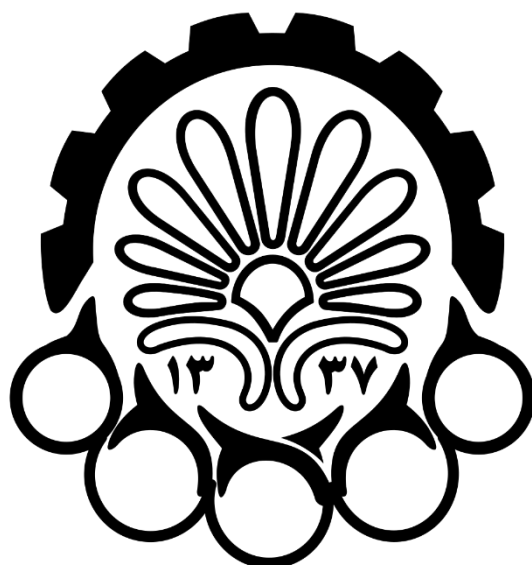


به نام خدا



دانشگاه صنعتی امیر کبیر
(پلی تکنیک تهران)

پروژه نهایی درس مکانیک سیالات:

"پمپ سانتریفیوژ (گریز از مرکز)"

استاد درس: دکتر بهزاد بقاپور

تدریس یاران: محمدی، فرهادی، موسوی

ارائه دهنده: محمد عالی 40226061

دانشگاه صنعتی امیرکبیر - دانشکده مهندسی مکانیک - نیم سال دوم 1403-1404

چکیده مطالب

بخش اول: الف) استخراج معادلات بقا

بخش اول: ب) روابط پارامترهای عملکردی

برحسب پارامترهای قابل اندازه گیری

بخش دوم: الف) به دست آوردن پارامترها و

نمودارهای مورد نظر و تحلیل آنها (دیتاست

اول و دوم)

بخش دوم: ب) انتخاب پمپ مناسب با استفاده

از کدنویسی (MATLAB)

بخش سوم: انواع دیگر پمپ ها (نحوه عملکرد و

کاربرد آنها)

بخش چهارم: جمع بندی و منابع

1.1 استخراج معادلات بقا با در نظر گرفتن حجم کنترل مناسب

در این قسمت سه معادله بقا (جرم، مومنتوم زاویه ای و انرژی) را برای حجم کنترل خواسته شده مینویسیم. توجه شود که در این بخش نیازی به نوشتن معادله بقای مومنتوم خطی نیست؛ زیرا:

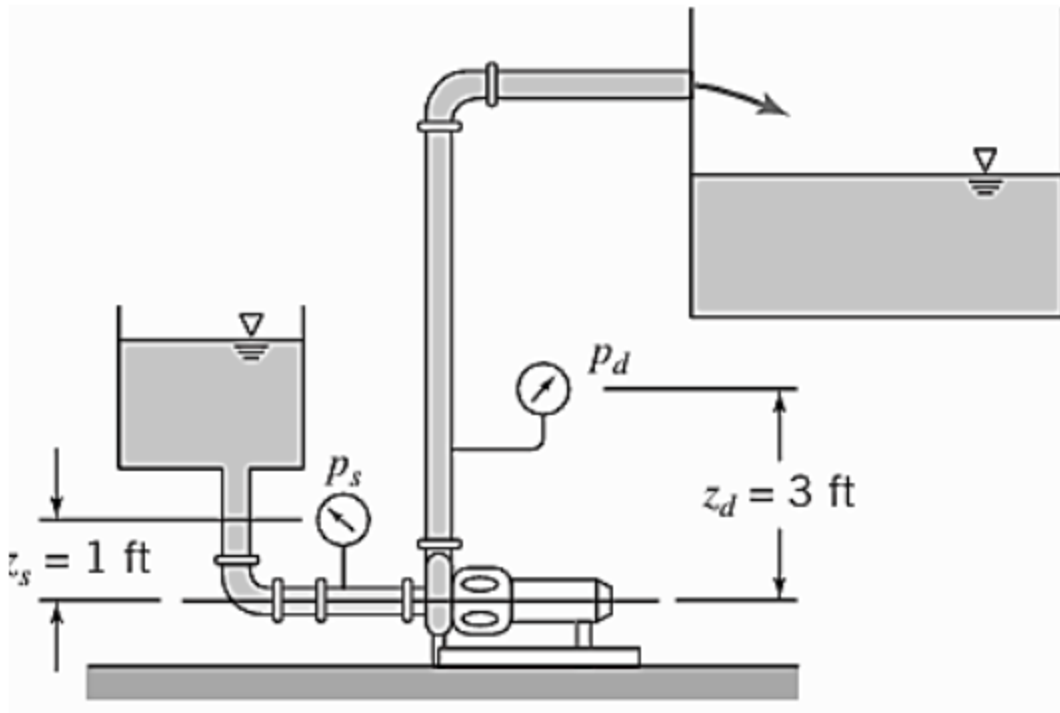
معادله مومنتوم خطی نیروی خالص وارد بر حجم کنترل را به ما می‌دهد، نه گشتاور یا ارتفاع پمپ. اما آنچه برای ارزیابی عملکرد پمپ اهمیت دارد، مقدار گشتاور، توان، ارتفاع و بازدهی است، نه نیروی انتقالی خطی.

معادله‌های مومنتوم زاویه‌ای و انرژی به تنهایی اطلاعات کافی درباره عملکرد پمپ فراهم می‌کنند.

مومنتوم زاویه‌ای، تغییر حرکت چرخشی سیال و در نتیجه گشتاور موردنیاز را مشخص می‌کند، و معادله انرژی نیز تمام تبادلهای انرژی مکانیکی را پوشش می‌دهد (شامل فشار، سرعت، ارتفاع و توان اعمال شده).

معادله مومنتوم خطی بیشتر در مواردی کاربرد دارد که هدف، یافتن نیروهای عکس‌العمل در تکیه‌گاه‌ها یا بدنه پمپ باشد.

در این پروژه، تمرکز ما روی ارزیابی توان و بازدهی پمپ است، بنابراین نیازی به محاسبه نیروی خالص وارد بر بدنه وجود ندارد.



Assuming a control volume between input and output:
 (1) (2)

(i) conservation of Mass:

$$\text{steady-state} \Rightarrow \dot{m}_{in} = \dot{m}_{out} \Rightarrow \rho Q_1 = \rho Q_2$$

$$\text{incompressible} \Rightarrow Q_1 = Q_2 = Q$$

(ii) conservation of Angular momentum:

$$\text{steady-state} \Rightarrow \sum T = \dot{m} (r_2 v_{\theta 2} - r_1 v_{\theta 1})$$

$$\dot{m} = \rho Q \Rightarrow T = \rho Q (r_2 v_{\theta 2} - r_1 v_{\theta 1})$$

Note: v_{θ} : tangential component

(iii) Conservation of Energy:

kinetic energy correction:

$$\left(\frac{p}{\rho g} + \frac{\alpha v^2}{2g} + z \right)_{in} = \left(\frac{p}{\rho g} + \frac{\alpha v^2}{2g} + z \right)_{out} + \cancel{h_{turbine}} - h_{pump} + \cancel{h_{friction}}$$

$$\Rightarrow h_{pump} = \frac{(p_2 - p_1)}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2 - \alpha_1 v_1^2}{2g} + (z_2 - z_1)$$

1.2 بیان و استخراج روابط پارامترهای عملکردی

در این بخش پارامترهای عملکردی خواسته شده را ابتدا توضیح داده و سپس روابطی برای آنها برحسب پارامترهای قابل اندازه گیری موجود (چگالی، دبی حجمی، گشتاور، سرعت دوران) بیان خواهیم کرد.

(i) توان هیدرولیکی:

میزان توان مفیدی که پمپ به سیال منتقل می کند. این توان بیانگر خروجی مفید پمپ است. یعنی انرژی‌ای که به سیال داده می شود.

رابطه توان هیدرولیکی به صورت زیر است:

$$\left. \begin{aligned} P_{Hydro} &= \dot{m} g h_{pump} \\ \dot{m} &= \rho Q \end{aligned} \right\} \Rightarrow P_{Hydro} = \rho g Q h_{pump}$$

(ii) توان مکانیکی:

میزان توانی که موتور از طریق شفت به پمپ وارد می کند. این توان ورودی واقعی به بخش چرخان پمپ است و در محاسبه بازده هیدرولیکی استفاده می شود.

رابطه توان مکانیکی به صورت زیر است:

$$\text{Power} = \text{Torque} \times \text{Angular velocity}$$

نکته: این معادله مانند حالت خطی یعنی $P = F \cdot v$ است.

$$\Rightarrow P_{\text{mechanical}} = T \cdot \omega$$

(iii) هد پمپ:

انرژی کل منتقل شده به سیال، به صورت ارتفاع معادل آب بیان می شود. هد یکی از رایج ترین معیارهای عملکرد پمپ ها است و مستقیماً به ارتفاعی که پمپ می تواند سیال را بالا ببرد مربوط می شود.

رابطه هد پمپ (که در بخش الف از معادله بقای انرژی بدست آوردیم) به صورت زیر است:

$$h_{\text{pump}} = \frac{(P_2 - P_1)}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2 - \alpha_1 v_1^2}{2g} + (z_2 - z_1)$$

(iv) سرعت مخصوص (specific speed):

شاخصی بدون بعد برای توصیف نوع و ویژگی های عملکردی پمپ. برای طبقه بندی پمپ ها، مقایسه طرح ها و پیش بینی رفتارشان در شرایط مختلف استفاده می شود.

رابطه سرعت مخصوص به صورت زیر است:

$$Q \propto D^3 N$$
$$h \propto D^2 N^2$$

نکته: N همان سرعت دوران پمپ rpm است.

$$\xrightarrow[\text{Eliminating } D]{\text{Eliminating } D} N_{\text{specific}} \propto N \frac{\sqrt{Q}}{h^{3/4}}$$

(v) بازده هیدرولیکی پمپ:

نسبت توان مفید منتقل شده به سیال به توان مکانیکی وارد شده از طریق شفت. بازدهی واقعی بخش مکانیکی پمپ را نشان می دهد (موتور در نظر گرفته نمی شود).

رابطه بازده هیدرولیکی پمپ به صورت زیر است:

$$\text{Efficiency} = \frac{\text{output}}{\text{input}} \Rightarrow \eta_{\text{hydro}} = \frac{P_{\text{Hydro}}}{P_{\text{mechanical}}}$$

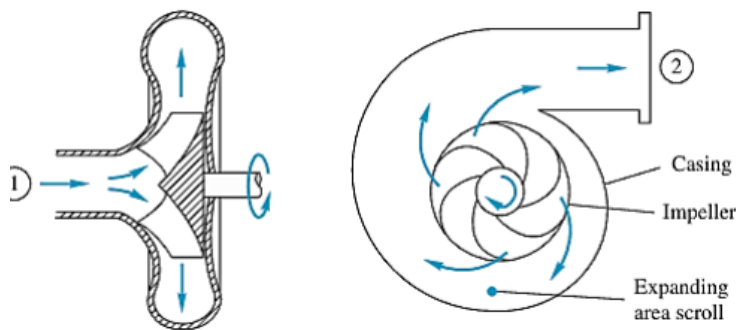
(vi) بازده کلی پمپ:

نسبت توان مفید هیدرولیکی به توان الکتریکی وارد شده به سیستم. بازده کل سیستم (موتور و پمپ) را نشان می دهد و برای طراحی و ارزیابی مصرف انرژی حیاتی است.

