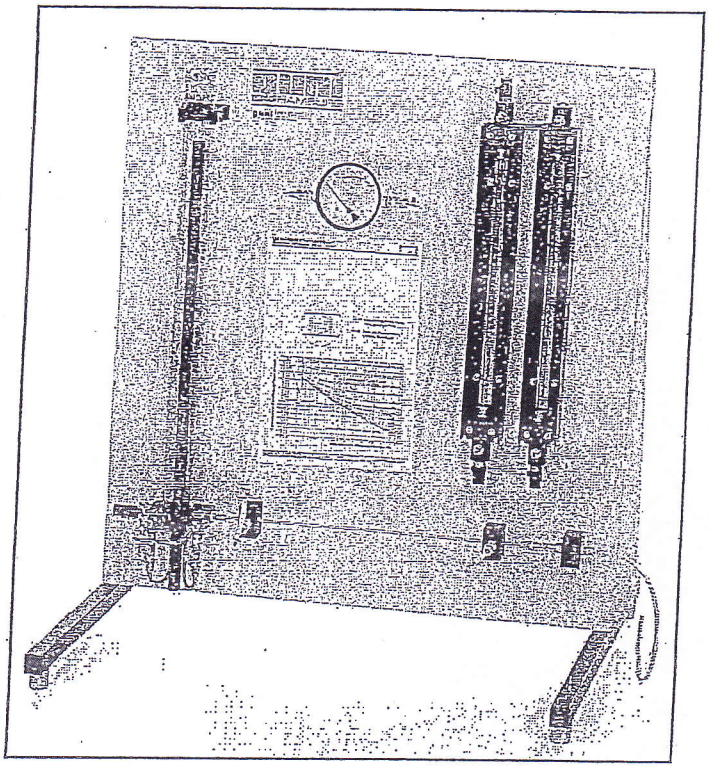
تجربة رقم
(7)

خسائر الاحتكاك في الأنابيب

Pipe Frictional Losses



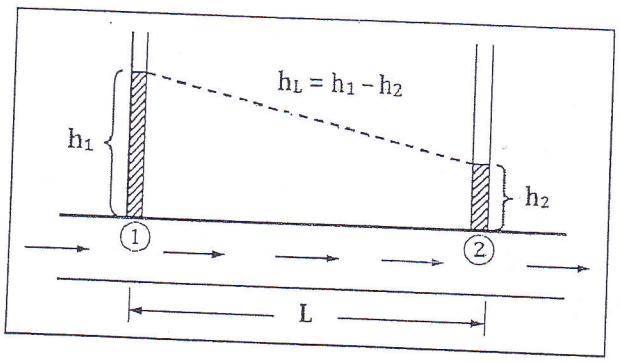
تجربة رقم (7)

خسائر الاحتكاك في الأنابيب

Pipe Frictional Losses

✓ مقدمة

إن من أبرز الصعوقات التي تواجه المصمّمين لأي منظومة لجريان الموائع في الأنابيب هي الخسارة أو الهبوط في عمود الضغط الكلي (Pressure head loss). وتحدث هذه الخسارة بشكل رئيسي نتيجة تأثير قوة الاحتكاك التي يواجهها المائع أثناء جريانه داخل الأنبوب، مسببة خسارة في طاقته وهبوطاً في الضغط على مدى الطول الكلي للأنبوب. وتعتمد قيمة قوة الاحتكاك على لزوجة المائع وخشونة السطح الداخلي للأنبوب. إن الانخفاض في عمود الضغط (h_L) بين أي مقطعين في أنبوب الجريان يمثل الخسارة في الضغط خلال هذا الطول من الأنبوب (L)، كما موضح في الشكل أدناه.



يُطلق على النسبة بين التغير في ارتفاع عمود الضغط، إلى طول الأنبوب بين نقطتي الهبوط، بالمنحدر الهيدروليكي (Hydraulic gradient)، ويرمز له (i)، أي إن:

$$i = \frac{dh}{L} = \frac{h_L}{L} = \frac{h_1 - h_2}{L}$$

تُستخدم قيمة المنحدر الهيدروليكي في تصميم بعض المنظومات الهيدروليكية. وقد أثبتت التجارب العملية أن المنحدر الهيدروليكي يتناسب طردياً مع سرعة المائع، حسب حالة الجريان:

- للجريان الطباقي: $i \propto u$
- للجريان المضطرب: $i \propto u^2$

✓ الغرض من التجربة

يتمثل الغرض من التجربة فيما يأتي:

1. حساب الخسارة في عمود ضغط الماء أثناء انسيابه خلال أنبوب أملس.
2. إيجاد معامل الاحتكاك للأنبوب ضمن مدى عدد رينولدز يشمل أصناف الجريان، ومقارنة النتائج مع المعادلات النظرية.

