



دانشکده مهندسی

گروه مهندسی مکانیک

آزمایشگاه مکانیک سیالات

## تونل باد (پسا)

ساعت: ۲ بعدازظهر

اعضای گروه:

مسعود یادگاری

وحید زارعی

ساسان نبی زاده

محسن یارمحمدی

### ۱- هدف:

تعیین نیروی پسای جسم غوطه ور در سیال

### ۲- فهرست علائم:

$a + d(m)$	ارتفاع جسم مورد آزمایش ، متر
$b(m)$	عرض جسم مورد آزمایش ، متر
$g(m/s^2)$	شتاب ثقل ، متر بر مجذور ثانیه
$l(m)$	طول محور ، متر
$M_{hydro}(N.m)$	گشتاور نیروهای هیدروستاتیک ، نیوتن متر
$m(kg)$	جرم وزنه ، کیلوگرم
$y(m)$	فرورفتگی در آب ، متر
$y_{the}(mm)$	فرورفتگی تئوری در آب ، متر
$\bar{y}(m)$	ارتفاع مرکز سطح ، متر
$\rho(kg/m^3)$	چگالی ، کیلوگرم بر متر مکعب

### ۳- کمیت های مستقل قطعی:

فشار آزمایشگاه ، دمای آزمایش ، قطر مقطع عمود بر جهت جریان برای اجسام مورد آزمایش

#### ۴- کمیت های مستقل اندازه گیری:

نیروی بازدارندگی با خطای اندازه گیری  $\pm 0.005 \text{ m/s}$

سرعت با خطای اندازه گیری  $\pm 0.25 \text{ m/s}$

#### ۵- روابط و کمیت های وابسته محاسباتی:

فرمولهای محاسبه ی فشار، مساحت مقطع عمود بر جهت جریان و چگالی هوای آزمایش (بدون خطا و با فرض گاز کامل برای هوا):

$$P = \rho_{Hg}gh$$

$$\rho_{Air} = \frac{P}{RT}$$

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

ضریب دراگ و عدد رینولدز:

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

$$C_D = \frac{2F_D}{\rho v^2 A} \rightarrow \delta C_D = \left|\frac{\partial C_D}{\partial F_D}\right| \delta F_D + \left|\frac{\partial C_D}{\partial v}\right| \delta v$$

$$\rightarrow \delta C_D = \left(\frac{2}{\rho v^2 A}\right) \delta F_D + \left(\frac{4F_D}{\rho v^3 A}\right) \delta v$$

۶- جداول: (کلیه ی واحدها در انجام محاسبات به متریک تبدیل شده است.)

جدول ۹-۱ شرایط فیزیکی آزمایشگاه

Pressure(mmHg)	Temperature(°C)
666.5	20

از جداول برای دمای آزمایش داریم:

$$\rho_{Hg} = 13600 \frac{kg}{m^3}, \quad \mu = 1.7 * 10^{-5} \frac{N \cdot s}{m^2}, \quad d = 6 \text{ cm}$$

جدول ۹-۲ داده های بدست آمده برای نیروی بازدارندگی برای اجسام مختلف در سرعت های مختلف جریان هوا

مراحل	$v(m/s)$	نیروی بازدارندگی ( $N$ )				
		صفحه تخت	حجم دوکی	کره	نیم کره محدب	نیم کره مقعر
1	10±0.25	0.29±0.005	0.15±0.005	0.21±0.005	0.16±0.005	0.44±0.005
2	12±0.25	0.4±0.005	0.16±0.005	0.25±0.005	0.2±0.005	0.76±0.005
3	14±0.25	0.5±0.005	0.18±0.005	0.29±0.005	0.25±0.005	0.87±0.005
4	16±0.25	0.82±0.005	0.21±0.005	0.35±0.005	0.28±0.005	1.18±0.005

