quad \frac{Q_m - Q_{th}}{Q_{th}} \times 100\%$$

يتم رسم منحني بياني يوضح العلاقة  $Q_{th} = f(h)$ .

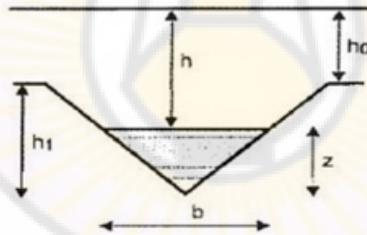
### السد ذو شكل حرف V

يتم حساب معدل التدفق الحجمي من عرض السد  $b$  وارتفاع السد  $z$ ، كما يظهر في الشكل (9-4)، حيث العرض  $b$  تابع للارتفاع  $z$  بالعلاقة  $b = 2z$ .



الشكل (9-4)

ويتم قياس  $z$  بشكل غير مباشر (الشكل 9-5):



الشكل (9-5)

يتم قياس الارتفاع  $h$  للماء وبمعرفة الثابت  $h_o = 4.7 \text{ cm}$  و  $h_1 = 6 \text{ cm}$  يكون:

$$(9-4) \quad z = h_o + h_1 - h$$

يحسب معدل التدفق الحجمي النظري كما يلي:

$$(9-2) \quad Q_{th} = \frac{8}{15} \psi z^2 \tan \frac{\alpha}{2} \sqrt{2gz}$$

حيث  $\alpha = 90^\circ$  و  $\psi = 0.63$ .

أما معدل التدفق الحجمي الفعلي  $Q_m$  فيحدد بمساعدة الخزان الحجمي للعربة الهيدروليكية وباستخدام ساعة مقيائية.

من المفضل قياس زمن التعبئة  $t$  لأجل 10 لتر، حيث يتم إيجاد الزمن المناسب في مقياس مجاله بين 20 و 30 لتر.

توضع النتائج في الجدول التالي:

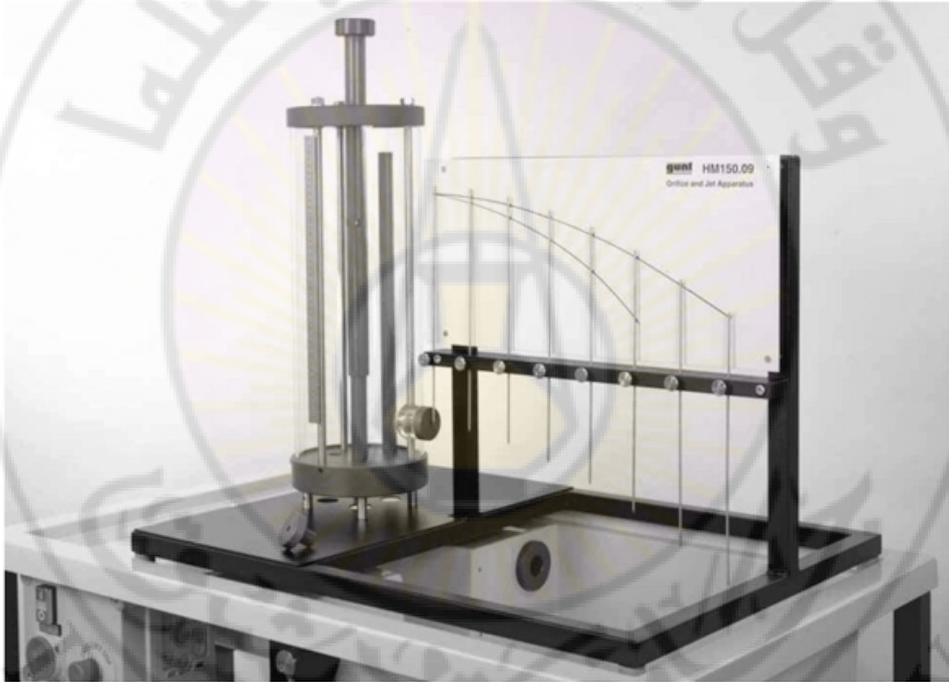
$h[cm]$	$z[cm]$	$t \text{ for } 10 \ell [s]$	$Q_{th} [\ell/s]$	$Q_m [\ell/s]$	الانحراف [%]

حيث يعطى الانحراف بالعلاقة (9-3).

يتم رسم منحنى بياني يوضح العلاقة  $Q_{th} = f\left(h^{\frac{1}{n}}\right)$ ، حيث  $n$  أس يتعلق بشكل

الهدار.

التجربة العاشرة  
تفريغ خزان من فتحة جانبية



## التجربة العاشرة

### تفريغ خزان من فتحة جانبية

#### الوصف الفني

يُمكن الجهاز من معايرة فتحات النوافير ذات الأقطار المختلفة، إن العمود الزجاجي الشفاف يعمل كخزان ضغط علوي ثابت، يمكن الحصول على هذا الضغط عند قيم ثابتة لارتفاع مستوى الماء ويظهر هذا على مقياس مدرج، يتم تركيب الفتحة على قاعدة العمود بمساعدة موائمة جدارية. يمكن تبديل الفتحة بسهولة تسمح لجهاز النافورة بتتبع المسار والتحقق منه، وكذلك فاللوح المخطط خلف جهاز التتبع يساعد الطالب على رسم التيار النافوري الخارج. يمكن وضع الجهاز فوق المنصة بشكل ملائم من أجل استخدام تغذية مناسبة.

