

اصطکاک در لوله



دانشکده مهندسی

گروه مهندسی مکانیک

آزمایشگاه مکانیک سیالات

ساعت: ۲ بعد از ظهر

اعضای گروه:

مسعود یادگاری

وحید زارعی

ساسان نبی زاده

محسن یارمحمدی

۱- هدف:

بررسی افت ناشی از اصطکاک در لوله در مقابل سرعت متوسط جریان در لوله

۲- فهرست علائم:

f	ضریب اصطکاک، بی بعد
Rey	رینولدز، بی بعد
$Q(m^3/s)$	دبی، متر مکعب بر ثانیه
$h_f(mmH_2O)$	افت ناشی از اصطکاک، متر
$L(m)$	طول لوله، متر
$v(m/s)$	سرعت متوسط جریان در لوله، متر بر ثانیه
$D(m)$	قطر لوله، متر
$g(m/s^2)$	شتاب ثقل، متر بر مجذور ثانیه
$\rho(kg/m^3)$	چگالی، کیلو گرم بر متر مکعب
$\mu(Pa.s)$	ویسکوزیته، پاسکال در ثانیه
$t(s)$	زمان، ثانیه
$V(m^3)$	حجم، متر مکعب
$h_1(mmH_2O)$	ارتفاع مانومتر چپ، میلی متر آب
$h_2(mmH_2O)$	ارتفاع مانومتر راست، میلی متر آب

۳- کمیت های مستقل قطعی:

طول لوله - قطر لوله - شتاب ثقل - چگالی - ویسکوزیته

۴- کمیت های مستقل اندازه گیری:

زمان با خطای اندازه گیری $\pm 0.005 s$

حجم با خطای اندازه گیری $\pm 0.5 ml$

ارتفاع مانومتر با خطای اندازه گیری $\pm 0.5 mmH_2O$, $\pm 0.5 mmHg$

۵- روابط و کمیت های وابسته محاسباتی:

$$v = \frac{V}{tA} \rightarrow \delta v = \left(\frac{\partial v}{\partial V}\right) \delta V + \left(\frac{\partial v}{\partial t}\right) \delta t \rightarrow \delta v = \left(\frac{1}{tA}\right) \delta V + \left|\frac{-V}{t^2 A}\right| \delta t$$

$$v^2 = \left(\frac{V}{tA}\right)^2 \rightarrow \delta v^2 = 2v \delta v$$

$$\log(v) = \log\left(\frac{V}{tA}\right) \rightarrow \delta \log(v) = \left(\frac{1}{v \ln 10}\right) \delta v$$

$$Rey = \frac{\rho v D}{\mu} \rightarrow \delta Rey = \left(\frac{\rho D}{\mu}\right) \delta v$$

$$\log(Rey) = \log\left(\frac{\rho v D}{\mu}\right) \rightarrow \delta \log(Rey) = \left(\frac{1}{Rey \ln 10}\right) \delta Rey$$

برای افت ناشی از اصطکاک داریم: (فرمول تجربی)

$$h_f = h_1 - h_2 \rightarrow \delta h_f = \delta h_1 - \delta h_2$$

$$f = \frac{2Dgh_f}{Lv^2} \rightarrow \delta f = \left(\frac{\partial f}{\partial h_f}\right) \delta h_f + \left(\frac{\partial f}{\partial v}\right) \delta v \rightarrow \delta f = \frac{2Dg}{L} \left\{ \left(\frac{1}{v^2}\right) \delta h_f + \left|\frac{-2h_f}{v^3}\right| \delta v \right\}$$

$$\log(f) = \log\left(\frac{2Dgh_f}{Lv^2}\right) \rightarrow \delta \log(f) = \left(\frac{1}{f \ln 10}\right) \delta f$$

برای جریان آرام داریم: (فرمول تئوری)

$$h_f = \frac{32\mu Lv}{\rho g D^2} \rightarrow \delta h_f = \left(\frac{\partial h_f}{\partial v} \right) \delta v \rightarrow \partial h_f = \left(\frac{32\mu L}{\rho g D^2} \right) \delta v$$

