

آزمایش افت فشار اصطکاکی در لوله مستقیم

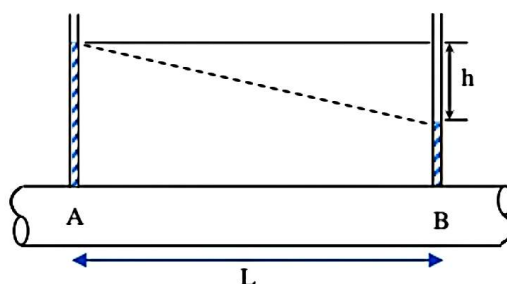
(Friction Loss in a Pipe)

هدف آزمایش

هدف از این آزمایش بررسی قوانین افت اصطکاکی بر حسب نوع جریان درون لوله (آرام و آشفته)، همچنین تعیین ضریب ویسکوزیته‌ی جریان آرام توسط معادله پوازی و ضریب اصطکاک جریان آشفته توسط معادله دارسی ویسباخ می‌باشد.

تئوری آزمایش

افت انرژی بر اثر اصطکاک، درون یک لوله‌ی مستقیم و افقی به صورت کاهش فشار ظاهر می‌شود. اگر جریان مایعی از لوله شکل (۱) عبور کند اختلاف ارتفاع (h) در پیزومترهای A و B معرف افت انرژی در اثر اصطکاک یا افت فشار (به ازای واحد وزن سیال جاری) در لوله افقی می‌باشد.



شکل ۱- افت فشار در طول L

با توجه به این‌که بعد افت فشار به ازای واحد وزن سیال از دیمانسین طول است به آن افت هد یا افت ارتفاع می‌گویند. در مسائل مهندسی معمولاً افت فشار را برای واحد طول لوله محاسبه می‌نمایند و به آن گرادیان فشار یا گرادیان هیدرولیکی می‌گویند که طبق رابطه زیر تعریف می‌شود.

$$i = \frac{h}{L} \quad \text{معادله (۱)}$$

در بررسی جریان سیال داخل لوله می‌توان نتیجه گرفت که در جریان آرام گرادیان هیدرولیکی متناسب با سرعت و در جریان آشفته متناسب با سرعت به توان عددی بین ۱/۷ تا ۲ می‌باشد. مقدار این توان به عدد رینولدز و زبری جداره داخلی لوله بستگی دارد. رابطه گرادیان هیدرولیکی و سرعت در جریان آرام توسط معادله پوازی به شکل زیر بیان می‌شود.

$$i = \frac{h}{L} = \frac{32 \mu u}{\rho g D^2} \quad \text{معادله (۲)}$$

معادله (۲) را با کمی تغییر می‌توان به شکل معادله (۳) نوشت که البته با توجه به کمیت سرعت در عدد رینولدز نمی‌توان نتیجه گرفت که در آن i متناسب با مجذور سرعت است.

$$i = \frac{64}{Re} \times \frac{u^2}{2gD} \quad \text{معادله (۳)}$$

در محاسبات مهندسی برای محاسبه گرادیان هیدرولیکی در جریان‌های آشفته از رابطه داریسی و یسباخ به صورت زیر استفاده می‌شود.

$$i = \frac{f}{D} \times \frac{u^2}{2g} \quad \text{معادله (۴)}$$

در رابطه فوق f ضریب اصطکاک لوله نامیده می‌شود که به عدد رینولدز جریان و زبری داخلی لوله بستگی دارد. از روابط فوق پیداست که اگر بخواهیم در جریان آرام، گرادیان هیدرولیکی را از رابطه داریسی و یسباخ محاسبه نماییم. مقدار f از رابطه (۵) به دست می‌آید.

$$f = \frac{64}{Re} \quad \text{معادله (۵)}$$

برای محاسبه f در جریان آشفته آزمایش‌های زیادی صورت گرفته که با توجه به فرضیات موجود در آن‌ها روابط مختلفی برای f پیشنهاد شده است، یکی از روابط پیشنهادی رابطه کلبروک است که به صورت رابطه (۶) می‌باشد.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.14 - 2 \log \left[\frac{e}{D} + \frac{9.35}{Re \sqrt{f}} \right] \quad \text{معادله (۶)}$$

در صورتی که عدد رینولدز بین ۳۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ و لوله صاف باشد می‌توان از رابطه پیشنهادی بلازیوس به صورت زیر استفاده کرد.