#### الغاية من التجربة

- تحديد معامل التصريف لكل شكل من أشكال النافورة.
- المقارنة بين الفتحات المختلفة والتيارات النافورية الناتجة.
- التقدير البصري لتغير شكل التيار النافوري مع معدل التدفق.
- تأثير الشكل الهندسي للفتحة على التدفق الناتج.

#### جهاز التجربة

يظهر في الشكل (10-1) جهاز التجربة المكون من:

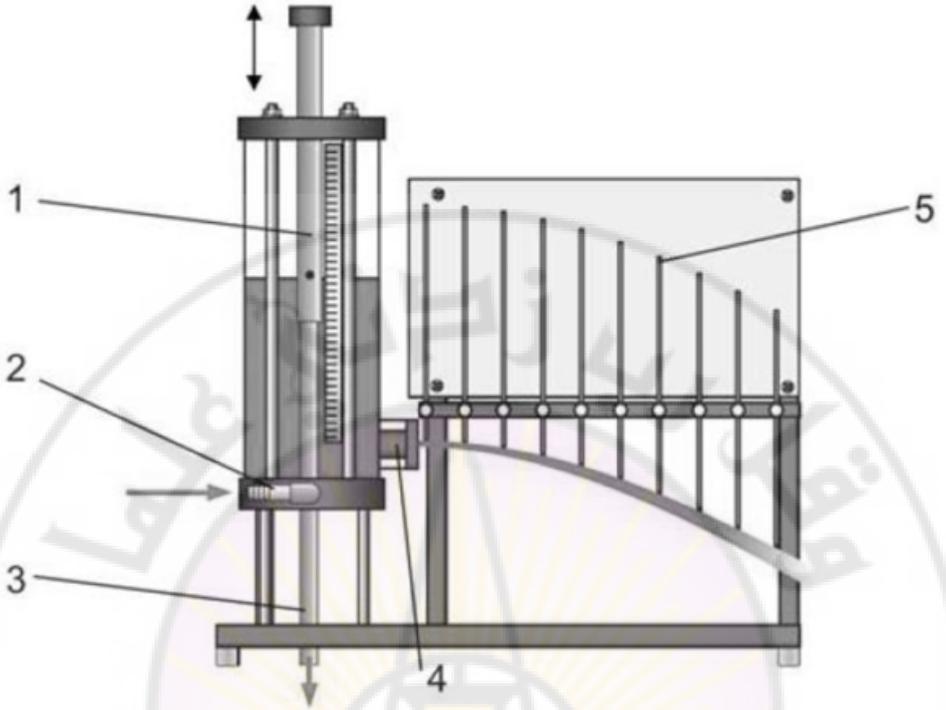
1- خزان مع إمكانية التحكم بمستوى ارتفاع الماء.

2- مدخل الماء.

3- أنبوب تصريف الماء الفائض.

4- مكان توضع الفوهة.

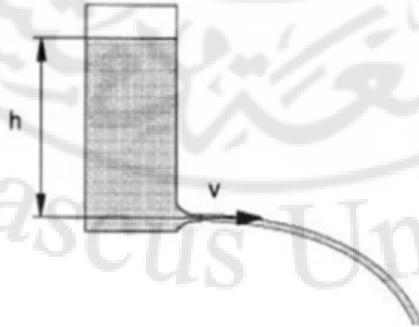
5- مسابر تتبع لرسم النافورة.



الشكل (10-1)

### مسار النافورة النظري

عندما يتم تفريغ خزان مملوء بالماء عبر "ثقب" فإن الطاقة الكامنة تتحول إلى طاقة حركية لنافورة الماء بسبب وجود الثقب، بإهمال الفواقد (ضياعات القدرة) فإن الطاقة الحركية مساوية للطاقة الكامنة (الشكل 10-2):



الشكل (10-2)

$$(1-10) \quad \frac{1}{2} m v^2 = m g h$$

حيث  $g$  تسارع الجاذبية،

$m$  كتلة السائل،

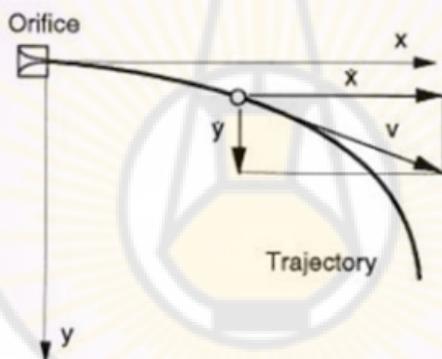
$h$  ارتفاع الماء،

$v$  السرعة.

يمكن تعديل المعادلة (1-10) لتصبح:

$$(2-10) \quad v = \sqrt{2 g h}$$

من أجل وصف مسار النافورة من الأفضل تحديد الإحداثيات الديكارتية للمحور الأفقي للسرعة  $v$  وهو  $X$  والرأسي وهو  $Y$  (الشكل 10-3).



