

فهرست دستورالعمل دستگاه

- 1 هدف
- 1 مقدمه
- 1 شرح دستگاه

دستورالعمل دستگاه

هدف

بررسی تغییرات هد کلی در میان خطوط جریان برای جریان های چرخشی و ثابت بودن آن برای جریانهای غیر چرخشی

مقدمه

اگر مایعی درون ظرفی قرار داشته باشد، سطح آن موازی سطح افق خواهد بود. حال اگر ظرف شروع به دوران کند، مایع نیز بر اثر وجود ویسکوزیته و تنش برشی شروع به دوران خواهد نمود. پس از سپری شدن یک فاصله زمانی، سیال مانند یک جسم صلب حرکت می کند. به این معنا که تمام ذرات سیال با سرعت زاویه ای یکسان (ω) = سرعت زاویه ای ظرف) حرکت می کنند. در این حالت هیچگونه تنش برشی وجود نخواهد داشت و دوران سیال حول محور دوران " دوران اجباری " (*Forced Vortex*) نامیده می شود.

در " دوران آزاد " ظرف سیال هیچگونه حرکتی ندارد. در این حالت در قسمت پایین ظرف محتوی مایع، حفره ای وجود دارد که مایع از آنجا خارج می شود. مایع جهت خروج از سوراخ مذکور، حالت گرداب مانند تشکیل می دهد و دوران می کند.

باید به تفاوت اصلی دوران اجباری و دوران آزاد توجه داشت، چرا که در دوران آزاد سرعت ذرات مایع با فاصله اش از مرکز دوران نسبت عکس دارد.

شرح دستگاه

دستگاه مورد آزمایش از یک ظرف استوانه ای شکل شفاف، تشکیل شده است که توسط یک موتور الکتریکی دور متغیر، حول محور خود می گردد. با باز نمودن شیر ورودی آب، آب به درون استوانه شفاف ریخته می شود. شیلنگ ورودی، انعطاف پذیر است و با متمایل کردن سر آن به سمت دیواره سطل، از ایجاد اغتشاش در سطح آب جلوگیری می شود.

حفره ای در کف سطل تعبیه شده که نمونه های مختلف را میتوان درون آن قرار داد و آزمایش های ورتکس آزاد و اجباری را انجام داد.

نمونه های همراه دستگاه شامل یک نمونه بدون سوراخ جهت انجام آزمایش در حالت اجباری و چهار نمونه با سوراخ های به ترتیب 5 و 10 و 15 و 20 میلی متر جهت انجام آزمایش در حالت آزاد است .

توسط الکتروموتور مجموعه به گردش در می آید. دور موتور، توسط کنترلر دور تا میزان حدود 110 RPM قابل تنظیم است و مقدار دور توسط نمایشگر مربوطه نمایش داده خواهد شد.

توسط میله های موجود بر روی دستگاه و صفحه مدرج که میله ها بر روی آن سوار هستند می توانیم به پروفیل جریان آب برسیم.

نحوه راه اندازی و انجام آزمایش:

1. ابتدا مخزن آب دستگاه را به اندازه کافی از آب پر کنید.
2. دوشاخه برق دستگاه را به پریز وصل کنید و توسط کلید روشن/خاموش دستگاه را روشن کنید. در این حالت نمایشگر RPM دستگاه روشن خواهد شد.
3. متناسب با آزمایش مورد نظر نمونه مناسب را برای انجام آزمایش انتخاب کنید و در حفره کف سطل قرار دهید.
 - برای حالت آزاد نمونه های سوراخ را انتخاب کنید و سپس پمپ را روشن نمایید و با شیر مربوطه مقدار آب ورودی به سطل را کنترل کنید. آب به نحوی به سطل وارد شود تا از اغتشاش آب درون سطل جلوگیری شود. برای این منظور بهتر است آب به دیواره سطل پاشیده شود.
 - برای حالت اجباری نمونه بدون سوراخ را انتخاب کرده و مقداری آب به درون سطل وارد کنید و توسط ولوم مربوط به کنترل دور موتور، دور موتور را تنظیم کنید و از نمایشگر مربوطه دور موتور را قرائت کنید.
4. در هر دو حالت آزاد و اجباری میله ها را به پروفیل و سطح آب نزدیک کنید تا حدی که نوک میله با سطح آب در تماس باشد و سپس مقدار آن را از روی صفحه مدرج بخوانید.
5. در پایان جهت تخلیه مخزن از شیر تخلیه موجود در زیر مخزن استفاده کنید.