✓ العلاقات النظرية

عند جريان المائع داخل أنبوب تحدث خسارة في عمود ضغط ذلك المائع وطاقته على طول أنبوب الجريان. ويعتمد مقدار الخسارة في عمود الضغط على نوع الجريان (الطباقي أو المضطرب)، والذي يُمكن تحديده من خلال عدد رينولدز (Re) حسب العلاقة:

$$Re = \frac{u\,D}{\nu}$$

حيث إن:

u : سرعة الجريان (Flow velocity, m/s)

D : قطر الأنبوب (Pipe diameter, m)

ν : اللزوجة الكينماتيكية (Kinematic viscosity, m^2/s)

وعليه فإنه من خلال عدد رينولدز يمكن تحديد نمط ونوع الجريان في الأنابيب حسب الآتي:

- **الجريان الطباقي:** عندما يكون ($Re < 2300$)
- **الجريان المضطرب:** عندما يكون ($Re > 4000$)
- **الجريان الانتقالي:** عندما يكون ($2300 < Re < 4000$)

ويُعزى الهبوط في ضغط المائع إلى الاحتكاك الناتج بين المائع وسطح الأنبوب تحت تأثير لزوجة المائع وخشونة السطح. والذي سيتم تمثيله بمعامل لا بعدي يُدعى معامل الاحتكاك (f) (Friction factor).

- **حالة الجريان الطباقي:**

في عام (1840) قدّم العالم الفرنسي بويسلي (Poiseuille, 1797-1869) نتائج دراسته حول جريان الماء خلال الأنابيب الشعرية الزجاجية لملاحظة تأثير لزوجة الماء وإجهاد القص، ودراسة فرق الضغط أثناء الجريان. وكان الغرض من دراسته حينها تطبيق نتائجه على جريان الدم خلال الأوعية الشعرية في جسم الإنسان. وحيث إن هذه الدراسة كانت قبل ولادة العالم رينولدز (Reynolds, 1842-1912) الذي حدّد أصناف الجريان، إلا إن حالات الجريان التي درسها بويسلي كانت ضمن مدى عدد رينولدز للجريان الطباقي، أي ($Re < 2300$). وقد تم إعادة صياغة العلاقة التي توصل إليها بويسلي لتعبّر عن معامل الاحتكاك (f) بدلالة عدد رينولدز ممثلة بالصيغة:

$$\mathrm{f} = \frac{64}{Re}$$

- **حالة الجريان الاضطرابي:**

في عام (1850) قدّم العالم الفرنسي دارسي (Darcy, 1803-1858) وصفاً لفرق الضغط في الجريان داخل الأنابيب ممثلاً بالهبوط أو الخسارة في عمود الضغط (Head loss, h_L)، حسب العلاقة:

$$\mathrm{h_L} = \mathrm{f}\,\frac{u^2}{2g}\,\frac{L}{D}$$

أو يمكن التعبير عنها بدلالة الهبوط في الضغط (Pressure drop, ΔP) كالآتي:

$$\Delta P = f \frac{\rho u^2}{2} \frac{L}{D}$$

حيث إن:

h_L : الهبوط في عمود الضغط $(h_1 - h_2)$

D : قطر الأنبوب (Pipe diameter)

u : سرعة الجريان (Flow velocity)

L : طول مقطع الجريان للأنبوب (Length of measuring section)

ρ : كثافة المائع (Fluid density)

وبإعادة ترتيب المعادلة الأخيرة، يمكن التعبير عن معامل الاحتكاك لدارسي بالعلاقة:

$$f = \frac{2 \Delta P}{\rho u^2} \frac{D}{L}$$

تم تطبيق علاقة دارسي للجريان المضطرب في حساب معامل الاحتكاك، وتم الحصول على نتائج تطبيقية من خلال العديد من التجارب لموائع مختلفة وأنابيب ملساء ذات أقطار مختلفة. وتم تمثيل عدد دارسي اللابعدي للاحتكاك بمخطّط من قِبل العالم الأمريكي لويس مودي (Lewis Moody, 1880-1953)، وأطلق عليه مخطط مودي (Moody chart).