$$f = \frac{0.3164}{Re^{0.25}} \quad \text{معادله (۷)}$$

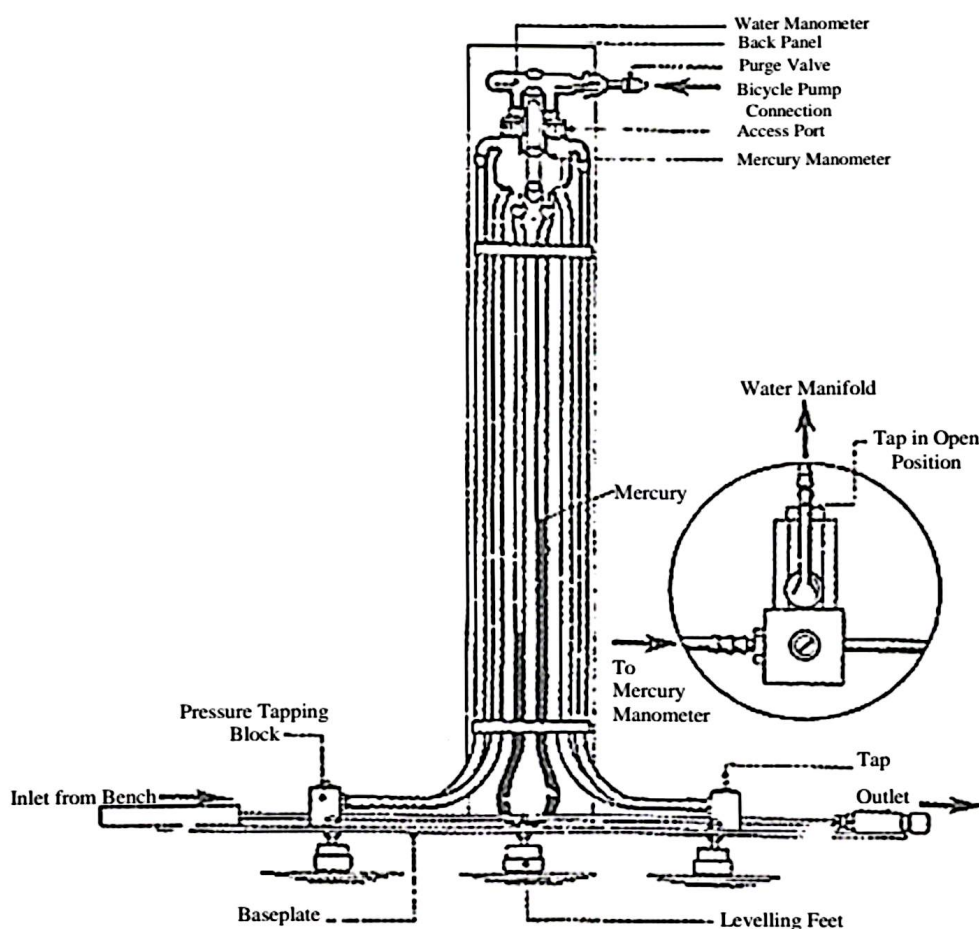
در عمل رابطه گرادیان هیدرولیکی بر حسب سرعت را به صورت معادله (۸) نشان می‌دهند. که n و K برای یک جریان و لوله معین، ثابت است.

$$i = K u^n \quad \text{معادله (۸)}$$

مقدار n در ناحیه آشفته بین ۱/۷ تا ۲ می‌باشد.

شرح دستگاه و روش آزمایش

شکل (۲) نمای کلی دستگاه مورد آزمایش را نشان می‌دهد. توسط مانومترهای تفاضلی جیوه‌ای و آبی روی دستگاه می‌توان افت فشار بین دو نقطه از یک لوله مستقیم به طول ۵۲۴ میلیمتر، قطر اسمی ۳ میلیمتر و سطح مقطع ۷/۰۶ میلیمترمربع را اندازه گرفت. واضح است که در افت فشارهای کم (معمولاً جریان آرام) از مانومترهای تفاضلی آبی و در افت فشارهای زیاد (معمولاً جریان آشفته) از مانومترهای تفاضلی جیوه‌ای استفاده می‌شود. برای اندازه‌گیری دبی آب در لوله از یک ظرف مدرج و کرومومتر استفاده می‌گردد. تغییرات دبی آب توسط یک شیر سوزنی در قسمت خروجی لوله انجام می‌گیرد. برای برقراری جریان آرام، از یک تانک آب در ارتفاع ثابت استفاده می‌شود و برای برقراری جریان آشفته، خروجی پمپ را مستقیم به لوله اصلی وصل می‌کنند.



