

به نام خداوند جان و خرد



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

هدف آزمایش :

اندازه گیری ویسکوزیته مایعات

تهیه و تنظیم گزارش :

امیررضا حکیمی ۴۰۳۱۱۴۰۲

تئوری آزمایش :

در علم مکانیک سیالات، ویسکوزیته (Viscosity) یا گرانروی، به معنای مقاومت داخلی یک سیال در برابر جاری شدن است. این مقاومت ناشی از نیروهای جاذبه بین مولکولی و اصطکاک لایه‌های سیال روی یکدیگر است.

*** قانون لزجت نیوتن :** بر اساس این قانون، در یک جریان آرام (Laminar)، تنش برشی بین لایه‌ها با نرخ تغییرات سرعت (گرادیان سرعت) رابطه مستقیم دارد :

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \left(\frac{du}{dy} \right)$$

که در آن (μ) ضریب ویسکوزیته دینامیکی است. سیالاتی که از این قانون پیروی می‌کنند (مانند آب و الکل) را "سیالات نیوتنی" می‌نامیم.

*** پروفیل سرعت :** در داخل یک لوله استوانه‌ای، سیال به صورت لایه‌های هم‌مرکز حرکت می‌کند. لایه‌ای که در تماس مستقیم با دیواره لوله است، به دلیل نیروهای چسبندگی (Adhesion) دارای سرعت صفر است (شرط عدم لغزش یا No-slip condition). هرچه به مرکز لوله نزدیک می‌شویم، سرعت افزایش یافته و در محور مرکزی به مقدار بیشینه (u_{max}) می‌رسد. این توزیع سرعت به شکل یک سهمی‌گون (Paraboloid) است.

*** معادله پوازیه :** برای عبور مقدار مشخصی از سیال لزج از یک لوله موئین به طول (L) و شعاع (r)، نیاز به اختلاف فشار (ΔP) است. رابطه بین این پارامترها و دبی حجمی (D_v) توسط معادله هاگن-پوازیه بیان می‌شود :

$$D_v = \frac{\pi r^4 \Delta P}{8 L \mu}$$

در این آزمایش، اختلاف فشار ناشی از وزن ستون مایع (فشار هیدرواستاتیک) است، یعنی $\Delta P = \rho g h$. از آنجایی که اندازه‌گیری جرم ساده‌تر از حجم است، با استفاده از رابطه ($m = \rho V$)، معادله را بر حسب دبی جرمی $D_m = \frac{m}{t}$ بازنویسی می‌کنیم که منجر به رابطه خطی زیر می‌شود :

$$D_m = \frac{\pi r^4 \rho^2 g}{8 L \mu} h$$

$$\left\{ \begin{array}{l} D_m = \frac{K}{\mu} h \\ K = \frac{\pi r^4 \rho^2 g}{8 L} \end{array} \right.$$

شرح آزمایش :

یکی از حیاتی‌ترین مراحل این آزمایش، حذف حباب‌های هواست. وجود حباب در لوله موئین یا مسیرهای اتصال، باعث ایجاد انسداد نسبی و خطای شدید در اندازه‌گیری دبی می‌شود.

ابتدا منبع آب را به ورودی دستگاه متصل می‌کنیم. دستگاه دارای یک سیستم سرریز (Overflow) است؛ به این صورت که آب اضافی از لوله بالایی خارج می‌شود تا سطح آزاد آب در مخزن همواره ثابت بماند و فشار خروجی تغییر نکند.

پس از جاری شدن آب، با ضربات ملایم به استوانه و لوله موئین، حباب‌های محبوس در بدنه را آزاد می‌کنیم. تنظیم مبدأ (Zero Setting): با استفاده از پیچ‌های تنظیم، نشانگر مدرج را دقیقاً با سطح محور مرکزی لوله موئین هم‌تراز می‌کنیم. این نقطه به عنوان مبدأ ($h = 0$) در نظر گرفته می‌شود تا ارتفاع ستون مایع از مرکز لوله محاسبه شود.

فرآیند اندازه‌گیری و داده‌برداری :

تنظیم ارتفاع : با جابه‌جا کردن مخزن روی ستون مدرج، ارتفاع‌های مختلف را انتخاب می‌کنیم. در هر پله، کمی صبر می‌کنیم تا جریان به حالت پایدار (Steady State) برسد.