وفي عام (1913) نشر العالم الألماني بلاسيوس (Paul Blasius, 1883-1970) نتائج أبحاثه، ووضع علاقة بين عدد رينولدز (Re) ومعامل الاحتكاك (f) للجريان المضطرب حسب العلاقة:

$$f = 0.3164\ Re^{-0.25} \quad ; \quad 3000 \leq Re \leq 20,000$$

كما رسم بلاسيوس العلاقة البيانية بين عدد رينولدز (Re) ومعامل الاحتكاك (f)، ووجد أن (f) يعتمد على (Re) عندما يكون الجريان اضطرابياً ($Re > 4000$).

- **حالة المرحلة الانتقالية:**

يبدأ الجريان بالتحول من الحالة الطباقية إلى الاضطرابية ضمن مدى عدد رينولدز ($2300 < Re < 4000$). وتدعى هذه المنطقة من التحول بالمنطقة الحرجة (Critical region)، حيث يتغير فيها سلوك وتصرّف معامل الاحتكاك. ولا يوجد أي حل رياضي لتحليل العلاقة بين (Re) و (f)، كما لا توجد نتائج ثابتة.

✓ وصف جهاز التجربة

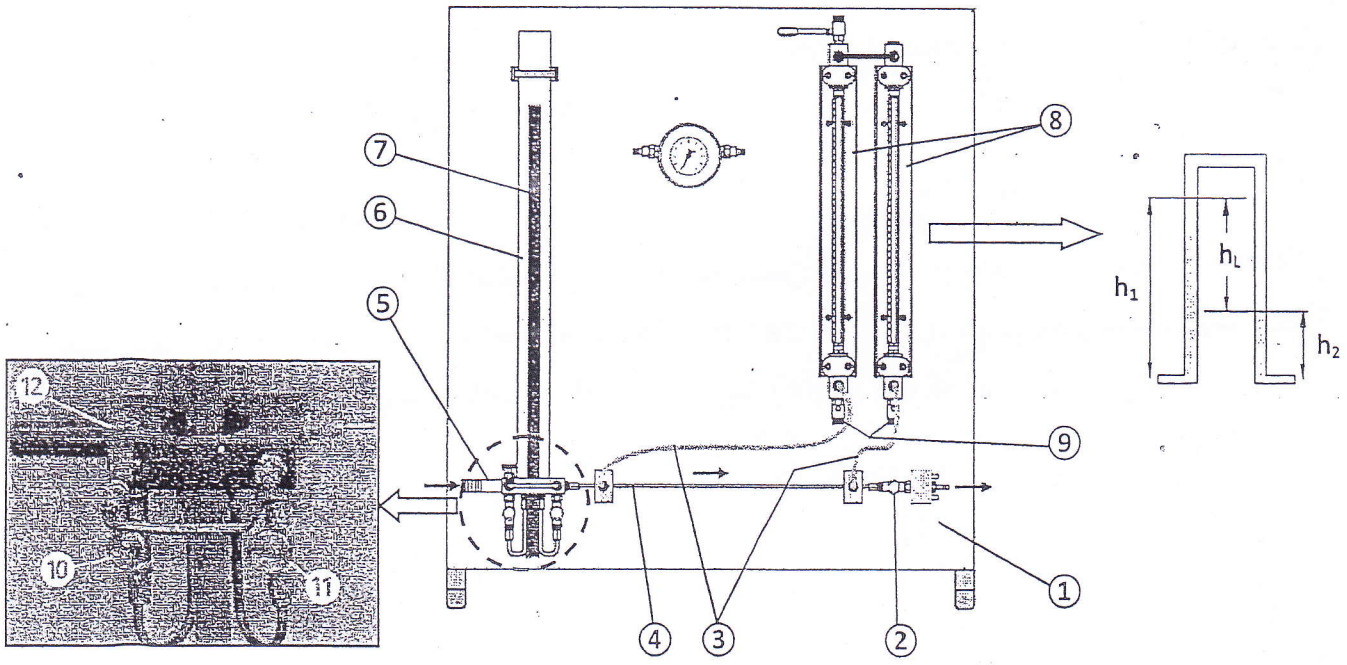
يتألف جهاز التجربة الموضح في الشكل أدناه من أنبوب دائري من البراص بقطر داخلي (3 mm) يمثل أنبوب الجريان [4]، مثبت بشكل أفقي على لوحة هيكل الجهاز [1]. يرتبط الأنبوب من إحدى نهايتيه بمنظومة تجهيز الماء، ويتم التحكم بتصريف الماء من نهايته الأخرى بواسطة صمام التصريف [2]. كما يرتبط الأنبوب عند منطقتي دخول وخروج الماء بأنبوبين [3] يتم توصيلهما إلى منظومة قياس الضغط. يتم وضع الجهاز على الطاولة الهيدروليكية، ووصله بها عبر أنبوب التجهيز الرئيسي [5].