شکل ۲- شمای دستگاه اندازه‌گیری افت فشار در لوله

قبل از شروع آزمایش ابتدا می‌بایست دستگاه را تنظیم نمود. آزمایش در دو مرحله انجام می‌شود.

۱. بیش‌تر جریان به صورت آرام

۲. بیش‌تر جریان به صورت آشفته

مرحله اول: برای انجام مرحله اول آزمایش خروجی پمپ میز آزمایشگاهی را به تانک آب در ارتفاع ثابت وصل نموده و سپس توسط لوله‌ای در زیر تانک آن را به داخل لوله مورد آزمایش هدایت کنید. توسط مانومتر تفاضلی آبی می‌توان افت فشار (افت هد) را خوانده و نتیجه را یادداشت کرد. با بستن تدریجی شیر سوزنی در انتهای لوله این مرحله از آزمایش را برای چند دبی مختلف انجام دهید. اندازه‌گیری دبی در هر مرحله توسط ظرف مدرج و کرومومتر انجام می‌گیرد.

مرحله دوم: برای انجام مرحله دوم آزمایش خروجی پمپ را مستقیم به لوله اصلی وصل کنید. با توجه به اینکه در چنین حالتی فشار خروجی پمپ در لوله مورد آزمایش اثر دارد، بنابراین بیش‌تر جریان آشفته می‌باشد. در این مرحله چون افت فشار زیادتر است از مانومترهای تفاضلی جیوه‌ای برای اندازه‌گیری آن استفاده می‌شود. با بستن تدریجی شیر سوزنی در انتهای لوله این مرحله از آزمایش را نیز برای چند دبی مختلف انجام دهید.

لازم به ذکر است برای محاسبه ضریب ویسکوزیته، دمای متوسط آب نیز در طول آزمایش اندازه‌گیری شود و تفاضل ارتفاع مانومترهای جیوه‌ای در عدد $12/6$ ضرب گردد تا افت هد بر اساس ارتفاع آب به دست آید.

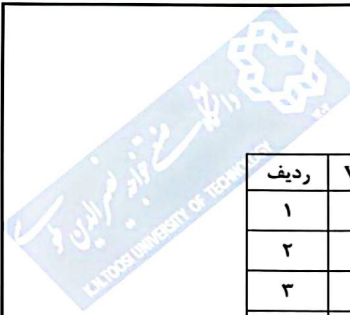
محاسبات و نتایج

۱. نتایج حاصل از مرحله اول و دوم آزمایش (شامل اندازه‌گیری حجم آب جمع شده، زمان و ارتفاع مانومترها در ورودی

و خروجی لوله) را در جدول (۱) و (۲) وارد و آن را کامل کنید.

جدول ۱- نتایج حاصل از مرحله اول آزمایش (جریان آرام)

ردیف	V (m Lit)	t (s)	h_A (mm)	h_B (mm)	u(m/s)	$(h_A - h_B)$ (m)	i	Log(i)	Log(u)
۱									
۲									
۳									
۴									
۵									
۶									
۷									
۸									
۹									
۱۰									



جدول ۲- نتایج حاصل از مرحله دوم آزمایش (جریان آشفته)

ردیف	V (m lit)	t (s)	h_A (mm)	h_B (mm)	u(m/s)	($h_A - h_B$) (m)	i	Log(i)	Log(u)
۱									
۲									
۳									
۴									
۵									
۶									
۷									
۸									
۹									
۱۰									

۲. نمودار i بر حسب u (m/s) را برای جریان آرام و آشفته در یک نمودار ترسیم کنید و بحث نمایید.