رابطه بازده کلی پمپ به صورت زیر است:

$$\text{Efficiency} = \frac{\text{output}}{\text{input (electrical)}} \Rightarrow \eta_{\text{total}} = \frac{P_{\text{hydro}}}{P_{\text{in}}}$$

$$P_{\text{in}} = \eta \sqrt{3} \times (\text{power factor}) \times V \times I$$



در بخش بعدی پروژه از روابط بدست آمده در این بخش استفاده خواهیم کرد.

2.1 به دست آوردن پارامترها و نمودارهای مورد نظر و تحلیل آنها – دیتاست اول: مجهولات در $Q=800\text{gpm}$

در این بخش با توجه به سیستم جریان پمپ سانتریفیوژ که برای آزمایش یک پمپ سانتریفیوژ با یک سرعت اسمی مشخص مورد استفاده قرار میگیرد، دو سری دیتای مختلف در اختیار داریم که با استفاده از آن ها باید خواسته های مورد نظر را به دست آوریم.

❖ دیتاست اول:

- سرعت اسمی: ۱۷۵۰ دور بر دقیقه
- دمای آب: ۸۰ درجه فارنهایت
- قطر لوله های مکش و تخلیه: ۶ اینچ
- ارتفاع ها در شکل (ب) داده شده است.
- موتور الکتریکی با ولتاژ ۴۶۰ ولت، سه فاز تغذیه می شود و ضریب توان آن ۰/۸۷۵ و راندمان ثابت آن ۹۰ درصد است. (راهنمایی: راندمان مکانیکی ۱۰۰ درصد بوده و توان خروجی موتور الکتریکی همان توان ورودی مکانیکی به پمپ خواهد بود و برای موتور سه فاز با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$P_{in} = \eta\sqrt{3} \times (\text{power factor}) \times \text{Voltage} \times \text{current}$$

- دیتاهای اندازه گیری شده به صورت زیر هستند:

Flow rate (gpm)	Suction pressure (psig)	Discharge pressure (psig)	Motor Current (amp)
0	0.65	53.3	18.0
500	0.25	48.3	26.2
800	-0.35	42.3	31.0
1000	-0.92	36.9	33.9
1100	-1.24	33.0	35.2
1200	-1.62	27.8	36.3
1400	-2.42	15.3	38.0
1500	-2.89	7.3	39.0

Dataset 1:

$$h_{\text{pump}} = \frac{(P_2 - P_1)}{\rho g} + \frac{\alpha (v_2^2 - v_1^2)}{2g} + (z_2 - z_1)$$

$$z_1 = 1 \text{ ft} = 1 \times 0.3048 = 0.3048 \text{ m}$$

$$z_2 = 3 \text{ ft} = 3 \times 0.3048 = 0.9144 \text{ m}$$

$$v_1 = v_2$$

$$P_1 = -0.35 \text{ psig} = -0.35 \times 6894.76 = -2413.165 \text{ Pa}$$

$$P_2 = 42.3 \text{ psig} = 42.3 \times 6894.76 = 291648.2 \text{ Pa}$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$\Rightarrow h_{\text{pump}} = \frac{291648.2 - (-2413.165)}{1000 \times 9.81} + 0 + (0.9144 - 0.3048)$$
$$= \boxed{30.5853 \text{ m}}$$

$$P_{\text{Hydro}} = \rho g Q h_{\text{pump}}$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$Q = 800 \text{ gpm} = 800 \times 0.0000630902 = 0.05047 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$h_{\text{pump}} = 30.5853 \text{ m}$$

$$\Rightarrow P_{\text{Hydro}} = 1000 \times 9.81 \times 0.05047 \times 30.5853 = \boxed{15143.1 \text{ W}}$$

$$\eta_{\text{total}} = \frac{P_{\text{Hydro}}}{P_{\text{in}}}$$

$$P_{\text{in}} = \eta \sqrt{3} \times (\text{power factor}) \times V \times I$$

$$\eta = 0.9$$

$$\text{power factor} = 0.875$$

$$V = 460 \text{ V}$$

$$I = 31 \text{ A}$$

$$P_{\text{Hydro}} = 15143.1 \text{ W}$$

$$\Rightarrow \eta_{\text{total}} = \frac{15143.1}{0.9 \times \sqrt{3} \times 0.875 \times 460 \times 31} = 0.7785 = \boxed{77.85 \%}$$

$$\text{هد پمپ} = 30.5853 \text{ m}$$

$$\text{توان هیدرولیکی} = 15143.1 \text{ W}$$

$$\text{بازده کلی پمپ} = 77.85 \%$$

2.2 به دست آوردن پارامترها و نمودارهای مورد نظر و تحلیل آنها – دیتاست اول: نمودارها

در این قسمت قصد داریم با توجه به داده های درون جدول و به کمک نرم افزار *MATLAB* نمودارهای خواسته شده (نمودارهای هد پمپ، توان هیدرولیکی، سرعت مخصوص و بازده کلی پمپ) را رسم کرده و به کمک نرم افزار *Excel* یک رابطه چندجمله ای روی منحنی های به دست آمده برازش کنیم. در اینجا تاثیر دما بر چگالی بسیار ناچیز است بنابراین چگالی آب را در هر دو دیتاست برابر 1000 در نظر میگیریم.