فهرست دستور آزمایش ها

- 1 هدف
- 1 تئوری
- 3 روش انجام آزمایش
- 5 نتایج و محاسبات
- 6 نمونه محاسبات

دستور آزمایش ها

هدف

بررسی تغییرات هد کلی در میان خطوط جریان برای جریان های چرخشی و ثابت بودن آن برای جریان های غیر چرخشی

تئوری

برای سیال متحرک اگر سیال غیر لزج باشد یا اگر حرکت طوری باشد که تنش برشی در تمام نقاط صفر باشد، قانون دوم نیوتن بصورت زیر در می آید.

$$\vec{F} - \gamma \vec{j} = \rho \vec{a} \quad (1)$$

که $\vec{a}$ شتاب المان سیال است. $\vec{F} - \gamma \vec{j}$ برآیند نیروهای وارد به المان است، به شرطی که تنها نیروی بدنی، نیروی جاذبه ثقل باشد.

مخزنی را در نظر بگیرید که حول یک محور قائم با سرعت زاویه ای ثابت دوران می کند. مایع داخل مخزن پس از مدتی مانند جسم صلب دوران خواهد کرد. هیچ تنش برشی در مایع ایجاد نمی شود و تنها شتاب موجود در امتداد شعاعی و به طرف محور دوران است. دستگاه مختصات را طوری می گیریم که بردار $\vec{i}$ در امتداد r و برداری که $\vec{j}$ در امتداد قائم و به طرف بالا باشد و محور y ها را به عنوان محور دوران می گیریم.

برای تعیین تغییرات فشار در سیال می توانیم از معادله زیر استفاده کنیم.

$$\vec{F} = -\nabla P \Rightarrow \nabla P = -\gamma \vec{j} - \rho \vec{a} \quad (2)$$

به ازای سرعت زاویه ای ثابت ω ، شتاب هر ذره سیال مانند p برابر $r\omega^2$ و در امتداد شعاعی و به طرف مرکز است. یعنی $\vec{a} = -r\omega^2 \vec{i}$

معادله (2) را به صورت زیر بسط می دهیم:

$$\frac{\partial P}{\partial r} \vec{i} + \frac{\partial P}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial P}{\partial z} \vec{k} = -\gamma \vec{j} + \rho r\omega^2 \vec{i} \quad (3)$$

$\vec{k}$ برداری که در امتداد محور z (یا امتداد مماسی) است. بنابراین باتوجه به رابطه (3) خواهیم داشت:

$$\frac{\partial P}{\partial r} = \frac{\gamma}{g} r\omega^2 \quad \frac{\partial P}{\partial y} = -\gamma \quad \frac{\partial P}{\partial z} = 0 \quad (4)$$

چون P فقط تابع y و r است، مشتق کل dP به صورت زیر بیان می شود:

$$dP = \frac{\partial P}{\partial y} dy + \frac{\partial P}{\partial r} dr \quad (5)$$

با جایگذاری $\frac{\partial P}{\partial y}$ و $\frac{\partial P}{\partial r}$ از رابطه (4) در رابطه (5) خواهیم داشت:

$$dP = -\gamma dy + \frac{\gamma}{g} r\omega^2 dr \xrightarrow{\int} P = \frac{\gamma}{g} \frac{r^2 \omega^2}{2} - \gamma y + C \quad (6)$$

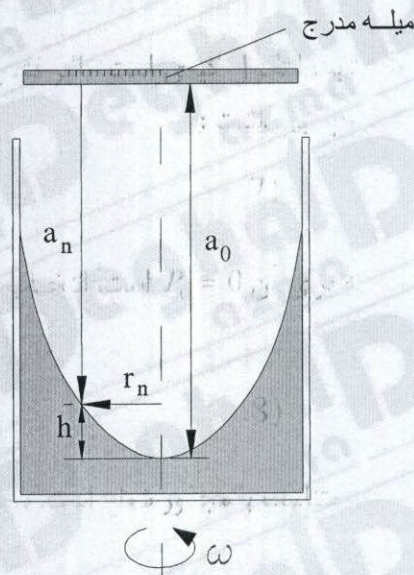
در رابطه فوق γ ثابت فرض شده است و C ثابت انتگرال گیری است. اگر فشار در مبدا ($y=0, r=0$) را به P_0 (فشار اتمسفر) نشان دهیم، آنگاه $C = P_0$ و خواهیم داشت:

$$P = P_0 - \gamma \frac{r^2 \omega^2}{2g} - \gamma y \quad (7)$$

وقتی که یک صفحه افقی خاص ($y=0$) که برای آن $P_0 = 0$ است، انتخاب کنیم و معادله (7) را بر γ تقسیم کنیم:

$$h = \frac{P}{\gamma} = \frac{r^2 \omega^2}{2g} \quad (8)$$

معادله فوق نشان می دهد که عمق قائم (h) متناسب با مجذور شعاع است. سطوح هم فشار به شکل سهمی گون هستند (شکل 1).

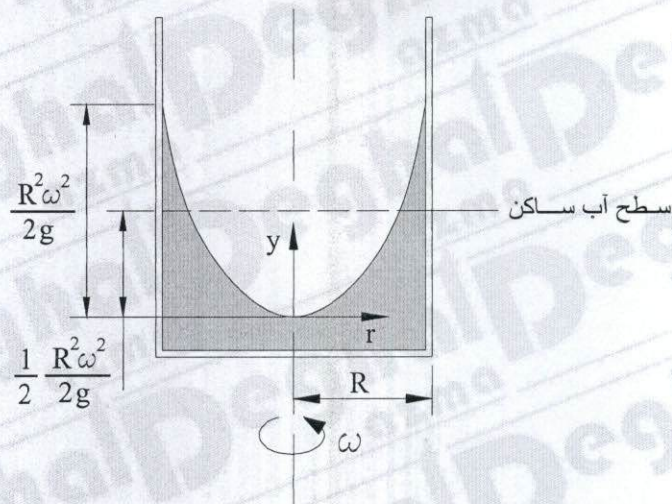


شکل (1)

طبق معادله (8) ارتفاع مایع در دیواره استوانه نسبت به راس سهمی $\frac{R^2 \omega^2}{2g}$ است. (R شعاع استوانه است) از آنجا که حجم سهمی گون نصف حجم استوانه است، حجم مایعی که در بالای سطح افقی گذرنده از راس قرار دارد، برابر است با:

$$\frac{1}{2} \pi R^2 \frac{\omega^2}{2g}$$

وقتی مایع ساکن باشد، عمق آن از سطح گذرنده از راس یکنواخت و برابر $\frac{1}{2} \frac{R^2 \omega^2}{2g}$ است. بنابراین مایع به همان اندازه که در مرکز ظرف پایین می رود، در دیواره آن بالا می رود. حال اگر R, ω و عمق مایع قبل از دوران معلوم باشد، می توانیم محل رأس سهمیگون را تعیین کنیم (شکل 2).



شکل (2)

روش انجام آزمایش

آزمایش 1: جریان گرداب اجباری

برای شروع آزمایش به ترتیب زیر عمل می شود. پس از انتخاب نمونه بدون سوراخ و ریختن آب تا ارتفاع نیمه در آن دور موتور را روی عدد دلخواه (حدوداً 80 RPM تنظیم نموده، پس از ثابت شده منحنی سطح آزاد آب، به وسیله شاخص اندازه گیر، مختصات نقاط مختلف روی سطح آب را اندازه گرفته و در جدول (1) یادداشت نمایید.

آزمایش 2: جریان گرداب آزاد

برای بوجود آوردن دوران آزاد، نمونه دلخواه از نمونه های سوراخ دار را انتخاب کنید به طوری که ارتفاع آب ثابت بماند. دور موتور را روی عدد مطلوب (حدوداً 30 دور در دقیقه) تنظیم کنید. برای مشاهده حالت پایدار، شیر ورودی آب را نیز باز کنید تا ارتفاع آب در ظرف ثابت شود. صبر کنید تا شرایط دائمی جریان برقرار شود. حال به کمک شاخص اندازه گیر، تغییرات سطح آزاد را تعیین نموده و جدول (2) را تکمیل نمایید.