جدول ۹-۳ مساحت مقطع مورد آزمایش و فشار و چگالی هوا

$P(Pa)$	$\rho(kg/m^3)$	$A(m^2)$
88921.764	1.057447	$2.8274 * 10^{-3}$

جدول ۹-۴ عدد رینولدز برای جریان هوا در سرعت های مختلف

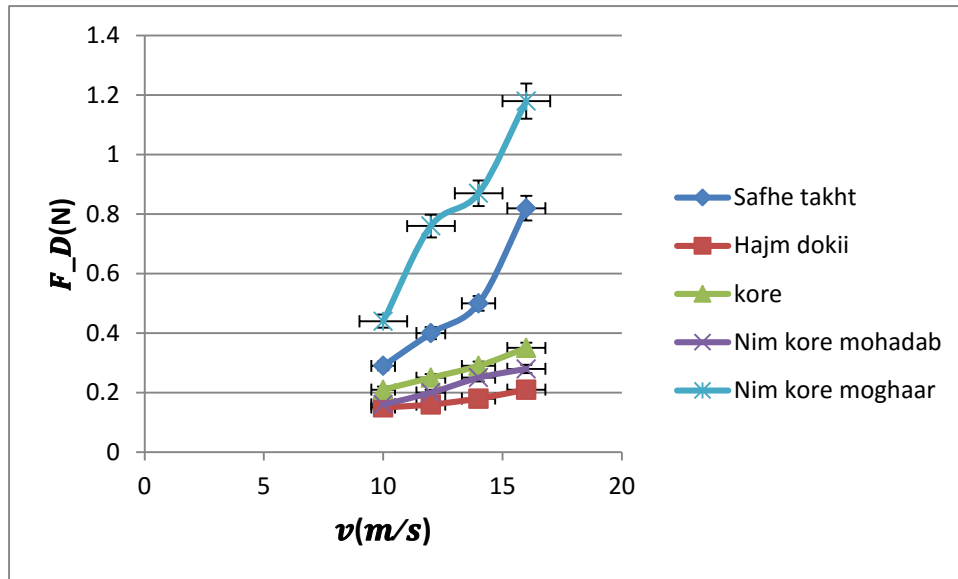
مراحل	$v(m/s)$	$Rey$
1	10±0.25	37321.65882±933.0414706
2	12±0.25	44785.99059±933.0414706
3	14±0.25	52250.32235±933.0414706
4	16±0.25	59714.65412±933.0414706

جدول ۹-۵ ضریب بازدارندگی برای اجسام مختلف در سرعت های مختلف جریان هوا

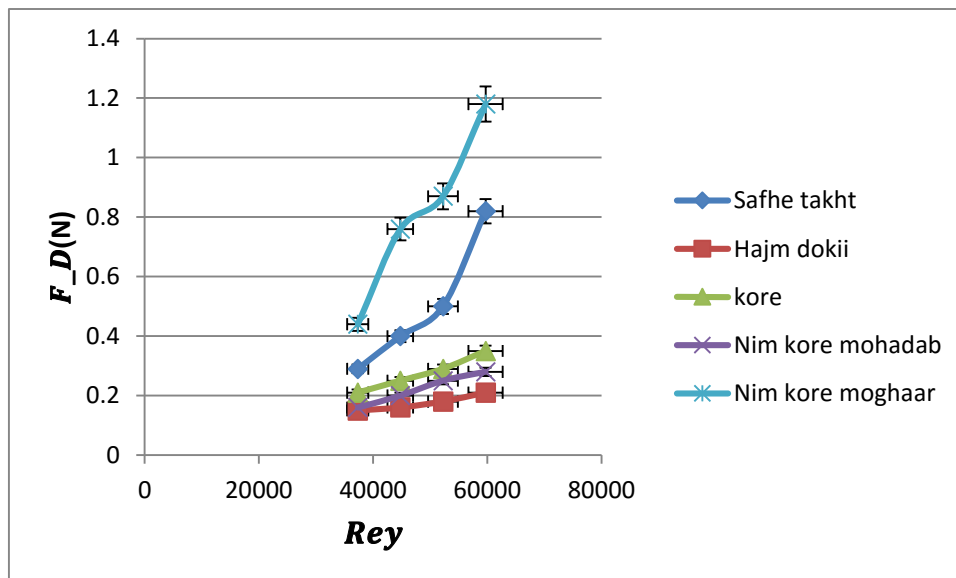
مراحل	$v(m/s)$	ضریب بازدارندگی $C_D$				
		صفحه تخت	حجم دوکی	کره	نیم کره محدب	نیم کره مقعر
1	10±0.25	1.939892	1.00339	1.40474	1.070285	2.943284
		±0.130441	±0.08361	±0.103684	±0.086961	±0.180611
2	12±0.25	1.858134	0.74325	1.16133	0.929067	3.530455
		±0.100649	±0.05419	±0.071616	±0.061938	±0.170329
3	14±0.25	1.70645	0.61432	0.98974	0.853225	2.969222
		±0.078009	±0.03900	±0.052412	±0.047537	±0.123108
4	16±0.25	2.142661	0.54873	0.9145	0.73164	3.083341
		±0.080023	±0.03021	±0.041645	±0.035929	±0.109419