و برای جریان مغشوش داریم: (فرمول تئوری)

$$h_f = \frac{0.158L\rho^4 D^3 v^6}{g\mu^4} \rightarrow \delta h_f = \left(\frac{\partial h_f}{\partial v} \right) \delta v \rightarrow \delta h_f = \left(\frac{0.948L\rho^4 D^3 v^5}{g\mu^4} \right) \delta v$$

۶- جداول:

جدول ۱-۲ شرایط فیزیکی آزمایشگاه

Pressure(mmHg)	Temperature(°C)
666.4	20

جدول ۲-۲ شرایط فیزیکی لوله مورد آزمایش

Diameter of pipe(mm)	length of pipe (cm)
3	50

جدول ۳-۲ داده بدست آمده از آزمایش و افت ارتفاع تجربی در جریان مستقیم

$h_1(mH_2O)$	$h_2(mH_2O)$	$V(ml)$	$t(s)$
4.42 ± 0.5	1.496 ± 0.5	116 ± 1	5.13 ± 0.005
4.1344 ± 0.5	1.768 ± 0.5	146 ± 1	7.44 ± 0.005
3.9168 ± 0.5	1.9584 ± 0.5	116 ± 1	6.34 ± 0.005
3.7264 ± 0.5	2.176 ± 0.5	118 ± 1	7.63 ± 0.005

از جداول برای دمای آزمایش داریم:

$$\rho = 998.2 \frac{kg}{m^3}, \quad \mu = 1.005 * 10^{-3} \frac{N.s}{m^2}, \quad Re_{critical} = 2100$$

جدول ۲-۴ سرعت و عدد رینولدز و ضریب اصطکاک تجربی در جریان مستقیم

$v(m/s)$	$v^2(m/s)^2$	Rey	$h_f(mH_2O)$	f
3.19905 ± 0.03069	10.23392 ± 0.1963	9532.214 ± 91.4649	2.924 ± 0.0005	0.008409 ± 0.00065
2.776261 ± 0.02088	7.707627 ± 0.1159	8272.43 ± 62.2199	2.3664 ± 0.0005	0.009036 ± 0.00055
2.588506 ± 0.02435	6.700362 ± 0.1260	7712.975 ± 72.5739	1.9584 ± 0.0005	0.008602 ± 0.00066
2.187952 ± 0.01997	4.787136 ± 0.0874	6519.445 ± 59.5217	1.5504 ± 0.0005	0.009531 ± 0.00072

جدول ۲-۵ مقادیر لگاریتمی در جریان مستقیم

$\log(f)$	$\log(v)$	$\log(Rey)$	$\log(h_f)$
-2.07527 ± 0.03394	0.505021 ± 0.00416	3.979194 ± 0.00416	0.465977 ± 0.0000742
-2.04404 ± 0.0268	0.44346 ± 0.00426	3.917633 ± 0.00326	0.374088 ± 0.0000917
-2.06541 ± 0.0335	0.413049 ± 0.00408	3.887222 ± 0.00408	0.291901 ± 0.000110
-2.02084 ± 0.0328	0.340038 ± 0.00396	3.814211 ± 0.00396	0.190444 ± 0.000140

جدول ۲-۶ داده بدست آمده از آزمایش و افت ارتفاع تجربی در جریان غیر مستقیم

$h_1(mH_2O)$	$h_2(mH_2O)$	$V(ml)$	$t(s)$
0.082 ± 0.5	0.479 ± 0.5	128 ± 1	18.85 ± 0.005
0.110 ± 0.5	0.456 ± 0.5	126 ± 1	20.12 ± 0.005
0.149 ± 0.5	0.423 ± 0.5	126 ± 1	22.1 ± 0.005
0.210 ± 0.5	0.371 ± 0.5	118 ± 1	26.87 ± 0.005