جدول (1)

[illegible]

جدول (2)

[illegible]

نتایج و محاسبات

1- ثابت کنید در هر نقطه از داخل مایع رابطه زیر برقرار است:

$$P_{absolute} = P_0 + \gamma(h_0 - z) + \gamma \frac{r^2 \omega^2}{2g}$$

2- از روی فرمول فوق معادله سطح آزاد مایع را برحسب r بدست آورید.

3- استوانه ای پر از آب در نظر بگیرید. در صورتی که استوانه با سرعت زاویه ای ω حول محورش بچرخد، نیروی وارد بر لبه بالایی استوانه را بدست آورید.

4- دوران آزاد: برای تعیین z , ابتدا Z را از رابطه " $U^2/2g +$ قرائت مقیاس قائم در جداره = Z مینا" حساب نموده و سپس Z را از رابطه " Z - قرائت مقیاس قائم = Z " تعیین کنید.

همچنین مقدار سرعت در جداره از رابطه $u_c = r_c \omega$ تعیین می شود که r_c همان شعاع استوانه داخلی و سرعت زاویه ای متوسط $\omega = \frac{2\pi N}{60}$ می باشد. مشاهده می شود که بر خلاف آنچه در بخش تئوری گفته شد. هد کلی مقدار ثابتی نمی باشد. این اختلاف توسط روابط قابل توجیه است. به کمک رسم نمودار $\log(-z)$ برحسب $\log r$ می توان مقادیر عددی n و c را بدست آورد با قرار دادن مقادیر c, n در روابط می توان تغییرات Z و H را برحسب r رسم نمود.

5- تغییرات تئوری هد کلی (H) را برحسب (r) به کمک رابطه $H = \frac{\omega^2 r^2}{g}$ برای دوران اجباری رسم نموده و علل اختلاف آنرا با نتایج تجربی مقایسه کنید.

6- توسط آزمایش دوران اجباری مقدار شتاب ثقل را بدست آورید.

7- در مبحث تئوری از مؤلفه های شعاعی و محوری سرعت صرف نظر شده است و همچنین فرض شده است که مؤلفه مماسی سرعت فقط با شعاع تعیین می شود. آیا این فرضیات قابل قبول است؟

نمونه محاسبات:

آزمایش 1: جریان گرداب اجباری

برای شروع آزمایش به ترتیب زیر عمل می شود. پس از بستن شیر تخلیه زیر سطل و ریختن آب تا ارتفاع نیمه در آن دور موتور را روی عدد دلخواه (حدوداً 120 RPM تنظیم نموده، پس از ثابت شدن منحنی سطح آزاد آب، به وسیله شاخص اندازه گیر، مختصات نقاط مختلف روی سطح آب را اندازه گرفته و در جدول (3) یادداشت نمایید.

جدول (3)

شماره نقاط (n)	قرائت مقیاس قائم شاخص $h \text{ (mm)}$	$h \text{ (m)}$	قرائت مقیاس افقی شاخص $r_n \text{ (mm)}$	$r_n \text{ (m)}$	$h \text{ (m)}$ تئوری	$r_n^2 \text{ (m}^2\text{)}$
1	0	0	0	0	0	0
2	10	0.01	27	0.027	0.005867	0.000729
3	20	0.02	53	0.053	0.022609	0.002809
4	30	0.03	65	0.065	0.034006	0.004225
5	40	0.04	74	0.074	0.044074	0.005476
6	50	0.05	82	0.082	0.054119	0.006724
7	60	0.06	89	0.089	0.063753	0.007921
8	70	0.07	96	0.096	0.074176	0.009216
9	80	0.08	104	0.104	0.087054	0.010816
10	90	0.09	110	0.11	0.097389	0.0121
11	100	0.1	116	0.116	0.108303	0.013456
12	110	0.11	121	0.121	0.11784	0.014641

ارتفاع سطح آب در جریان گرداب اجباری از رابطه زیر به دست می آید:

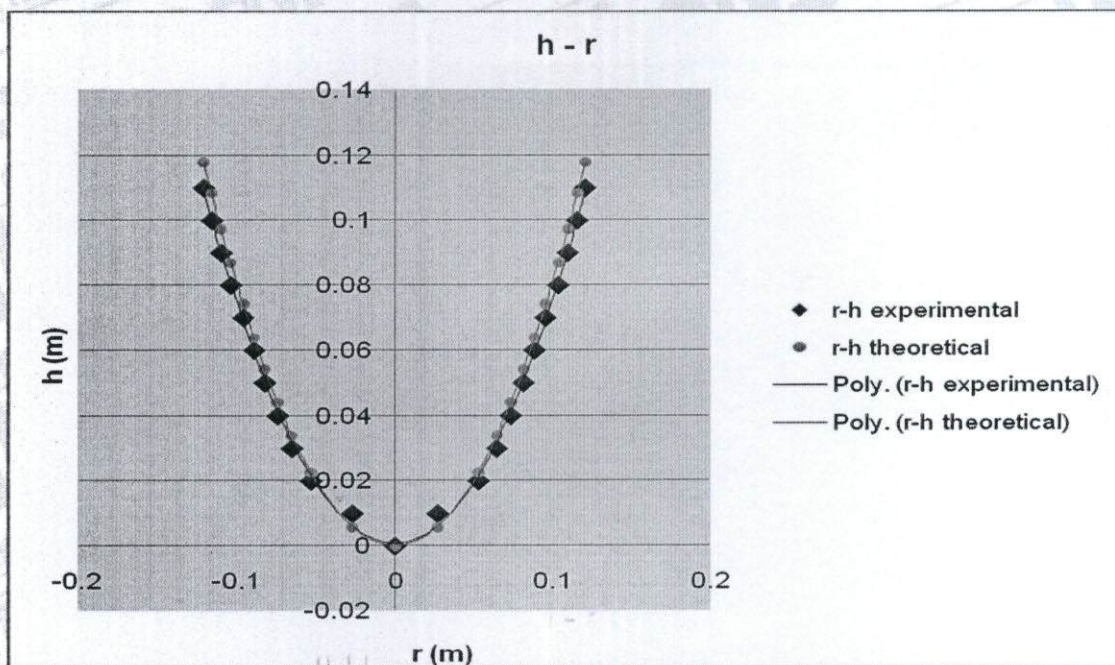
$$h = \frac{r^2 \omega^2}{2g}$$

معادله فوق نشان می دهد که عمق قائم (h) متناسب با مجذور شعاع است و سطوح هم فشار به شکل سهمی گون هستند. آزمایش با دور 120 RPM انجام شد.

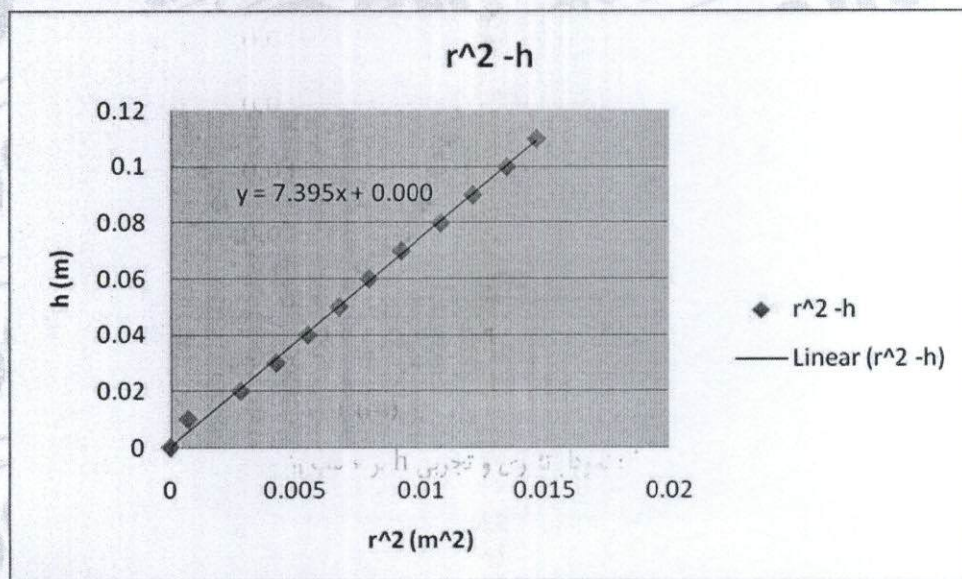
$$N = 120 (\text{RPM}) \Rightarrow \omega = 12.56 \left(\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right)$$

با جایگذاری $\omega = 12.56 \left(\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right)$ در رابطه (1)، به ازای مقادیر r_n جدول (1)، مقدار تئوری h محاسبه گردید. نمودار تئوری و تجربی h بر حسب r_n در شکل (1)، و نمودار h بر حسب r_n^2 در شکل (2) رسم شده است. شیب

نمودار در شکل (2)، $\frac{\omega^2}{2g}$ تجربی می باشد که با مقدار تئوری آن مقایسه می گردد.



