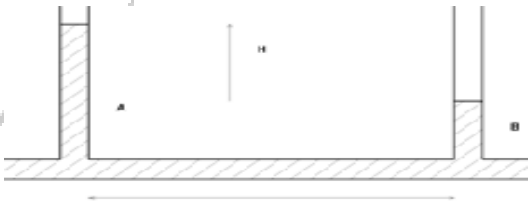
آزمایشگاه مکانیک سیالات بخش مهندسی مکانیک افت فشار در سیستم لوله کشی

یکی از معمولی ترین مسائل هیدرولیک تخمین زدن افت فشار در سیستم های لوله کشی است. این دستگاه می تواند افت انرژی در قسمتهای مختلف یک سیستم کوچک لوله کشی را اندازه گیری نمایید.

هدف آزمایش: هدف از این آزمایش تعیین افت فشار در لوله‌های متفاوت و در اجزای متفاوت یک سیستم لوله‌کشی (مانند زانویی، انواع شیر و تغییرات ناگهانی سطح مقطع لوله و...)، بدست آوردن ضریب اصطکاک مربوط به اتصالات، تعیین رابطه‌ای بین افت انرژی و سرعت می‌باشد. بررسی تغییرات ضریب اصطکاک با عدد رینولدز و ضریب افت با انرژی جنبشی از مسائلی است که در این آزمایش مورد توجه می‌باشد.

تئوری آزمایش: یکی از مسائل مهم در مکانیک سیالات محاسبه و تخمین افت فشار در سیستم های لوله کشی می‌باشد. دستگاه افت فشار شامل چندین لوله و یک سری اتصالات می باشد و با این دستگاه می توان تا افت انرژی را در قسمت‌های مختلف اندازه گیری نمود. افت فشار ایجاد شده در سیستم‌های لوله‌کشی را می‌توان به دو بخش افت‌های اصلی و افت‌های فرعی تقسیم نمود. افت اصلی مربوط به اصطکاک سیال در طول سیستم لوله‌کشی است و افت‌های فرعی مربوط به اجزایی نظیر: زانو، شیر، انبساط وانقباض ناگهانی سطح مقطع لوله و... می باشد که سبب تغییر شکل خطوط جریان می‌شود.

افت اصلی: افت انرژی در اثر اصطکاک در داخل یک لوله مستقیم به صورت کاهش فشار ظاهر می‌شود. اگر جریان مایعی از لوله شکل (1) عبور کند اختلاف ارتفاع سطوح مایع (h) در پیزومترهای A و B معرف انرژی اصطکاکی یا افت فشار (به ازای واحد وزن سیال جاری) می‌باشد. نظر به اینکه افت فشار به ازای واحد وزن سیال دارای بعد طول است به آن افت هد یا افت ارتفاع هم می-گویند.