الشكل (10-3)

إن المركبة الأفقية للسرعة ثابتة وتساوي للسرعة في الثقب وهي تتعلق بتسارع الجاذبية  $g$ :

$$(3-10) \quad \dot{x} = \sqrt{2 g h}$$

$$(4-10) \quad \dot{y} = g t$$

بالتكامل مع الزمن يمكن الحصول على تابع المسار للنافورة:

$$x = \dot{x} t$$

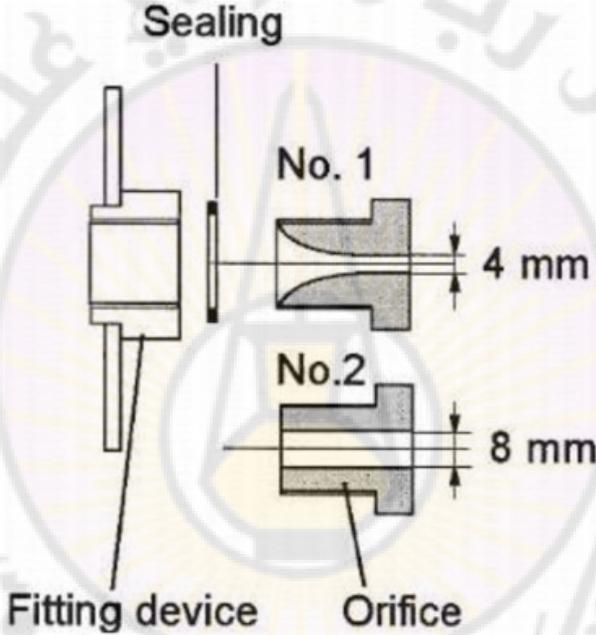
$$y = \frac{g t^2}{2}$$

باختصار الزمن يمكن الحصول على الموضع  $y$  تبعاً لـ  $x$  وارتفاع الماء  $h$ :

$$(5-10) \quad y = \frac{g}{2} \left( \frac{x}{\dot{x}} \right)^2 = \frac{x^2}{4h}$$

### إجراء التجربة

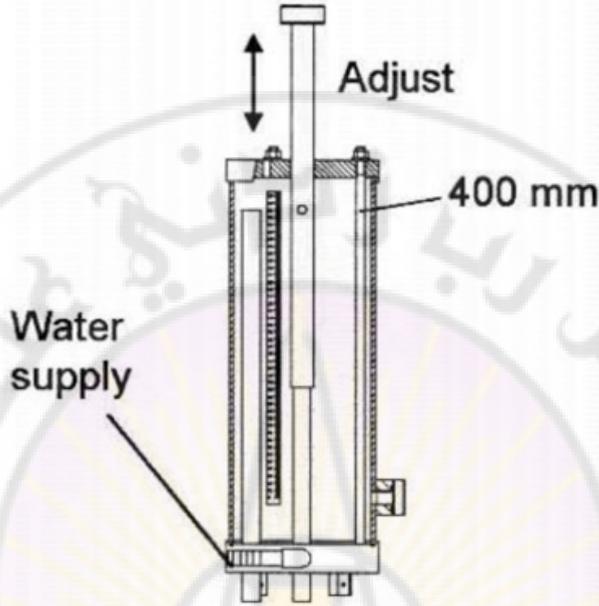
- ضع الفوهة رقم (1) (قطرها  $d = 4 \text{ mm}$ ) ضمن المكان المخصص كما في الشكل (10-4).



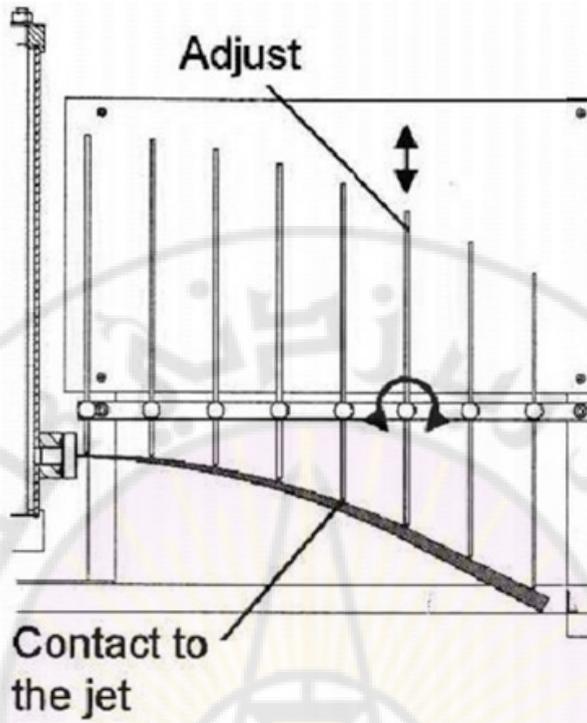
الشكل (10-4)

- صل الجهاز بالماء ومن العربة الهيدروليكية وشغل المضخة.
- عدّل الارتفاع إلى  $400 \text{ mm}$  بواسطة صمام التزويد بالماء كما يظهر في الشكل (10-5).
- عدل مسابر المسار لجهاز التتبع حتى تتلامس مع النافورة كما يظهر في الشكل (10-6).
- إقرأ قيم  $y$  للنافورة وسجلها في الجدول أدناه.