تعتمد آلية تجهيز الماء إلى أنبوب الجريان، وآلية قياس هبوط الضغط خلاله على نوع الجريان.

- حالة الجريان الطباقي:

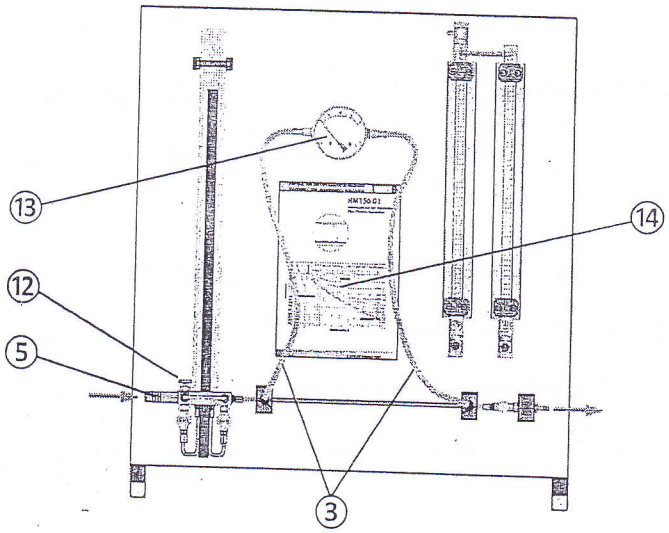
- يتم تجهيز الماء إلى أنبوب الجريان من خزان شفاف مثبت على لوحة الجهاز يُدعى خزان المنسوب [6]، مزود بصمّامين أحدهما [10] لتجهيزه بالماء من المجهز الرئيسي، والآخر [11] لتصريف الماء منه إلى أنبوب الجريان. يحوي خزان المنسوب بداخله على أنبوب [7] يتم من خلاله تصريف الماء الفائض، والمحافظة على منسوب ومستوى ثابت للماء داخل الخزان، وبالتالي ضمان تجهيز أنبوب الجريان بمعدل تدفق واطئ ومنتظم يتناسب وحالة الجريان الطباقي.

- أما بالنسبة لآلية قياس هبوط الضغط داخل الأنبوب فتتم بوصل أنبوبين [3] متصلين بمنطقتي الدخول والخروج لأنبوب الجريان، كل أنبوب يرتبط مع مانوميتر مائي [8]، يقيس الأول ارتفاع عمود الضغط عند مدخل الأنبوب، والآخر عند نهايته. حيث يتم التحكم بتنظيم الفرق المطلوب في ارتفاع عمودي الضغط عبر صمام صغير للتصريف [9] مثبت أسفل كل مانوميتر.