جدول ۲-۷ سرعت و عدد رینولدز و ضریب اصطکاک تجربی در جریان غیر مستقیم

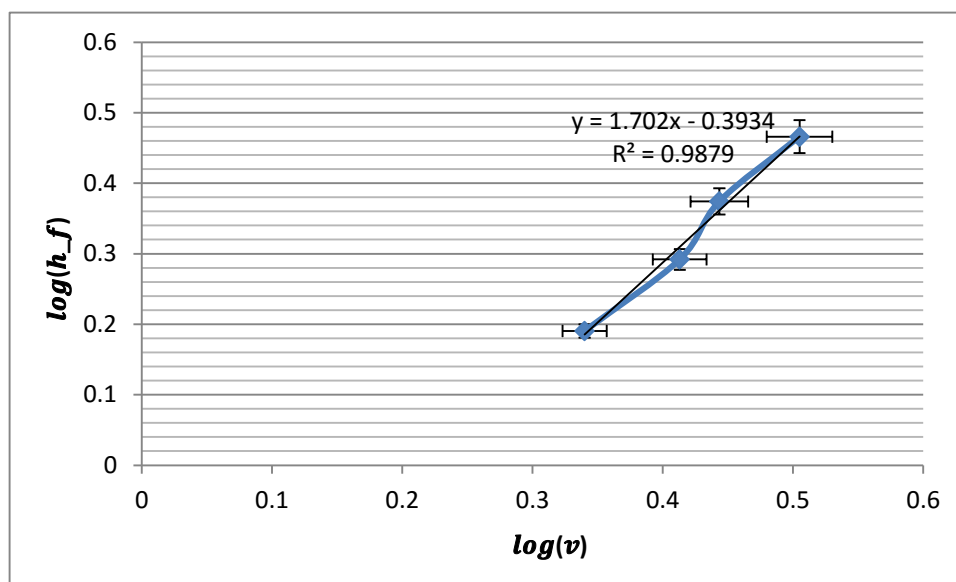
$v(m/s)$	$v^2(m/s)^2$	Rey	$h_f(mH_2O)$	f
0.960681 ± 0.00776	0.922907 ± 0.0149	2862.542 ± 23.122	0.394 ± 0.0005	0.012564 ± 0.000939
0.885978 ± 0.00725	0.784957 ± 0.0128	2639.951 ± 21.608	0.346 ± 0.0005	0.012972 ± 0.000999
0.806601 ± 0.00658	0.650605 ± 0.0106	2403.43 ± 19.618	0.274 ± 0.0005	0.012394 ± 0.000990
0.621291 ± 0.00538	0.386002 ± 0.0066	1851.261 ± 16.033	0.161 ± 0.0005	0.012275 ± 0.001155

جدول ۲-۸ مقادیر لگاریتمی در جریان غیر مستقیم

$\log(f)$	$\log(v)$	$\log(Rey)$	$\log(h_f)$
-1.90087 ± 0.03248	-0.01742 ± 0.00350	3.456752 ± 0.00350	-0.4045 ± 0.00055
-1.88698 ± 0.03346	-0.05258 ± 0.00355	3.421596 ± 0.00355	-0.46092 ± 0.000628
-1.90678 ± 0.03470	-0.09334 ± 0.00354	3.380832 ± 0.00354	-0.56225 ± 0.000793
-1.91097 ± 0.04089	-0.20671 ± 0.00376	3.267468 ± 0.00376	-0.79317 ± 0.001349

۷- نمودارها:

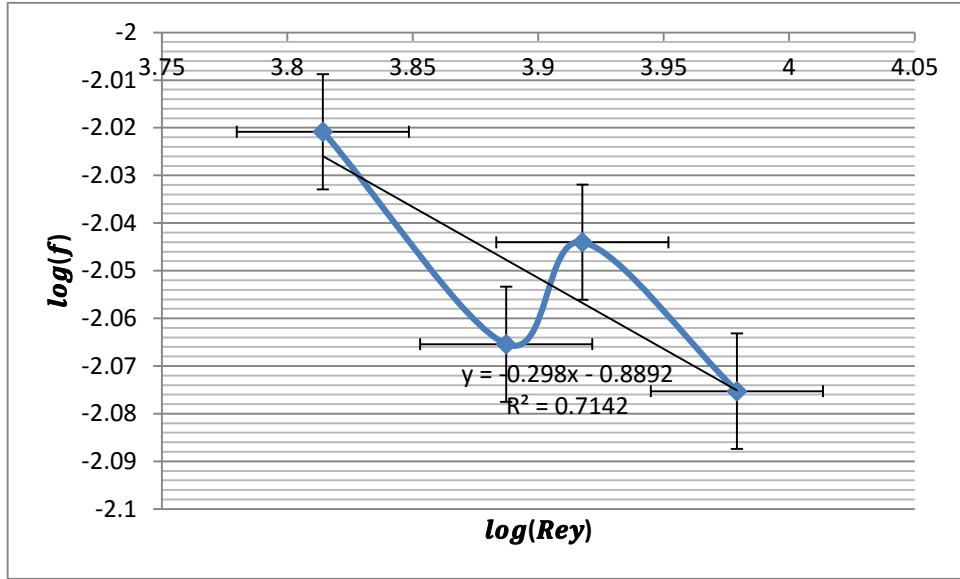
(جریان مستقیم) $\log(h_f) - \log(v)$ (۱)



از نمودار و تقریب خطی آن داریم:

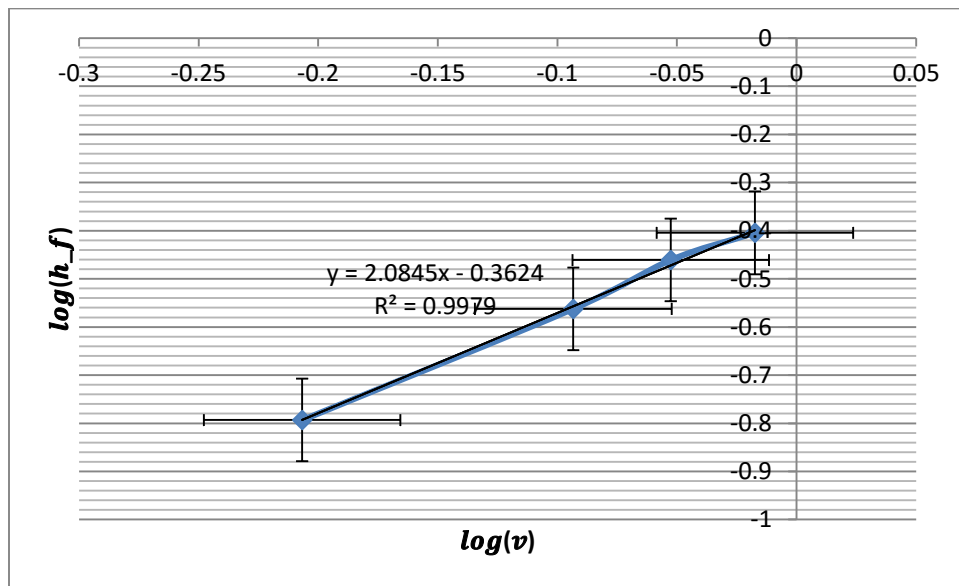
$$h_f = kv^n \rightarrow h_f = 10^{-0.3934} v^{1.702} \rightarrow h_f = 0.4042 v^{1.702}$$

(جریان مستقیم) $\log(f) - \log(Rey)$ (۲)