- يجب أن تكون القيم المقاسة تحت القيم الحسابية، وهذا ينتج بسبب الخسارة في الاحتكاك في الثقب ومقاومة الهواء للنافورة الحرة.



الشكل (10-5)



الشكل (10-6)

الفوهة رقم (1) $d = 0.4 \text{ mm}$		
$x [m]$	$y [m]$	
	المقاسة	المحسوبة
0.00		
0.07		
0.14		
0.21		
0.28		
0.35		
0.42		
0.49		

- قم بقياس الزمن  $t$  لتفريغ كمية محددة حجمها  $V$  من التيار النافوري.
- احسب التدفق الفعلي للجريان:

$$(6-10) \quad Q_{act} = \frac{V}{t}$$

- احسب معدل تدفق الجريان من العلاقة النظرية:

$$(7-10) \quad Q_{id} = v A = \sqrt{2 g h} \frac{\pi d^2}{4}$$

- حدد معامل تصريف الفتحة من العلاقة:

$$(8-10) \quad \psi = \frac{Q_{act}}{Q_{id}}$$

- قارن قيمة  $\psi$  الناتجة للفتحات المختلفة.

## التجربة الحادية عشرة

تحديد معامل الفقد الطولي والمكاني في الأنابيب



جامعة دمشق  
Damascus University

## التجربة الحادية عشرة

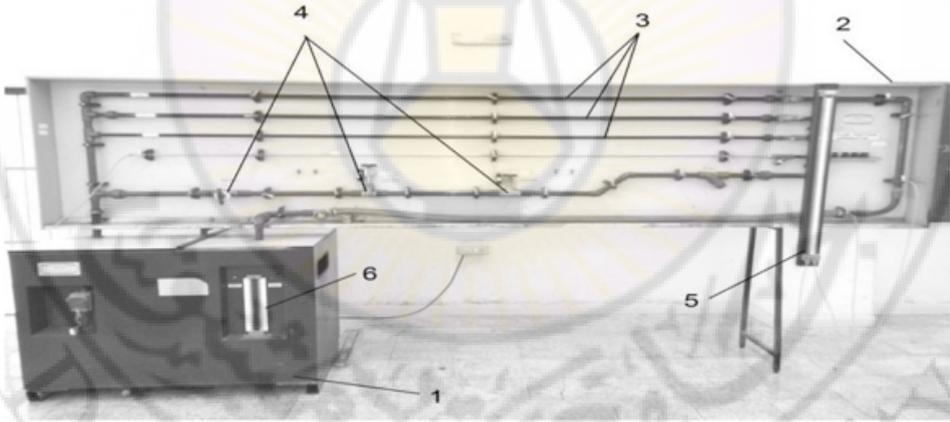
### تحديد معامل الفقد الطولي والمكاني في الأنابيب

#### الهدف من التجربة

- تحديد معاملات الفقد الطولية في الأنابيب في الجريانات الملساء، الملساء الخشنة، الخشنة هيدروليكيًا.
- تحديد معامل الفقد المكاني في الصمامات المختلفة والأكواع وأنبوبة فينتوري.
- تعميق مفهوم الاحتكاك والفقد في الأنابيب.
- التعرف على طريقة بناء مخطط نيكورادسي للمقاومة في الأنابيب.

#### جهاز التجربة

يبين الشكل (11-1) جهاز التجربة المكون من:



الشكل (11-1)

- 1- خزان الماء.
- 2- لوحة.
- 3- أنابيب (ملساء و خشنة و ملساء خشنة).
- 4- صمامات مختلفة.
- 5- مانومتر تفاضلي.

6- مقياس منسوب (حجم).

## الأساس النظري

لجريان وحيد البعد (في أنبوب) وفي حالة السائل المثالي ( $\mu = 0$ )، تعبر معادلة بيرنولي بين نقطتين وعلى خط تيار من هذا الجريان عن قانون مصونية القدرة بالشكل:

$$E_1 = E_2 = \text{const.}$$
$$(1-11) \quad \frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + g z_1 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + g z_2$$

حيث  $\frac{p_1}{\rho}, \frac{p_2}{\rho}$  قدرة الضغط،

$\frac{v_1^2}{2}, \frac{v_2^2}{2}$  القدرة الحركية،

$g z_1, g z_2$  القدرة الكامنة.

هذه المعادلة تعني أن القدرة الإجمالية الميكانيكية لكنته سائلية تبقى ثابتة على طول خط الجريان (خط التيار) أي قانون مصونية القدرة. فيكون مجموع "قدرة الضغط + القدرة الحركية + القدرة الكامنة" ثابت.