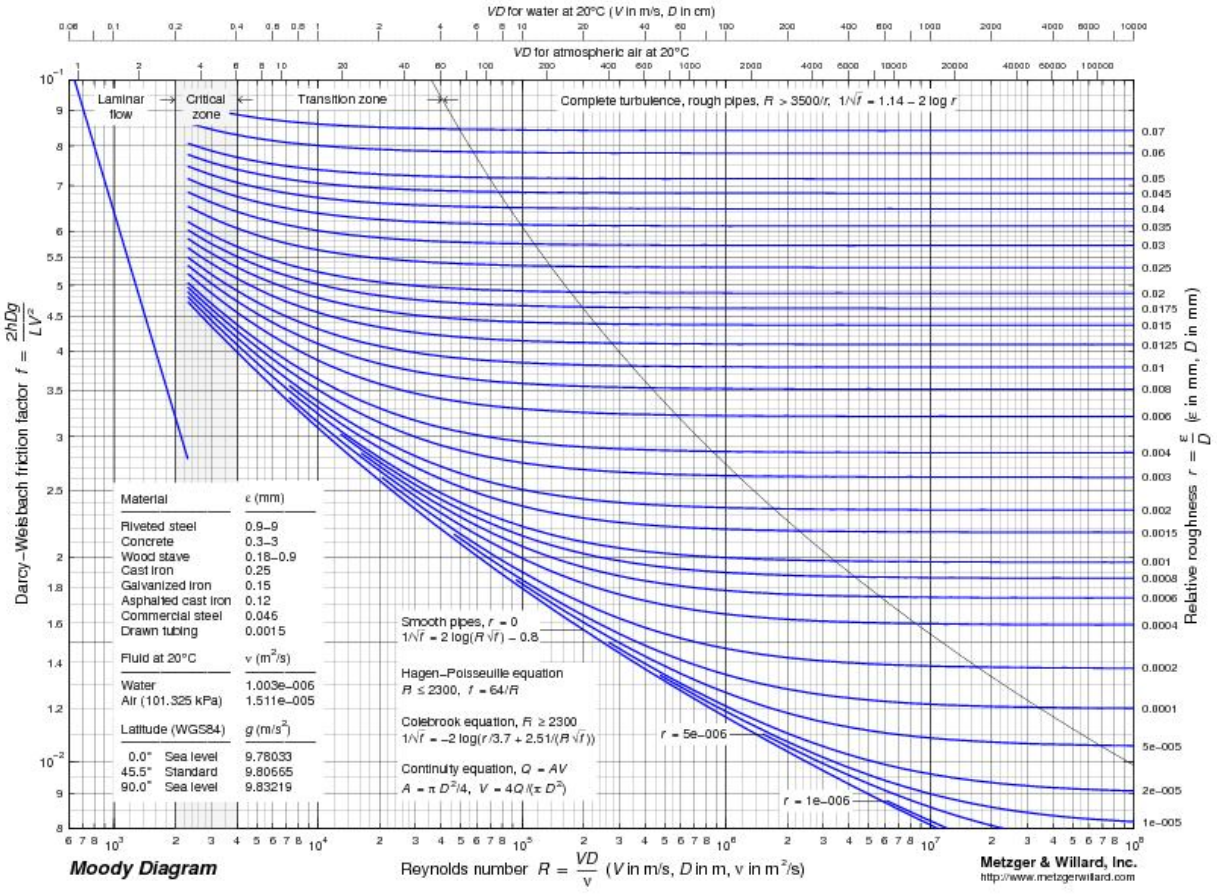


شکل(1) افت فشار در طول لوله

اتلاف انرژی به دلیل اصطکاک را برای لوله‌ای با قطر ثابت، میتوان با رابطه زیر محاسبه کرد:

$$\frac{h}{L} = \frac{f}{D}\frac{v^2}{2g} \qquad (1)$$

ضریب اصطکاک f برای جریان‌های آرام و برای جریان‌های متلاطم برحسب اینکه لوله به صورت صاف، کاملاً زبر و یا بین دو حالت عمل کند، متفاوت است. f هنگامیکه لوله به‌صورت صاف، عمل می‌کند تابعی *از* Re، زمانی که به صورت کاملاً زبر عمل می‌کند تابعی از زبری نسبی (ε/d) و در فاصله این دو حالت تابعی از هر دو عامل Re و (ε/d) می‌باشد. برای محاسبه مقدار f میتوان از نمودار مودی (شکل(2)) یا معادلات تجربی ارائه شده استفاده نمود. مقدار ε برای لوله‌های متفاوت در کتاب‌های مرجع لوله‌کشی داده شده است.



شکل(2) نمودار مودی

افت فرعی یا اتلافات موضعی انرژی

1. افت انرژی در اثر تغییر ناگهانی سطح مقطع لوله

اگر سطح مقطع یک کانال ناگهان بزرگ شود، خطوط جریان سیال از دیواره جدا شده و به صورت یک جت وارد بخش بزرگتر می‌شوند. سپس این جت منبسط شده و کل سطح مقطع مجرای بزرگتر را پر می‌کند. فضای بین جت منبسط شده و دیواره

مجرا از سیالی پر می‌شود که حرکت گردابی دارد و مشخصه جدایش لایه مرزی است. در این حالت اصطکاک قابل ملاحظه‌ای در این فضا ایجاد می‌شود.

2. انبساط و انقباض ناگهانی

اگر افت انرژی در طول L از لوله برابر با Δh_f باشد و از افت انرژی جنبشی در قسمت با قطر بزرگتر صرف نظر شود با نوشتن رابطه برنولی بین دو پیزومتر نشان داده شده در شکل (1) می‌توان افت جزئی را از رابطه زیر بدست آورد.

(2)

$$\Delta h_L = \frac{(P_1 - P_2)}{\gamma} + (\alpha_2/2g\,(V_1^2 - V_2^2))$$

در روابط فوق v سرعت جریان درقسمت باریکتر لوله و $\frac{(P_1-P_2)}{\gamma}$ اختلاف ارتفاع پیزومترهای ورودی و خروجی می باشد.