الگوریتم مورد استفاده در کد متلب به شرح زیر است (اعدادی که در مقادیر اولیه ضرب شده اند جهت تبدیل یکا به SI هستند):

```
%Programmed by Mohammad Aali 40226061
```

```
clear; clc;
```

```
density = 1000;
```

```
g = 9.81;
```

```
powerfactor = 0.875;
```

```
V= 460;
```

```
n_motor = 0.9;
```

```
N_1 = 1750;
```

```
Q_1 = [0, 500, 800, 1000, 1100, 1200, 1400, 1500];
```

```
P2_1= [53.3, 48.3, 42.3, 36.9, 33, 27.8, 15.3, 7.3];
```

```
P1_1= [0.65, 0.25, -0.35, -0.92, -1.24, -1.62, -2.42, -2.89];
```

```
I_1 = [18, 26.2, 31, 33.9, 35.2, 36.3, 38, 39];
```

```
z1_1= 1*0.3048;
```

```
z2_1= 3*0.3048;
```

```
Q1_si = Q_1*0.0000630902;
```

```
P2_1_si = P2_1*6894.76;
```

```
P1_1_si = P1_1*6894.76;
```

```
h_pump_1 = ((P2_1_si - P1_1_si)./(density*g)) + (z2_1 - z1_1);
```

```
P_hydro_1 = density.*g.*Q1_si.*h_pump_1;
```

```
P_in_1 = sqrt(3) * V .* I_1 * powerfactor * n_motor;
```

```
n_total_1 = (P_hydro_1)./(P_in_1);
```

```

Ns_1 = ((N_1).*sqrt(Q1_si))./(h_pump_1.^(3/4));

figure;
plot(Q_1, h_pump_1, 'o-', 'MarkerFaceColor','b');
xlabel('Q (gpm)');
ylabel('h-pump_1 (m)');
grid on;

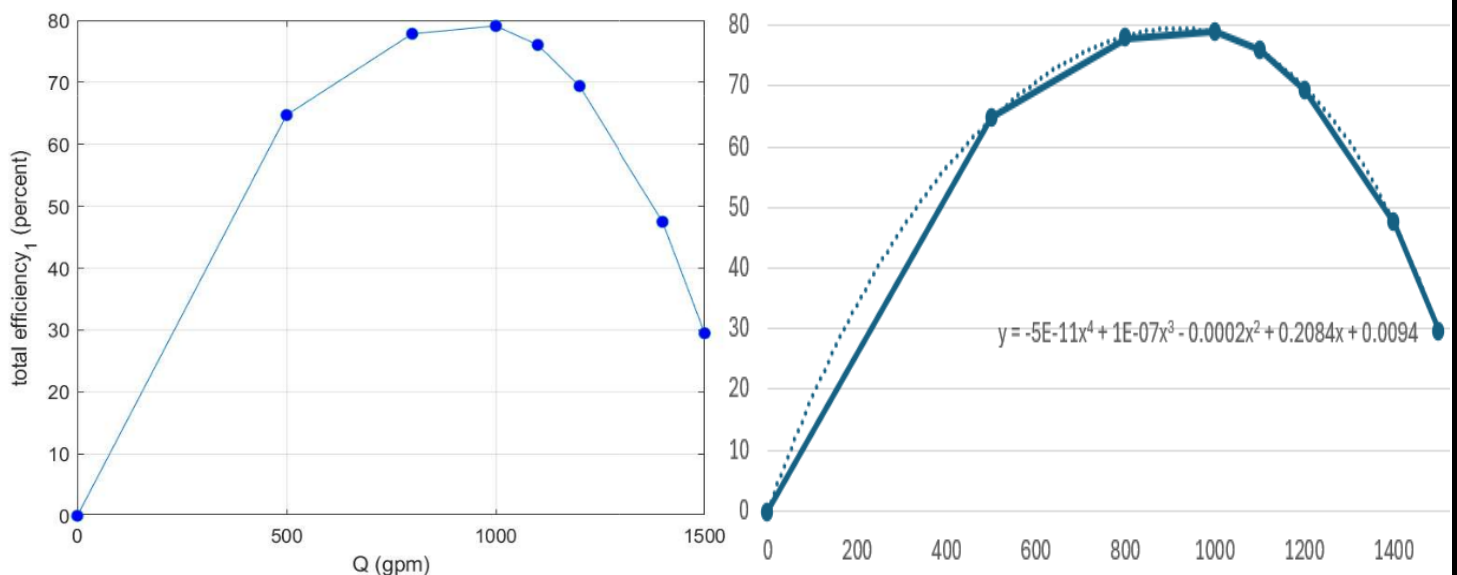
figure;
plot(Q_1, P_hydro_1, 'o-', 'MarkerFaceColor','b');
xlabel('Q (gpm)');
ylabel('hydraulic power_1 (W)');
grid on;

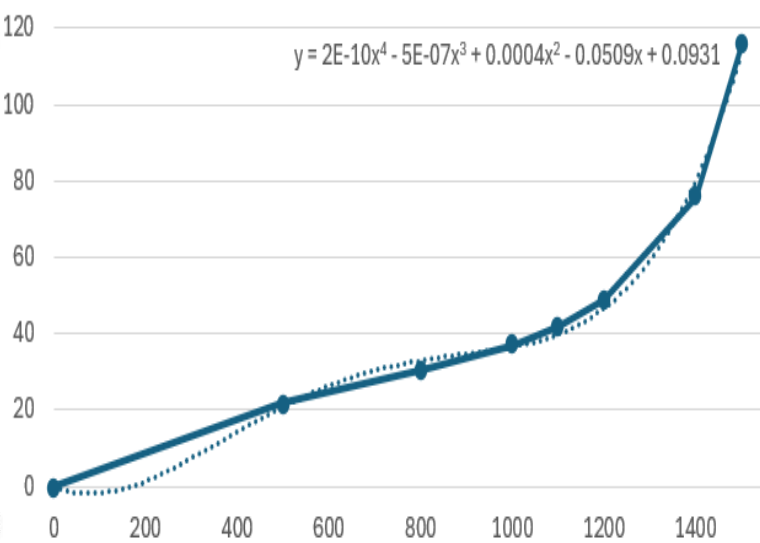
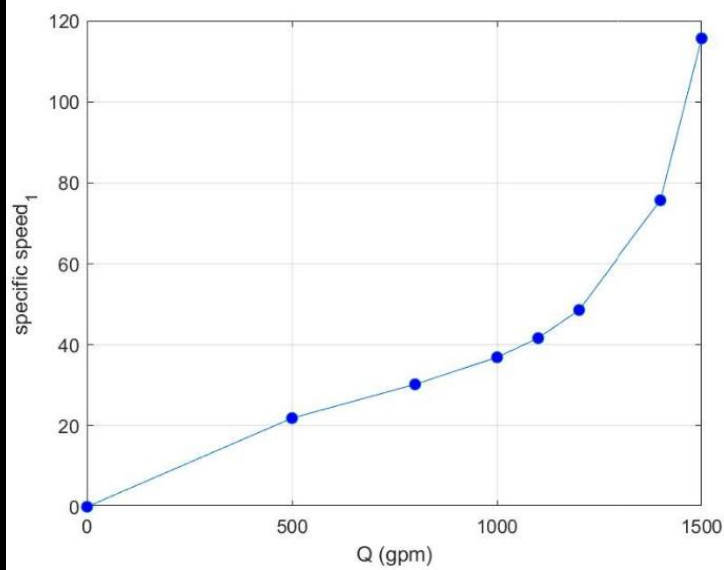
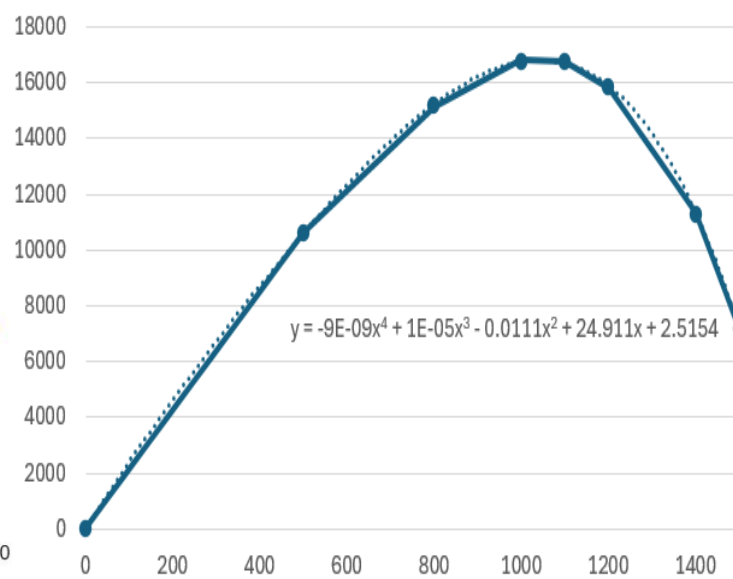
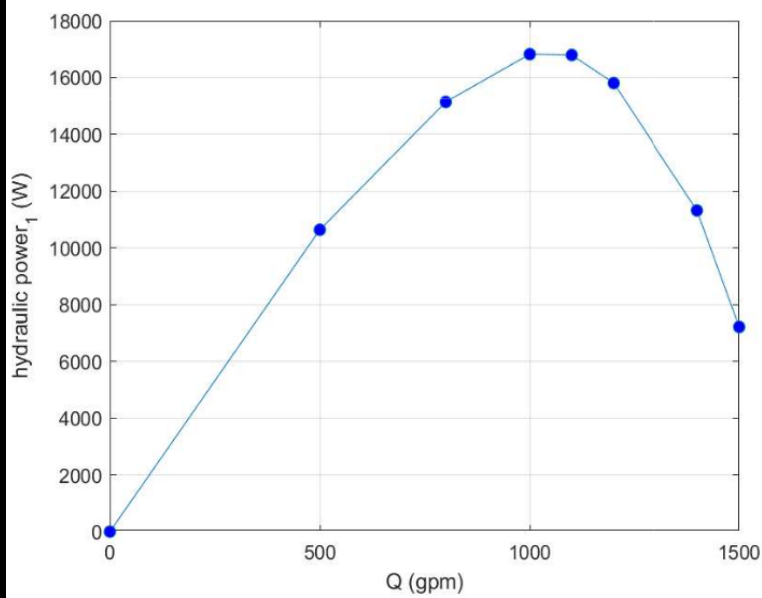
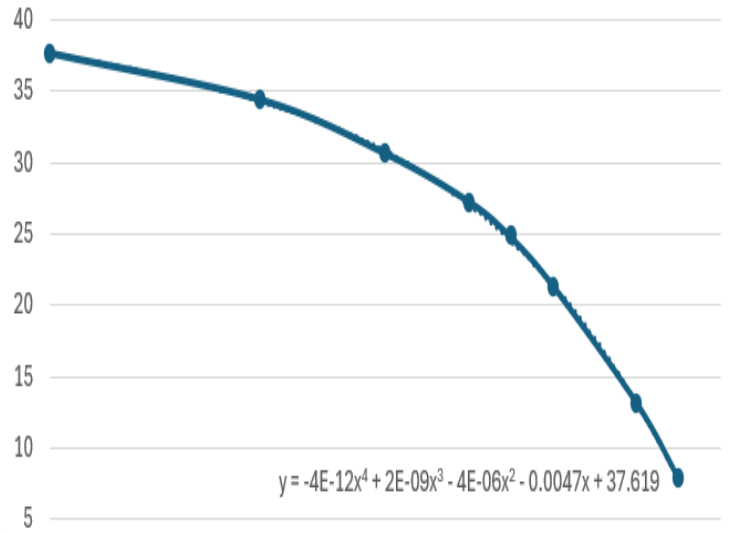
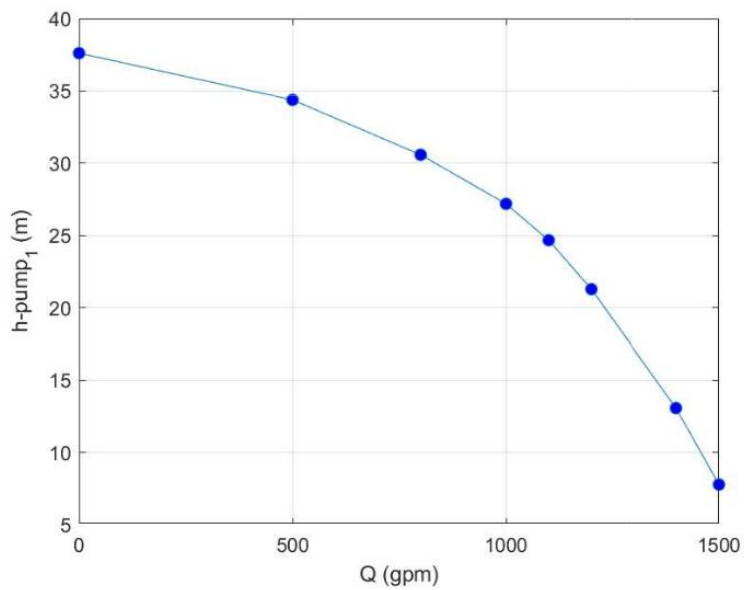
figure;
plot(Q_1, n_total_1*100, 'o-', 'MarkerFaceColor','b');
xlabel('Q (gpm)');
ylabel('total efficiency_1 (percent)');
grid on;

figure;
plot(Q_1, Ns_1, 'o-', 'MarkerFaceColor','b');
xlabel('Q (gpm)');
ylabel('specific speed_1');
grid on;

```

پس از اجرای کد بالا، نمودارهای زیر به عنوان خروجی از MATLAB بدست می آیند. همچنین در کنار هر نمودار، چندجمله ای برازش شده آن (درجه 4) با استفاده از نرم افزار Excel آمده است:





2.3 به دست آوردن پارامترها و نمودارهای مورد نظر و تحلیل آنها – دیتاست دوم: مجهولات در $Q=197\text{L/min}$

در این بخش با توجه به سیستم جریان پمپ سانتریفیوژ که برای آزمایش یک پمپ سانتریفیوژ با یک سرعت اسمی مشخص مورد استفاده قرار میگیرد، دو سری دیتای مختلف در اختیار داریم که با استفاده از آن ها باید خواسته های مورد نظر را به دست آوریم.

❖ دیتاست دوم:

- سرعت اسمی: ۱۱۰۰ دور بر دقیقه
- دمای آب: ۲۵ درجه سلسیوس
- قطر لوله های مکش و تخلیه: ۱۵ سانتی متر
- بر خلاف دیتاست اول، از اختلاف ارتفاع صرف نظر کنید.
- دیتاهای اندازه گیری شده به صورت زیر است: (دقت کنید در این قسمت به جای مقدار جریان موتور الکتریکی، مقدار توان گزارش شده است و نیازی به محاسبه مجدد آن نیست. همچنین دقت کنید که باید توان مکانیکی را نیز در این قسمت طبق خواسته مسئله در پایین محاسبه کنید).

Torque (N.m)	Flow rate (L/min)	Suction pressure (bar)	Discharge pressure (bar)	Motor Power (kW)
2.1	254	-0.08	0.06	0.52
2	228	-0.07	0.11	0.5
1.9	197	-0.05	0.18	0.48
1.7	163	-0.04	0.25	0.46
1.8	177	-0.05	0.21	0.47
1.7	155	-0.04	0.25	0.45
1.5	127	-0.03	0.29	0.42
1.5	129	-0.03	0.29	0.42
1.4	99	-0.02	0.32	0.4
1.2	75	-0.02	0.34	0.38
1.1	50	-0.02	0.35	0.36
1	27	-0.01	0.36	0.33
0.9	2	-0.01	0.36	0.31

Dataset 2:

$$h_{\text{pump}} = \frac{(P_2 - P_1)}{\rho g} + \frac{\alpha (v_2^2 - v_1^2)}{2g} + (z_2 - z_1)$$

$$P_1 = -0.05 \text{ bar} = -0.05 \times 10^5 = -5000 \text{ Pa}$$

$$P_2 = 0.18 \text{ bar} = 0.18 \times 10^5 = 18000 \text{ Pa}$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$\Rightarrow h_{\text{pump}} = \frac{18000 - (-5000)}{1000 \times 9.81} = \boxed{2.3445 \text{ m}}$$

$$P_{\text{Hydro}} = \rho g Q h_{\text{pump}}$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$Q = 197 \text{ L/min} = 197 \times 10^{-3} \times \frac{1}{60} = 0.00328 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$h_{\text{pump}} = 2.3445 \text{ m}$$

$$\Rightarrow P_{\text{Hydro}} = 1000 \times 9.81 \times 0.00328 \times 2.3445 = \boxed{75.44 \text{ W}}$$

$$\eta_{\text{Hydro}} = \frac{P_{\text{Hydro}}}{P_{\text{Mechanical}}}$$

$$P_{\text{Mechanical}} = T \cdot \omega$$

$$T = 1.9 \text{ N.m}$$

$$\omega = 1100 \text{ rpm} = 1100 \times \frac{2\pi}{60} = 115.192 \text{ rad/s}$$

$$\Rightarrow \eta_{\text{Hydro}} = \frac{75.44}{1.9 \times 115.192} = 0.3446 = \boxed{34.46 \%}$$

$$\eta_{\text{total}} = \frac{P_{\text{Hydro}}}{P_{\text{in}}}$$

$$P_{\text{in}} = 0.48 \text{ kW} = 0.48 \times 10^3 = 480 \text{ W}$$

$$P_{\text{Hydro}} = 75.44 \text{ W}$$

$$\Rightarrow \eta_{\text{total}} = \frac{75.44}{480} = 0.1571 = \boxed{15.71 \%}$$