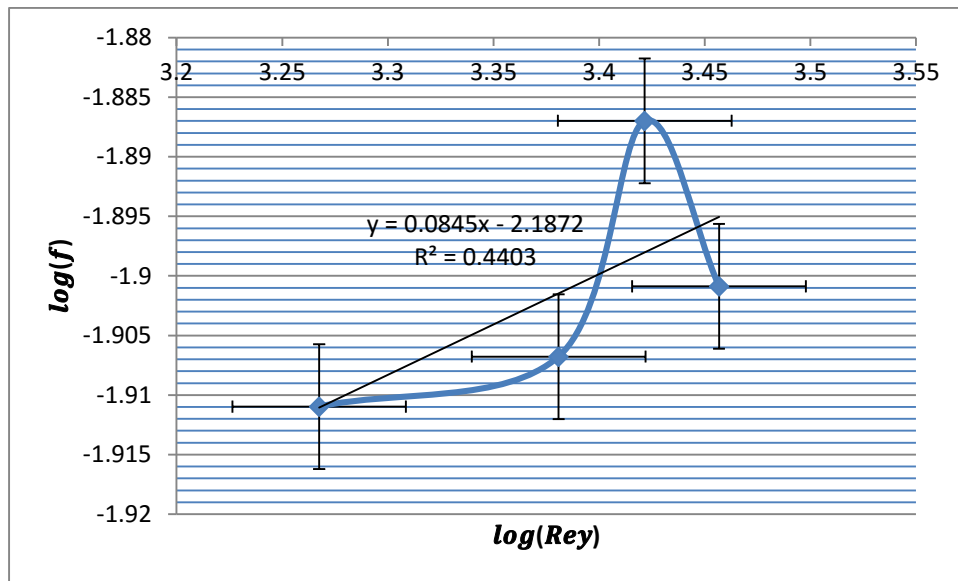
$$f = k(Rey)^n \rightarrow f = 0.1290(Rey)^{-0.298}$$

(جریان غیر مستقیم) $\log(h_f) - \log(v)$ (۳)



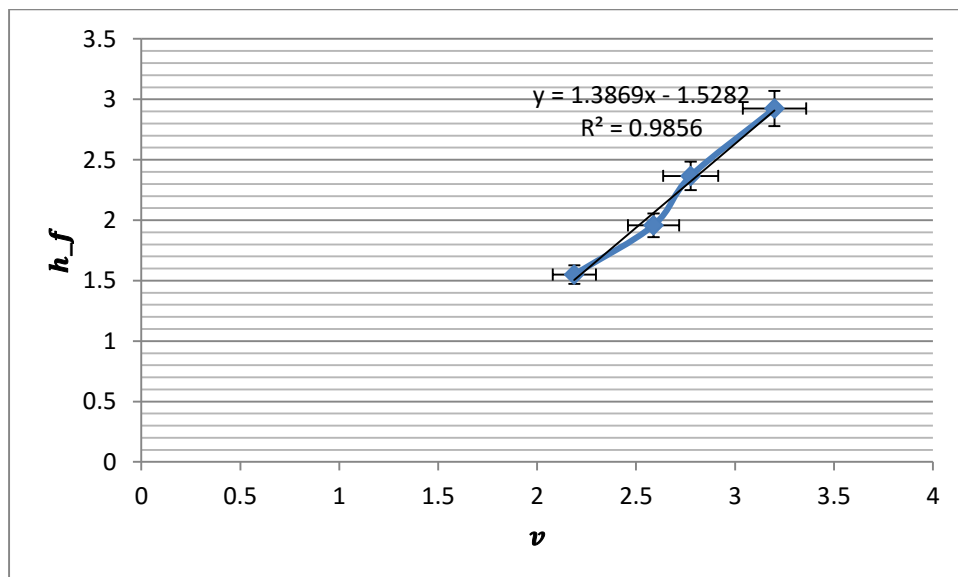
$$h_f = kv^n \rightarrow h_f = 0.4341v^{2.0845}$$

(۴) $\log(f) - \log(Rey)$ (جریان غیر مستقیم)