زمان‌سنجی و جمع‌آوری نمونه : برای هر ارتفاع، یک بشر تمیز و خشک را که قبلاً وزن شده را زیر خروجی لوله موئین قرار می‌دهیم.

به محض قرار دادن بشر، کرنومتر را استارت می‌زنیم. زمان ثابت ۳۰ ثانیه برای تمام مراحل در نظر گرفته می‌شود تا خطای ناشی از تغییر زمان حذف شود.

پس از اتمام ۳۰ ثانیه، بشر را برداشته و جرم آب جمع‌آوری شده را با ترازوی دیجیتال با دقت بالا یادداشت می‌کنیم.

این فرآیند برای ۶ نقطه مختلف تکرار می‌شود تا بتوانیم نمودار تغییرات دبی بر حسب ارتفاع را رسم کنیم. دقت می‌شود که در طول تمام مراحل، دمای آب تغییر فاحشی نداشته باشد، زیرا ویسکوزیته به شدت به دما وابسته است.

جدول داده ها :

نقطه	ارتفاع (cm)	جرم آب خروجی (g)
۱	۷۵/۵	۱۲۷/۵
۲	۷۲/۵	۱۲۵
۳	۷۱	۱۲۲
۴	۶۹/۵	۱۲۰
۵	۶۷/۵	۱۱۸/۵
۶	۶۲/۵	۱۱۴

$$\left\{ \begin{array}{l} r = 0.09cm \\ L = 35.5cm \\ t = 30s \end{array} \right.$$

روش اول :

با استفاده از دیتاهای بالا و جای گذاری آن ها در فرمول مقابل ویسکوزیته خواسته شده را برای 6 نقطه داده شده بدست می آوریم .

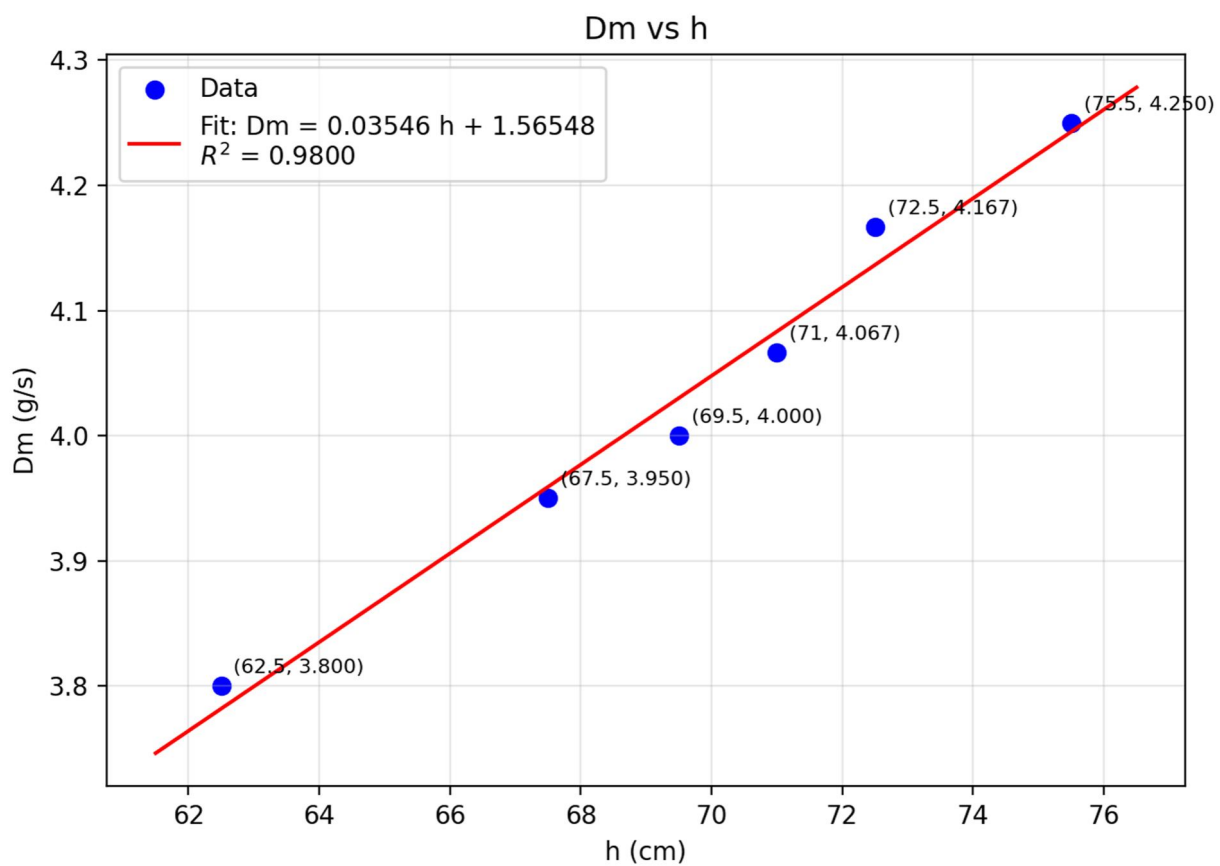
$$\left\{ \begin{array}{l} D_m = \frac{K}{\mu} h \\ K = \frac{\pi r^4 \rho^2 g}{8 L} \end{array} \right.$$