هد پمپ = 2.3445 m

توان هیدرولیکی = 75.44 W

بازده هیدرولیکی = 34.46 %

بازده کلی پمپ = 15.71 %

2.2 به دست آوردن پارامترها و نمودارهای مورد نظر و تحلیل آنها – دیتاست دوم: نمودارها

در این قسمت قصد داریم با توجه به داده های درون جدول و به کمک نرم افزار *MATLAB* نمودارهای خواسته شده (نمودارهای هد پمپ، توان هیدرولیکی، توان مکانیکی، سرعت مخصوص، بازده هیدرولیکی، بازده کلی پمپ) را بر حسب دبی حجمی رسم کرده و به کمک نرم افزار *Excel* یک رابطه چندجمله ای روی منحنی های به دست آمده برازش کنیم. در اینجا تاثیر دما بر چگالی بسیار ناچیز است بنابراین چگالی آب را در هر دو دیتاست برابر 1000 در نظر میگیریم.

الگوریتم مورد استفاده در کد متلب به شرح زیر است (اعدادی که در مقادیر اولیه ضرب شده اند جهت تبدیل یکا به S/ هستند):

```
%dataset 2
N_2 = 1100;
T_2 = [2.1, 2, 1.9, 1.7, 1.8, 1.7, 1.5, 1.5, 1.4, 1.2, 1.1, 1, 0.9];
Q_2= [254, 228, 197, 163, 177, 155, 127, 129, 99, 75, 50, 27, 2];
P1_2= [-0.08, -0.07, -0.05, -0.04, -0.05, -0.04, -0.03, -0.03, -0.02, -0.02, -0.02, -0.01, -0.01];
P2_2= [0.06, 0.11, 0.18, 0.25, 0.21, 0.25, 0.29, 0.29, 0.32, 0.34, 0.35, 0.36, 0.36];
P_motor= [0.52, 0.5, 0.48, 0.46, 0.47, 0.45, 0.42, 0.42, 0.4, 0.38, 0.36, 0.33, 0.31];
Q2_si= Q_2*(0.001/60);
P1_2_si= P1_2*100000;
P2_2_si = P2_2*100000;
P_motor_si = P_motor*1000;

h_pump_2 = ((P2_2_si - P1_2_si))./(density*g);
P_hydro_2 = density.*g .*Q2_si.*h_pump_2;
w_2 = N_2*2*pi/60;
P_mechanical_2 = T_2.*w_2;
n_total_2 = ((P_hydro_2)./(P_motor_si))*100;
n_hydro_2 = ((P_hydro_2)./(P_mechanical_2))*100;
Ns_2 = ((N_2).*sqrt(Q2_si))./(h_pump_2.^(3/4));
```



```
figure;  
plot(Q_2, h_pump_2, 'o-', 'MarkerFaceColor','b');  
xlabel('Q (L/min)');  
ylabel('h-pump_2 (m)');  
grid on;
```

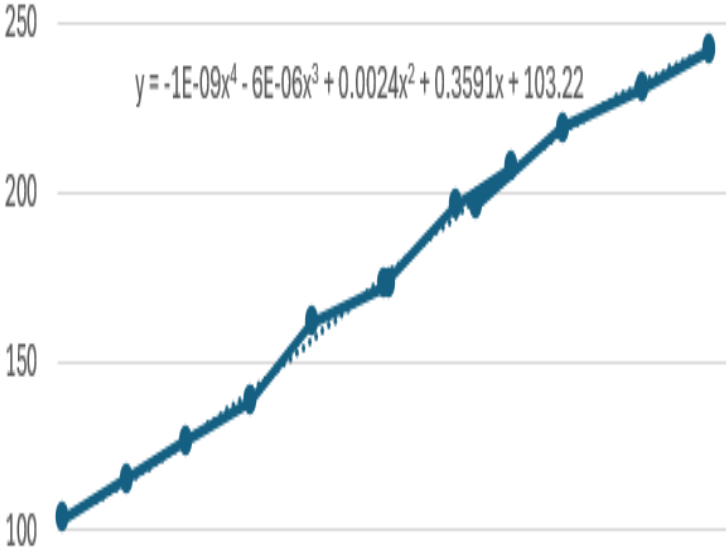
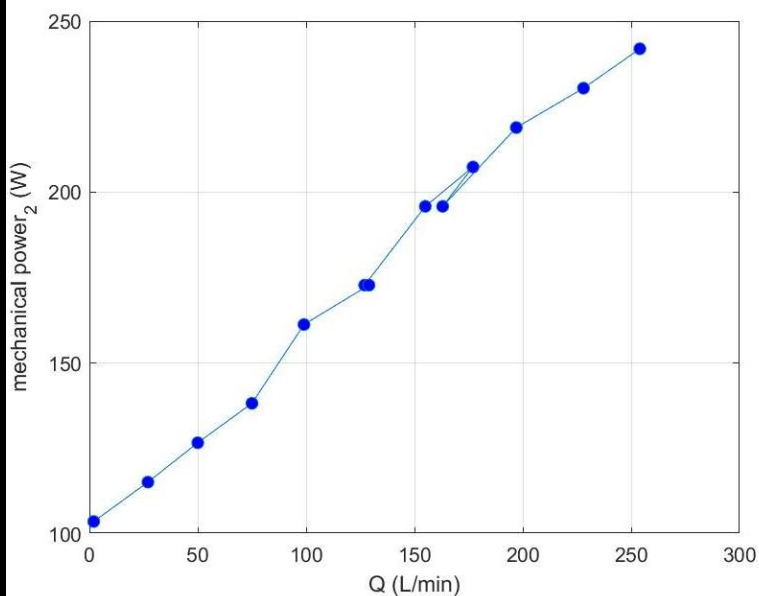
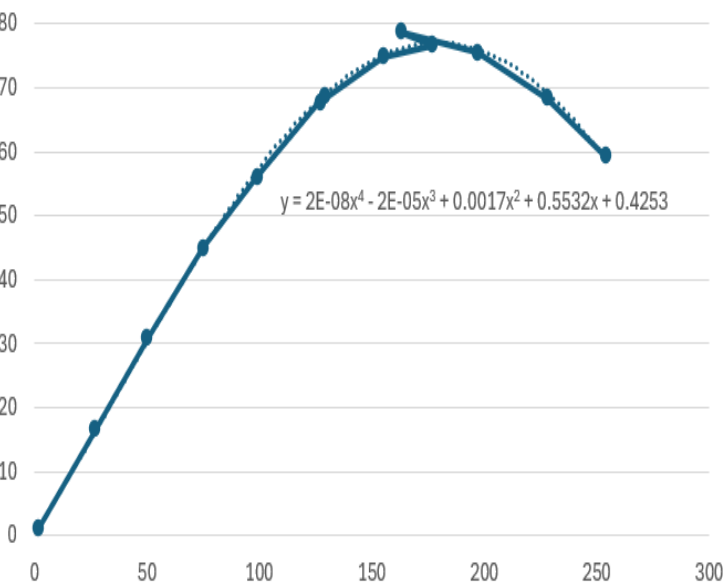
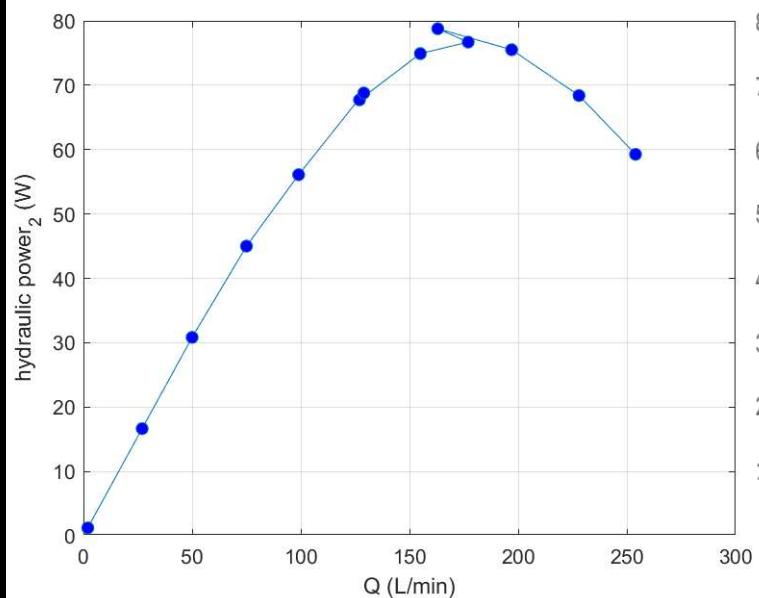
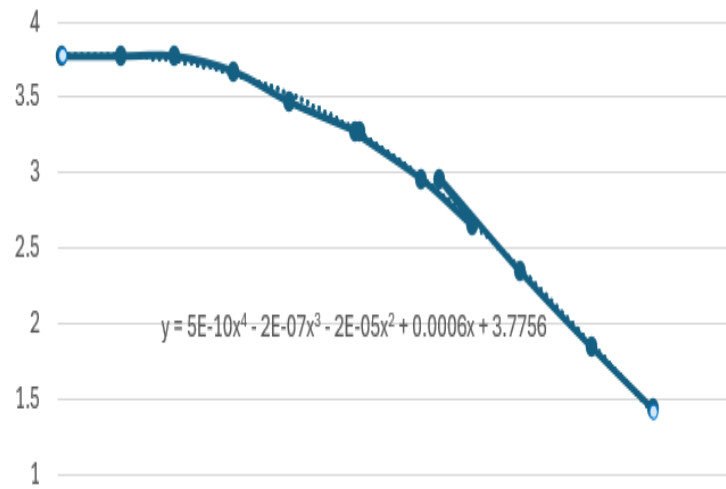
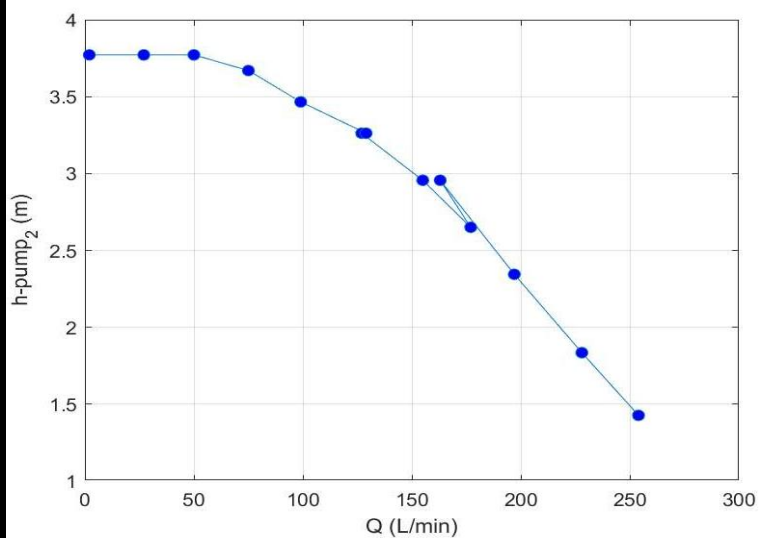
```
figure;  
plot(Q_2, P_hydro_2, 'o-', 'MarkerFaceColor','b');  
xlabel('Q (L/min)');  
ylabel('hydraulic power_2 (W)');  
grid on;
```