جدول ۳- مقایسه ضرایب f در جریان آشفته

ردیف	u (m/s)	i	$u^2/2gD$	Re	f داری وینباخ	f پلازیوس
۱						
۲						
۳						
۴						
۵						
۶						
۷						
۸						
۹						
۱۰						

داده‌های آزمایش برای جریان آرام

①	$V (cm^3)$	$t (s)$	$h_A (mm)$	$h_B (mm)$
۱)	۹۰	۸۰	۳۱۰	۳۰۵
۲)	۱۰۰	۹۰	۳۱۵	۳۰۵
۳)	۲۲۰	۱۰۰	۳۲۰	۳۰۵
۴)	۳۲۰	۱۱۰	۳۲۵	۳۰۵
۵)	۴۲۵	۱۲۰	۳۲۵	۲۹۵

$$f = 1000 \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

$$H = 1000 \times 1.1^{-3} \left(\frac{N \cdot s}{m^2} \right)$$

در دای ۲۵ درجه در قطر گرفته شود

داده‌های آزمایش برای جریان مضطرب

	$V (cm^3)$	$t (s)$	$h_A (mm)$	$h_B (mm)$
۱)	۵۰۰	۴۴	۱۷۴	۱۴۸
۲)	۵۰۰	۳۹	۱۸۰	۱۴۱
۳)	۵۰۰	۳۳	۱۸۵	۱۵۴
۴)	۵۰۰	۲۸	۱۸۸	۱۵۳
۵)	۵۰۰	۲۴	۱۹۲	۱۵۰

سرعت $\rightarrow$

طول لوله $\rightarrow$

حجم بر حسب m^3 $\leftarrow \frac{V}{t} = Q = A U$

بر حسب ثانیه $\leftarrow$

مساحت مقطع $\downarrow$

نکات مهم سوال:

$L = 524 mm$

$D = 3 mm$

$A = 71.4 mm^2$

مساحت $\downarrow$

محاسبه i در جریان آرام $\Rightarrow i = \frac{32 \mu V}{\rho g D^2}$

محاسبه i در جریان مضطرب $\Rightarrow i = \frac{f}{b} \times \frac{U^2}{2g}$

محاسبه i در این آزمایش $i = \frac{h}{L}$

$$f = \frac{4f}{Re} \quad \leftarrow \begin{cases} \text{محاسبه ضریب اصطکاک در} \\ \text{جرین های آرام} \end{cases}$$

و عدد رینولدز

$$f = \frac{0.0214f}{Re^{0.15}} \quad \text{محاسبه ضریب اصطکاک در جریان آشفتار}$$

(مونه ای از جدول برای ترانس مار)

$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$t \text{ (s)}$	$h_A \text{ (mm)}$	$h_B \text{ (mm)}$	$u \text{ (m/s)}$	$(h_A - h_B) \text{ (m)}$	i
40	10	31	30.5			

$$V = 40 \text{ cm}^3 = 40 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$t = 10 \text{ s}$$

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{40 \times 10^{-6}}{10} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$(h_A - h_B) = h = 31 - 30.5 = 0.5 \text{ mm} = 0.5 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$Q = Au$$

$$\frac{40 \times 10^{-6}}{10} = 1.4 \times 10^{-5} \times u \Rightarrow u = 0.004 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

$$Re = \frac{1000 \times 0.004 \times 0.01}{1.003 \times 10^{-3}} = 39.8$$

$$f = \frac{4f}{Re} = \frac{4f}{39.8} = 0.1$$

$$f = \frac{h}{L} = \frac{0.5 \times 10^{-3}}{0.01} = 0.05$$

مؤنه دل بله جان آشفته

$V (cm^3)$	$t (s)$	$h_A (mm)$	$h_B (mm)$
۵۰۰	۴۴	۱۷۴	۱۷۸

$$h = h_A - h_B = 174 - 178 = 4 \text{ mm}$$

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{500 \times 10^{-6}}{44} = 11.36 \times 10^{-6}$$

$$i = \frac{h}{L} = \frac{4 \times 10^{-3}}{1.524} = 0.0026$$

$$Q = AU$$

$$11.36 \times 10^{-6} = 1.2 \times 10^{-4} \times u \Rightarrow u = 9.47 \text{ m/s}$$

محاسبه f از رابطه دارسی و بسط معادله (۴)

$$i = \frac{f}{D} \times \frac{u^2}{2g} \Rightarrow 0.0026 = \frac{f}{2 \times 10^{-2}} \times \frac{(9.47)^2}{2 \times 9.81} \Rightarrow f = 4.9 \times 10^{-4}$$

$$Re = \frac{\rho u D}{\mu} = \frac{1000 \times 9.47 \times 2 \times 10^{-2}}{1.002 \times 10^{-3}} = 1890 \rightarrow \text{وین آشفته}$$

محاسبه f از رابطه بلازیوس:

$$f = \frac{0.3164}{Re^{0.25}} = \frac{0.3164}{1890^{0.25}} = 0.0047$$