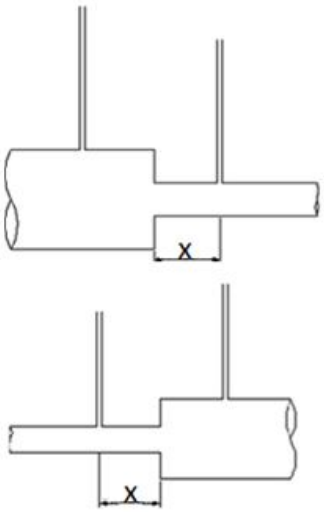
در عمل افت انرژی جزئی از رابطه (3) بدست می آید.

(3)

$$\Delta h_L = K_e \frac{v^2}{2g}$$

که در آن K_e ضریب افت انبساط نامیده می‌شود.

وقتی که سطح مقطع مجرا ناگهان کاهش یابد، جریان سیال نمی‌تواند گوشه‌های تیز را دنبال کند و در نتیجه تماس سیال با دیواره مجرا قطع می‌شود و در این حالت یک جت تشکیل می‌شود که به درون قسمت سیال ساکن در بخش کوچکتر جریان می‌یابد. این جت ابتدا منقبض شده و سپس منبسط می‌گردد و کل سطح مقطع کوچکتر را پر می‌کند و سرانجام در پایین دست جریان توزیع سرعت حالت معمولی خود را باز می‌یابد.



d = 10.3
D =17.2

شکل(3) انبساط و انقباض ناگهانی

$$\Delta h_L = \frac{(P_1 - P_2)}{\gamma} + (^1/_{2g}\,(V_1^2 - V_2^2)) \quad (4)$$

3. افت انرژی در زانوها و خمها

اگر در دو نقطه از مسیر لوله‌ها که بین آنها زانویی یا خم وجود داشته باشد دو پیزومتر نصب شود اختلاف ارتفاعی که توسط دو پیزومتر مشخص می‌شود مربوط به دو عامل است یکی افت انرژی طولی و دیگری افت جزئی در اثر زانویی. اگر افت انرژی طولی بین دو نقطه Δh_f و افت جزئی Δh_b و اختلاف ارتفاع پیزومترها $\Delta h'$ باشد رابطه (5) بین دو نقطه برقرار است.

$$\Delta h_b = \Delta h' - \Delta h_f \quad (5)$$

در عمل افت انرژی جزئی زانوئی را از رابطه (6) بدست می‌آورند.

$$\Delta h_b = K_f \frac{v^2}{2g} \quad (6)$$

که در آن K_f ضریب افت و ثابت می‌باشد. مقدار ضریب افت زانویی یا خم به نسبت شعاع زانویی (r) و به قطر لوله (d) بستگی دارد.

4. افت انرژی در شیرها

اتصالات و شیرها، خطوط جریان معمولی را مختل کرده و سبب ایجاد اصطکاک می‌شوند. در یک خط لوله کوتاه با اتصالات زیاد، افت اصطکاک ناشی از اتصالات ممکن است بیشتر از افت اصطکاک خود لوله باشد. افت انرژی جزئی در شیرها بستگی به نوع ساختمان آن دارد و از رابطه زیر بدست می آید.

$$\Delta h_L = k_f u^2/2g \quad (7)$$

سرعت متوسط در لوله‌ای است که به اتصالvختم میشود. مقدار k_f در شیرها ثابت نمی‌باشد بلکه به نوع شیر و مقدار باز بودن آن بستگی دارد.

برای یافتن مقادیر ضرایب افت k_f به کتب مرجع مراجعه نمایید.

شرح دستگاه

دستگاه شامل بخش های زیر است:

1. مخزن ذخیره آب
2. پمپ
3. روتامتر
4. شامل انواع گوناگون شیرها از قبیلGlobe valve و...
5. شامل انواع گوناگون اتصالات از قبیل انقباض و انبساط، زانویی و...
6. لوله با قطرهای داخلی متفاوت (تیوب 12/7 استیل با قطر داخلی 10/3mm، تیوب 16 استیل با قطر داخلی14mm، تیوب 8 استیل با قطر داخلی 6/3mm و تیوب 1/2 اینچ استیل با قطر داخلی 17 mm) به طول 800 میلیمتر. (یک شیر در فاصله 400 میلیمتری هر لوله نیز تعبیه شده است تا بتوان طول‌های مختلف را نیز مورد آزمایش قرار داد.)
7. شیرهواگیری
8. اختلاف فشار دو سر هریک از اجزا سیستم توسط یک مانومتر جیوه ای و در صورتیکه اختلاف فشار کم باشد توسط یک مانومتر آبی قابل اندازه گیری است و فشار هر نقطه از سیستم لوله توسط یک شیر به کلکتور مانومتر منتقل می شود. برای اندازه‌گیری افت فشار در قسمت انقباض و انبساط نیز از لوله های پیزومتری استفاده شده است.