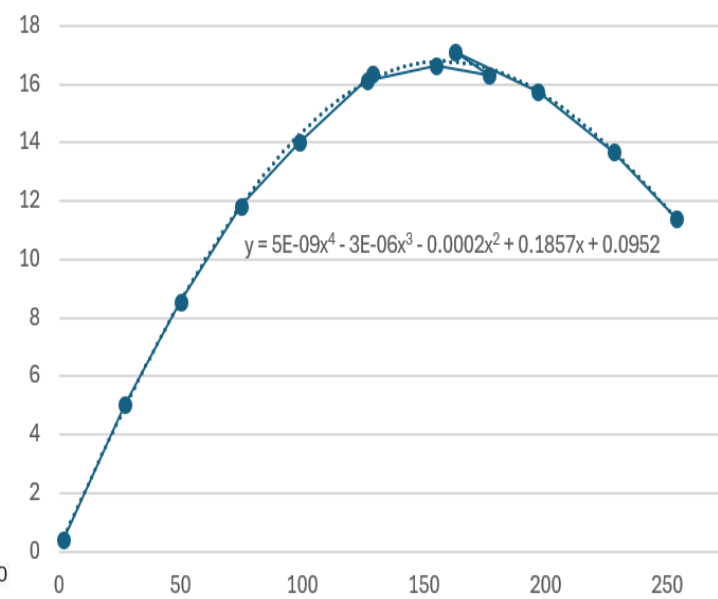
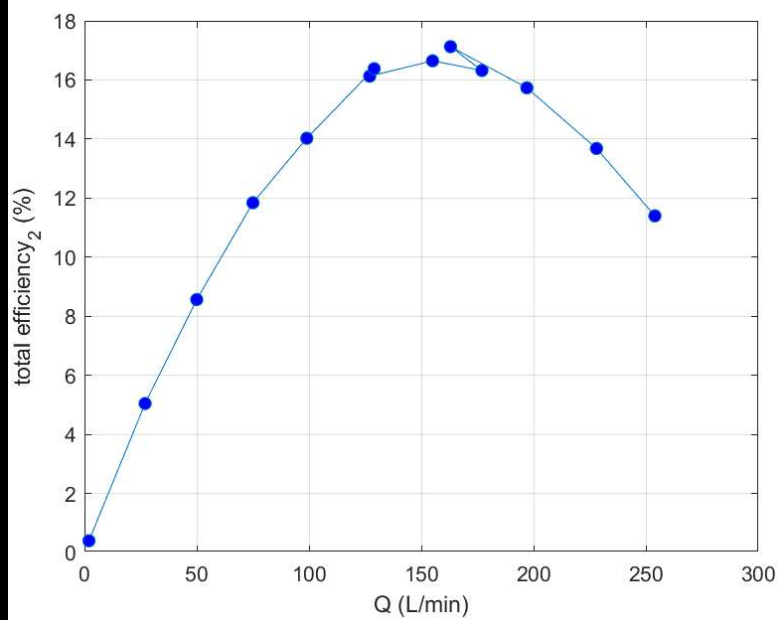
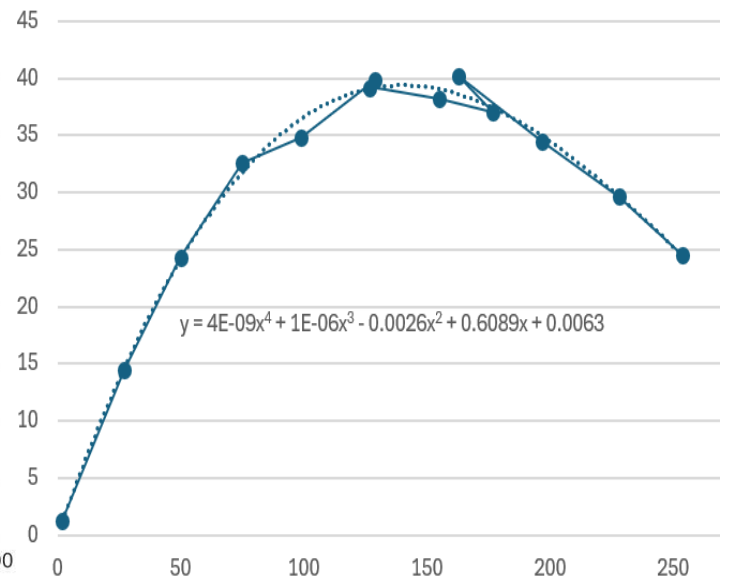
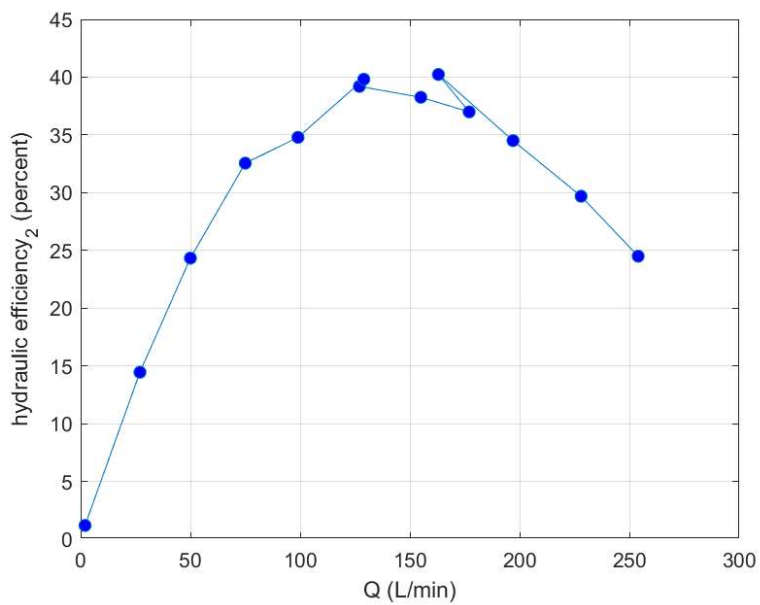
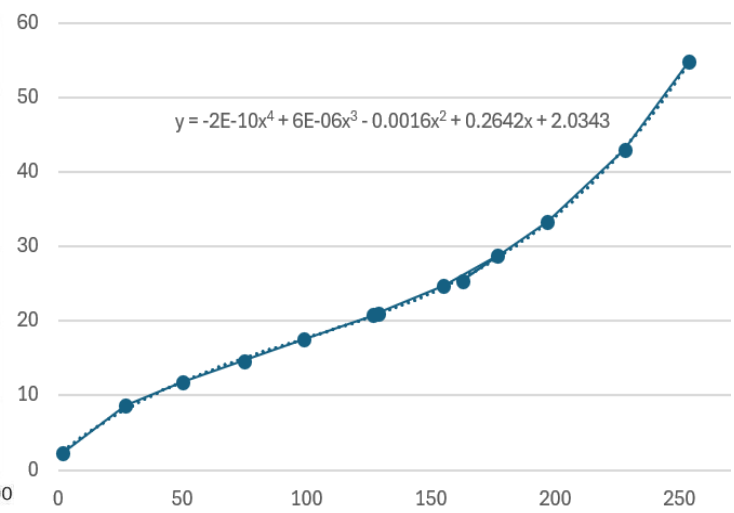
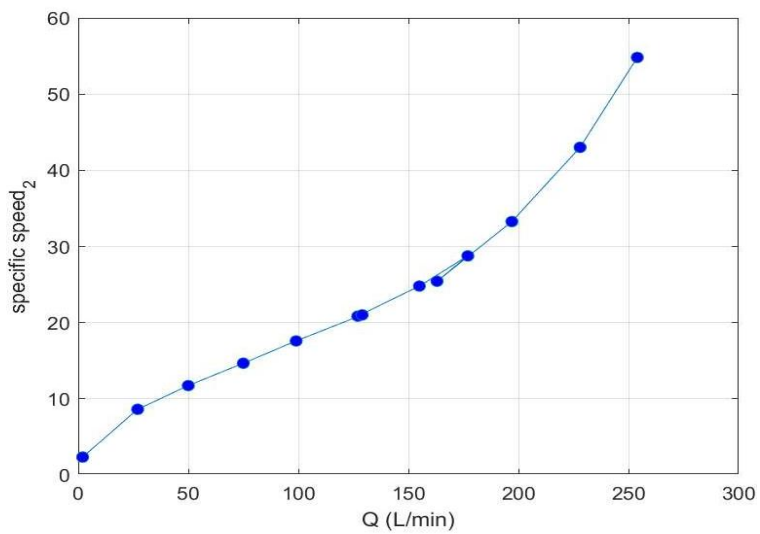
```
figure;  
plot(Q_2, n_total_2, 'o-', 'MarkerFaceColor','b');  
xlabel('Q (L/min)');  
ylabel('total efficiency_2 (%)');  
grid on;
```

```
figure;  
plot(Q_2, n_hydro_2, 'o-', 'MarkerFaceColor','b');  
xlabel('Q (L/min)');  
ylabel('hydraulic efficiency_2 (percent)');  
grid on;
```

```
figure;  
plot(Q_2, P_mechanical_2, 'o-', 'MarkerFaceColor','b');  
xlabel('Q (L/min)');  
ylabel('mechanical power_2 (W)');  
grid on;
```

```
figure;  
plot(Q_2, Ns_2, 'o-', 'MarkerFaceColor','b');  
xlabel('Q (L/min)');  
ylabel('specific speed_2');  
grid on;
```





2.3 انتخاب پمپ مناسب و پارامترهای آن با استفاده از MATLAB

در این بخش قصد داریم با استفاده از نرم افزار MATLAB و با توجه به نمودارهای داخل کاتالوگ پمپ مناسب (2900 rpm) را انتخاب کرده و با در نظر نگرفتن نمودارهای آن پارامترهای خواسته شده زیر را بدست آوریم:

ب) انتخاب پمپ مناسب با استفاده از کدنویسی:

در این بخش هدف نوشتن یک کد ساده به زبان متلب یا پایتون است که بتواند بر اساس شرایط عملکردی مشخص شده توسط کاربر، پمپ مناسب را از میان پمپ‌های گریز از مرکز شرکت پمپیران پیشنهاد دهد. ورودی‌ها و خروجی‌ها به شرح زیر هستند:

▪ مشخصات ورودی:

- دبی حجمی: به متر مکعب بر ساعت (m^3/h)
- هد مورد نیاز: به متر (m)

▪ مشخصات خروجی:

- مدل پمپ مناسب (از خانواده‌های موجود در نمودار صفحه ۵ کاتالوگ، فقط برای دور موتور ۲۹۰۰ دور بر دقیقه)
- قطر پروانه
- بازده پمپ در نقطه کاری
- توان الکتریکی مورد نیاز موتور

▪ شرایط محدودکننده (در صورت توسعه برنامه برای دبی و هد بالاتر، امتیاز اضافه در نظر گرفته خواهد شد):

- مقدار دبی کمتر از ۴۰ متر مکعب بر ساعت
- مقدار هد کمتر از ۴۰ متر

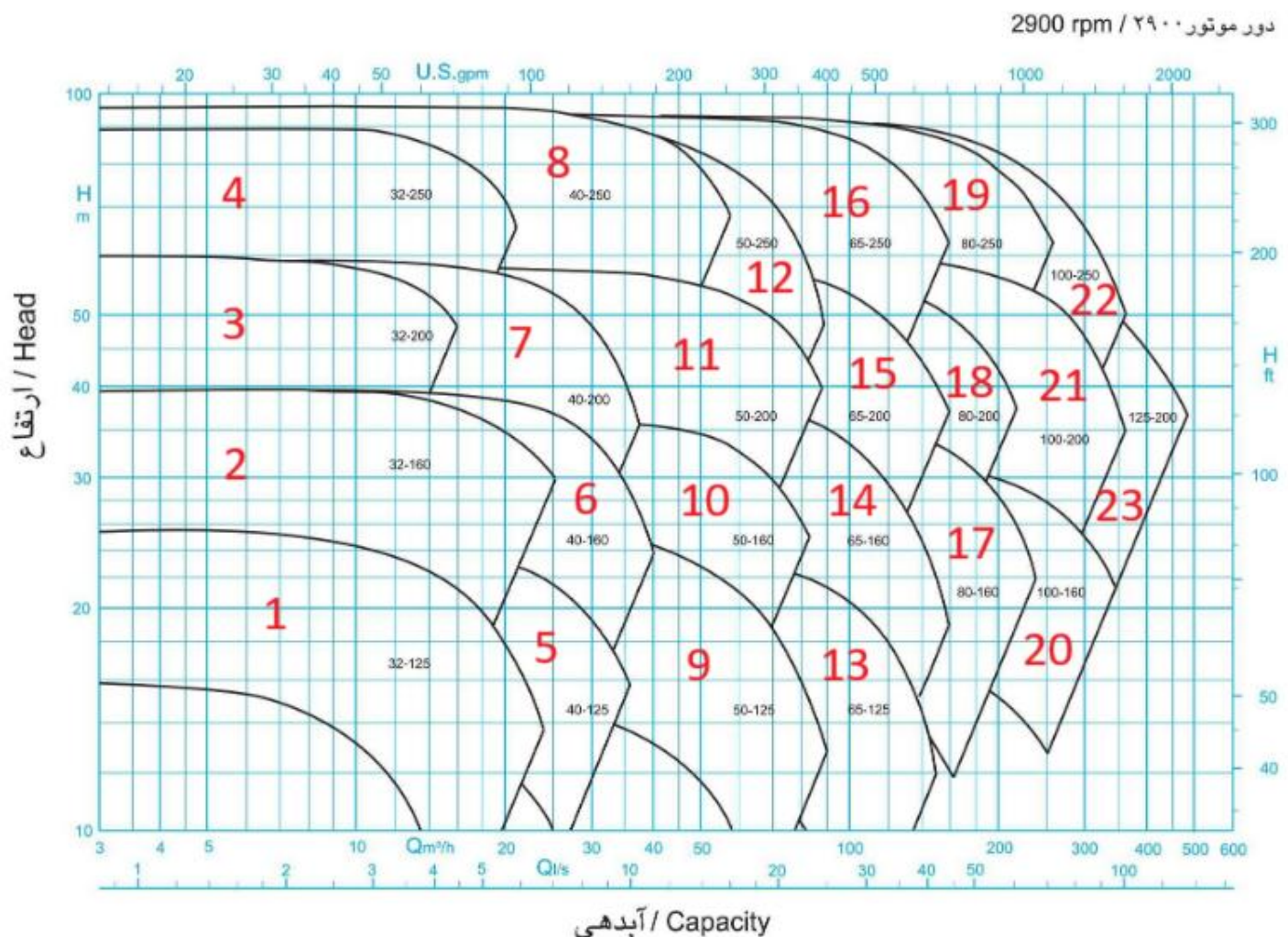
نکات مهم در نوشتن کد:

داده‌های مربوط به منحنی خانواده پمپ‌ها (منحنی همپوشانی) و نمودارهای هد-جریان (براساس قطر پروانه)، بازده و توان، باید با استفاده از نرم‌افزار دیجیتایزر از نمودارهای کاتالوگ استخراج شده و به صورت فایل داده یا ماتریس در برنامه استفاده شوند. برای بدست آوردن بازده، از میان‌یابی بین نقاط استخراج شده از منحنی‌های بازده ثابت استفاده کنید.

لینک گیت‌هاب کد های متلب مربوطه در انتهای گزارش در بخش منابع قرار گرفته است. با توجه به طولانی بودن کد ها (بیش از 1400 خط) برخلاف بخش قبلی متن کد ها را در این صفحات آورده نشده است؛ اما با توجه به اهمیت آنها و جهت درک بهتر الگوریتم، در ادامه برای هر بخش کد توضیحاتی (به صورت کلی؛ جزئیات نیاز به ارائه شفاهی دارد) داده خواهد شد.

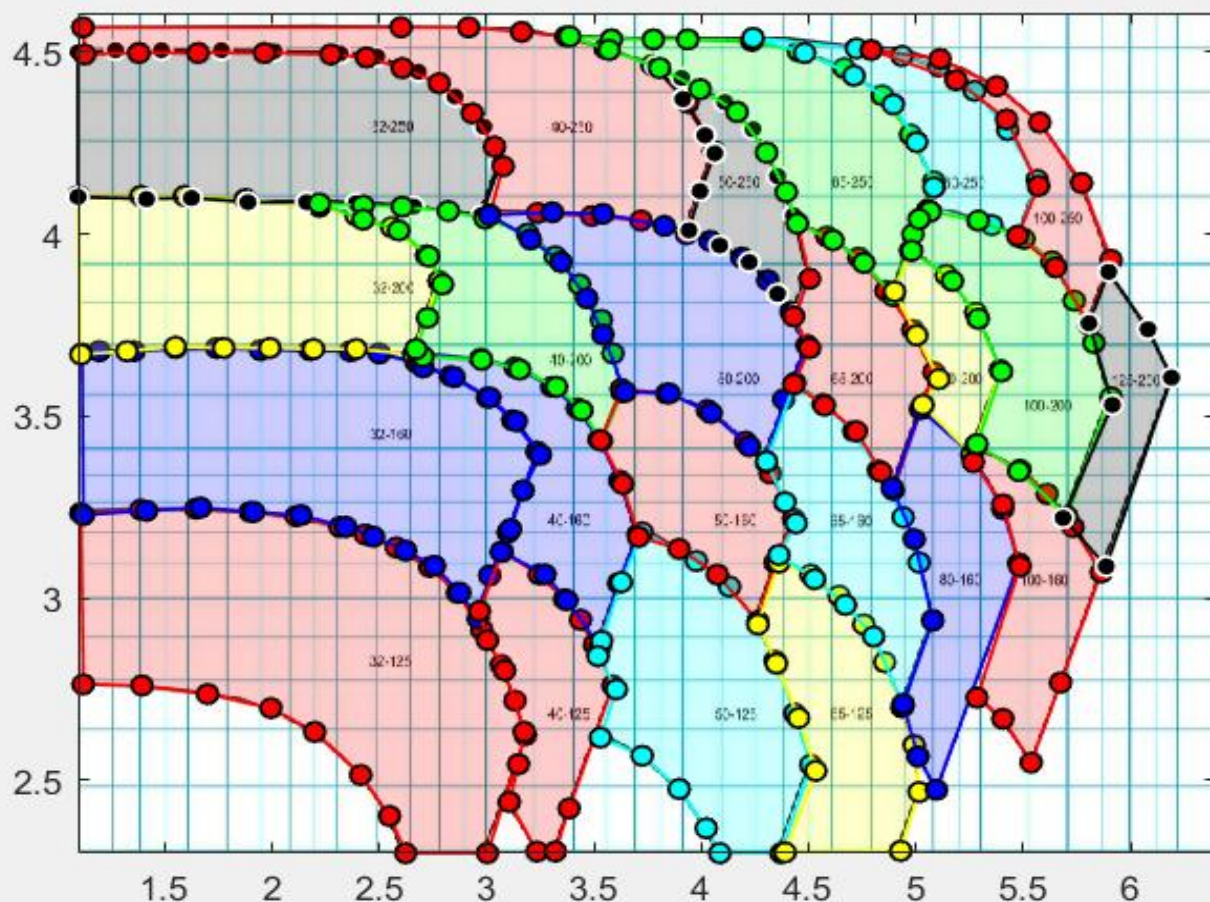
پارت اول: انتخاب نوع پمپ از روی نمودار

در اولین مرحله از ما خواسته شده است تا از روی نمودار دبی-ارتفاع زیر و با توجه به ورودی هایی که از کاربر گرفته می شود نوع پمپ را مشخص



کنیم. ابتدا ناحیه ها را شماره گذاری میکنیم؛ اینکار برای این است که در ادامه بتوانیم ناحیه ها را به ترتیب دیجیتایز کنیم.

برای دیجیتایز کردن نمودار، از الگوریتمی در متلب استفاده میکنیم که بر پایه **drawpolygon** است. روند کار به این صورت است که ابتدا تصویر نمودار را در متلب باز کرده و مقادیر محور های x و y را مشخص میکنیم (دقت شود که مقادیر موجود در شکل صفحه قبل لگاریتمی هستند به همین دلیل از x و y لگاریتم گرفته می شود). به صورت دستی دور هر ناحیه نقطه هایی را به هم وصل میکنیم تا برای هر ناحیه یک *polygon* و یا *region* ایجاد شود؛ سپس به ناحیه های ایجاد شده مختصات (*position*) می دهیم و داده های بدست آمده را در فایل **"models.mat"** ذخیره میکنیم. در ادامه برای تعیین نوع پمپ این فایل را لود خواهیم کرد. بدین ترتیب نمودار دبی-ارتفاع دیجیتایز می شود و تنها کاری که در مرحله بعد باید انجام دهیم گرفتن ورودی Q و H و مشخص کردن ناحیه آن در نمودار است. در مرحله بعدی با دو حلقه *for* و *if* می توان به راحتی مدل پمپ را مشخص کرد.