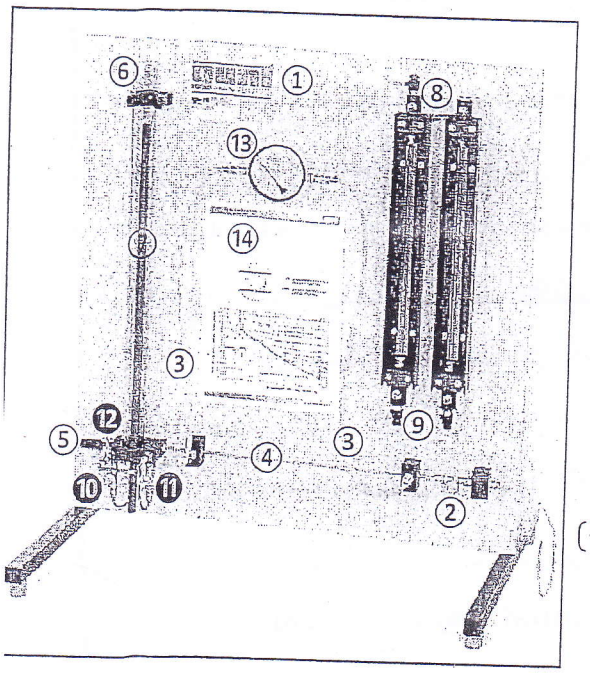


- **حالة الجريان الاضطرابي:**

- في هذه الحالة تكون الحاجة إلى معدل تدفق عالٍ، لذا يتم إلغاء تجهيز الماء إلى خزان المنسوب، وتوجيهه مباشرة من أنبوب التجهيز الرئيسي [5] المرتبط بالطاولة الهيدروليكية إلى أنبوب الجريان. ويتم ذلك عبر صمام تغيير المجرى الجانبي [12] (Bypass).
- أما بالنسبة لآلية قياس هبوط الضغط داخل الأنبوب فتتم بوصل أنبوبي التوصيل [3] إلى مقياس مدرّج [13] يُعطي قيمة مباشرة لفرق الضغط (ΔP) بين منطقتي الدخول والخروج لأنبوب الجريان.



ويتألف جهاز خسائر الاحتكاك في الأنابيب من الأجزاء الآتية:



1. لوحة هيكل الجهاز (Instrument panel)
2. صمام التصريف (Drain valve)
3. أنبوبي التوصيل إلى آلية قياس فرق الضغط
4. أنبوب الجريان (Pipe section)
5. أنبوب التجهيز الرئيسي (Hose connection for water inlet)
6. خزان المنسوب (Head tank)
7. أنبوب تثبيت المنسوب (الطفح)
8. المانومترات المائية (Water manometer)
9. صمّامي تسوية ارتفاع عمود الضغط
10. صمّام التجهيز لخزان المنسوب (Inlet valve on head tank)
11. صمّام التصريف لخزان المنسوب (Outlet valve on head tank)
12. صمّام المجرى الجانبي (Bypass)
13. مقياس فرق الضغط (Dial manometer)
14. صورة لمخطّط مودي (Moody chart)

✓ الخطوات العملية

1. يتم تثبيت الجهاز بصورة أفقية على الطاولة الهيدروليكية، وتوصيله بها عبر أنبوب التجهيز الرئيسي.

- **الخطوات لحالة الجريان الطباقي:**

2. يتم توصيل الأنبوبين [3] المرتبطين بأنبوب الجريان عند مدخله ومخرجه مع المانومترات المائية.
3. يتم فتح صمّام التصريف لأنبوب الجريان [2] قليلاً، وفتح صمّامي التجهيز والتصريف لخزان المنسوب [10 , 11]، وغلق صمام تغيير المجرى (Bypass) [12].
4. تُشغل مضخة الطاولة الهيدروليكية، مع التأكد من غلق صمام التجهيز الخاص بها، لتجنب ضرر الجهاز بفعل قوة دفع الماء. ثم يُفتح تدريجياً، وعندها سيرتفع الماء في خزان المنسوب، ويُصرّف الفائض منه عبر أنبوب الطفح.
5. يتم التحكم بمعدل تصريف الماء من الأنبوب من خلال صمّام التصريف [2]، حيث يُنظّم في البداية ليُعطي أقل تدفق. ثم يتم من خلاله ومن خلال صمّامي التصريف أسفل المانومترين تسوية وتنظيم فرق ارتفاع عمودي الضغط على تدريجات المانومترين ليصبح الفرق بينهما (2 cm).
6. يُحسب معدل التصريف الحجمي للماء، بتجميع ماء التصريف في وعاء مدرّج وحساب الزمن المستغرق لجمع حجم منه.
7. تتم زيادة معدل الجريان تدريجياً من خلال فتح صمام التصريف قليلاً وتدريجياً. ثم ينظّم الفرق في ارتفاع عمودي الضغط ليصبح (3 cm). ويُحسب معدل التدفق لهذه الحالة. وهكذا تُكرر الخطوات حتى يصل الفرق في ارتفاع عمودي الضغط إلى (10 cm).