ولكن في الواقع بالنسبة لجريان السائل الحقيقي ( $\mu > 0$ ) فإن السائل أثناء حركته من النقطة 1 إلى النقطة 2 يخسر جزء من هذه القدرة بفعل الاحتكاك، ويتحول هذا الجزء إلى قدرة ضائعة (حرارية). يعبر عن هذه الحالة بمعادلة بيرنولي العامة للجريانات الحقيقية:

$$(2-11) \quad \frac{p_1}{\rho} + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2} + g z_1 = \frac{p_2}{\rho} + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2} + g z_2 + \frac{\Delta p_{v1-2}}{\rho}$$

حيث  $\alpha_1, \alpha_2$  معامل عدم انتظام توزيع السرعة في المقطعين 1 و 2.

$\frac{\Delta p_{v1-2}}{\rho}$  الفقد بالقدرة نتيجة الانتقال من 1 إلى 2.

الفقد بالقدرة للجريان ينتج عن:

أ- الاحتكاك بين السائل والأنبوب وبين جزيئات السائل نفسها، ويسمى الفقد الطولي أو الفقد بالاحتكاك، ويحسب من قانون دارسي-فايزباخ لوحدة الكتلة:

$$(3-11) \quad \Delta p_{v1-2} = \lambda \frac{L}{d} \frac{\rho v^2}{2}$$

حيث  $\lambda$  معامل الاحتكاك (الفقد) الطولي للأنبوب، وتختلف قيمته حسب نوع الجريان ونوع الأنبوب.

$L$  طول الأنبوب.

$d$  قطر الأنبوب.

$v$  السرعة في مقطع الأنبوب المدروس.

ب- الفقد بالقدرة الناتج عن تغيير اتجاه الجريان (الفقد في الأكواع) أو نتيجة وجود تغير في مقطع الجريان (الصمامات)، أو تغير الشكل الهندسي للعنصر المدروس، وتسمى الفوائد المكانية وتحسب بالعلاقة:

$$(4-11) \quad \Delta p_k = \varepsilon \frac{\rho v^2}{2}$$

حيث  $\varepsilon$  معامل فقد العنصر المدروس (ويحدد نظرياً وتجريبياً)  $v$  السرعة في مقطع هذا العنصر.

**تحديد قيمة معامل الاحتكاك  $\lambda$**

تختلف قيمة  $\lambda$  حسب نوع الجريان:

أ- تحسب في الجريان الصفائحي ( $Re \leq 2,300$ ) من العلاقة:

$$(5-11) \quad \lambda = \frac{64}{Re}$$

حيث  $Re = \frac{vd}{\nu}$  عدد رينولدز.

اللزوجة الحركية للماء  $\nu = 10^{-6} m^2/s$ .

ب- في الجريان المضطرب ( $Re > 2,300$ ):

a. الأملس هيدروليكيًا: تحسب من علاقة بلازيوس وذلك في مجال

$$2,300 < Re \leq 10^5$$

$$(6-11) \quad \lambda = \frac{0.3164}{\text{Re}^{0.25}}$$

أو من علاقة براندل وذلك في مجال أعداد رينولدز  $\text{Re} > 10^5$ :

$$(7-11) \quad \frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log(\text{Re} \sqrt{\lambda}) - 0.8$$

حيث تحسب قيمة  $\lambda$  الابتدائية من علاقة بلازيوس (6-11) وتعتبر  $\lambda_1$ ، ثم تعوض في العلاقة (7-11) التي تصبح من الشكل:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_2}} = 2 \log(\text{Re} \sqrt{\lambda_1}) - 0.8$$

وتحسب قيمة  $\lambda_2$  التالية، وتعاد العملية عدة مرات حتى نحصل على القيمة نفسها بعد تكرار الحساب.

b. الأملس خشن هيدروليكيًا: تحسب من علاقة كوليبروك:

$$(8-11) \quad \frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left( \frac{\frac{K_s}{d}}{3.71} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{\lambda}} \right)$$

حيث  $K_s$  ارتفاع الخشونة المطلقة.

c. الخشن هيدروليكيًا: تحسب من علاقة براندل:

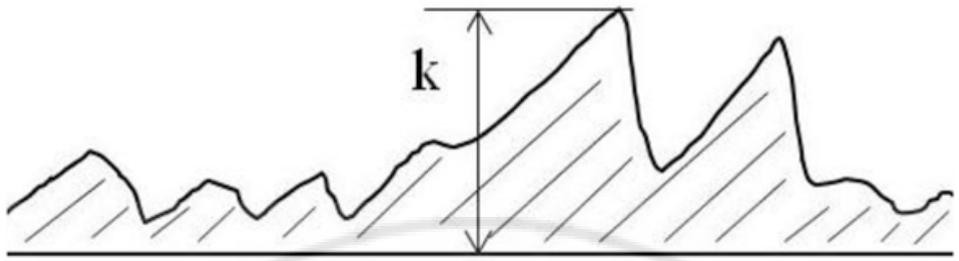
$$(9-11) \quad \frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log \left( \frac{R}{K_s} \right) + 1.68$$

حيث  $R$  نصف قطر الأنبوب.