پارت دوم: تعیین قطر پروانه، بازده و توان

در این مرحله پس از مشخص شدن نوع پمپ میتوانیم با استفاده از نمودار مخصوص هر پمپ قطر پروانه آن را بدست آوریم. دقت شود که در صفحه 3 کاتالوگ اشاره شده است که با مشخص شدن نقطه روی نمودار، قطر ایده آل پروانه قطر مربوط به منحنی بالای نقطه خواهد بود. ما در اینجا برای دقت بالاتر هم قطر ایده آل پروانه (*Parvaneh_diameter_up*) و هم قطر میانبایی شده (*Parvaneh_diameter_mianyabi*) را بدست می آوریم. قبل از اینکار نیاز به دیجیتایز کردن نمودار مانند بخش قبل داریم؛ با این تفاوت که این بار داده های مورد نظر ما به صورت ناحیه ای نیستند بلکه بر روی خطوط منحنی قرار دارند. از این جهت در اینجا به جای *drawpolygon* از دستور ***drawpolyline*** استفاده خواهیم کرد. روند کار مانند بخش قبل است؛ تصویر نمودار را بارگذاری کرده، محورهای x و y را مشخص و روی خطوط مورد نظر نقطه هایی را به هم وصل میکنیم. داده های x و y بدست آمده را در فایل "*mat*" ذخیره میکنیم. توجه شود که در اینجا برای هر نمودار به دو فرآیند دیجیتایز جدا نیاز داریم: یک بار برای خطوط قطر و یک بار هم برای خطوط بازده. به عنوان مثال داده های دیجیتایز شده پمپ 40-250 یک بار برای خطوط قطر تحت عنوان "*40_250d.mat*" و یک بار هم برای خطوط بازده تحت عنوان "*40_250n.mat*" ذخیره می شود. همین روند برای نمودار توان نیز اجرا می شود و فایل "*40_250p.mat*" ایجاد می شود. در ادامه برای تعیین هر کدام از این پارامترها فایل مربوط به خودشان به صورت جداگانه لود می شود.

پس از فرآیند دیجیتایز کردن نمودارها، ابتدا با چند *if* و *elseif* مدل های مختلف را جدا میکنیم. در اینجا الگوریتم یک مدل توضیح داده می شود و این الگوریتم به بقیه مدل ها نیز تعمیم داده می شود. به عنوان مثال فرض کنید میخواهیم قطر پروانه پمپ 32-125 را با توجه به دبی و ارتفاع ورودی بدست آوریم. ابتدا تمام دبی ها و ارتفاع های دیجیتایز شده از روی خطوط قطر در نمودار را داخل یک ماتریس میریزیم (دقت شود که مقادیر x همان مقادیر دبی و مقادیر y همان مقادیر هد پمپ هستند و از آنجایی که اندازه ماتریسشان در فرآیند دیجیتایز با هم برابر نیست، بین آنها ";" تا به اصطلاح بر روی هم انباشه شوند).

سپس برای هر خط قطر یک متغیر تعریف کرده و آن را به صورت یک ماتریس (که تمام آرایه هایش همان مقدار قطر است) مینویسیم. تمام این متغیر ها را در یک ماتریس (d_all) قرار می دهیم. بدین ترتیب سه ماتریس Q_all و H_all و d_all بدست می آید. با داشتن این ماتریس ها و ورودی های دبی و ارتفاع (y و x) و با استفاده از دستور **griddata** مقدار قطر پروانه به صورت خطی میانبایی می شود.

اما طبق کاتالوگ، خواسته ما قطر بالاتر است. برای بدست آوردن آن ابتدا از دستور **griddata** و با متود “nearest” نزدیک ترین منحنی قطر به نقطه مورد نظر را بدست می آوریم. دو حالت وجود دارد: یا این منحنی همان منحنی بالایی است؛ و یا منحنی پایینی است که در این حالت با الگوریتمی که در زیر مشاهده میکنید می توان منحنی بالایی را بدست آورد. توجه شود عددی که به منحنی پایینی اضافه می شود وابسته به نمودار خاص است و این اعداد برای پمپ های دیگر متفاوت است.

```
if isinterior(regions(1).Shape, log(x), log(y))
    load('32_125d.mat');
    Q_all = [xa; xb; xc; xd; xe; xf];
    H_all = [ya; yb; yc; yd; ye; yf];
    d110 = 110*ones(size(xa));
    d115 = 115*ones(size(xb));
    d120 = 120*ones(size(xc));
    d125 = 125*ones(size(xd));
    d130 = 130*ones(size(xe));
    d139 = 139*ones(size(xf));
    d_all = [d110; d115; d120; d125; d130; d139];
    Parvaneh_diameter_mianyabi = griddata(Q_all, H_all, d_all, x, y, 'linear');
    Parvaneh_diameter_up = griddata(Q_all, H_all, d_all, x, y, 'nearest');
    if Parvaneh_diameter_up < Parvaneh_diameter_mianyabi
        if Parvaneh_diameter_up == 130
            Parvaneh_diameter_up = Parvaneh_diameter_up + 9;
        else
            Parvaneh_diameter_up = Parvaneh_diameter_up + 5;
        end
    end
end
```


در مرحله بعد مقدار بازده را میانبایی میکنیم. برای اینکار پس از لود کردن فایل "32_125n.mat" مشابه همان روند بخش قبلی را تکرار میکنیم. تمام دبی ها و ارتفاع های دیجیتایز شده از روی منحنی های بازده در نمودار را داخل یک ماتریس میریزیم؛ سپس برای هر خط بازده یک متغیر تعریف کرده و آن را به صورت یک ماتریس (که تمام آرایه هایش همان مقدار قطر است) مینویسیم. تمام این متغیر ها را در یک ماتریس (n_all) قرار می دهیم. بدین ترتیب سه ماتریس Q_all و H_all و n_all بدست می آید. با داشتن این ماتریس ها و ورودی های دبی و ارتفاع (x و y) و با استفاده از دستور **griddata** مقدار بازده به صورت خطی میانبایی می شود.

```
load('32_125n.mat');
Q_all = [xa; xb; xc; xd; xe; xf; xg; xh; xi1; xj];
H_all = [ya; yb; yc; yd; ye; yf; yg; yh; yi1; yj];
n50 = 50*ones(size([xa; xb]));
n55 = 55*ones(size([xc; xd]));
n59 = 59*ones(size([xe; xf]));
n60 = 60*ones(size(xg));
n62 = 62*ones(size(xh));
n63 = 63*ones(size(xi1));
n63_5 = 63.5*ones(size(xj));
n_all = [n50; n55; n59; n60; n62; n63; n63_5];
efficiency = griddata(Q_all, H_all, n_all, x, y, 'linear');
```

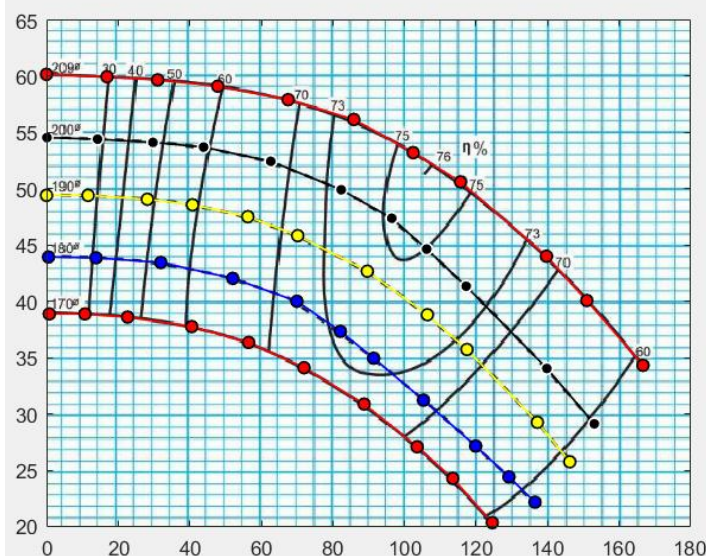
برای توان باید تقاطع x و منحنی قطر را پیدا کنیم. برای اینکار (پس از لود کردن فایل "32_125p.mat") از دستور *interp1* استفاده میکنیم. دقت شود که برای هر منحنی قطر دیجیتایز شده یک *if* (یا *elseif*) جدا داریم.

```
load('32_125p.mat');
if Parvaneh_diameter_up == 110
    p = interp1(xa, ya, x, 'linear', 'extrap');
elseif Parvaneh_diameter_up == 115
    p = interp1(xb, yb, x, 'linear', 'extrap');
elseif Parvaneh_diameter_up == 120
    p = interp1(xc, yc, x, 'linear', 'extrap');
elseif Parvaneh_diameter_up == 125
    p = interp1(xd, yd, x, 'linear', 'extrap');
elseif Parvaneh_diameter_up == 130
    p = interp1(xe, ye, x, 'linear', 'extrap');
elseif Parvaneh_diameter_up == 139
    p = interp1(xf, yf, x, 'linear', 'extrap');
end
```

برای هر یک از دستورات یک 'extrap' استفاده شده است؛ دلیل آن این است که اگر مقدار دبی تقاطعی با منحنی قطر نداشت، تقاطع با امتداد آن حساب شود.

با تکرار این الگوریتم برای پمپ های دیگر، میتوان پس از مشخص شدن نوع پمپ از ورودی های دبی و ارتفاع مقادیر قطر ایده آل پروانه، قطر میانبایی شده پروانه، بازده و توان را با درصد خطای کمی بدست آورد (درصد خطای کمی بدلیل دستی بودن فرآیند دیجیتایز و همچنین متود خطی میانبایی ممکن است به وجود بیاید). پس از بدست آمدن مقادیر با چند دستور ساده *disp* میتوان پاسخ ها را به نمایش گذاشت. دلیل وجود *"if flag == 1"* این است که اگر مقادیر ورودی دبی و ارتفاع شامل هیچ ناحیه ای از پمپ ها نشود (یعنی *flag = 0*) در آن صورت دستور *disp* خطا می دهد زیرا هیچ مقداری محاسبه نشده است. برای جلوگیری از این خطا، اجرای دستورات *disp* را تنها به زمانی مشروط میکنیم که پمپی با این مشخصات وجود داشته باشد.

```
if flag == 1
    disp(['Ideal Parvaneh diameter (up) [mm]: ', num2str(Parvaneh_diameter_up)]);
    disp(['Parvaneh diameter (mianyabi) [mm]: ', num2str(Parvaneh_diameter_mianyabi)]);
    disp(['Efficiency [percent]: ', num2str(efficiency)]);
    disp(['Required power [kW]: ', num2str(p)]);
end
```

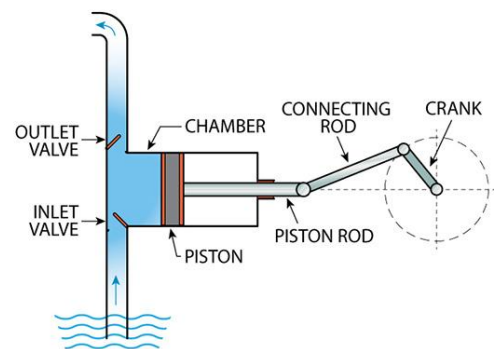


3.1 انواع دیگر پمپ ها

در این پروژه تا به اینجا، بحث در مورد پمپ های گریز از مرکز (سانتریفیوژ) بود. این نوع پمپ یکی از رایج ترین انواع پمپ ها است که برای انتقال سیالات با دبی بالا و فشار نسبتاً کم مورد استفاده قرار می گیرد. در این نوع پمپ، سیال با کمک نیروی گریز از مرکز ایجاد شده توسط چرخش پروانه، به سمت خروجی رانده می شود. این پمپ ها معمولاً در سیستم های آبرسانی شهری، نیروگاه ها، سیستم های تهویه مطبوع و تأسیسات صنعتی استفاده می شوند. در ادامه چهار نوع پمپ دیگر به اختصار معرفی می شوند.