- **الخطوات لحالة الجريان الاضطرابي:**

8. يتم إطفاء المضخة، ويُفصل الأنبوبين المرتبطين بأنبوب الجريان عند مدخله ومخرجه [3] من المانومترات المائية، وتُربط مع مقياس فرق الضغط [13].
9. يتم فتح صمّام التصريف لأنبوب الجريان قليلاً، ويُغلق صمّاما التجهيز والتصريف لخزان المنسوب [10 , 11] تماماً، ويُفتح صمّام تغيير المجرى (Bypass) [12] بالكامل.
10. يتم التحكم بكمية التصريف اعتماداً على قراءة مقياس فرق الضغط، حيث يُنظّم صمّام التصريف حتى تُصبح قراءة المقياس (50 mbar) ، عندها يُحسب معدل التدفق الحجمي لهذه القراءة.
11. تُكرر الخطوة أعلاه، وفي كل مرة يُحسب معدل التدفق الحجمي للجريان، حتى بلوغ قراءة لفرق الضغط على المقياس مقدارها (225 mbar).
12. تُقاس درجة حرارة الماء لغرض معرفة قيمة الكثافة واللزوجة الكينماتيكية له.

✓ الحسابات

1. يُحسب معدل التدفق الحجمي للماء (Q) من العلاقة:

$$Q = Vol./t \quad , (m^3/s) \qquad (1)$$

حيث إن : $Vol.$ = حجم الماء المجمّع (m^3) ، t = الزمن المستغرق (sec)

2. تُحسب سرعة الجريان (u) من العلاقة:

$$u = Q/A \quad , \quad (m/s) \qquad (2)$$

حيث إن:

A : مساحة مقطع أنبوب الجريان: $A = \pi D^2/4$, (m^2)

D : القطر الداخلي للأنبوب = 3 mm

3. يُحسب عدد رينولدز (Re) من العلاقة:

$$Re = \frac{u\,D}{\nu} \qquad (3)$$

ويتم تحديد قيمة اللزوجة الكينماتيكية (ν) للماء بعد معرفة درجة حرارته (وقت إجراء التجربة) من الجدول الآتي:

Properties of Water						
Temperature		ρ	c_p	k	ν	Pr
K	°C	(kg/m³)	(J/kg K)	(W/m K)	(m²/s)	
273.16	0.01	999.8	4220	0.5610	17.91×10^{-7}	13.47
275	2	999.9	4214	0.5645	16.82×10^{-7}	12.55
280	7	999.9	4201	0.5740	14.34×10^{-7}	10.63
285	12	999.5	4193	0.5835	12.40×10^{-7}	8.91
290	17	998.8	4187	0.5927	10.85×10^{-7}	7.66
295	22	997.8	4183	0.6017	9.600×10^{-7}	6.66
300	27	996.5	4181	0.6103	8.568×10^{-7}	5.85
305	32	995.0	4180	0.6184	7.708×10^{-7}	5.18
310	37	993.3	4179	0.6260	6.982×10^{-7}	4.63

4. يُحسب معامل الاحتكاك الحقيقي (f_{act}) من علاقة دارسي (Darcy correlation):

– للجريان الطباقي :

$$f = \frac{2\,h_L}{\rho\,u^2}\frac{D}{L} \qquad (4.1)$$

– للجريان المضطرب :

$$f = \frac{2\,\Delta P}{\rho\,u^2}\frac{D}{L} \qquad (4.2)$$

حيث إن:

h_L : الفرق في عمود ضغط الماء في المانومترين بين مدخل ومخرج أنبوب الجريان (Head Loss = $h_1 - h_2$, Pa)، مع ملاحظة صيغة التحويل الآتية:

1 cm of head loss = 100 Pa

ρ : كثافة الماء (Water density, kg/m³)، وتحدّد من جدول خواص الماء عند درجة حرارته وقت الاختبار.

u : سرعة الجريان (Flow velocity, m/s)

L : طول مقطع الجريان للأنبوب (Length of measuring section, m) = 400 mm

ΔP : الهبوط في الضغط بين منطقة الدخول والخروج للأنبوب (Pressure drop, Pa)

5. حساب معامل الاحتكاك النظري (f_{th}) من العلاقات النظرية:

- للجريان الطباقي ($Re < 2300$) : باستخدام علاقة بويسلي:

$$f = \frac{64}{Re} \qquad (5.1)$$

- للجريان الاضطرابي ($Re > 4000$) : تُستخدم علاقة بلاسيوس:

$$f = 0.3164\ Re^{-0.25} \qquad (5.2) \quad ; \quad 3000 \leq Re \leq 20,000$$

✓ القراءات والنتائج:

يتم إدراج القراءات العملية للتجربة اعتماداً على نوع الجريان كالآتي:

جدول القراءات

1. حالة الجريان الطباقي:

درجة حرارة الماء: T = °C			
رقم القراءة	الخسارة في عمود الضغط	حجم الماء المجمّع	الزمن المستغرق
Test No.	h_L (cm)	$Vol.$ (m³)	t (sec)

2. حالة الجريان الاضطرابي:

درجة حرارة الماء: T = °C			
رقم القراءة	الهبوط في الضغط	حجم الماء المجمّع	الزمن المستغرق
Test No.	ΔP (mbar)	$Vol.$ (m³)	t (sec)

أما النتائج فتدرج حسب نوع الجريان في جدولين مستقلين كما مبين أدناه:

جدول النتائج

1. حالة الجريان الطباقي:

رقم القراءة	معدل التصريف الحجمي	سرعة الجريان	عدد رينولدز	معامل الاحتكاك الحقيقي	معامل الاحتكاك النظري
Test No.	Q (m³/sec)	u (m/sec)	Re	f_{act} [Eq. (4.1)]	f_{th} [Eq. (5.1)]

2. حالة الجريان الاضطرابي:

رقم القراءة	معدل التصريف الحجمي	سرعة الجريان	عدد رينولدز	معامل الاحتكاك الحقيقي	معامل الاحتكاك النظري
Test No.	Q (m³/sec)	u (m/sec)	Re	f_{act} [Eq. (4.2)]	f_{th} [Eq. (5.2)]

✓ مناقشة النتائج

1. إذا كانت الخسارة في عمود الضغط (h_L) لبويسلي ممثلاً بالعلاقة:

$$h_L = \frac{Pressure\ drop}{\rho g} = \frac{32\,\mu\,u}{\rho g}\,\frac{L}{D^2}$$

أثبت بالمكافئة مع المنحدر الهيدروليكي لدارسي أن علاقة معامل الاحتكاك لبويسلي تكون:

$$f = \frac{64}{Re}$$

2. ارسم العلاقة بين عدد رينولدز $(x\text{-}axis)$، ومعامل الاحتكاك النظري (f_{th}) والحقيقي (f_{act}) $(y\text{-}axis)$، على مخطط واحد لحالة الجريان الطباقي. ومخطط آخر يضم نفس المحورين لحالة الجريان الاضطرابي. ثم اذكر ثلاثة أسباب لمناقشة الاختلاف بين القيم.

KN/m²

مختبر ميكانيك الموائع

نموذج القراءات

اسم الطالب: ---------- الشعبة: -------- المجموعة: --------

تأريخ إجراء التجربة: / / 20

رقم التجربة: (1)

اسم التجربة: مقياس بوردون (Bourdon Gauge)

القراءات العملية:

رقم القراءة	الكتلة الكلية المسلطة (kg)	قراءة المقياس P_g عند زيادة الضغط (bar)	قراءة المقياس P_g عند تقليل الضغط (bar)
1	0.385 33.39	0.3339	
2	0.578 50.13	0.501	
3	1.156 100.27	1.0027	
4	1.734 150.41	1.504	
5	2.312 200.54	2.005	
6	2.890 250.68	2.506	

$\frac{0.385 \times 9.81 \times 10^{-3}}{A} = 33.39/100 = 0.3339$ Bar

$A = \frac{(0.012)^2 \pi}{4} = 0.0001130.97\ m^2$

مسؤول المختبر

20 / /

مختبر ميكانيك الموائع

نموذج القراءات

اسم الطالب: ---------- الشعبة: -------- المجموعة: --------

رقم التجربة: (2) تأريخ إجراء التجربة: / / 20

اسم التجربة: مركز الضغط (Center of Pressure)

القراءات العملية:

- الحالة الأولى: الصفيحة في وضع عمودي $(\alpha = 0^\circ)$

$\sum F_g$ (N)	1	1.5	2.5	3.5	5.5
S (mm)					

- الحالة الثانية: الصفيحة في وضع مائل $(\alpha = 30^\circ)$

S_t = mm					
$\sum F_g$ (N)	1	1.5	2.5	3.5	5.5
S (mm)					