### تعريف مصطلح الأملس، الأملس خشن، الخشن هيدروليكيًا

كل سطح صلب يحتوي نتوءات ناتجة عن تشغيل هذا السطح تكنولوجياً. يختلف أكبر ارتفاع للنتوءات على سطح ما  $k$  حسب درجة التشغيل ووقته، حيث تسمى  $k$  الخشونة المطلقة للسطح (الشكل 2-11).

في الأنابيب وفي الجريان المضطرب تتشكل على سطح الجسم (الأنبوب) طبقة حدية صفائحية تحتية من السائل نفسه نتيجة احتكاكه وتباطؤه على النتوءات الموجودة على السطح وتكون سرعتها بطيئة جداً (صفائحية)، كما يظهر في الشكل (3-11).



الشكل (11-2)



الشكل (11-3)

في الحالة عندما يتحقق  $\delta \geq k$ ، هذا يعني أن جميع النتوءات تقع تحت الطبقة الحدية الصفائحية (داخلها)، أي أن الجريان لا يتأثر بوجود الخشونات ويخسر السائل قدرته بفعل الاحتكاك فقط والنتيجة عن السرعة، وبالتالي تكون  $\lambda = f(\text{Re})$  فقط، وتسمى فواقد احتكاك (سرعة)، والجريان أملس هيدروليكيًا كما يظهر في الشكل (11-4).

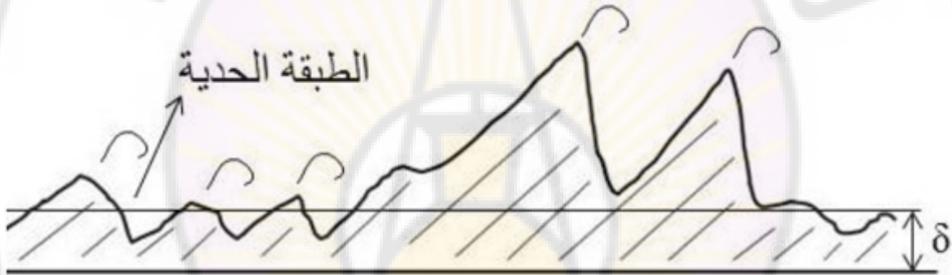
في الحالة عندما يتحقق  $\delta < k$ ، هذا يعني أن طبقة الخشونات تبرز كلها خارج الطبقة الحدية ويتشكل عند كل نتوء (خشونة) إعصار، وتسبب هذه الأعاصير استهلاك لقدرة الجريان، فيكون الجريان خشن هيدروليكيًا كما يظهر في الشكل (11-5)، وحينها  $\lambda = f\left(\frac{k}{d}\right)$ ، أي الفواقد هنا ضغط فقط. تسمى  $\frac{k}{d}$  الخشونة النسبية حيث  $d$  قطر الأنبوب.

في الحالة عندما يتحقق  $\delta \approx k$ ، هذا يعني أن جزء من الخشونات يقع تحت الطبقة الحدية وجزء فوقها، فتتشكل فواقد ناتجة عن السرعة وأخرى عن الضغط، ويكون

الجريان أملس خشن هيدروليكيًا كما يظهر في الشكل (11-6)، وحينها  $\lambda = f\left(\text{Re}, \frac{k}{d}\right)$  والفوائد هي ضغط واحتكاك.



الشكل (11-4)



الشكل (11-5)



الشكل (11-6)

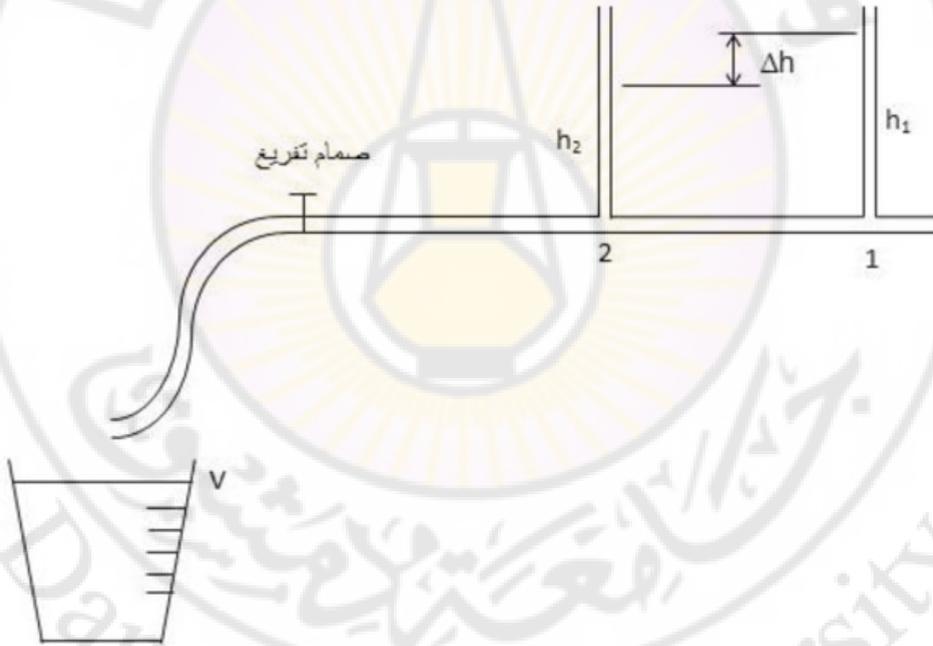
## إجراء التجربة

### 1- تحديد معامل الاحتكاك في جريان أملس هيدروليكيًا

- التجربة ستتم على الأنبوب الستانلس الصغير المركب على الجهاز حيث مواصفاته هي:

قطره  $d = 6.35 \text{ mm}$  وطوله  $L = 1 \text{ m}$  أو  $L = 2 \text{ m}$

- تغلق الصمامات التي تمرر الماء للأنابيب العلوية، ويفتح الصمام الذي يمرر الماء للأنبوب المدروس والمنتهي بفتحة تفريغ مزودة بأنبوب مطاطي.
- يوصل المانومتر التفاضلي في النقطتين 1 و 2 من الأنبوب فيرتفع الماء في المانومتر وفق ما يبينه الشكل (11-7).



الشكل (11-7)

- ينظم جدول على الشكل المبين أدناه:
- يتم فتح صمام التفريغ تدريجياً من سرعات صغيرة إلى أكبر فأكبر.
- تسجل قيم  $h_1, h_2$  لكل فتحة للصمام وزمن التفريغ  $t$  لحجم معين  $V$  للماء في كل مرة (نفس الحجم).

	N	$h_1$ [mm]	$h_2$ [mm]	t [s]	Q [m <sup>3</sup> / s]	v [m/s]	$\lambda$	
							النظرية	دارسي
صفائحي								
مضطرب								

- تحسب في كل مرة قيم  $Q$  وفق العلاقة:

(10-11)

$$Q = \frac{V}{t}$$

- تحسب في كل مرة قيم  $v$  وفق العلاقة:

(11-11)

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

- تحسب قيمة  $\lambda$  الناتجة بالحساب من علاقة دارسي (3-11) بصيغة الضغط

(أو بأي صيغة أخرى) حيث كثافة الماء  $\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$ .

- تحسب قيمة  $\lambda$  من إحدى العلاقتين (5-11) و(6-11) حسب مجال عدد رينولدز الناتج.

- تقارن قيمة  $\lambda$  الناتجة من العلاقات النظرية والمحسوبة من التجربة.

- يرسم مخطط بياني  $\lambda = f(\text{Re})$  (من الحسابات التجريبية والعلاقات) حسب

نوع الجريان. رسم هذا المخطط يوضح للطالب كيف تم إنشاء مخطط نيكورداسي للمقاومة.

- تتم مناقشة قيم  $\lambda$  الناتجة لكل نوع من الجريان على حدة.

ملاحظة: يحدد مجال الجريان الصفائحي والمضطرب بطريقة مباشرة على الشكل

التالي:

يتم الانتقال الصفائحي المضطرب عند عدد رينولدز حرج  $Re_{cr} = 2,300$  للجريانات في الأنابيب. في المجال الحرج:

$$Re_{cr} = \frac{v_{cr} d}{\nu} = 2,300 \Rightarrow v_{cr} = \frac{2,300 \nu}{d}$$

من حساب  $v_{cr}$  يمكن حساب:

$$Q_{cr} = v_{cr} \frac{\pi d^2}{4} = \frac{V}{t_{cr}}$$

حيث  $V$  هو الحجم الذي كنا قد ثبتناه واعتمدناه دائماً في كل التجارب، أي أن  $V$  ثابت. وعليه:

$$t_{cr} = \frac{V}{Q_{cr}}$$

حيث تعبر قيمة  $t_{cr}$  عن نوع الجريان عند قياس زمن تعبئة حجم  $V$  ثابت في كل مرة:

- عندما تكون  $t > t_{cr}$  يعني أن الجريان صفائحي، لأن تعبئة هذا الحجم استغرق وقتاً أطول.
- عندما تكون  $t < t_{cr}$  يعني أن الجريان مضطرب.

## 2- تحديد معامل الاحتكاك في جريان أملس خشن أو خشن

### هيدروليكيًا

- يفتح الصمام الذي يمرر الماء للأنبوب المدروس حسب نوع الأنبوب الأملس خشن أو الخشن ويغلق صمام الأنبوب الأملس.
- تعاد نفس التجربة السابقة ونفس الجدول السابق ولكن بقياس التدفق الحجمي من الخزان 1 ومقياس الحجم 6 مباشرة.

### 3- تحديد معاملات الفقد في الجريان

- يوصل طرفي المانومتر التفاضلي قبل وبعد الوصلة المدروسة (صمام أو كوع) وتعاد نفس الخطوات السابقة لجميع العناصر المدروسة والمبينة على الشكل (11-1)، كما يظهر في الشكل (8-11).
- يقاس التدفق الحجمي كما في التجربة السابقة من الخزان 1 ومقياس الحجم 6 مباشرة.