## ۷- نمودارها:

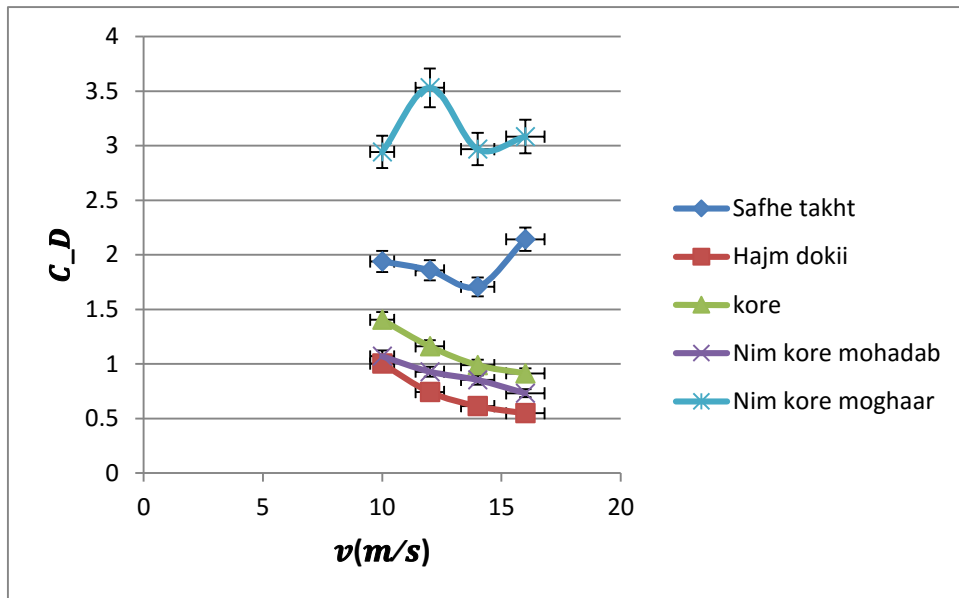
مقادیر خطا در رسم نمودارها لحاظ شده است.



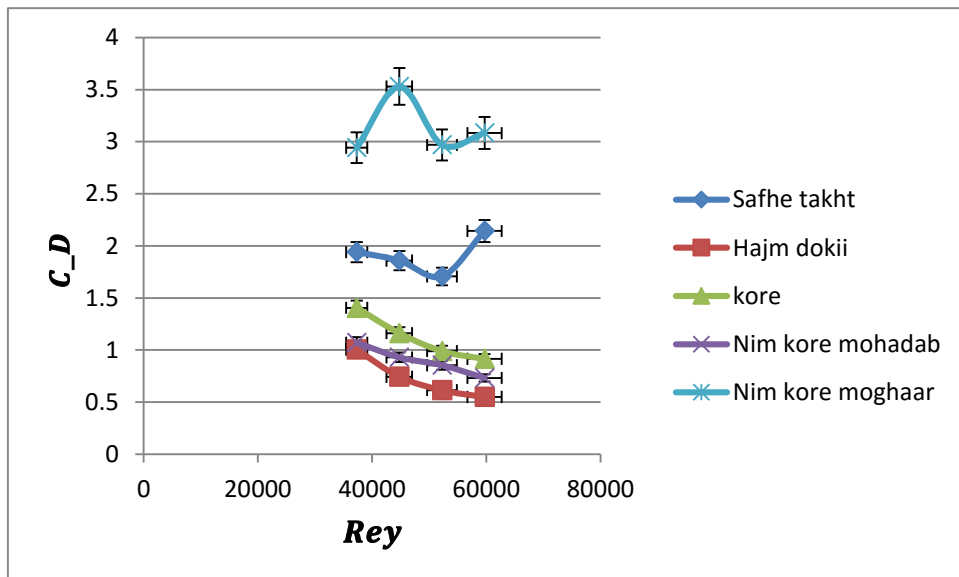
نمودار ۹-۱ نیرو بازدارندگی - سرعت برای اجسام مختلف