روش دوم :

با استفاده از دیتاهای بالا و جای گذاری آن ها در فرمول مقابل ابتدا نمودار خواسته شده را رسم می کنیم ، سپس شیب نمودار را بدست می آوریم و در فرمول مقابل جای گذاری می کنیم ویسکوزیته را از روی نمودار بدست

می آوریم .

$$\left\{ \begin{array}{l} D_m = \frac{K}{\mu} h \\ K = \frac{\pi r^4 \rho^2 g}{8 L} \end{array} \right.$$



مقدار ثابت K را بدست می آوریم تا در بدست آوردن ویسکوزیته از آن استفاده کنیم .

$$K = \frac{\pi r^4 \rho^2 g}{8 L} \Rightarrow K = 7.13 \times 10^4$$

	h (cm)	h (m)	m (g)	D _m (kg/s)	ویسکوزیته مایع μ در آزمونگاه (Pa.s)	ویسکوزیته مایع μ (Pa.s)	خطای مطلق	خطای نسبی
نقطه ۱	75.5	0.755	127.5	0.00425	0.00127	0.001	0.00027	27%
نقطه ۲	72.5	0.725	125	0.004167	0.00124	0.001	0.00024	24%
نقطه ۳	71	0.710	122	0.004067	0.00125	0.001	0.00025	25%
نقطه ۴	69.5	0.695	120	0.004000	0.00124	0.001	0.00024	24%
نقطه ۵	67.5	0.675	118.5	0.00395	0.00122	0.001	0.00022	22%
نقطه ۶	62.5	0.625	114	0.00380	0.00117	0.001	0.00017	17%
نمودار					0.000201	0.001	0.00101	101%

چرا باید به خروجی دیگر (به عنوان خروجی دوم) وجود داشته باشد ؟

اگر مخزن فقط یک خروجی (لوله موئین) داشته باشد :

آب از مخزن خارج می‌شود.

سطح آب در مخزن به تدریج پایین می‌آید.

در نتیجه ارتفاع ستون آب (h) تغییر می‌کند.

با تغییر (h) ، اختلاف فشار وارد بر لوله موئین نیز تغییر می‌کند.

بنابراین دبی جریان ثابت نمی‌ماند و نمی‌توان رابطه پوازوی و ضریب ویسکوزیته را به درستی بررسی کرد.

نقش خروجی دوم چیست؟

در این دستگاه آب از بالا به طور پیوسته وارد مخزن می‌شود . اگر فقط لوله موئین وجود داشته باشد، معمولاً

میزان آب ورودی با آب خروجی از لوله موئین برابر نیست و سطح آب دائماً تغییر می‌کند.

برای حل این مشکل یک خروجی دوم (سرریز) در ارتفاع مشخصی قرار داده می‌شود :

هر مقدار آب اضافی از این خروجی خارج می‌شود.

سطح آب در مخزن ثابت می‌ماند.

ارتفاع (h) در طول آزمایش تغییر نمی‌کند.

اختلاف فشار دو سر لوله موئین ثابت می‌ماند.

جریان پایدار برقرار می‌شود و اندازه‌گیری‌ها دقیق‌تر خواهند بود.

در نتیجه :

وجود خروجی دوم باعث می‌شود :

سطح آب در مخزن ثابت بماند.

اختلاف فشار ثابت حفظ شود.

جریان در لوله موئین پایدار باشد.

دبی اندازه‌گیری شده فقط به ویسکوزیته مایع وابسته باشد و تحت تأثیر تغییر سطح آب قرار نگیرد.

محاسبه ضریب ویسکوزیته با دقت بیشتری انجام شود.