شکل 1: نمودار تئوری و تجربی h بر حسب r_n



شکل 2: نمودار تئوری و تجربی h بر حسب r_n^2

$$\frac{\omega^2}{2g} = 8$$

تئوری

$$\frac{\omega^2}{2g} = 7.395$$

تجربی

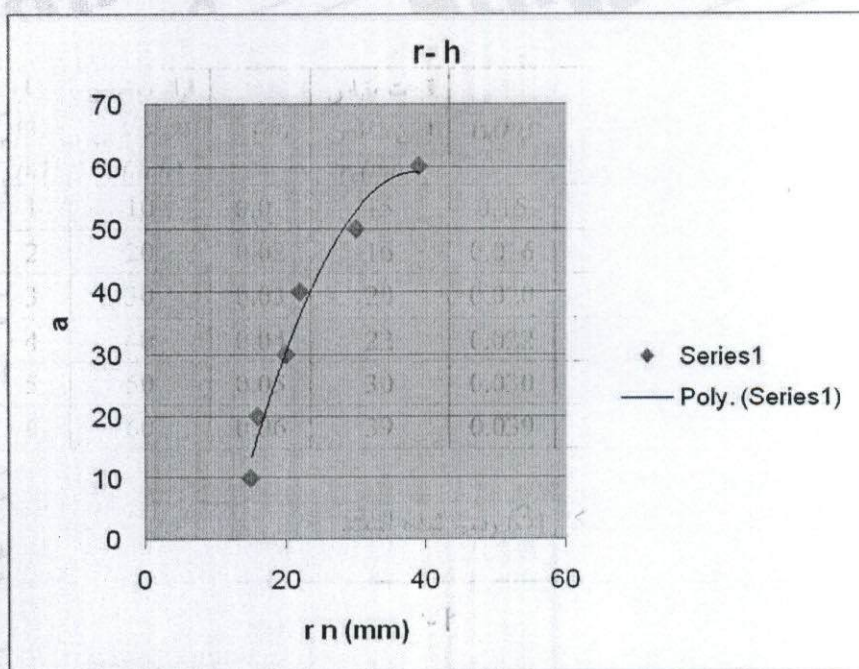
آزمایش 2: جریان گرداب آزاد

برای بوجود آوردن دوران آزاد، شیر میز آزمایشگاهی را به مقدار کم (در تمام مرحله آزمایش) باز نمایید به طوری که ارتفاع آب ثابت بماند. دور موتور را روی عدد مطلوب (حدوداً 30 دور در دقیقه) تنظیم کنید. برای مشاهده حالت پایدار، شیر ورودی آب را نیز باز کنید تا ارتفاع آب در ظرف ثابت شود. صبر کنید تا شرایط دائمی جریان برقرار شود. حال به کمک شاخص اندازه گیر، تغییرات سطح آزاد را تعیین نموده و جدول (4) را تکمیل نمایید. تغییرات فواصل قائم شاخص در حدود 0.2 سانتیمتر در نواحی نزدیکی جداره استوانه و یک سانتیمتر در نواحی مرکزی مناسب می باشد.

جدول (4)

شماره نقاط (n)	قرائت مقیاس قائم شاخص h (mm)	h (m)	قرائت مقیاس افقی شاخص r _n (mm)	r _n (m)	h (m) تئوری	r _n ² (m ²)
1	10	0.01	15	0.015		
2	20	0.02	16	0.016		
3	30	0.03	20	0.020		
4	40	0.04	22	0.022		
5	50	0.05	30	0.030		
6	60	0.06	39	0.039		

منحنی سطح آب در جریان گرداب آزاد در شکل (3) رسم شده است.



شکل 3: منحنی سطح آب در جریان گرداب آزاد