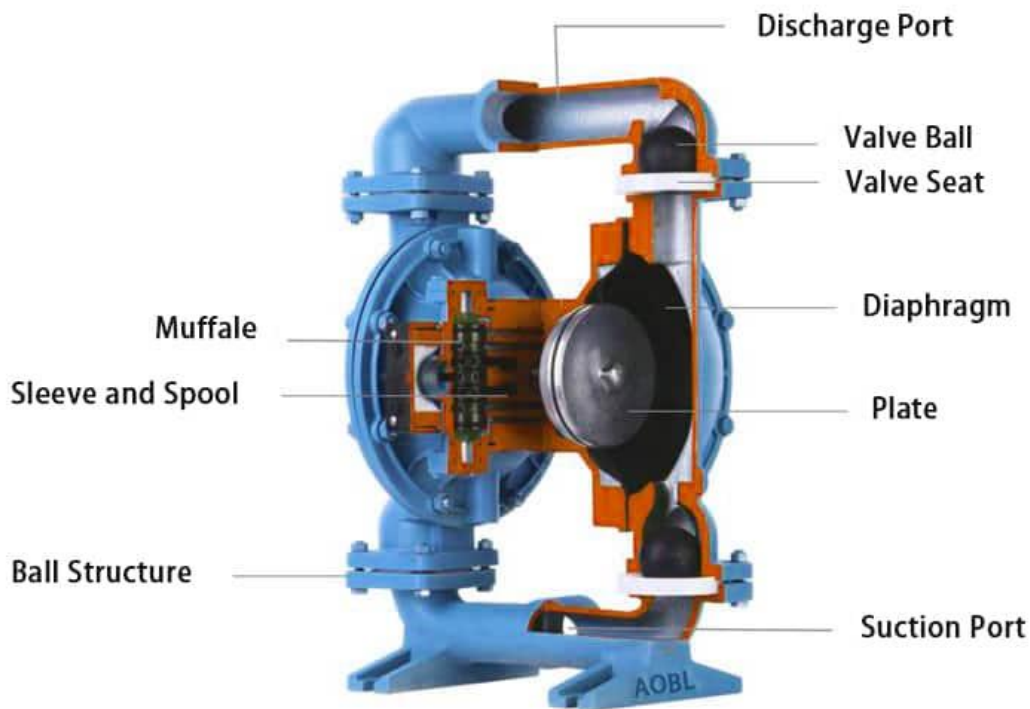
پمپ جابجایی مثبت پیستونی (Reciprocating Piston Pump)

پمپ پیستونی از نوع جابجایی مثبت است که با حرکت رفت و برگشتی یک پیستون درون سیلندر، سیال را مکش و سپس تخلیه می کند. این پمپ ها توانایی ایجاد فشارهای بسیار بالا را دارند و برای دبی های پایین مناسب اند. از آن ها معمولاً در صنایع نفت و گاز، سیستم های هیدرولیکی و تزریق دقیق سیالات استفاده می شود.



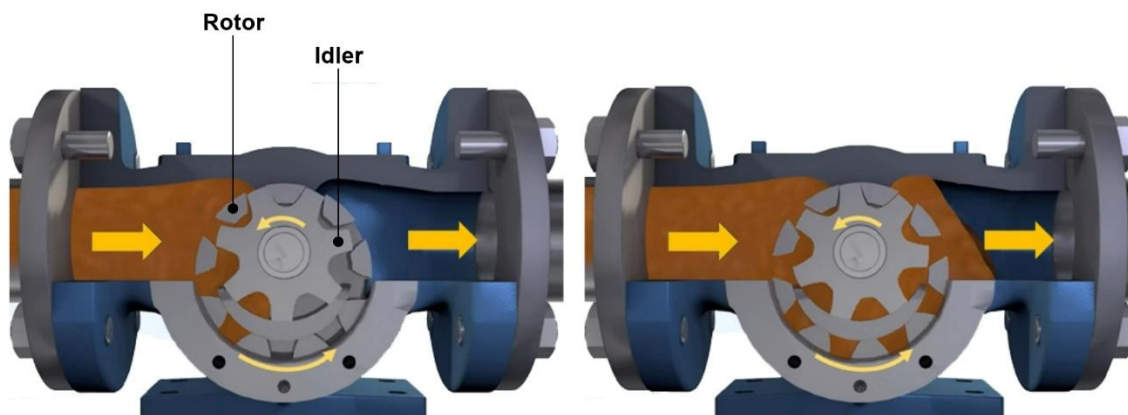
پمپ دیافراگمی (Diaphragm Pump)

در پمپ دیافراگمی، یک دیافراگم انعطاف پذیر به وسیله فشار هوا یا حرکت مکانیکی، به صورت رفت و برگشتی حرکت کرده و سیال را جابجا می کند. دیافراگم به عقب کشیده می شود، فشار داخل محفظه کاهش می یابد، و در نتیجه سیال از طریق شیر ورودی وارد محفظه پمپ می شود. دیافراگم به جلو حرکت می کند و با افزایش فشار، سیال را از طریق شیر خروجی به بیرون می فرستد. این پمپ ها توانایی پمپاژ سیالات خوردنده، سمی یا حاوی ذرات جامد را دارند. به همین دلیل در صنایع شیمیایی، تصفیه فاضلاب، داروسازی و صنایع غذایی بسیار پرکاربرد هستند.



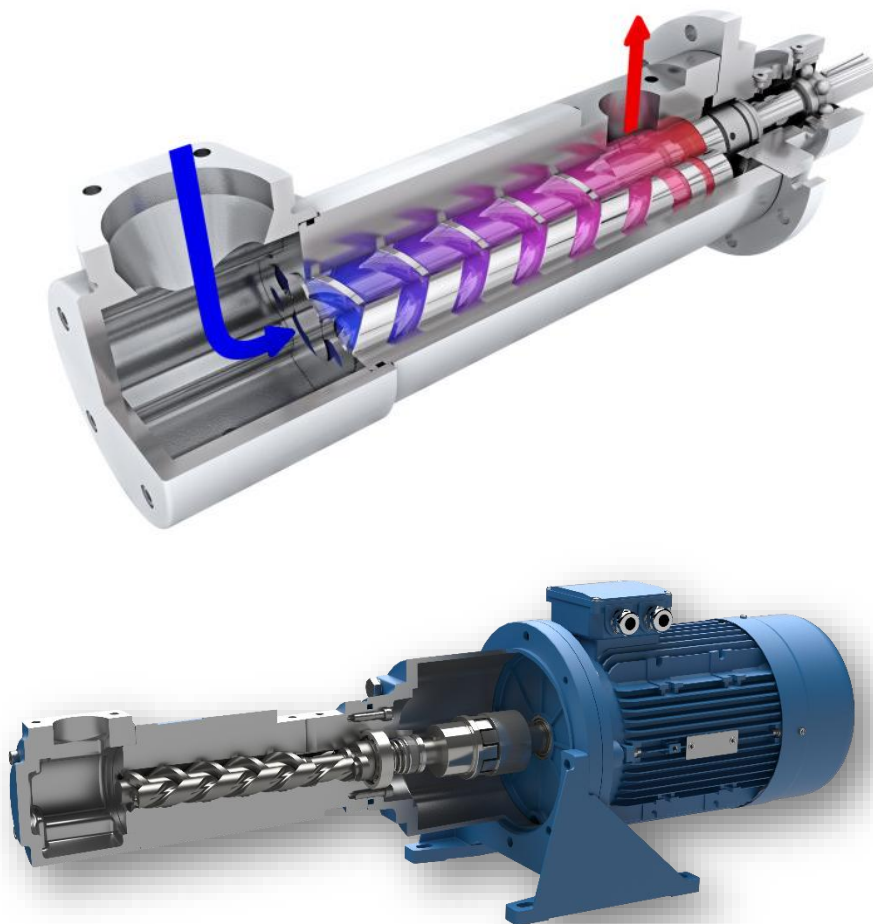
پمپ دنده ای (Gear Pump)

پمپ دنده ای با چرخش دو چرخ دنده درگیر با یکدیگر، سیال را از ورودی به خروجی منتقل می کند. این پمپ ها نیز از نوع جابجایی مثبت هستند و برای پمپاژ سیالات ویسکوز (مانند روغن) بسیار مناسب اند. این پمپ از دو چرخ دنده تشکیل شده است (یکی محرک و دیگری متحرک) که داخل محفظه ای چرخیده و سیال را از فضای بین دندانه ها و دیواره به جلو حرکت می دهند. معمولا اندازه کوچک و طراحی ساده ای دارند. با چرخش چرخ دنده ها، سیال از ورودی به خروجی منتقل شده و فشار ایجاد می شود. در صنایع پتروشیمی، روان کاری ماشین آلات، و سیستم های سوخت رسانی کاربرد گسترده ای دارند.



پمپ مارپیچی (Screw Pump)

پمپ مارپیچی از نوع پمپ های جابجایی مثبت است که از یک یا چند پیچ برای انتقال سیال استفاده می کند. با چرخش پیچ ها، سیال به صورت پیوسته و یکنواخت از ورودی به خروجی هدایت می شود، بدون ایجاد پالس های فشار زیاد. پمپ های مارپیچی معمولاً به دو دسته تقسیم می شوند؛ تک مارپیچ و چندمارپیچ. یکی از مزایای آنها عملکردی بی صدا و معمولاً یکنواخت است. این پمپ ها برای انتقال سیالات با ویسکوزیته بالا، مانند روغن، دوغاب، یا حتی مواد غذایی چسبناک، در صنایع پتروشیمی، غذایی و نفتی کاربرد دارند.



4.1 جمع بندی و منابع

در این پروژه، عملکرد یک پمپ سانتریفیوژ از طریق تحلیل داده های تجربی، استخراج معادلات حاکم، محاسبه پارامترهای عملکردی و بررسی بازدهی آن مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از قوانین بقای جرم، مومنتوم زاویه ای و انرژی، توان هیدرولیکی، بازده کلی، هد پمپ و سرعت مخصوص برای دو مجموعه داده تجربی محاسبه شد. نتایج نشان داد که بازده پمپ تابعی از دبی جریان و سرعت دورانی بوده و بیشینه بازده در محدوده ای مشخص از دبی رخ می دهد.

در بخش پایانی نیز با معرفی انواع مختلف پمپ ها، مزایا، نحوه عملکرد و کاربردهای آن ها، دیدی کلی و صنعتی نسبت به انتخاب پمپ مناسب برای کاربردهای خاص ارائه شد. این مقایسه باعث درک بهتر تفاوت میان پمپ های جابجایی مثبت و دینامیکی می شود.

تمام کدهای متلب به کار رفته در این پروژه (دیتاست اول، دیتاست دوم، دیجیتایز نمودار ناحیه ای، دیجیتایز نمودارهای منحنی و کد اصلی محاسبه قطر پروانه، بازده و توان) داخل سایت github قرار داده شده اند و از طریق لینک زیر میتوانید به آنها دسترسی داشته باشید.

https://github.com/Mohammad-Aali-aut/Fluid_Project