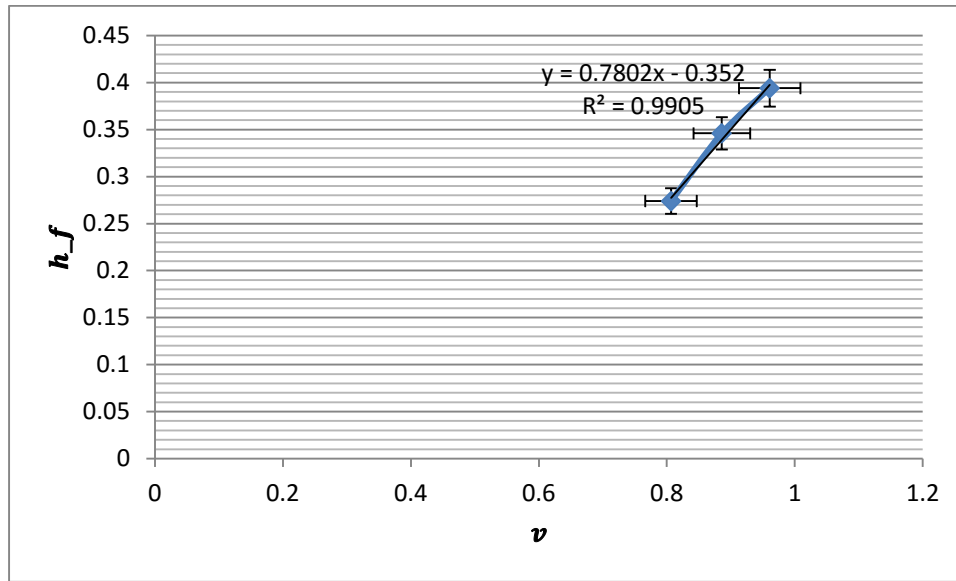


$$f = k(Rey)^n \rightarrow f = 0.0064(Rey)^{0.0845}$$

(۵) $h_f - v$ ($v > v_c$) (جریان مستقیم):



(۶) $h_f - v (v > v_c)$ (جریان غیر مستقیم)



۷- منابع خطای آزمایش:

الف) خطاهای انسانی از قبیل ننگه داشتن زمان کرنومتر و حجم آب جمع شده و خواندن ارتفاع مانومتر؛

ب) خطاهای دستگاه از قبیل نشتی شیر خروجی از لوله که در مقدار دبی تاثیر دارد، تراز نبودن دستگاه، ارتعاش ناشی پمپ که در آرام یا مغشوش بودن جریان اثر میگذارد؛

ج) خطا در محاسبات از قبیل گرد کردن ها و تبدیل ضرایب؛

د) لوله ی دستگاه به علت کهنگی در نوع جریان تاثیر دارد؛

ه) به علت اینکه روابط موجود به چندین پارامتر اندازه گیری وابسته بود، خطا هر چند کم در هر مورد باعث خطای بیشتر در پارامتر محاسباتی میگردد.

۸- نتیجه گیری:

با توجه به فرمول های تئوری زیر برای ضریب اصطکاک و سرعت بحرانی داریم:

$$f = \frac{16}{Rey} \text{ for laminar flow , } f = \frac{0.079}{Rey^{0.25}} \text{ for turbulence flow}$$

در هفت مورد از هشت مورد اندازه گیری شده جریان اغتشاشی میباشد.

جدول ۹-۲ مقادیر تئوری و تجربی ضریب اصطکاک در آزمایش

تئوری f	Rey	تجربی f
0.007995	9532.214	0.008409±0.00065
0.008284	8272.43	0.009036±0.00055
0.00843	7712.975	0.008602±0.00066
0.008792	6519.445	0.009531±0.00072
0.0108	2862.542	0.012564±0.000939
0.011021	2639.951	0.012972±0.000999
0.011283	2403.43	0.012394±0.000990
0.008643	1851.261	0.012275±0.001155

با توجه به جدول بالا نتیجه میشود در هفت مورد اول که جریان اغتشاشی است مقادیر تئوری و تجربی ضریب

اصطکاک نزدیک به هم بوده و صحت روابط اثبات میگردد. ولی در مورد آخر که جریان لایه ای است مقادیر f

اختلاف زیادی دارند. پس:

روابط موجود برای ضریب اصطکاک در مورد جریان اغتشاشی صادق است.

همچنین از روی نمودارهای لگاریتمی بخش قبل فرمولهایی بدست آمده و داریم:

$$f = 0.1290(Rey)^{-0.298} \text{ برای جریان مستقیم}$$

$$f = 0.0064(Rey)^{0.0845} \text{ برای جریان غیرمستقیم}$$

که این f بدست آمده برای جریان مستقیم که اغتشاشی است با فرمول تئوری آن تقریباً

همخوانی دارد ولی برای جریان غیر مستقیم اینطور نیست.