نمودار ۹-۲ نیرو بازدارندگی - رینولدز برای اجسام مختلف



نمودار ۳-۹ ضریب بازدارندگی - سرعت برای اجسام مختلف



نمودار ۴-۹ ضریب بازدارندگی - رینولدز برای اجسام مختلف

## ۸- منابع خطای آزمایش:

الف) خطای انسانی از قبیل برقراری تعادل و اندازه گیری نیروی بازدارندگی؛

ب) مساحت مقطع عمود بر جریان برای اجسامی که آزمایش روی آنها انجام شد، دقیقا دایره نبوده و به دلیل کهنگی کمی کج شده بودند؛

ج) ارتعاش شدید دستگاه مخصوصا در سرعت های بالا باعث می شد که هم نتوان سرعت را به طور دقیق تنظیم کرد و هم نتوان تعادل نیرویی را برقرار نمود که ای در محاسبات باعث خطا میگردد؛

د) اجسام دقیقا عمود بر جریان قرار نمی گرفتند و کمی به صورت مایل قرار داشتند و در نتیجه مساحت مقطع عمود بر جریان با قطر گفته شده بدست نمی آید و با آن متفاوت است؛

ه) فرض هوا به عنوان گاز کامل در محاسبه ی چگالی خطا ایجاد میکند. چرا که هوا دقیقا گاز کامل نبوده و دارای انحراف است؛

## ۹- نتیجه گیری:

ابتدا ضرایب دراگ موجود برای اجسام مورد آزمایش که در کتب مرجع آمده را می آوریم:

جدول ۶-۹ ضریب بازدارندگی برای اجسام مختلف

شکل صفحه	صفحه تخت	حجم دوکی	کره	نیم کره محدب	نیم کره مقعر
$C_D$ موجود در مرجع	1.17	0.3-1.0	0.27	0.38	1.42
میانگین $C_D$ آزمایشگاهی	1.91	0.727	1.117	0.896	3.131

با توجه به جدول می بینیم که خطای بسیار زیادی در نتایج آزمایشگاهی وجود دارد که دلایل آن در بالا آمده است. اما این خطاها اثر شدیدی در نتایج گذاشته است.

در نگاه مقایسه ای می بینیم که نیم کره ی تو خالی مقعر بیشترین ضریب دراگ را دارد. این نتیجه ی آزمایشگاهی با حس فیزیکی ما هم مطابقت دارد؛ چرا که این شکل جسم بیشترین مقاومت را در برابر جریان ایجاد میکند. بعد از به ترتیب صفحه ی تخت، کره، نیم کره محدب و حجم دوکی بیشترین ضریب دراگ را دارند. حجم دوکی هم به خاطر لبه تیز خود (و کلا شکل خاصش) که دراگ کمی در برابر جریان ایجاد میکند، کمترین ضریب دراگ را داراست.

در بررسی ضریب دراگ در سرعت های مختلف از جدول ۵-۹ می بینیم که هر چه سرعت بیشتر می شود ضریب دراگ کاهش میابد که با توجه به فرمول ضریب دراگ که سرعت در مخرج قرار دارد این مورد منطقی است. البته نیروی دراگ هم که در صورت قرار دارد افزایش میابد ولی افزایش آن در برابر افزایش سرعت آن هم با توان دوم کم است  $(C_D = \frac{2F_D}{\rho v^2 A})$ .

با توجه به نمودارهای ۱-۹ و ۲-۹ می بینیم که نیروی بازدارندگی با افزایش سرعت و به طبع آن افزایش رینولدز افزایش میابد که البته با توجه به فرمول بالا منطقی است و اگر گروه های بی بعد مرتبط با این نیرو را بنویسیم، می بینیم که با رینولدز متناسب است؛ پس نتیجه ی نمودار با این مورد همخوانی دارد. همچنین نمودارهای ۲-۹ و ۳-۹ مبین این است که با افزایش سرعت و رینولدز ضریب دراگ زیاد می شود. فقط در مورد نیم کره ی مقعر ابتدا افزایش ضریب دراگ و سپس کاهش آن دیده شده که شاید به دلیل شکل متفاوت آن باشد که باعث شده حالت گذار بیشتر برقرار باشد.