راه اندازی دستگاه

قبل از شروع آزمایش دستگاه باید هواگیری شود. برای انجام هواگیری کلیه شیرها را باز و پمپ را روشن کنید. اجازه دهید برای دقایقی آب درون کل خط جریان یابد. پس از اطمینان از جریان آب در مسیر لوله‌کشی و پرشدن کل مسیر جریان و تنظیم دبی مورد نظر، برای خواندن افت فشار ایجادی در تک تک اجزای مسیر، مراحل زیر را دنبال نمایید.

1. قسمتی از مسیر لوله‌کشی را که قصد دارید افت فشار ایجادی در آن را مشاهده نمایید انتخاب و شیر دو سر آن که به کلکتور متصل است را باز نمایید. (در این حالت شیر سایر اجزاء کاملا بسته باشد.)
2. افت ایجاد شده را قرائت نمایید.
3. این کار را برای سایر اجزای مسیر تکرارکنید.

4. چنانچه افت فشار کم باشد به طوری که به کمک مانومتر جیوه ای قابل خواندن نباشد، شیلنگ‌های پنوماتیک مربوط به مسیر را به لوله های پیزومتری متصل نمایید. توجه شود که به هنگام اتصال شیلنگ های پنوماتیکی به مجموعه لوله های پیزومتری، شیر سایر اتصالات و شیرهای دو کلکتور بسته باشند.
5. برای قسمت اوریفیس مجموعه نیز از لوله های پیزومتری مربوط به آن استفاده نمایید.

نکات:

- در دبی های کم، شیر by pass را نیمه باز گذاشته تا به پمپ فشار وارد نشود. با افزایش دبی به تدریج شیر by pass را ببندید.
- جهت جازدن شیلنگ‌های پنوماتیکی کافی است شیلنگ را فشار دهند، اما جهت بیرون آوردن آن باید ابتدا سر آبی‌رنگ شیلنگ را به سمت پایین فشار داده و سپس شلنگ را بیرون کشید.
- بعد از خواندن افت فشار در یک قسمت از خط، باید مانومتر را هواگیری نمود. بدین منظور ابتدا دو شیر موجود در خط لوله را بسته و سپس به آرامی دو سر شیر هواگیری مانومتر را باز کنید تا جیوه درون مانومتر به حالت اولیه برگردد و سپس شیر هواگیری را ببندید.
- در هنگام هواگیری لوله های پیزومتری، چنانچه آب لوله های پیزومتری را پر کند، به کمک تلمبه ارتفاع آب را کاهش دهید تا جایی که اختلاف فشار قابل خواندن باشد.

جداول محاسبات

جدول (2) نتایج آزمایش برای لوله ها

نوع لوله		Q(L/h)	Δ H(m)	f
تیوب 16 استیل	Q_1	150		
	Q_2	250		
	Q_3	300		
	Q_4	350		
تیوب 12/7 استیل	Q_1	150		
	Q_2	250		
	Q_3	300		
	Q_4	350		

		150	Q_1	**8** تیوب استیل
		250	Q_2	
		300	Q_3	
		350	Q_4	

جدول (3) نتایج آزمایش برای اتصالات

نوع اتصال:			
k	Δh	Q	
		150	Q_1
		250	Q_2
		300	Q_3
		350	Q_4

جداولی مشابه جدول (3) برای تمام اتصالات تشکیل دهید.

- **توجه شود که، بدلیل وجود آثار جوشکاری بر سر راه اتصالات، افت انرژی درون سیستم گاها به 2 میلی متر جیوه نیز می رسد در نتیجه درون محاسبات باید در نظر گرفته شود.**

به سوالات زیر پاسخ دهید:

1. مقدار ضریب اصطکاک (f) را از رابطه دارسی برای هر لوله در هر دبی بدست آورید و مقدار بدست آمده را با مقدار بدست آمده از نمودار مودی مقایسه کنید.
2. مقدار (f) بدست آمده از رابطه دارسی را برحسب عدد رینولدز برای هر لوله رسم نمایید.
3. مقدار ضریب افت فشار را برای هرکدام از اجزای سیستم لوله‌کشی بدست آورید و نتایج را با مقادیر داده شده در مراجع مقایسه کنید.
4. آیا افت انرژی در انبساط ناگهانی همیشه از افت انرژی در انقباض ناگهانی بزرگتر است؟
5. از تغییرات K_f برحسب $u^2/2g$ برای زانوها چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