## جدول الرموز المستخدمة

### الرموز اللاتينية

مساحة	$A$
مساحة مقطع الأنبوب	$A_d$
طول	$a$
طول، تسارع حجمي	$b$
مسقط شعاع التسارع الحجمي على المحور $X$	$b_x$
مسقط شعاع التسارع الحجمي على المحور $Y$	$b_y$
مسقط شعاع التسارع الحجمي على المحور $Z$	$b_z$
عامل الجر	$C_d$
عامل الرفع	$C_L$
ثوابت	$c, c_1$
قطر	$d$
المسافة بين مركز ثقل الجسم ومركز ثقل الحجم المزاح، القدرة	$E$
المسافة بين مركز الضغط ومركز ثقل السطح	$e$
قوة	$F$
قوة دافعة أرخميدس	$F_a$
قوة حجمية	$F_b$
قوة ثقل	$F_G$
قوة ضغط	$F_p$
القوة النفائثة	$F_{th}$
مسقط شعاع القوة على المحور الإحداثي $X$	$F_x$

قوة نابذة	$F_z$
تسارع الجاذبية الأرضية	$g$
ارتفاع	$h$
ارتفاع الضغط الديناميكي	$h_{dyn}$
الارتفاع الأعظمي	$h_{max}$
ارتفاع الضغط الستاتيكي	$h_{stat}$
ارتفاع الضغط الكلي	$h_{tot}$
ارتفاع فواقد الضغط	$h_v$
فرق الارتفاع	$\Delta h$
العزم النابذ للسطح حول المستوي $(X, Y)$	$J_{C(X,Y)}$
عزم عطالة السطح حول محور مار بمركز ثقله	$J_s$
عزم عطالة السطح حول المحور $X$	$J_x$
ارتفاع الخشونة المطلقة	$K_s$
ثابت، معامل التصريف، ارتفاع الخشونة المطلقة للسطح	$k$
طول	$L, \ell$
مركز الضغط	$M$
نقطة النقاء محور قوة الطفو مع محور الطفو بعد الدوران	$M_c$
كتلة	$m$
معدل التدفق الكتلي	$\dot{m}$
عدد الدورات، أس	$n$
مبدأ الإحداثيات الديكارتية	$O$
ضغط	$p$
الضغط المطلق	$P_{abs}$

الضغط الديناميكي	$P_{dyn}$
ضغط الوسادة الهوائية	$p_L$
ضغط زائد	$p_o$
الضغط الزائد عند مركز ثقل السطح	$p_{o_s}$
فرق الضغط	$\Delta p$
فاقد الضغط المكاني	$\Delta p_k$
معدل التدفق الحجمي	$Q$
معدل التدفق الحجمي الفعلي	$Q_{act}, Q_m$
معدل التدفق الحجمي النظري	$Q_{id}, Q_{th}$
نصف قطر	$R, r$
عدد رينولدز	$Re$
عدد رينولدز الحرج	$Re_{cr}$
مركز ثقل السطح	$S$
زمن	$t$
الزمن الحرج	$t_{cr}$
حجم	$V$
معدل التدفق الحجمي	$\dot{V}$
سرعة	$v$
السرعة الحرجة	$v_{cr}$
السرعة المقاسة	$v_{meas}$
السرعة النظرية	$v_{th}$
سرعة الريش	$v_{vane}$
سرعة الدوامة	$v_{vortex}$

السرعة القياسية المرجعية	$\bar{v}$
محور إحداثي ديكارتي	$X$
إحداثي ديكارتي	$x$
مسقط شعاع السرعة على المحور $X$	$\dot{x}$
إحداثي مركز الضغط	$x_M$
محور إحداثي ديكارتي	$Y$
إحداثي ديكارتي	$y$
مسقط شعاع السرعة على المحور $Y$	$\dot{y}$
إحداثي مركز الضغط	$y_M$
إحداثي مركز ثقل السطح	$y_s$
محور إحداثي ديكارتي	$Z$
إحداثي ديكارتي، ارتفاع	$z$
ارتفاع مركز الطفو المستنتج	$z_m$
إحداثي مركز ثقل السطح	$z_s$

### الرموز اليونانية

زاوية، معامل عدم انتظام توزيع السرعة في المقطع	$\alpha$
زاوية الهجوم الحرجة	$\alpha_{cr}$
ارتفاع الطبقة الحدية	$\delta$
معامل الفقد المكاني	$\varepsilon$
معامل الفقد الطولي	$\lambda$
اللزوجة التحريكية	$\mu$
اللزوجة الحركية	$\nu$
عدد باي	$\pi$

كثافة	$\rho$
معامل التصريف	$\psi$
سرعة زاوية	$\omega$

### المراجع العلمية

- أ.د. انطانيوس عقل : ميكانيك السوائل التكنيكي / ١ / ، جامعة دمشق  
 أ.د. انطانيوس عقل : ميكانيك السوائل التكنيكي / ٢ / ، جامعة دمشق  
 اوراق عمل التجارب الواردة مع أجهزة التجارب لشركة Gunt



## اللجنة العلمية

أ.د.م محمد سعيد الجراح

أ.د.م حسين تينة

أ.د.م غسان زيدان

المدقق اللغوي:

د. حمود يونس



حقوق الطبع والترجمة والنشر محفوظة (مديرية الكتب والمطبوعات)