- الحالة الثالثة: الصفيحة في وضع أفقي $(\alpha = 90^\circ)$

S_t = mm					
$\sum F_g$ (N)	1	1.5	2.5	3.5	5.5
S (mm)					

مسؤول المختبر

20 / /

مختبر ميكانيك الموائع

نموذج القراءات

اسم الطالب: ---------- الشعبة: -------- المجموعة: -------

رقم التجربة: (4) تأريخ إجراء التجربة: / / 20

اسم التجربة: التدفق عبْر مقياس فنشوري (Flow through Venturi Meter)

القراءات العملية:

يتم إدراج القراءات حسب الجدول أدناه:

Test	h_1 (mm)	Throat Region h_2 (mm)	h_{11} (mm)	*Vol.* (Lit.)	Time (sec)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					

- ارتفاع عمود الضغط للقراءة الأولى (mm) :

h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	h_7	h_8	h_9	h_{10}	h_{11}

مسؤول المختبر

20 / /

مختبر ميكانيك الموائع

نموذج القراءات

اسم الطالب: ---------- الشعبة: -------- المجموعة: --------

رقم التجربة: (5) تاريخ إجراء التجربة: / / 20

اسم التجربة: إرتطام البثق (Impact of Jet)

القراءات العملية:

جدول القراءات

1. صفيحة أفقية مستوية (Horizontal Flat Plate)

رقم القراءة	القوة الفعلية للمقياس	حجم الماء المجمّع	الزمن المستغرق
Test No.	$F_{act.}$ (N)	*Vol.* (m^3)	Time (sec)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			

2. صفيحة نصف كروية (Hemispherical cup)

رقم القراءة	القوة الفعلية للمقياس	حجم الماء المجمّع	الزمن المستغرق
Test No.	$F_{act.}$ (N)	*Vol.* (m^3)	Time (sec)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			

مسؤول المختبر

/ / 20

مختبر ميكانيك الموائع

نموذج القراءات

اسم الطالب: ---------- الشعبة: -------- المجموعة: --------

تاريخ إجراء التجربة: / / 20

رقم التجربة: (6)

اسم التجربة: أنماط الجريان في الأنابيب (Flow Types in Pipes)

القراءات العملية:

يتم إدراج القراءات حسب الجدول أدناه:

جدول القراءات

رقم القراءة Test No.	حجم الماء المجمع Vol. (m^3)	الزمن المستغرق Time (sec)	نوع الجريان حسب المشاهدة

مسؤول المختبر

/ / 20

مختبر ميكانيك الموائع

نموذج القراءات

اسم الطالب: ---------- الشعبة: -------- المجموعة: ------

تأريخ إجراء التجربة: / / 20

رقم التجربة: (6)

اسم التجربة: أنماط الجريان في الأنابيب (Flow Types in Pipes)

القراءات العملية:

يتم إدراج القراءات حسب الجدول أدناه:

جدول القراءات

رقم القراءة	حجم الماء المجمع	الزمن المستغرق	نوع الجريان حسب المشاهدة
Test No.	*Vol.* (m^3)	Time (sec)	

مسؤول المختبر

/ / 20

مختبر ميكانيك الموائع

نموذج القراءات

اسم الطالب: ---------- الشعبة: -------- المجموعة: --------

رقم التجربة: (7) تأريخ إجراء التجربة: / / 20

اسم التجربة: خسائر الاحتكاك في الأنابيب (Pipe Frictional Losses)

القراءات العملية:

جدول القراءات

2. حالة الجريان الطباقي:		درجة حرارة الماء: °C $T =$	
الزمن المستغرق	حجم الماء المجمّع	الخسارة في عمود الضغط	رقم القراءة
Time (sec)	*Vol.* (m^3)	h_L (cm)	Test No.
		2	1
		3	2
		4	3
		5	4
		6	5
		8	6
		10	7

2. حالة الجريان الاضطرابي:		درجة حرارة الماء: °C $T =$	
الزمن المستغرق	حجم الماء المجمّع	الهبوط في الضغط	رقم القراءة
Time (sec)	*Vol.* (m^3)	ΔP (mbar)	Test No.
		50	1
		100	2
		125	3
		150	4
		175	5
		200	6
		225	7

مسؤول المختبر

20 / /